

**AGRO**  
PRODUCTIVIDAD

**AP**

Aplicación del índice  
de calidad del  
**AGUA**  
(WQI-NSF) en lagunas  
metropolitanas y rurales

pág. 81

Año 11 • Volumen 11 • Número 7 • julio, 2018

- |   |    |
|---|----|
| DETECCIÓN DE BEGOMOVIRUS EN PLANTAS DE <i>Jatropha curcas</i> L., EN CHIAPAS, MÉXICO  | 3  |
| INSECTOS ASOCIADOS A <i>Jatropha curcas</i> L., EN LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO  | 9  |
| EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA DEL ACEITE DE <i>Jatropha curcas</i> L., <i>Oecopetalum mexicanum</i> Y <i>Pistacia vera</i>  | 15 |
| AISLAMIENTO Y SELECCIÓN <i>in vitro</i> DE CEPAS NATIVAS DE <i>Trichoderma</i> spp. PARA EL BIOCONTROL DE <i>Fusarium</i> sp. EN <i>Euphorbia pulcherrima</i> | 21 |
| PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE LA SÁBILA ( <i>Aloe vera</i> )  | 29 |
| LA PLAGA DEFOLIADORA <i>Zadiprion falsus</i> Smith EN LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS   | 35 |

y más artículos de interés...

# Guía para autores

## Estructura

Agroproductividad es una revista de divulgación científica y tecnológica, auspiciada por el Colegio de Postgraduados de forma mensual para entregar los resultados obtenidos por los investigadores en ciencias agrícolas y afines. En ella se publica información original y relevante para el desarrollo agropecuario, social y otras disciplinas relacionadas, en formato de artículo, nota o ensayo. Las contribuciones son arbitradas y la publicación final se hace en idioma español. La contribución debe tener una extensión máxima de 15 cuartillas, incluyendo las ilustraciones. Deberá estar escrita en Word a doble espacio empleando el tipo Arial a 12 puntos y márgenes de 2.5 cm. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las ilustraciones serán de calidad suficiente para su impresión en offset a colores, y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW.

## La estructura de la contribución será la siguiente:

1) Artículos: una estructura clásica definida por los capítulos: Introducción, Resumen, abstract, objetivos, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones y Literatura Citada; 2) Notas, Ensayos y Relatorías: deben tener una secuencia lógica de las ideas, exponiendo claramente las técnicas o metodologías que se transmiten o proponen.

## Formato

**Título.** Debe ser breve y reflejar claramente el contenido. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en *italicas*.

**Autor o Autores.** Se escribirán él o los nombres completos, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Al pie de la primera página se indicará el nombre de la institución a la que pertenece el autor y la dirección oficial, incluyendo el correo electrónico.

**Cuadros.** Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Los cuadros deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Cuadro 1. Título), y se colocarán en la parte superior. Al pie del cuadro se incluirán las aclaraciones a las que se hace mención mediante un índice en el texto incluido en el cuadro.

**Figuras.** Corresponden a dibujos, fotografías, gráficas, diagramas. Las fotografías serán a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW y las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS).

**Unidades.** Las unidades de pesos y medidas usadas serán las aceptadas en el Sistema Internacional.

### Citas libros y Revistas:

- Bozzola J. J., Russell L. D. 1992. Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists. Ed. Jones and Bartlett. Boston. 542 p.
- Calvo P., Avilés P. 2013. A new potential nano-oncological therapy based on polyamino acid nanocapsules. Journal of Controlled Release 169: 10-16.
- Gardea-Torresdey J. L., Peralta-Videa J. R., Rosa G., Parsons J. G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews 249: 1797-1810.

Los autores ceden los derechos patrimoniales y aceptan que los artículos sean publicados en formato físico y electrónico, incluido internet.

El costo por publicación aceptada es \$4000.00 MX.

Año 11, Volumen 11, número 7, julio 2018, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203. ISSN: 2594-0252, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Subdirección de Organización y Cómputo del Colegio de Postgraduados, Dr. Martiniano Castro Popoca, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230. Tel. 58045980 ext. 1035. Fecha de última modificación, 31 de julio de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

3	DETECCIÓN DE BEGOMOVIRUS EN PLANTAS DE <i>Jatropha curcas</i> L., EN CHIAPAS, MÉXICO / DETECTION OF BEGOMOVIRUS IN PLANTS OF <i>Jatropha curcas</i> L., IN CHIAPAS, MEXICO / Gallegos-Gómez, E.H.; Salvador-Figueroa M.; Torres-de los Santos R.
9	INSECTOS ASOCIADOS A <i>Jatropha curcas</i> L., EN LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO / INSECTS ASSOCIATED WITH <i>Jatropha curcas</i> L., IN THE CENTRAL REGION OF THE STATE OF VERACRUZ, MEXICO / García-Alonso, F.; García-Pérez, E.; Pérez-Vázquez, A.; Ruiz-Rosado, O.; Martínez-Martínez, R.
15	EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA DEL ACEITE DE <i>Jatropha curcas</i> L., <i>Oecopetalum mexicanum</i> Y <i>Pistacia vera</i> / ENZYMATIC EXTRACTION OF OIL FROM <i>Jatropha curcas</i> L., <i>Oecopetalum mexicanum</i> AND <i>Pistacia vera</i> / Ovando-Chacón, S.L.; Nolasco-Arroyo, B.; Abud-Archila, M.A.; Ovando-Chacón, G.
21	AISLAMIENTO Y SELECCIÓN <i>in vitro</i> DE CEPAS NATIVAS DE <i>Trichoderma</i> spp. PARA EL BIOCONTROL DE <i>Fusarium</i> sp. EN <i>Euphorbia pulcherrima</i> / ISOLATION AND <i>in vitro</i> SELECTION OF NATIVE STRAINS OF <i>Trichoderma</i> spp. FOR THE BIOCONTROL OF <i>Fusarium</i> sp. IN <i>Euphorbia pulcherrima</i> / Osuna-Canizalez, F.J.; Canul-Ku, J.; García-Pérez, F.; Ramírez-Rojas, S.; Rangel-Estrada, S.; Patricio-Paredes, L.M.
29	PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE LA SÁBILA ( <i>Aloe vera</i> ) / MAIN DISEASES OF THE CULTIVATION OF ALOE ( <i>Aloe vera</i> ) / Rubio-Tinajero, S.; Osorio-Hernández, E.; Rodríguez-Mejía, M.L.; López-Santillán, J.A.; Estrada-Drouaillet, B.
35	LA PLAGA DEFOLIADORA <i>Zadiprion falsus</i> Smith EN LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS / SAWFLY <i>Zadiprion falsus</i> Smith IN THE NORTH SIERRA OF OAXACA, MEXICO: CURRENT STATE AND PERSPECTIVES / Suárez-Mota, M.E.1; Pacheco-García, M.M.; Cristobal-Angulo, O.P.; Antúnez, P.; Santiago-García, W.; Bautista-Juárez, I.
43	EXPERIENCIAS SOCIOECONÓMICAS DE LOS PRODUCTORES DE TRES CULTIVOS CON POTENCIAL BIOENERGÉTICO EN MÉXICO / SOCIOECONOMIC EXPERIENCES OF THE PRODUCERS OF THREE CROPS WITH BIOENERGY POTENTIAL IN MEXICO / Salas-Martínez, F.; Valdés-Rodríguez, O.A.
51	TOLERANCIA A SALINIDAD EN PLANTAS CULTIVADAS: UNA VISIÓN AGRONÓMICA / TOLERANCE TO SALINITY IN CULTIVATED PLANTS: AN AGRONOMIC VISION / Oroasco-Alcalá, B.E.; Núñez-Palenius, H.G.; Pérez-Moreno, L.; Valencia-Posadas, M.; Trejo-Téllez L.I.; Díaz-Serrano, F.R.; Ruiz-Nieto, J.E.; Abraham-Juárez, M.R.
59	DEPRESIÓN ENDOGÁMICA DE HÍBRIDOS DE Jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) DERIVADOS DE PROGENITORES CON DISTINTO GRADO DE DOMESTICACIÓN / INBREEDING DEPRESSION OF TOMATO HYBRIDS ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) DERIVED FROM PROGENITORS WITH DIFFERENT DEGREE OF DOMESTICATION / Bonilla-Barrientos, O.; Lobato-Ortiz, R.; García-Zavala, J.J.; Cruz-Izquierdo, S.; López-Romero, G.; Rodríguez-Guzmán, E.; Hernández-Leal, E.
67	VARIACIÓN EN TAMAÑO DE GRANO Y RENDIMIENTO DE ALMIDÓN EN CULTIVARES DE <i>Vicia faba</i> L. / VARIATION IN GRAIN SIZE AND STARCH YIELD IN CULTIVARS OF <i>Vicia faba</i> L. / Salamanca-Bautista, G.; Delgado-Alvarado, A.; Herrera-Cabrera, B.E.; Mendoza-Castillo, M.C.; Conde-Martínez, V.
73	TENDENCIAS DE PRODUCCIÓN, MANEJO POSTCOSECHA Y COMERCIALIZACIÓN NACIONAL Y PARA EXPORTACIÓN DE NOPALITO ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) / TRENDS IN PRODUCTION, POSTHARVEST MANAGEMENT AND NATIONAL AND EXPORT COMMERCIALIZATION OF NOPALITO ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) / Maki-Díaz, G.; Peña-Valdivia, C.B.; Arévalo-Galarza, M.L.
81	APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (WQI-NSF) EN LAGUNAS METROPOLITANAS Y RURALES / APPLICATION OF THE WATER QUALITY INDEX (WQI-NSF) IN METROPOLITAN AND RURAL LAGOONS / Salcedo, M.A.; Sánchez, J.A.; Cruz-Ramírez, A.; Álvarez-Pliego, N.; Florido, R.; Ruiz-Carrera, V.; Garrido, A.1, Alejo-Díaz, R.
87	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE CHAROLAS HÍBRIDO / DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HYBRID TRAY DEHYDRATOR / Zárate-Castillo, G.; Huerta-Pérez, M.A.; Rodríguez-Alcalá, O.; Hernández-Loyo, L.; Roque-Martínez, U.; Damián-Hernández, X.
93	RENTABILIDAD ECONÓMICA Y AGREGACIÓN DE VALOR DEL CULTIVO DE AMARANTO ( <i>Amaranthus</i> spp.) EN TOCHIMILCO, PUEBLA, MÉXICO / ECONOMIC PROFITABILITY AND AGREGATION OF AMARANTH CULTURE VALUE ( <i>Amaranthus</i> spp.) IN TOCHIMILCO, PUEBLA, MEXICO / Corona-González, N.A.; Jaramillo-Villanueva, J.L.
101	POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DEL SUERO DE QUESO EN MÉXICO / POTENTIAL FOR THE USE OF CHEESE WHEY IN MEXICO / Osorio-González, C.S.; Sandoval-Salas, F.; Hernández-Rosas, F.; Hidalgo-Contreras, J.V.; Gómez-Merino, F.C.; Ávalos de la Cruz, D.A.
107	JOCOQUE: UN ALIMENTO LÁCTEO FERMENTADO CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO / JOCOQUE: A FERMENTED DAIRY FOOD WITH NUTRACEUTICAL POTENTIAL / García-Caballero, B.E.; Muñoz-Ríos, R.; Pensaben, M.; Villarreal-Carrera M.L.; Reyes-Vázquez, Z.C.; González-Herrera, S.M.; Rodríguez-Herrera, R.; Rutiaga-Quñones, O.M.
113	EVALUACIÓN SENSORIAL Y PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE GALLETAS SUPLEMENTADAS CON HARINA DE CAMOTE ( <i>Ipomoea batatas</i> L.) / SENSORY EVALUATION AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF COOKIES SUPPLEMENTED WITH SWEET POTATO ( <i>Ipomoea batatas</i> L.) FLOUR / Vázquez-Cabral, K.; Quiñones-Rutiaga, O.M.; Trancoso-Reyes, N.; Pensabén-Esquivel, J. M.; Ochoa-Martínez, L.A.
121	PAN VEGANO ADICIONADO CON <i>Lactobacillus plantarum</i> BAL-03-ITTG Y HARINA DE <i>Crotalaria longirostrata</i> , <i>Cnidisculus aconitifolius</i> Y <i>Moringa oleifera</i> / VEGAN BREAD ADDED WITH <i>Lactobacillus plantarum</i> BAL-03-ITTG AND FLOUR OF <i>Crotalaria longirostrata</i> , <i>Cnidisculus aconitifolius</i> AND <i>Moringa oleifera</i> / Ek-Chulim, A.R.; Ventura-Canseco, L.M.C.; Álvarez-Gutiérrez, P.E.; Gutiérrez-Miceli, F.A.; Abud-Archila, M.
129	RESPUESTA DE <i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schtdl. & Cham. EN LAS FASES DE ESTABLECIMIENTO Y MULTIPLICACIÓN <i>in vitro</i> / RESPONSE OF <i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schtdl. & Cham. IN THE PHASES OF <i>in vitro</i> ESTABLISHMENT AND MULTIPLICATION / González-Jiménez, B.; Jasso-Mata, J.; Castillo-Martínez, C.R.; Jiménez-Casas, M.
137	USOS Y POSIBILIDAD DE CULTIVO DE LA SAYA ( <i>Amoreuxia</i> spp.) EN EL NOROESTE DE MÉXICO / USES AND POSSIBILITY OF CULTIVATION OF SAYA ( <i>Amoreuxia</i> spp.) IN THE NORTHWEST OF MEXICO / Celaya-Michel, H.; Valdez-Domínguez, R.D.; Sosa-Castañeda, J.; Morales-Munguía, J.C.; Barrera-Silva, M.A.; Rueda-Puente, E.O.

# Comité Científico



Dietmar <b>Schwarz</b>	Leibniz-Institute of Vegetable and Ornamental Crops. ALEMANIA	schwarz@igzev.de
Kazuo <b>Watanabe</b>	Recursos genéticos y tratados Internacionales. Universidad de Tsukuba. JAPÓN	nabechanknw@gmail.com
Ryoko <b>Machida Hyrano</b>	Genética y molecular. Universidad de Tsukuba. JAPÓN	hiranoryoko@gmail.com
Takao <b>Niino</b>	Criocosección. Universidad de Tsukuba. JAPÓN	niino.takao.fp@u.tsukuba.ac.jp
Ignacio <b>De los Ríos Carmenido</b>	Planeación del desarrollo rural. Universidad Politécnica de Madrid. ESPAÑA	ignacio.delosrios@upm.es
José Luis <b>Yagüe</b>	Planeación del desarrollo rural. Universidad Politécnica de Madrid. ESPAÑA	joseluis.yague@upm.es
Jesús <b>Martínez Almela</b>	International Project Management Association. ESPAÑA	jma@bioagroprojects.com
Carlos Hugo <b>Avendaño Arrazate</b>	Recursos genéticos. INIFAP. MÉXICO	fitogeneticarlos@hotmail.com
Cristian <b>Nava</b>	Fitopatología. COLPOS. MÉXICO	cnava@colpos.mx
Ma. de Lourdes <b>Arévalo Galarza</b>	Fisiología de frutos postcosecha y ornamentales. COLPOS. MÉXICO	larevalo@colpos.mx
Libia Iris <b>Trejo Téllez</b>	Nutrición vegetal. COLPOS. MÉXICO	tlibia@colpos.mx
Fernando <b>Clemente Sánchez</b>	Fauna silvestre. COLPOS. MÉXICO	clemente@colpos.mx
Aureliano <b>Peña Lomelí</b>	Fitotecnia. UACH. MÉXICO	penalomeli@gmail.com
Edelmiro <b>Santiago Osorio</b>	Biología y Hematopoyesis. FES-ZARAGOZA-UNAM. MÉXICO	edelmiros@yahoo.com
Itzen <b>Aguñiña Sánchez</b>	Biología y Hematopoyesis. FES-ZARAGOZA-UNAM. MÉXICO	liberitzen@yahoo.com.mx
David Jesús <b>Palma López</b>	Suelos y Agricultura tropical. COLPOS. MÉXICO	dapalma@colpos.mx
Juan Fco. <b>Aguirre Medina</b>	Microrganismos simbiotes. UNACH. MÉXICO	juanf56@prodigy.net.mx
Luis <b>Tarango Arámbula</b>	Fauna silvestre. COLPOS. MÉXICO	ltarango@colpos.mx
Lucero del Mar <b>Ruiz Posadas</b>	Fisiología vegetal, Nanotecnología. COLPOS. MÉXICO	lucpo@colpos.mx
Pedro <b>Cadena Iñiguez</b>	Desarrollo rural. INIFAP. MÉXICO	cadena.pedro@inifap.gob.mx
César <b>Cortez Romero</b>	Biotecnología animal. COLPOS. MÉXICO	ccortezro@hotmail.com
Braulio <b>Edgar Herrera</b>	Recursos genéticos. COLPOS. MÉXICO	Braulio_edgar@hotmail.co.uk
Víctor M. <b>Cetina Alcalá</b>	Ciencias forestales. COLPOS. MÉXICO	vicmac@colpos.mx
Adriana <b>Delgado Alvarado</b>	Bioquímica. COLPOS. MÉXICO	adah@colpos.mx
Rogelio <b>Carrillo González</b>	Suelos, Fitorremediación. COLPOS. MÉXICO	crogelio@colpos.mx
Rafael <b>Flores Ariza</b>	Cultivos tropicales. INIFAP. MÉXICO	arizaf77@hotmail.com
Rosalinda <b>González Santos</b>	Políticas públicas en recursos genéticos. MÉXICO	rosalindags82@yahoo.com.mx
María del Carmen Ángeles <b>González Chávez</b>	Biorremediación. COLPOS. MÉXICO	carmeng@colpos.mx



**Corrección de estilo:** Hannah Infante Lagarda  
**Maquetación:** Mario Alejandro Rojas Sánchez

**Suscripciones, ventas, publicidad, contribuciones de autores:**

Guerrero 9, esquina Avenida Hidalgo, C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.

**Teléfono:** 01 (595) 928 4703  
 jocadena@colpos.mx; jocadena@gmail.com  
 Impresión 3000 ejemplares

Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

# DETECCIÓN DE BEGOMOVIRUS EN PLANTAS DE *Jatropha curcas* L., EN CHIAPAS, MÉXICO

## DETECTION OF BEGOMOVIRUS IN PLANTS OF *Jatropha curcas* L., IN CHIAPAS, MEXICO

Gallegos-Gómez, E.H.<sup>1</sup>; Salvador-Figueroa M.<sup>1</sup>; Torres-de los Santos R.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas. Instituto de Biotecnología. Boulevard Príncipe Akishino S/N, Colonia Solidaridad 2000, Tapachula, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: rtdelossantos@gmail.com



### ABSTRACT

The Mexican pine (*Jatropha curcas* L.) is the most promising non-edible plant for the biofuel industry in the world. The state of Chiapas, south of Mexico, inhibits high diversity of genotypes, with differences in agronomic traits such as greater number of floral events, high production and oil quality of its seeds. Despite such agronomic traits, it is susceptible to *Jatropha* mosaic disease (JMD), caused by begomovirus (*Geminiviridae*). In this study, we reported the presence of begomovirus related to *Jatropha* mosaic disease by visual detection in five populations of Tapachula, Chiapas, Mexico. The observed symptoms were mosaics, curls and leaf malformations. The presence of begomoviruses associated with JMD was confirmed by PCR obtaining 88% of positive samples to the infection and only 12% were healthy plants. In addition, the molecular detection allowed to observe that 16 asymptomatic samples were positive to the infection. The dependence between the symptoms of JMD and the presence of begomovirus was significant. This work represents the first report of begomovirus infecting *Jatropha curcas* L. plants in southern Mexico.

**Keywords:** Bioenergetic crops, Mexican pine, virical DNA, south of Mexico.

### RESUMEN

El piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) es la planta no comestible más prometedora para la industria de biocombustibles en el mundo. El estado de Chiapas, al sur de México, presenta alta diversidad de genotipos, con diferencias en rasgos agronómicos como mayor número de eventos florales, alta producción y calidad del aceite de sus semillas. A pesar de dichos rasgos agronómicos, es susceptible a la enfermedad del mosaico de *Jatropha* (EMJ), causada por begomovirus (*Geminiviridae*). Mediante detección visual, en este estudio se caracterizó la sintomatología reportada para la enfermedad del mosaico de *Jatropha* en cinco poblaciones de Tapachula, Chiapas, México; los síntomas observados fueron mosaicos, enrollamientos y malformaciones foliares. Se confirmó la presencia de begomovirus asociados a la EMJ, mediante PCR obteniendo 88% de muestras positivas a la infección y solo el 12% fueron plantas sanas. En adición, la detección molecular permitió observar que 16 muestras asintomáticas fueron positivas a la infección. La dependencia entre los síntomas de la EMJ y la presencia de begomovirus fue significativa. Este trabajo representa el primer reporte de begomovirus infectando plantas de *Jatropha curcas* L. en el sur de México.

**Palabras clave:** Cultivos bioenergéticos, piñón mexicano, ADN vírico, sur de México.



## INTRODUCCIÓN

Los begomovirus son fitopatógenos que poseen un genoma circular de ADN de cadena simple (ssDNA) constituido por una (monopartito) o dos (bipartito) partículas, DNA-A y DNA-B, de 2.6 a 2.8 kb, protegidos por la cápsula en partículas gemelas, cuasi-icosahédricas (Stanley *et al.*, 2005; Fauquet *et al.*, 2008). Este género es transmitido, principalmente, por la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) (Faria y Nava, 2009), es un grupo causante de enfermedades y de alta incidencia, en diversas plantas dicotiledóneas en todo el mundo (Stanley *et al.*, 2005; Melgarejo *et al.*, 2013; Navas-Castillo *et al.*, 2011). Los síntomas más frecuentes asociados a estos patógenos son mosaicos, deformaciones y enanismo (Faria y Nava, 2009; Navas-Castillo *et al.*, 2011). El uso de técnicas moleculares ha permitido la detección confiable y precisa de begomovirus en tomate (Faria y Nava, 2009; Garrido-Ramirez y Gilbertson, 1998), yuca (Hong *et al.*, 1993; Zhuo *et al.*, 1997), papaya (Chang *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2004) y *Jatropha* spp. (Ramkat *et al.*, 2011; Narayana *et al.*, 2006, 2007; Raj *et al.*, 2008).

El piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.), es un arbusto leñoso de la familia Euphorbiaceae, cuyo centro de origen y diversificación posiblemente es la región mesoamericana (Heller, 1996; Carels, 2009). Prácticamente todas las partes de esta planta son utilizadas con fines medicinales e industriales (Dahake *et al.*, 2013), destacando como cultivo bioenergético (Heller, 1996). Sin embargo, es susceptible a infecciones begomovirales (JMV), incluyendo la Enfermedad del Mosaico de *Jatropha*

**Cuadro 1.** Poblaciones de *Jatropha curcas* L. colectadas en el municipio de Tapachula, Chiapas, México.

Localidad	Clave	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Precipitación media anual (mm) (INEGI, 2006)
Felipe Carrillo Puerto	FCP	15° 0' 40.58"	92° 11' 20.51"	4500
Veinte de Noviembre	VNV	14° 58' 36.10"	92° 15' 39.82"	4000-4500
Manga de clavo	MCL	14° 57' 21.01"	92° 16' 21.34"	3000-4000
Álvaro Obregón	ALO	14° 56' 42.26"	92° 23' 24.35"	2000-2500
Raymundo Enriquez	REQ	14° 52' 45.58"	92° 21' 59.73"	1500-2000

(EMJ) (Narayana *et al.*, 2007) que se caracteriza por presentar síntomas tales como: aborto de frutos (Narayana *et al.*, 2006; Gao *et al.*, 2010), enanismo (Narayana *et al.*, 2007; Raj *et al.*, 2008; Gao *et al.*, 2010), mosaico amarillo-verde, enrollamiento, malformación y la reducción de tamaño foliar (Narayana *et al.*, 2006, 2007; Raj *et al.*, 2008) y por lo tanto, disminuyen la producción de frutos al afectar la eficiencia fotosintética de la planta (Narayana *et al.*, 2007; Gao *et al.*, 2010).

Actualmente, se sabe que la EMJ es causada por la infección de diferentes cepas de begomovirus en diversas partes del mundo; en India se han reportado dos cepas del JMV (Narayana *et al.*, 2007), una cepa del virus del mosaico de *Jatropha* de India (JMIV) (Snehi *et al.*, 2012), una cepa del virus del enrollamiento foliar de *Jatropha* de India (JL-CrIV) (Srivastava *et al.*, 2014) y una cepa del virus del mosaico amarillo foliar de *Jatropha* de Katerniaghat (JLYMKV) (Srivastava *et al.*, 2015). Sin embargo, en México no se han reportado síntomas asociados a EMJ y tampoco la presencia de begomovirus causando infecciones en piñón. Por lo que el objetivo de este estudio fue detectar la presencia de begomovirus en plantas de *Jatropha curcas* L. en Tapachula, Chiapas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo y detección visual de la enfermedad del mosaico de *Jatropha* (EMJ)

50 accesiones totales de cinco poblaciones de *Jatropha curcas* en Tapachula, Chiapas, México fueron colectadas (Cuadro 1). Por cada zona se contabilizó el número de plantas con síntomas característicos de la EMJ.

### Extracción de ADN y detección molecular de begomovirus

Las hojas fueron maceradas con nitrógeno líquido y la extracción de ADN se realizó con la técnica de Doyle y Doyle (1990), con las siguientes modificaciones: 200 mg del macerado fueron colocados en tubos de 2 mL. Se agregaron 60 mg de polivinilpirolidona y 900  $\mu$ L de buffer de extracción CTAB 2X (bromuro de hexadeciltrimetilamonio, 2 % p/v; EDTA, 5 mM; NaCl, 5M; Trizma Base, 50 mM, pH ajustado a 8.0 con HCl y 2-mercaptoetanol, 1 % v/v). Posteriormente, se aplicó una extracción orgánica con fenol: cloroformo: alcohol isoamílico (25: 24: 1) y el ADN se precipitó con isopropanol 70 % frío. La pastilla de ADN fue re-suspendida en 60  $\mu$ L de Buffer Low TE 1X.

Para la detección de virus se utilizó un par de oligonucleótidos universales específicos para begomovirus:

PA y PB: PA, TAATATTACCKGWKGVCSC; PB, TGGA-CYTTRCAWGGBCCTTCACA (Deng et al., 1994), que amplifican un fragmento de la región central del gen CP de dicho género de ~550 pb (Deng et al., 1994; Raj et al., 2008).

Las reacciones de PCR se realizaron con un termociclador Techne (Techne, TC 3000, Cambrige, UK). La PCR se estableció en una mezcla de reacción de 25  $\mu$ l que contenía: Colorless GoTaq<sup>®</sup> flexi buffer (5X), MgCl<sub>2</sub> (1.5 mM), dNTPs (50  $\mu$ M), oligonucleótidos (0.2  $\mu$ M, cada uno), GoTaq<sup>®</sup> DNA Polymerase (1.5 U) y ADN molde (100 ng). Las mezclas de reacción fueron sometidas a 30 ciclos de amplificación (desnaturalización inicial: 94 °C por 5 min; posteriormente, desnaturalización: 94 °C por 45 s; alineamiento específico: 58 °C por 45 s y extensión: 72 °C por 1.5 min; extensión final: 72 °C por 5 min). Los productos de PCR fueron analizados por electroforesis en gel de agarosa 1.2%. La banda amplificada se documentó utilizando una cámara digital en el equipo Gel DocTM EZ Imager (BioRad, EU).

#### Análisis estadístico de dependencia entre variables

Para analizar la relación de dependencia o independencia entre las variables: presencia de síntomas de EMJ con infección por begomovirus se utilizó el análisis no paramétrico de distribución conjunta o tabla de contingencia, mediante la herramienta InfoStat<sup>®</sup>. Los datos uti-

lizados fueron los obtenidos en la detección visual de la EMJ y la detección molecular de begomovirus.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Detección visual de la enfermedad del mosaico de *Jatropha* (EMJ)

La sintomatología foliar de la EMJ observada en poblaciones de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.), con excepción del sitio VNV, fueron mosaicos, enrollamientos y deformaciones en hojas e inflorescencias (Figura 1).

Los resultados obtenidos en Tapachula, Chiapas, son similares a los descritos en Asia y África por diversos estudios (Narayana et al., 2006, 2007; Raj et al., 2008; Gao et al., 2010; Ramkat et al., 2011; Snehi et al., 2012; Srivastava et al., 2014; Srivastava et al., 2015). La ocurrencia de síntomas de EMJ en el sureste de México fue diferencial entre las poblaciones, siendo ALO fue la más afectada (100%) y la población VNV la menos afectada (0%) (Cuadro 2).

Estos síntomas, y otros que no encontramos en este estudio, se han asociado a begomovirus como agentes causales de la enfermedad por diversas técnicas inmunológicas y moleculares en Etiopía, Kenia e India (Narayana et al., 2006, 2007; Raj et al., 2008; Gao et al., 2010; Ramkat et al., 2011; Snehi et al., 2012; Srivastava et al., 2014, 2015).

### Detección molecular de begomovirus

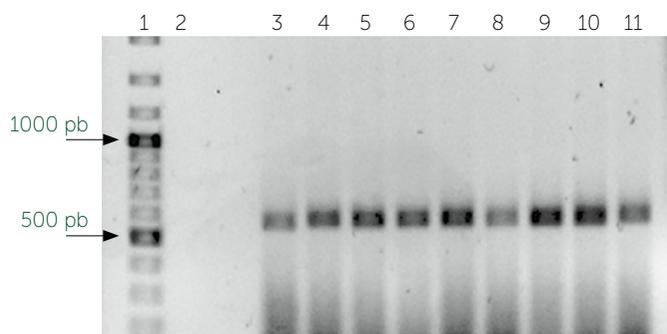
La presencia de begomovirus se detectó en las cinco poblaciones de *Jatropha curcas* L. (Figura 2).

El porcentaje de detección de begomovirus en ALO y VNV fue del 100%; en REQ y MCL de 90 %; mientras que en FCP fue del 60 % (Cuadro 2).

El porcentaje de infección (presencia del begomovirus) varió en todas las poblaciones evaluadas, y los valores fueron similares a los observados por Ramkat et al., (2011) en plantas sintomáticas de Etiopía y Kenia. Los resultados obtenidos, evidencian que la incidencia de begomovirus en Tapachula, Chiapas fue dos veces mayor a lo reportado en trabajos realizados por Narayana et al., (2006) en India,



**Figura 1.** Síntomas de la Enfermedad del Mosaico de *Jatropha* observados en Tapachula, Chiapas, México. a) *Jatropha curcas* L. b) Planta sana c) Mosaico d) Enrollamiento e) Deformación foliar.



**Figura 2.** Electroforesis en gel de agarosa 1.2% de los productos de PCR observando bandas de ~550 pb obtenidas con los iniciadores PA/PB: PA, TAATATTACCKGWKGVCCSC; PB, TGGACYTTRCAWGGBCCTT-CACA (Deng *et al.*, 1994) del ADN aislado de hojas de *Jatropha curcas* L. en Tapachula, Chiapas, México. 1=Marcador de Peso Molecular O' Gene Ruler 100 pb (Fermentas); 2=Testigo Negativo; Muestras de FCP (3, con síntomas; 4, sin síntomas); Muestras de VNV (5, con síntomas; 6, sin síntomas); Muestras de MCL (7, con síntomas; 8, sin síntomas); Muestras de REQ (9, con síntomas; 10, sin síntomas); 11=Muestra de ALO (con síntomas).

donde se encontraron valores de incidencia de hasta 47%. Como se observa en el Cuadro 2, de las cinco poblaciones estudiadas, FCP presentó menor incidencia de begomovirus (80%), lo cual puede deberse a una posible relación entre el fenotipo asociado a la enfermedad del mosaico de *Jatropha* (EMJ) y las condiciones climáticas de la región (4500 mm). Además, este estudio encontró que existen poblaciones de *J. curcas* L. que no evidencian síntomas de la EMJ como lo es la localidad VNV, similar a lo reportado por Narayana *et al.*, (2007), donde encontraron nula sintomatología de EMJ en plantas de

las poblaciones del distrito de Mandya, India. Es posible que las accesiones asintomáticas pero positivas por PCR se hayan encontrado en una etapa temprana de la infección con los síntomas fenotípicos aún no desarrollados. Los trabajos de Sidhu *et al.*, (2010) sugieren que la manifestación de los síntomas de la EMJ se atribuye causada por begomovirus, producen cambios significativos en el metabolismo de plantas enfermas de *J. curcas* L., en comparación con sanas, los cuales inducen alteraciones morfológicas y anatómicas que se manifiestan, según el genotipo, en la sintomatología de dicha enfermedad. Sin embargo, las enfermedades de origen viral pueden confundirse con síntomas causados por diversos factores abióticos, como la variación de temperatura o la precipitación pluvial, deficiencias nutrimentales en las plantas; y bióticos, como la interacción con otros agentes fitopatógenos, como fue el caso de individuos de la población FCP. Lo anterior se ha reportado en plantas asintomáticas de *Jatropha* spp., *J. curcas* L. (Narayana *et al.*, 2006, 2007; Raj *et al.*, 2008; Gao *et al.*, 2010; Ramkat *et al.*, 2011; Snehi *et al.*, 2012; Srivastava *et al.*, 2014, 2015) y *Manihot esculenta* (Stanley y Gay, 1983; Hong *et al.*, 1993; Zhuo *et al.*, 1997).

**Análisis estadístico de dependencia entre variables**

El análisis de contingencia mostró una relación significativa entre la sintomatología y la infección ( $\chi^2=4.28$ ;  $p=0.05$ ) (Cuadro 3), por lo cual, se estableció la alta probabilidad de que los begomovirus sean los agentes causales de la Enfermedad del Mosaico de *Jatropha curcas* L. en Tapachula, Chiapas, México.

Esta hipótesis es respaldada por los estudios de Wang *et al.*, (2014), quienes agroinocularon clones del DNA-A del virus del mosaico de la yuca ICMV-SG aislado de *Jatropha curcas* de India en plantas de *Nicotiana benthamiana*, encontrando que este virus causa los síntomas en dicha planta. Por ello, se sugiere realizar

**Cuadro 2.** Relación entre síntomas y presencia de begomovirus en colecciones de *Jatropha curcas* en Tapachula, Chiapas, México.

Localidad	FCP		VNV		MCL		REQ		ALO	
	DV	DM	DV	DM	DV	DM	DV	DM	DV	DM
1	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+
2	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+
3	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
4	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
5	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
6	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
7	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+
8	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
9	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+
10	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+
Promedio	60	60	0	100	80	90	40	90	100	100

DV=Detección visual de EMJ; DM=Detección molecular de begomovirus. Los signos +/- indican la presencia/ausencia de los síntomas visibles o bien de la presencia/ausencia de la banda correspondiente detectada por PCR. Poblaciones muestreadas: Felipe Carrillo Puerto (FCP); Veinte de Noviembre (VNV); Manga de clavo (MCL); Álvaro Obregón (ALO); Raymundo Enríquez (REQ).

**Cuadro 3.** Análisis de contingencia entre síntomas e infección por begomovirus en poblaciones de *Jatropha curcas* Tapachula, Chiapas, México.

Infección	Presencia de síntomas	Ausencia de síntomas	Total
Si	27	17	44
No	1	5	6
Total	28	22	50

$\chi^2=4.28$ ;  $\chi^2_{tab}=3.8$ ;  $p=0.05$

estudios de agroinoculación de muestras infectadas a plantas sanas mediante los postulados de Koch en las poblaciones de *J. curcas* de Tapachula, Chiapas.

En Chiapas, las potenciales plagas y enfermedades asociadas a *J. curcas* no han sido caracterizadas. Nuestro estudio es el primer reporte de begomovirus asociados a la enfermedad del mosaico en plantas de *Jatropha curcas* L. en Tapachula, Chiapas, México.

## CONCLUSIONES

El uso de la PCR permitió confirmar la presencia de begomovirus en plantas de *Jatropha curcas*, sintomáticas y asintomáticas de la enfermedad del mosaico de *Jatropha* (EMJ), en poblaciones de Tapachula, Chiapas, México, detectada previamente de manera visual. Dada la confirmación de la presencia de este virus, es necesario hacer selección de genotipos que presenten mayor resistencia a este agente patógeno dentro de los programas de mejoramiento genético operando en México.

## LITERATURA CITADA

- Carels N. 2009. *Jatropha curcas*: A review. *Advances in Botanical Research* 50: 39-86.
- Chang L.S., Lee Y.S., Su H.J., Hung T.H. 2003. First Report of Papaya leaf curl virus Infecting Papaya Plants in Taiwan. *Plant Disease* 87: 204-204.
- Dahake R., Roy S., Patil D., Rajopadhye S., Chowdhary A. 2013. Potential Anti-HIV activity of *Jatropha curcas* Linn. leaf extracts. *Journal of Antivirals and Antiretrovirals* 5: 160-165.
- Doyle J.J., Doyle J.L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 12: 13-15.
- Deng D., McGrath P.F., Robinson D.J., Harrison B.D. 1994. Detection and differentiation of whitefly-transmitted geminiviruses in plant and vector in sects by the polymerase chain reaction with degenerate primers. *Annals of Applied Biology* 125: 327-336.
- Faria A., Nava A. 2009. Detección por PCR de begomovirus en el cultivo del tomate en las áreas productoras de los Andes venezolanos. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 26: 179-195.
- Fauquet C.M., Briddon R.W., Brown J.K., Moriones E., Stanley J., Zerbini M., Zhou X. 2008. Geminivirus strain demarcation and nomenclature. *Archives of Virology* 153: 783-821.
- Gao S., Qu J., Chua N.H., Ye J. 2010. A new strain of Indian cassava mosaic virus causes a mosaic disease in the biodiesel crop *Jatropha curcas*. *Archives of Virology* 155: 607-612.
- Garrido-Ramirez E.R., Gilbertson R.L. 1998. First Report of Tomato Mottle Geminivirus Infecting Tomatoes in Yucatan, Mexico. *Plant Disease* 82: 59.
- Heller J. 1996. *Physic nut Jatropha curcas* L. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). 66 pp.
- Hong Y.G., Robinson D.J., Harrison B.D. 1993. Nucleotide sequence evidence for the occurrence of three distinct whitefly - transmitted geminivirus in cassava. *Journal of General Virology* 74: 2437-244.
- INEGI. 2006. Cuaderno Estadístico Municipal de Tapachula, Chiapas. Ed. 2006. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem06/info/chs/m089/mapas.pdf>. Fecha de acceso: 07/02/2017.
- Melgarejo T.A., Kon T., Rojas M.R., Paz-Carrasco L., Zerbini F.M., Gilbertson R.L. 2013. Characterization of a new world monopartite begomovirus causing leaf curl disease of tomato in Ecuador and Peru reveals a new direction in geminivirus evolution. *J Virology* 87: 5397-5413.
- Navas-Castillo J., Fiallo-Olivé E., Sánchez-Campos S. 2011. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. *Annual Review of Phytopathology* 49: 219-248.
- Narayana D.S.A., Shankarappa K.S., Govindrappa M.R., Prameela H.A., Gururaj Rao M. R., Rangaswamy K.T. 2006 Natural occurrence of *Jatropha* mosaic virus disease in India. *Current Science* 91:584-586.
- Narayana D.S.A., Rangaswamy K.T., Shankarappa K.S., Maruthi M.N., Lakshminarayana Reddy C.N., Rekha A.R., Keshava Murthy K.V. 2007. Distinct begomoviruses closely related to Cassava mosaic viruses cause Indian *jatropha* mosaic disease. *International Journal of Virology* 3: 1-11.
- Raj S.K., Snehi S.K., Kumar S., Khan M.S., Pathre U. 2008. First molecular identification of a begomovirus in India that is closely related to Cassava mosaic virus and causes mosaic and stunting of *Jatropha curcas* L. *Australasian Plant Disease Notes* 3: 69-71.
- Ramkat R.C., Calari A., Maghuly F., Laimer M. 2011. Biotechnological approaches to determine the impact of viruses in the energy crop plant *Jatropha curcas*. *Virology Journal* 8: 386.
- Sidhu O. P., Annarao S., Pathre U., Khetrapal C. L. 2010. Metabolic and histopathological alterations of *Jatropha* mosaic begomovirus-infected *Jatropha curcas* L. by HR-MAS NMR spectroscopy and magnetic resonance imaging. *Planta* 232: 85-93.
- Stanley J., Bisaro D.M., Briddon R.W., Brown J.K., Fauquet C.M., Rybicki E.P., Harrison B. D. 2005. Family Geminiviridae. *In: Virus taxonomy: VIII Report of the international committee on taxonomy of viruses*. Academic Press, London. 326 pp.
- Snehi S.K., Srivastava A., Raj S.K. 2012. Biological characterization and complete genome sequence of a possible strain of Indian cassava mosaic virus from *Jatropha curcas* in India. *Journal of Phytopathology* 160: 547-553.
- Srivastava A., Jaidi M., Kumar S., Raj S.K. 2014. Molecular identification of a new begomovirus associated with leaf crumple disease of *Jatropha curcas* L in India. *Archives of Virology* 160: 617-619.
- Srivastava A., Kumar S., Jaidi M., Raj S.K. 2015. Molecular characterization of a new begomovirus associated with leaf yellow mosaic disease of *Jatropha curcas* in India. *Archives of Virology* 160: 1359-1362.
- Stanley J., Gay M.R. 1983. Nucleotide sequence of cassava latent virus DNA. *Nature* 301: 260-262.
- Wang G., Wei Y.S., Rui R.X., Jing Q., Chuan S.T., Xi Y.J., Jian Y. 2014. DNA-A of a highly pathogenic Indian cassava mosaic virus isolated from *Jatropha curcas* causes symptoms in *Nicotiana benthamiana*. *Virus Genes* 48: 402-405.
- Wang X.Y., Xie Y., Zhou X.P. 2004. Molecular characterization of two distinct begomoviruses from papaya in China. *Virus Genes* 29: 303-309.
- Zhuo X., Liu Y., Calvert L., Munoz C., Otim-Nape G. W., Robinson D.J., Harrison B.D. 1997. Evidence that DNA -A of a geminivirus associated with severe cassava mosaic disease in Uganda has arisen by interspecific recombination. *Journal of General Virology* 78: 2101-2111.



# INSECTOS ASOCIADOS A *Jatropha curcas* L., EN LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

## INSECTS ASSOCIATED WITH *Jatropha curcas* L., IN THE CENTRAL REGION OF THE STATE OF VERACRUZ, MEXICO

García-Alonso, F.<sup>1</sup>; García-Pérez, E.<sup>1\*</sup>; Pérez-Vázquez, A.<sup>1</sup>; Ruiz-Rosado, O.<sup>1</sup>; Martínez-Martínez, R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, Tepehates, Veracruz, México. <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Independencia Nacional No. 151, Autlán Jalisco, México.

\*Autor de correspondencia: geliseo@colpos.mx



### ABSTRACT

In recent years the cultivation of the Mexican pine nut (*Jatropha curcas* L.), has taken on great importance because it has a potential as bioenergetic, for the oil that its seeds contain. Like any other oil plants, this specie is susceptible to attack by various insects, mites, and other arthropods. Some insects have been reported in the states of Chiapas, Morelos and Yucatan, but in the state of Veracruz there is a little information found about it. For this reason, different types of insects associated with *Jatropha curcas* L., were identified in the region of Veracruz. Among the insects found are: pollinators (Cerambycidae, Melolonthidae, Libellulidae, Syrphidae), defoliators (Noctuidae, Tettigoniidae, Eumasticidae, Pyrrhocoridae), parasites (Tiphidae), and predators (Asilidae, Araneidae, Thomisidae).

**Key words:** Mexican pinion, pollinators, insects, arthropods.

### RESUMEN

En los últimos años el cultivo de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) ha tomado gran importancia ya que tiene un potencial como bioenergético, por el aceite que contiene sus semillas. Como cualquier otra planta oleaginosa, esta especie es susceptible al ataque de diversos insectos, ácaros, y otros artrópodos. Se han reportado algunos insectos en los estados Chiapas, Morelos y Yucatán, pero en el estado de Veracruz es poca la información encontrada al respecto. Por esta razón se identificaron diferentes tipos de insectos asociados a *Jatropha curcas* L., en la región de Veracruz. Entre los insectos encontrados están: los polinizadores (Cerambycidae, Melolonthidae, Libellulidae, Syrphidae), defoliadores (Noctuidae, Tettigoniidae, Eumasticidae, Pyrrhocoridae), parásitos (Tiphidae), y depredadores (Asilidae, Araneidae, Thomisidae).

**Palabras clave:** Piñón mexicano, polinizadores, insectos, artrópodos.



**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio. 2018. pp: 9-14.

**Recibido:** noviembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

## INTRODUCCIÓN

**Distribución del cultivo.** La especie *Jatropha curcas* L., conocida comúnmente como piñón mexicano es considerada una planta multipropósito por los diversos usos que tienen: cerco vivo, medicinal, alimento humano (variante no tóxica) y el contenido de aceite como combustible en forma directa para veladoras o materia prima para la obtención de biodiesel. Perteneció a la familia Euphorbiaceae, es un arbusto de rápido crecimiento que está presente en regiones tropicales y subtropicales. En México, se distribuye geográficamente en los estados de Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Guerrero, Puebla, Veracruz, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora (SAGARPA, 2012). Esta planta, nativa de Mesoamérica, se encuentra en proceso de domesticación y se localiza en altitudes desde el nivel del mar hasta los 1600 msnm (Martínez-Herrera, 2007).

**Características generales.** La especie *Jatropha curcas* se propaga por semilla (sexual) o por varetas (asexualmente), se adapta a suelos con bajo contenido de nutrientes, tolerante a la sequía (Héller, 1996). Es una planta perenne que tiene una vida útil de 40 a 50 años. Tiene producción desde el primer año, pero a los cinco años alcanza un rendimiento comercial aceptable (SAGARPA, 2012). Existen dos variantes de *J. curcas*, la tóxica y no tóxica o de baja toxicidad, estas últimas provenientes de la región del Totonacapan en México (Héller 1996; Martínez, 2007). La especie *J. curcas*, es una planta resistente a plagas debido al contenido de toxinas (Jones y Miller 1992; De la Vega 2006).

**Reportes de insectos y patógenos asociados a *Jatropha curcas*.** *J. curcas* es afectada por insectos plaga desde la siembra hasta la postcosecha, y por algunos hongos fitopatógenos (Worang *et al.*, 2008; Garcete *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2011). BUNCA (1997), menciona que los insectos benéficos contribuyen a una mejor polinización y ayudan al control natural de insectos. En estado silvestre, aparentemente los insectos plaga no le causan gran daño a *Jatropha*. Sin embargo, De la Vega (2008) menciona que en condiciones de monocultivo los insectos y patógenos pueden ocasionar severos problemas en el cultivo. Se han realizado algunas investigaciones para conocer los diferentes tipos de insectos que ocasionan algún tipo de daño en la planta: (Quiroga *et al.*, 2010) reportan, insectos fitófagos (insectos de raíces, plántula y frutos), insectos entomófagos y arañas y por otro lado los insectos polinizadores, así como su descripción en género, familia, y especie. Además

se ha determinado que existen insectos que afectan los frutos del piñón, siete familias, tres subfamilias, ocho tribus, 18 géneros y 24 especies de las familias que son: Coreidae (Hemiptera), Scutelleridae (Hemiptera), Cicadellidae del orden, Orthoptera, (Morales-Morales *et al.*, 2011).

Pero no existen reportes sobre la entomofauna que existe en *J. curcas* de la región centro de Veracruz. Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo reportar los diferentes tipos de insectos asociados a *J. curcas*, en la región centro de Veracruz.

## METODOLOGÍA

**Localización del área de estudio.** La investigación se realizó en el banco de germoplasma de *Jatropha curcas* del Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, ubicado en el km 88.5, Carretera Federal Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. En las coordenadas 19° 11' 38.62" LN, 96° 20' 17" LW, a una altitud de 25 msnm. El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en el verano (García, 2004).

**Toma de fotografías y datos.** El método usado fue la observación directa de los insectos que se encontraron en las plantas de 8:00 am a 6:00 pm. Se tomaron fotografías y se registró la presencia y abundancia de los insectos durante 71 días iniciando el 7 de mayo y terminando el 16 de julio 2014. Este periodo corresponde a una parte de la época de lluvias en la región. Las observaciones se realizaron en tres de las etapas fenológicas de la planta: brotación vegetativa, floración y fructificación. Se registró en qué parte de la planta se posan, comen o interactúan los insectos.

**Clasificación.** Los datos obtenidos y con base a las fotografías se procedió a realizar la clasificación a nivel de orden, familia, género y especie, de acuerdo con el manual de López-Guillén *et al.* (2013).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se enlistan y describen en el Cuadro 1. Se identificaron un total de 30 insectos diferentes. Estos se distribuyeron en seis grandes grupos por su función ecológicas y son los siguientes: 1) polinizadores, 2) defoliadores y chupadores, 3) depredadores, 4) insectos succionadores, 5) parásitos y 6) masticadores y/o descortezadores de tallos (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6) respectivamente.

**Cuadro 1.** Insectos asociados a *Jatropha curcas* L., en el banco de germoplasma del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Ver.

Habito alimenticio	Nombre común	Orden	Familia	Género y especie	Descripción de actividad
Polinizadores	Cerambycidos	Coleoptera	Cerambycidae		Polinizadores que se alimentan del néctar de la flor
	Mayates roncrones de las flores	Coleoptera	Melolonthidae	<i>Euphoria pulchella</i> (Gory y Percheron)	Aumentan el porcentaje de flores polinizadas y por tanto el amarre de frutos.
	Libélulas	Odonata	Libellulidae	<i>Brachythemis</i> , <i>Brachythemis contaminata</i>	Ayudan a controlar la población de mosquitos que se encuentran en la plantación y a la polinización de las flores.
	Mosca de las flores	Diptera	Syrphidae		Se alimentan del néctar de las flores, vuelan de inflorescencia a inflorescencia polinizándolas y así inducen un mayor amarre y producción de frutos.
	Palomillas avispa	Lepidoptera	Ctenuchidae		
Defoliadores y chupadores	Gusano trozador	Lepidoptera	Noctuidae	<i>Spodosptera</i> sp.	Ataca la raíz y el tallo de las plántulas del piñón, se puede encontrar en las mañanas de 9-11 am.
	Chapulines esperanzas	Orthoptera	Tettigoniidae	<i>Stilpnochlora</i> sp.	Se alimenta principalmente de las hojas
	Chapulines de colores	Orthoptera	Eumasticidae	<i>Sphenarium purpurascens</i> Charpertier	Se alimenta de las hojas.
	Chinchas roja	Hemiptera	Pyrrhocoridae	<i>Dysdercus bimaculatus</i> Stal	No se ha determinado el impacto en el piñón de acuerdo a otros artículos de consulta.
Parásitos	Avispa tífidas	Hymenoptera	Tiphiidae		Son ectoparásitos solitarios principalmente de larvas de Melolóntidos (gallinas ciega), sin embargo algunas especies atacan a otros himenópteros (abejas y avispas)
Depredadores	Mosca ladronas	Diptera	Asilidae		Depredadoras de otros insectos que pueden ser perjudiciales para el de piñón.
	Araña negra	Araneae	Araneidae	<i>Neoscona</i> sp.	Son reguladores biológicos naturales ya que se alimentan de otros insectos pequeños.
	Araña cangrejo	Araneae	Thomisidae	<i>Misumenoides</i> sp.	Control biológico para la plantación de piñón.

La especie con mayor abundancia correspondió a *Euphoria pulchelle*, encontrándose en brotes florales por lo que se espera contribuyan a la polinización.

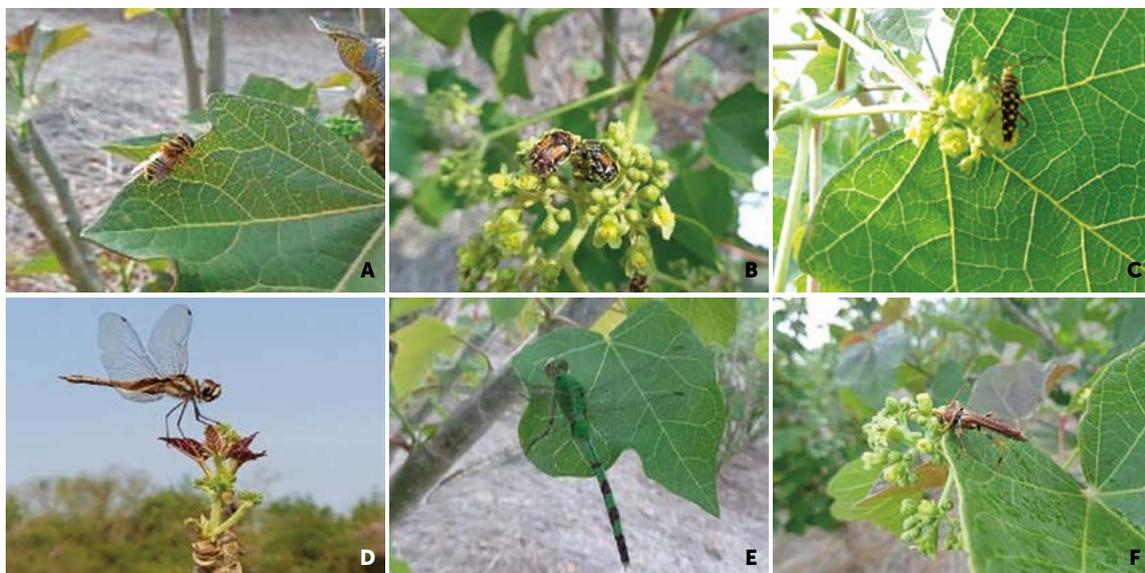
Además se identificaron otras especies como Arácnidos (arañas), Tettigoniidae (saltamontes), Acrididae (langostas), Cixiidae (ninfa), Flatidae (salta-planta), Scutelleridae (chinchas gregarias) Coreidae (chinchas), Apidae (abeja), Asilidae (moscas asilidae), Cerambycidae (escarabajos), Syrphidae (sírfido), Tiphiidae (avispa), y Odonata (libélulas).

Las horas en las que se pudo observar la mayor presencia de insectos fue de 8 a 11 am. De acuerdo a la literatura, existen autores que se contradicen sobre insectos plaga de *Jatropha curcas*, entre los que se describen *Empoasca kraemeri*, la cual provoca clorosis

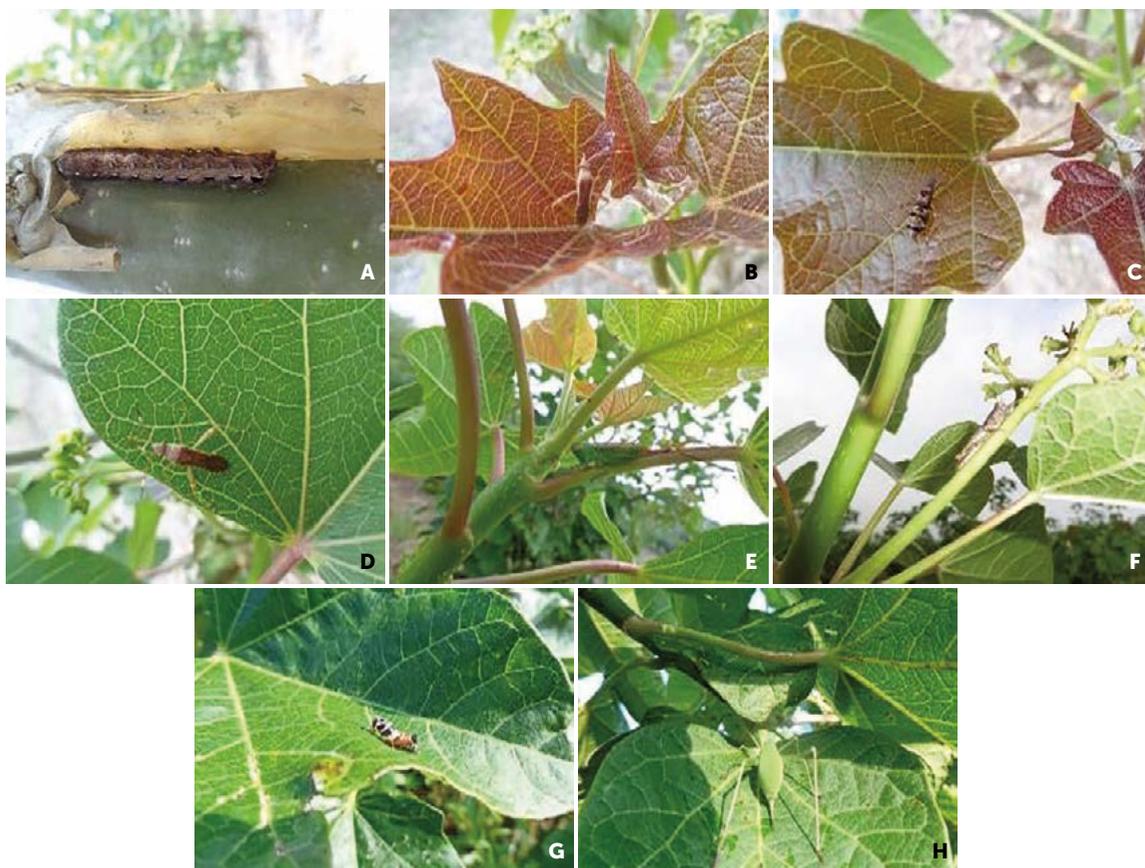
y encorvamiento en la hoja (De Olivera et al., 2010), *Polyphagotarsonemus latus*, y *Tetranychus bastosi*, que causan daños a órganos de la flor y hoja (Almeida et al., 2011), y así como *Scutellera perplex*, que ocasiona la caída de frutos y semillas, (Sahaid et al., 2011). En este estudio no se observaron estas especies.

## CONCLUSIONES

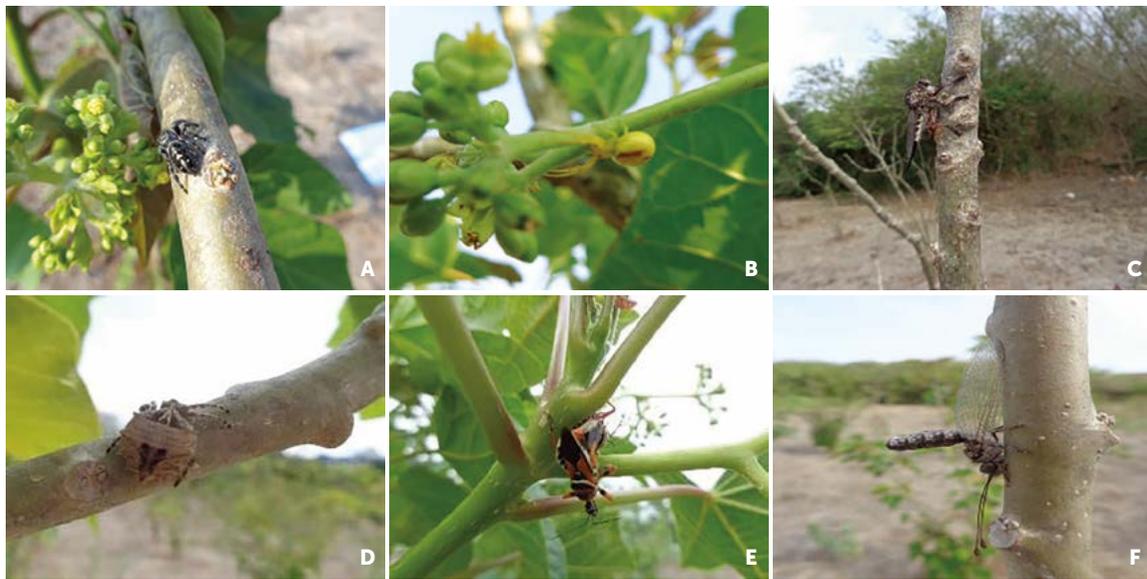
La fauna entomológica asociada a piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.), es muy diversa y se incrementa al inicio de la brotación vegetativa. Los principales grupos funcionales fueron polinizadores, herbívoros, depredadores y plagas que afectan diferentes partes de la planta. Los insectos, polinizadores contribuyen al incremento de frutos, pero estos resultan se presentan en menor proporción que los insectos plaga.



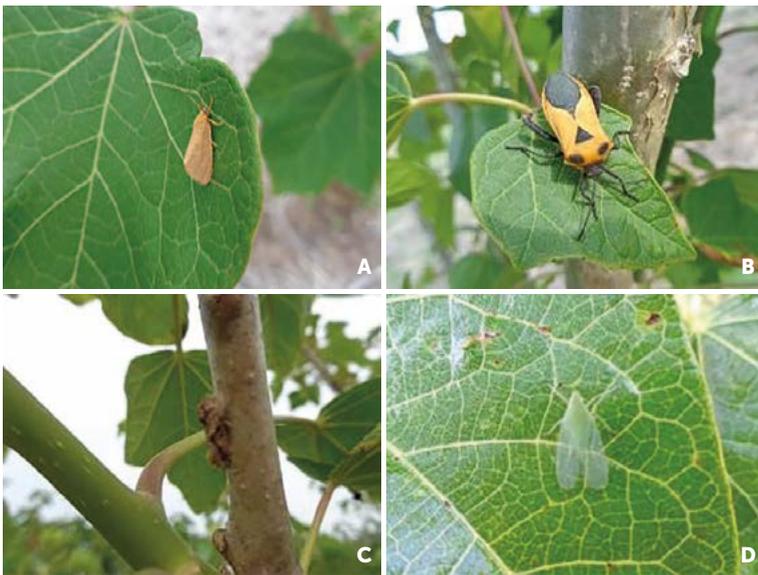
**Figura 1.** Insectos polinizadores presentes el cultivo de *Jatropa curcas* L. A) Familia Syrphidae, B) Especie *Euphoria pulchella* (Gory y Percheron), C) Familia Cantharidae, D) y E) Familia Libellulidae, F) Familia Cerambicidae.



**Figura 2.** Insectos defoliadores y chupadores presentes el cultivo de *Jatropa curcas* L. A) Género *Spodoptera*, B), C) y D) Familia Pyrrhocoridae, E) Familia Eumastacidae, F) Familia Acridae, G) Género *Melanoplus*, H) Familia Tettigoniidae.



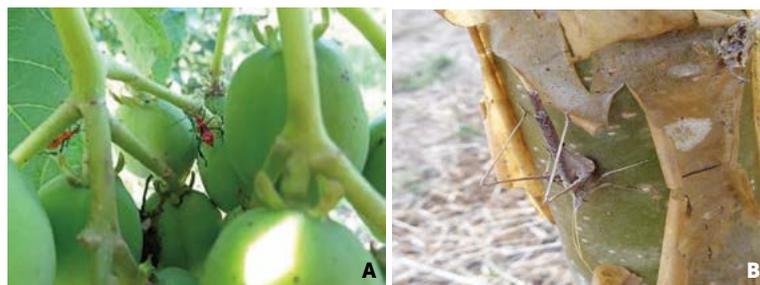
**Figuras 3.** Insectos depredadores presentes el cultivo de *Jatropha curcas* L. A) Orden Neuroptera, B), D) y E) Familia Thomisidae, C) Familia Asilidae, F) Familia Reduviidae.



**Figura 4.** Insectos succionadores presentes el cultivo de *Jatropha curcas* L. A) Familia Flatidae, B) Reduviidae, C) Género *Spodoptera* sp., D) Familia Chrysopidae.



**Figura 5.** Insectos parásitos presentes el cultivo de *Jatropha curcas* L. A) Familia Ctenuchidae y B) Familia Cerambycidae.



**Figura 6.** Insectos comedores de tallos presentes en el cultivo de *Jatropha curcas* L. A) Familia Coreidae y B) Familia Acrididae.

## AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz por la realización del proyecto de investigación.

## LITERATURA CITADA

Almeida S.R., Macedo R.D., Faraji F., Erasmo E., Lemos F., Teodoro A., Toshihiro K.W., Rodrigues G., Pallini A. 2011. Suitability of the predatory mites *Iphiseiodes zuluagai* and *Euseius concordis* in controlling *Polyphagotarsonemus latus* and *Tetranychus bastosi* on *Jatropha curcas* plants in Brazil. *Experimental and Applied Acarology* 53:203-214.

BUNCA.1997. Realización de podas en el cultivo de tempate. Boletín Costivo del Tempate en Nicaragua. Biomass Users Network, Costa Rica Proyecto Biomasa de Nicaragua con cooperación técnica del Gobierno de Austria. 38 p.

De la Vega L. J. A. 2006. *Jatropha curcas* L. Agro-Energía. En línea. <http://www.3wmexico.com/images/JatrophaResumen.pdf>. (Consultado 27 de mayo de 2014). 11 p.

De la Vega L. J. A. 2008. *Jatropha curcas* L. Agroenergía Consultor Independiente México. 21 pp *In*: <http://j.delagal.googlepages.com/agroenergy>. (Consultado 23 de Junio 2014).

De Olivera H.N., Da Silva C.J., Abot A.R., Araujo D.I. 2010. Cigarrita verde en cultivos de *Jatropha curcas* en el Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Colombiana de Entomología* 36:52-53.

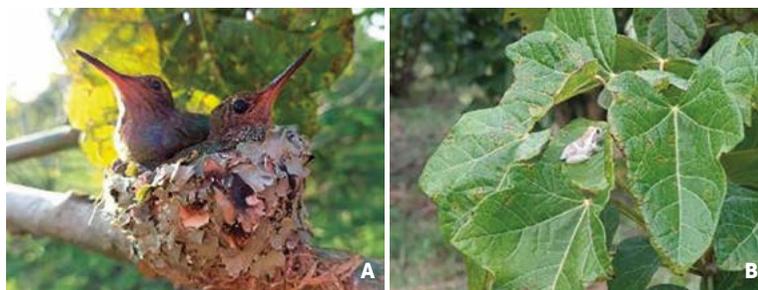
Garcete L., Orrego A., Rodríguez H. 2009. Primeros reportes de patógenos de *Jatropha curcas* en Paraguay en cultivos implantados, pp. 1-5. *In*: I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso, novembro 2009, Brasília-DF, Brasil. pp. 1-5.

García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación de Koppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 91 p.

Heller J. 1996. Physicnut (*Jatropha curcas* L.) Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Rome, Italy. pp. 35-40.

Jones N., Miller, J.H. 1992. "Jatropha curcas: A multipurpose species for problematic sites". The World Bank, Washington D.C., USA, ASTG Technical Papers-Land Resources. 1:1-12.

Kumar A., Sharma S., Pathak D.V., Beniwal J. 2011. Integrated management of *Jatropha* root rot caused by *Rhizoctonia bataticola*. *Journal of Tropical Forest Science* 23:35-41.



**Figura 7.** Otras especies presentes en plantas de *Jatropha curcas*.

López-Guillén G., Gómez-Ruiz J., Barrera-Gaytán J.F., Herrera-Parra E., Hernández-Arenas M., Bravo Mosqueda E. Zamarripa-Colmenero A. 2013. Artrópodos asociados a piñón (*Jatropha curcas* L.) en el sur de México. SAGARPA-INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa, Folleto Técnico Núm. 29. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 70 p.

Martínez-Herrera J., 2007. Perfil Nutricional de semillas de *Jatropha curcas* L. provenientes de Michoacán. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*. Evangelista. 16:313-314.

Martínez-Herrera J., 2007. El piñón Mexicano: una alternativa para México. *Revista Digital Universitaria* 8:1-10 No. 12 ISS: 1607-6079.

Morales-Morales C.J., Aguilar-Astudillo E., Quiroga-Madriral R.R., Rosales-Esquinca. M. A. 2011. Insects associated with the fruit of the pine nut (*Jatropha curcas* L.) in Villaflores and Villa Corzo, Municipalities, Chiapas, México. *Dugesiana* 18(1):85-89.

Quiroga-Madriral R. R., Aguilar-Astudillo E., Morales-Morales C.J., Rosales-Esquinca M.A., Gil-Martínez G. 2010. Guía ilustrada de insectos y arañas asociados al piñón (*Jatropha curcas* L.) en Chiapas, México, con énfasis en la Depresión Central. Talleres Gráficos, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 135 p.

SAGARPA. 2012. Programa de Producción Sustentable de insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico. Disponible en [http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/PROINBIOS\\_20091013.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/PROINBIOS_20091013.pdf) (Consultado 27 de mayo de 2014).

Sahaid K., Srisvastava V., Rawat K.K. 2011. Impact assessment of fruit predation by *Scutellera perplexa* westwood on the reproductive allocation of *Jatropha*. *Biomass and Bioenergy* 35:4684-4689.

Worang R.L., Dharmaputra O.S., Syarief R., Miftahudin 2008. The quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seed packed in plastic material during storage. *Biotropia* 15:25-36.

# EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA DEL ACEITE DE *Jatropha curcas* L., *Oecopetalum mexicanum* Y *Pistacia vera*

## ENZYMATIC EXTRACTION OF OIL FROM *Jatropha curcas* L., *Oecopetalum mexicanum* AND *Pistacia vera*

Ovando-Chacón, S.L.<sup>1\*</sup>; Nolasco-Arroyo, B.<sup>1</sup>; Abud-Archila, M.A.<sup>1</sup>; Ovando-Chacón, G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Carretera Panamericana, km 1080. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. <sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Veracruz. Calzada Miguel Ángel de Quevedo No. 2779. Veracruz, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: ovansandy@hotmail.com; slovando@ittg.edu.mx

### ABSTRACT

The effect of the solid: liquid ratio (1: 3, 1: 4, 1: 5 and 1: 6) on the extraction of the oil of cacaté (*Oecopetalum mexicanum*), piñón (*Jatropha curcas*) and pistachio (*Pistacia vera*) using Viscozyme L for 4 hours and the kinetics of the oil extraction process were obtained during 7 hours with sampling every 30 min. The results showed that the solid: liquid ratio had a significant statistical effect ( $P \leq 0.05$ ) on the extraction yields of the oil, observing that for the three seeds the ratio 1: 5 allowed a higher yield in the oil extraction, being these 52, 46, 11% for cacaté, piñón and pistachio, respectively. In relation to the extraction kinetics, they followed a typical behavior, obtaining the maximum percentages of extraction around 6 and 7 h.

**Keywords:** *Jatropha curcas*, *Oecopetalum mexicanum*, hydrolytic enzymes, oil.

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de la relación sólido:líquido (1:3, 1:4, 1:5 y 1:6) sobre la extracción del aceite de cacaté (*Oecopetalum mexicanum*), de piñón (*Jatropha curcas*) y de pistacho (*Pistacia vera*) empleando Viscozyme L durante 4 horas y se obtuvieron las cinéticas del proceso de extracción del aceite durante 7 horas con muestreo cada 30 min. Los resultados mostraron que la relación sólido:líquido tuvo un efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.05$ ) sobre los rendimientos de extracción del aceite, observándose que para las tres semillas la relación 1:5 permitió un mayor rendimiento en la extracción del aceite, siendo estos 52, 46, 11% para cacaté, piñón y pistacho, respectivamente. En relación a las cinéticas de extracción estas siguieron un comportamiento típico, obteniéndose alrededor de las 6 y 7 h los máximos porcentajes de extracción.

**Palabras clave:** *Jatropha curcas*, *Oecopetalum mexicanum*, enzimas hidrolíticas, aceite.

## INTRODUCCIÓN

El método de extracción del aceite de semillas oleaginosas es un proceso determinante para maximizar rendimientos. En la actualidad existen dos métodos de extracción de aceite: mediante solventes y por prensado, los cuales pueden afectar directamente el rendimiento de extracción de aceite y su calidad (Sant'Anna *et al.*, 2003), así como la calidad de la harina residual (Taha y Hassanein, 2007). A pesar de ser ampliamente usados en la industria (Guerra y Zúñiga, 2003; Sant'Anna *et al.*, 2003; Taha y Hassanein, 2007; De Moura *et al.*, 2008; Latif y Anwar, 2008), estos métodos pueden demeritar las características del aceite, y ocasionar problemas en la seguridad industrial y ambiental debido a los solventes usados (Taha y Hassanein, 2007; Latif y Anwar, 2008). Dentro de los solventes de mayor uso en este proceso destaca el hexano, y debido a las implicaciones ambientales, de seguridad industrial y salud humana se han buscado nuevas alternativas ecológicas de extracción (Latif y Anwar, 2008; Mojtaba y Fardin, 2013).

La extracción con fluidos supercríticos y el uso del agua-enzimas como agente ecológico de extracción están surgiendo como métodos alternativos de extracción de aceites (Taha y Hassanein, 2007; De Moura, *et al.*, 2008; Latif y Anwar, 2008; Lianzhou *et al.*, 2011). La extracción acuosa-enzimática del aceite ha emergido como una técnica competente en ciertos materiales oleaginosos (Lianzhou *et al.*, 2011), por la alta especificidad que tienen las enzimas y las condiciones de operación moderadas principalmente su acción a bajas temperaturas (Mojtaba y Fardin, 2013).

En los últimos años, se ha descrito diversas investigaciones referentes a la extracción acuosa de aceites vegetales asistida por enzimas, ofreciendo diversas ventajas comparadas con la extracción convencional. El objetivo principal del uso de las enzimas durante la extracción acuosa del aceite es hidrolizar la estructura de los polisacáridos que forman la pared celular de las semillas oleaginosas o las proteínas que forman la membrana celular y los cuerpos lipídicos (Taha y Hassanein, 2007; Latif y Anwar, 2008). En la actualidad existen complejos o preparados enzimáticos comerciales de grado alimenticio con actividad múltiple como celulasa, hemicelulasa y pectinasa, que se aplican a las semillas oleaginosas con la finalidad de hidrolizar los componentes de la pared celular de los tejidos (Ovando-Chacón y Waliszewski, 2005).

Cada semilla oleaginosa tiene una composición estructural específica, por lo que la elección del sistema enzimático es crítico para la eficiencia en la extracción de aceite (Yingyao *et al.*, 2008; Amante *et al.*, 2012; Rong *et al.*, 2017). Por otro lado, las condiciones de reacción tales como relación sólido:líquido, pH, temperatura, concentración de enzima y tiempo de reacción, influyen sobre el grado de hidrólisis y efectividad del proceso (Taha y Hassanein, 2007). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la relación sólido:líquido sobre el rendimiento de extracción de aceite de tres semillas oleaginosas: *Oecopetalum mexicanum*, *Jatropha curcas* y *Pistacia vera*, utilizando el complejo enzimático Viscozyme L.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas de cacaté (*Oecopetalum mexicanum*), de piñón (*Jatropha curcas*) y de pistacho (*Pistacia vera*) fueron adquiridas en el mercado del municipio de Tecpatán, Chiapas. Semillas enteras sin daño visual fueron seleccionadas para todos los tratamientos (Sant'Anna *et al.*, 2003) las cuales fueron empacadas en bolsas negras y almacenadas a 4 °C hasta su utilización. La testa fue eliminada manualmente y posteriormente, la semilla se molió y tamizó hasta un tamaño de partícula de 0.841 mm y finalmente dispuesto en frascos color ámbar y almacenadas a 4 °C hasta su uso (Guerra y Zúñiga, 2003; Belén-Camacho *et al.*, 2005). Antes de todas las pruebas, las semillas fueron equilibradas en temperatura manteniéndolas durante 12 horas a temperatura ambiente.

Para realizar la extracción del aceite, 5 g de las semillas molidas fueron sumergidas en agua (según la relación sólido:líquido del tratamiento) contenida en un matraz Erlenmeyer durante 24 h con la finalidad de hidratar las semillas, posteriormente se adicionó el complejo enzimático Viscozyme L al 2%. Los matraces se mantuvieron en agitación a 200 rpm durante 4 h a temperatura de 30 °C. El aceite fue extraído de las semillas utilizando diferentes relaciones sólido: líquido (1:3, 1:4, 1:5 y 1:6 p/v). Posteriormente, los matraces fueron sometidos a un tratamiento térmico mediante inmersión del matraz en un baño de agua a 100 °C durante 5 min, seguido de un baño frío por 5 min para inactivar la enzima. Para recuperar el aceite, las muestras se sometieron a centrifugación durante 25 min a 20,000 rpm y en refrigeración (4 °C). El aceite obtenido fue pesado con la finalidad de calcular el rendimiento de proceso. Todos los tratamientos fueron realizados por triplicado. El rendimiento de

proceso fue calculado con la ayuda del contenido inicial de aceite en los granos. Este fue determinado mediante extracción con hexano en equipo Soxhlet durante 6 h de reflujo (AOAC, 1998).

Una vez encontrada la relación sólido:líquido que maximizó el rendimiento de extracción de aceite, se realizaron las cinéticas de 7 h mediante la toma de muestra cada 30 min.

Se estableció un diseño unifactorial completamente aleatorizado para evaluar el efecto de la relación sólido:líquido. Se realizó un análisis de varianza y la comparación de las medias fueron analizadas con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Cada tratamiento se realizó por triplicado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo de investigación se estudió la influencia de la relación sólido:líquido sobre el porcentaje de extracción del aceite observándose que esta tiene un efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) sobre los rendimientos de extracción del aceite independientemente de la semilla empleada. En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos de extracción del aceite para las tres semillas. Los resultados presentados en el Cuadro 1 muestran que para las tres semillas, la relación 1:5 y 1:6 p/v son las que maximizaron los rendimientos de extracción de aceite, con una relación inferior se

obtuvieron menores rendimientos estos resultados concuerdan con lo reportado por Lianzhou et al. (2011) quienes evaluaron la relación sólido:agua en la extracción enzimática del aceite de semilla de pino. Rendimientos de extracción similares fueron reportados para *Jatropha curcas* empleando una combinación de cuatro complejos enzimáticos: Pectinex Ultra SP-L, Promozyme, Cellulase y Protizyme (Gupta et al., 2005), para *O. mexicanum* no se ha reportado la extracción del aceite empleando enzimas solamente existe un estudio en donde se menciona que su contenido de grasa total es de 60% (Jiménez et al., 2013), para *Pistacia khinjuk* los autores Mojtaba y Fardin (2013) reportaron rendimientos de hasta 51.5 y 54.6% empleando una relación de 1:6 p/v

y las enzimas proteasa y  $\alpha$ -amilasa respectivamente a las 16 h de incubación enzimática.

La relación sólido:líquido es un factor importante debido a que se requiere de la interacción enzima-sustrato para que ésta actúe sobre la estructura de la semilla mejorando los rendimientos de extracción de aceite (Lianzhou et al., 2011). Sin embargo, es importante encontrar la relación que maximice la extracción. Picuric-Jovanovic et al. (1997) mencionan que una adecuada relación sólido:líquido permitirá el acceso de la enzima a la pared celular de la semilla oleaginosa ya que permite la difusión de la enzima hacia el sustrato. Soluciones muy diluidas dificultan la separación del aceite debido a que se favorece la formación de una emulsión estable (De Moura et al., 2008), observándose disperso el aceite en el agua en forma de gotas muy pequeñas.

El rendimiento promedio en la extracción de aceite de las semillas por el método Soxhlet fue de 40, 58 y 50% para cacaté (*Oecopetalum mexicanum*), piñón (*Jatropha curcas*) y de pistacho (*Pistacia vera*), respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Makkar et al. (1998) para el piñón (55-62%) quienes utilizaron el método de Soxhlet. En el caso del cacaté, el resultado del rendimiento de extracción (40%) es superior a lo reportado por Centurión et al. (2000) quienes mencionan un contenido de grasa de 30.7% pero inferior a lo reporta-

do por Jiménez et al. (2013) que fue de 60%, mientras que Woodroof (1979) reportó valores superiores a los nuestros (50%) para el pistacho (54.70-58.30%). La variación podría deberse a las condiciones de extracción del aceite (So-

lís-Fuentes et al., 2001), la localización geográfica de la zona de recolección, la época de cosecha y los cambios climáticos durante el cultivo (Matos y Acuña, 2010).

Si comparamos los rendimientos en la extracción del aceite podemos observar que la extracción enzimática es mejor para el caso del cacaté pero resultó tener menor rendimiento de extracción para piñón y pistacho. Las diferencias de la eficiencia del complejo enzimático podría deberse a que las semillas oleaginosas tienen

**Cuadro 1.** Rendimiento de extracción del aceite de semilla de cacaté (*Oecopetalum mexicanum*), de piñón (*Jatropha curcas*) y de pistacho (*Pistacia vera*).

Relación sólido:líquido	Porcentaje de rendimiento de extracción		
	<i>J. curcas</i>	<i>O. mexicanum</i>	<i>P. vera</i>
1:3	39.1±0.08 <sup>b</sup>	6.0±0.01 <sup>c</sup>	6.0±0.1 <sup>b</sup>
1:4	25.3±0.09 <sup>c</sup>	16.0±0.10 <sup>b</sup>	6.7±0.2 <sup>b</sup>
1:5	45.5±0.15 <sup>a</sup>	55.3±0.15 <sup>a</sup>	12.0±0.2 <sup>a</sup>
1:6	45.7±0.60 <sup>a</sup>	52.0±0.20 <sup>a</sup>	11.3±0.1 <sup>a</sup>

\*Letras distintas en cada columna (para cada especie oleaginosa) indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey;  $P \leq 0.05$ ).

diferente composición lignocelulósica. Viscozyme L es un complejo enzimático con múltiples actividades principalmente celulasa aunque también contiene hemicelulasa, xilanas, arabanasa y  $\beta$ -glucanasa. La actividad celulasa rompe la estructura de la pared celular del cotiledón mejorando la permeabilidad de las paredes celulares de las semillas provocando una hidrólisis parcial de la pared celular, facilitando de esta forma la liberación del aceite. En este estudio la semilla de *J. curcas* presentó un contenido de celulosa de  $40.87 \pm 0.334\%$  mientras que la semilla de *O. mexicanum* presentó menor contenido siendo de  $35.24 \pm 1.39\%$ ; para *Pistacia vera* no fue determinado.

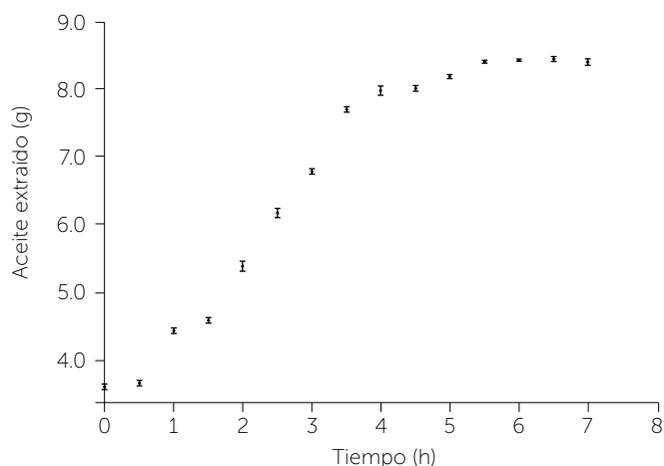
En relación a las cinéticas de extracción (Figura 1, 2 y 3) éstas siguieron un comportamiento típico, ya que conforme se incrementó el tiempo de hidrólisis enzimática de las semillas los gramos de aceite extraídos también aumentaron, obteniéndose alrededor de las 6 h de extracción acuosa-enzimática el equivalente a un 89.5% de rendimiento de extracción del aceite de *Jatropha curcas* y a las 7 h se obtuvo un 71.2% de rendimiento de extracción del aceite de *Oecopetalum mexicanum*, siendo estos rendimientos los máximos porcentajes de extracción obtenidos. Con *Pistacia vera* el máximo porcentaje de extracción obtenido fue sólo del 12% a las 4 h de hidrólisis enzimática de las semillas, lo cual puede ser atribuido a la naturaleza química de la semilla.

## CONCLUSIONES

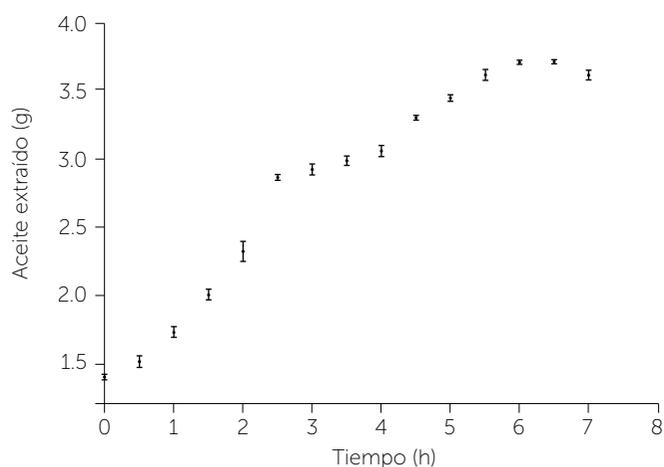
**Los resultados** demuestran que en el proceso de extracción acuoso-enzimático de semillas oleaginosas, la relación sólido:líquido tiene un efecto significativo sobre el rendimiento de extracción, así mismo el complejo enzimático Viscozyme L es una opción viable para obtener buenos rendimientos de extracción de aceite de *Jatropha curcas* y *Oecopetalum mexicanum*. Sin embargo, en relación a *Pistacia vera* aunque la relación sólido:líquido si tuvo un efecto significativo, el rendimiento de extracción fue muy bajo empleando el complejo enzimático Viscozyme L.

## LITERATURA CITADA

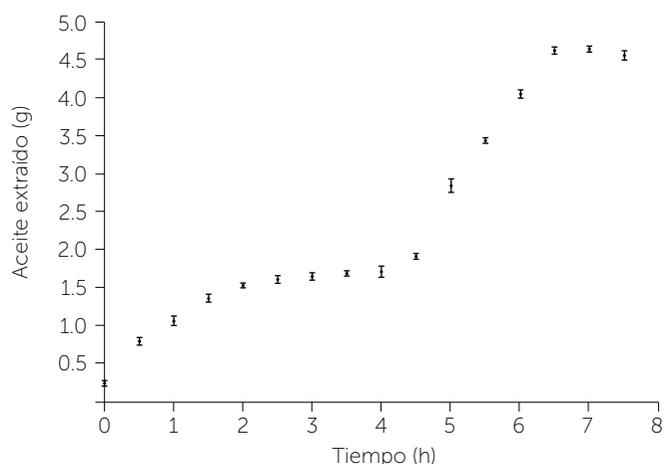
Amante E. R., Rovaris A. A., Odebrecht C. D., Pedroso I. D. C., Cirra R. M. S., de Francisco A., Petkowicz C. L. O. 2012. Chemical composition of solid waste and effect of enzymatic oil extraction on the microstructure of soybean (*Glycine max*). Industrial Crops and Products 36: 405-414.



**Figura 1.** Cinética de extracción del aceite de piñón (*Jatropha curcas*) empleando el complejo enzimático Viscozyme L.



**Figura 2.** Cinética de extracción del aceite de cacaté (*Oecopetalum mexicanum*) empleando el complejo enzimático Viscozyme L.



**Figura 3.** Cinética de extracción del aceite de pistacho (*Pistacia vera*) empleando el complejo enzimático Viscozyme L.

- Belén-Camacho D. R., López I., García D., González M., Moreno-Álvarez M. J., Medina C. 2005. Evaluación fisicoquímica de la semilla y del aceite de corozo (*Acrocomia aculeata* Jacq). *Grasas y Aceites* 56: 311-316.
- Centurión H. D., Espinoza M. J., Cázares C. J. G. 2000. Catálogo de plantas de uso alimentario tradicional en la región sierra del estado de Tabasco. Fundación Produce Tabasco-ISPROTAB, México. pp. 1, 15, 23, 25, 26.
- De Moura J. M. L. N., Campbell K., Mahfuz A., Jung S., Glatz C. E., Jhonson L. 2008. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from soybeans and cream de-emulsification. *Journal of American Oil Chemists' Society* 85: 985-995.
- Guerra E. G., Zúñiga M. E. 2003. Tratamiento enzimático en la extracción de aceite de pipa de uva, *Vitis vinifera*, por prensado en frío. *Grasas y Aceites* 54: 53-57.
- Gupta M. N., Shah S., Sharma A. 2005. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bioresource Technology* 96: 121-123.
- Jiménez M., Hernández B., Luna G., García O., Mendoza M. R., Azuara E., Beristain C. I. 2013. Extraction and characterization of *Oecopetalum mexicanum* seed oil. *Industrial Crops and Products* 43: 355-359.
- Latif S., Anwar F. 2008. Quality assessment of *Moringa concanensis* seed oil extracted through solvent and aqueous-enzymatic techniques. *Grasas y Aceites* 59: 69-75.
- Lianzhou J., Yang L., Xiaonan S., Shengnan W. 2011. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of pine kernel oil by response Surface methodology. *Procedia Engineering* 15: 4641-4652.
- Makkar H. P. S., Becker K., Schomook B. 1998. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 52: 31-36.
- Matos C. A., Acuña H. J. 2010. Influencia del tiempo, tamaño de partícula y proporción sólido líquido en la extracción de aceite crudo de la almendra de durazno (*Prunus persica*). *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1: 1-6.
- Mojtaba A., Fardin K. 2013. Optimization of enzymatic extraction of oil from *Pistacia khinjuk* seeds by using central composite design. *Food Science and Technology* 1: 37-43.
- Ovando-Chacón S. L., Waliszewski K. N. 2005. Preparativos de celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. *Universidad y Ciencia* 21: 113-122.
- Picuric-Jovanovic K., Vrbaski Z., Milovanovic M. 1997. Aqueous-enzymatic extraction of plum kernel oil. *European Journal of Lipid Science and Technology* 99: 433-435.
- Rong J., Wu C., Xiao Y., Lin W., Li J., Zhang S., Zhu J. 2017. Aqueous enzymatic process for cell wall degradation and lipid extraction from *Nannochloropsis* sp. *Bioresource Technology* 223: 312-316.
- Sant'Anna B. P. M., Freitas S. P., Coelho M. A. Z. 2003. Enzymatic aqueous technology for simultaneous coconut protein and oil extraction. *Grasas y Aceites* 54: 77-80.
- Solís-Fuentes, J. A., Tapia-Santos, M., Durán-de-Bazúa, M. C. 2001. Aceite de almendra de zapote mamey, un análisis de rendimientos y condiciones de extracción. *Información Tecnológica* 12: 23-28.
- Taha F. S., Hassanein M. M. 2007. Pretreatment of cottonseed flakes with proteases and an amylase for higher oil yields. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58: 297-306.
- Woodroof, J. G. 1979. Tree Nuts: production, processing, products: Pistachio nuts: 572-603. Avi Publishing Company Inc. Westport, Connecticut.
- Yingyao W., Zhang W., Shangwei C., Fei H. 2008. Aqueous enzymatic extraction of oil and protein hydrolysates from peanut. *Food Science and Technology Research* 14: 533-540.





# ASLAMIENTO Y SELECCIÓN *in vitro* DE CEPAS NATIVAS DE *Trichoderma* spp. PARA EL BIOCONTROL DE *Fusarium* sp. EN *Euphorbia pulcherrima*

## ISOLATION AND *in vitro* SELECTION OF NATIVE STRAINS OF *Trichoderma* spp. FOR THE BIOCONTROL OF *Fusarium* sp. IN *Euphorbia pulcherrima*

Osuna-Canizalez, F.J.<sup>1\*</sup>; Canul-Ku, J.<sup>1</sup>; García-Pérez, F.<sup>1</sup>; Ramírez-Rojas, S.<sup>1</sup>; Rangel-Estrada, S.<sup>1</sup>; Patricio-Paredes, L.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatepec. Carretera Zacatepec-Galeana km 0.5, Zacatepec, Morelos, México.

\*Autor de correspondencia: osuna.felipe@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

Plant wilting due to root rot caused by *Fusarium* sp. is one of the main diseases of poinsettia in Morelos, so that many sprays of chemical fungicides are done to control the disease. This research has as main objective to look for native strains of *Trichoderma* spp. with potential to be used as biocontrol agents against the pathogen. From regional materials used as organic components of potting mixes to grow poinsettia, a number of *Trichoderma* spp. strains were isolated and purified; at the same time, from symptomatic poinsettia plants, strains of *Fusarium* sp. were isolated and purified. Nine strains of *Trichoderma* spp. and five strains of *Fusarium* sp. were selected to be evaluated *in vitro* by the technique of dual culture. Performance of the *Trichoderma* spp. strains to compete for space and nutrients, micoparasitism and antibiosis was evaluated; regression models with best fit were defined for the radial colony growth variable. All the *Trichoderma* spp. strains had higher colony growth rate than *Fusarium* sp. strains; three of the *Trichoderma* spp. strains had a high micoparasitism activity and one showed a strong capacity to modify the color of the growing media. The biocontrol mechanisms of *Trichoderma* spp. against pathogens were observed and it was possible to select the most promising strains.

**Keywords:** *Euphorbia pulcherrima*, wilting, root rot, dual culture, micoparasitism, antibiosis.

### RESUMEN

La secadera de plantas por pudrición de la raíz, causada por *Fusarium* sp., es una de las principales enfermedades de la nochebuena en Morelos, por lo que, para su control se hacen continuas aplicaciones de fungicidas químicos. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo buscar cepas nativas de *Trichoderma* spp. con potencial para el biocontrol del patógeno. Se obtuvieron materiales regionales que se utilizan como componentes orgánicos de sustratos para nochebuena, de los que se aislaron y purificaron gran número de cepas de *Trichoderma* spp.; al mismo tiempo, de raíces de plantas de nochebuena infectadas, se aislaron y purificaron cepas de *Fusarium* sp. Se pre-seleccionaron nueve cepas de *Trichoderma* spp., las cuales se evaluaron *in vitro*, contra tres cepas seleccionadas de *Fusarium* sp., mediante la técnica de cultivos duales. Se evaluó la habilidad de competencia de las cepas de *Trichoderma* spp. por espacio y nutrientes, micoparasitismo, y antibiosis; también, se definieron modelos de regresión con el mayor ajuste para la variable crecimiento radial de colonias. Todas las cepas de *Trichoderma* spp. tuvieron mayores tasas de crecimiento radial que las cepas del patógeno; tres cepas de *Trichoderma* spp. mostraron alta capacidad de micoparasitismo y otra más mostró gran capacidad para modificar radicalmente el color del medio de cultivo. Se observaron los diferentes mecanismos de biocontrol de patógenos en las cepas de *Trichoderma* spp. confrontadas con *Fusarium* sp., lo que permitió seleccionar a las más promisorias.

**Palabras clave:** *Euphorbia pulcherrima*, secadera, pudrición de raíz, cultivos duales, micoparasitismo, antibiosis.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 21-27.

**Recibido:** julio, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

## INTRODUCCIÓN

**En México,** en 2014 se reportó una producción de 14.7 millones de plantas terminadas de nochebuena, de las cuales Morelos contribuyó con 6.1 millones de plantas, para ubicarse como el mayor productor a nivel nacional (SIAP, 2014).

En Morelos, uno de los principales problemas fitosanitarios del cultivo de nochebuena, es la muerte por marchitez de la planta, causada por la pudrición de la raíz (Osuna *et al.*, 2012), cuyo patógeno es *Fusarium* sp. (García *et al.*, 2009).

Para el control de esta enfermedad, se utiliza un gran número de fungicidas de síntesis química (García, 2009), lo que incrementa el costo de producción y los riesgos a la salud humana.

El uso de agentes de control biológico para prevenir o controlar enfermedades en plantas cultivadas, es una alternativa sustentable que ha mostrado efectividad en amplio número de casos (Lorito *et al.*, 2010).

Productos a base de *Trichoderma* son los más recomendados a nivel mundial como agentes de biocontrol (Woo *et al.*, 2015; Harman *et al.*, 2010). Adicionalmente, algunos metabolitos secundarios sintetizados por *Trichoderma* spp., tienen propiedades de regulación de crecimiento y estimulación de mecanismos de defensa de la planta (Mutawila *et al.*, 2016; Kotasthane *et al.*, 2015; Vinale *et al.*, 2008).

El presente trabajo tuvo como objetivos, aislar cepas nativas de *Trichoderma* spp. de materiales orgánicos regionales, evaluarlas *in vitro* mediante la técnica de cultivos duales y seleccionar las más sobresalientes para evaluar posteriormente *in vivo* su potencial de biocontrol de *Fusarium* sp.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Aislamiento de cepas de *Trichoderma* spp.

Se colectaron muestras de materiales orgánicos de origen diverso, utilizados como componentes de sustratos para cultivar nochebuena, tales como: ocochal – tierra de hoja, lombricomposta y lixiviado de su proceso de obtención, así como de un sustrato común en nochebuena compuesto por 70% de ocochal – tierra de hoja + 30% tepojal (v/v).

El ocochal y la tierra de hoja son los componentes orgánicos más comunes en los sustratos de nochebuena en toda la región central de México (Osuna *et al.*, 2012); por otra parte, el tepojal es el principal componente inorgánico y proviene de depósitos formados durante erupciones volcánicas, ubicados en los estados de México y Veracruz.

Los aislamientos se realizaron a partir de 10 g de cada muestra, los que se depositaron en un matraz erlenmeyer que contenía 90 mL de agua destilada estéril, y se agitó en vortex durante 20 minutos (dilución  $10^{-1}$ ). De la suspensión, se tomó una alícuota de 1 mL y se transfirió a un tubo de ensaye que contenía 9 mL de agua destilada estéril (dilución  $10^{-2}$ ); el procedimiento se repitió hasta obtener diluciones de  $10^{-5}$ . De las tres últimas diluciones se tomó una alícuota de 0.1 mL, la cual se distribuyó de manera homogénea sobre medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), rosa de bengala y ácido láctico al 10%. Se usaron cajas de petri de 9.0 cm de diámetro y el medio de cultivo se preparó de la siguiente manera: 39 g de PDA, 0.5 g de rosa de bengala, más 10 mL de ácido láctico al 10% (v/v), por litro de agua destilada estéril. Las cajas sembradas se incubaron a  $25 \pm 1$  °C durante 7 días.

Una vez desarrolladas las colonias fúngicas características, se realizaron montajes temporales con azul de lactofenol bajo el microscopio compuesto, para identificar la presencia del hongo *Trichoderma* spp., con base en las claves descriptivas de Barnett y Hunter (1978).

### Aislamiento de cepas de *Fusarium* sp.

En viveros comerciales se colectaron plantas de nochebuena con los síntomas de secadera por pudrición de raíz (García *et al.*, 2009). Las muestras de raíces se lavaron y desinfectaron mediante inmersión por 1 min en una solución de hipoclorito de sodio al 2%. Finalmente, se colocaron en cajas petri con el medio utilizado para *Trichoderma* spp, sin rosa de bengala, y se incubaron a  $25 \pm 1$  °C durante 7 días.

Después de ese tiempo, se realizaron montajes temporales con azul de lactofenol y con el microscopio óptico se buscó la presencia de macroconidios, microconidios y fialides propias de *Fusarium* sp., de acuerdo con las descripciones de Leslie y Sommerell (2006).

### Cultivos monospóricos de *Trichoderma* spp. y *Fusarium* sp.

Se sembraron esporas de los cultivos puros de cada hongo aislado; se realizaron diluciones de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-5}$ , de las tres últimas se tomó una alícuota de 100  $\mu$ L y se plaquearon en una caja petri con medio PDA acidificado (sin rosa de bengala en el caso de *Fusarium* sp.). Las cajas sembradas se incubaron por 24 h a  $25 \pm 1$  °C.

Pasadas las 24 h, los aislamientos se observaron al microscopio compuesto para ubicar esporas individuales germinadas, las cuales se transfirieron (cada espora seleccionada) a una nueva caja petri con PDA acidificado, y se incubaron a  $25 \pm 1$  °C durante 5-7 días.

### Pre-selección de cepas

En un ensayo previo se descartaron cepas monospóricas que crecían muy lento o tuvieron problemas de manejo (datos no mostrados). Posteriormente, se realizó una pre-selección inicial a partir de 18 cepas de *Trichoderma* spp. y cinco cepas de *Fusarium* spp. (Cuadro 1), las cuales se sembraron por triplicado, se incubaron a  $25 \pm 1$  °C durante 5 días y cada 24 h se cuantificó el crecimiento radial de las colonias con un vernier digital. Los resultados se sometieron al análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### Cultivos duales de *Trichoderma* spp. vs. *Fusarium* sp.

Se realizaron 27 confrontaciones, producto de la combinación de las nueve cepas de *Trichoderma* spp. y tres cepas de *Fusarium* sp., seleccionadas como se indicó atrás.

Los cultivos duales se llevaron a cabo en cajas petri de 9 cm de diámetro, con PDA acidificado. Para el efecto, de colonias de cepas monospóricas, con sacabocado se tomaron discos de micelio de 5 mm de diámetro, del antagonista y del fitopatógeno, se colocaron a 1 cm del borde de la caja petri, con

una distancia aproximada de 7 cm uno de otro, y se incubó a  $25 \pm 1$  °C durante 3 - 5 días.

Con los datos del crecimiento radial al quinto día de incubación, la habilidad de competencia por espacio y nutrientes de las cepas de *Trichoderma* spp. se estimó con la variable de inhibición del crecimiento radial de la colonia del patógeno, usando la siguiente ecuación:

$$PICR = \frac{CR1 - CR2}{CR1}$$

En donde: PICR=Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de *Fusarium* sp. CR1=Crecimiento radial (mm) de *Fusarium* sp. testigo (sin confrontación con *Trichoderma* spp.). CR2=Crecimiento radial (mm) de *Fusarium* sp. en confrontación con *Trichoderma* spp.

El diseño de tratamientos fue el factorial completo, que arrojó las 27 confrontaciones evaluadas. La unidad experimental fue una caja de petri, con cinco repeticiones. Los valores originales se transformaron de acuerdo con la ecuación:

$$PICRt = \arccos(\sqrt{PICR})$$

para normalizar la distribución de los datos y hacer uniforme la varianza; los valores transformados se sometieron al análisis de varianza y las medias de tratamiento a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Los datos de crecimiento radial de las colonias, registrados diariamente durante siete días, se utilizaron para el análisis de regresión y cálculo de los modelos matemáticos con mejor ajuste. Se aplicó el procedimiento de regresión del SAS (2009), partiendo de modelos especificados

**Cuadro 1.** Nomenclatura de las cepas de *Trichoderma* spp. y su material de origen.

Cepa	Material de origen	Cepa	Material de origen
T 11	100% ocochal-tierra de hoja	T 20	Lixiviado de lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 12	100% ocochal-tierra de hoja	T 21	Lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 13	100% ocochal-tierra de hoja	T 22	Lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 14	100% ocochal-tierra de hoja	T 23	Lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 15	100% ocochal-tierra de hoja	T 24	Lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 16	100% ocochal-tierra de hoja	T 25	Lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 17	100% ocochal-tierra de hoja	T 26	Lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 18	100% ocochal-tierra de hoja	T 27	Lombricomposta estiércol ganado vacuno+50% residuos vegetales
T 19	Testigo comercial (Fithan®)	T 28	70% ocochal+30% tepojal

con la dispersión de los datos observados; la selección del mejor modelo se hizo considerando el mayor valor de  $r^2$  y el menor cuadrado medio del error.

El micoparasitismo de las cepas de *Trichoderma* spp. sobre las cepas de *Fusarium* sp. se evaluó a los 10 días de incubación. Esta variable se estimó mediante la observación directa de la invasión física a la superficie de la colonia del patógeno por el antagonista, utilizando la escala arbitraria propuesta por Ezziyani *et al.* (2004) (Cuadro 2).

El mecanismo de antibiosis se estimó mediante los cambios visibles en la coloración del medio de cultivo o de la colonia de las diferentes cepas de *Fusarium* sp.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pre-selección de cepas *Trichoderma* spp. y *Fusarium* sp.

Se tuvieron diferencias significativas en el crecimiento radial de las colonias de las diferentes cepas de ambos microorganismos (Cuadro 3). Para la siguiente etapa, se seleccionaron las primeras ocho cepas con mayor crecimiento, además de la cepa del testigo comercial (T 19). En el caso de *Fusarium* sp., se seleccionaron las tres cepas de mayor crecimiento radial (Cuadro 3).

### Competencia por espacio y nutrientes

En todas las confrontaciones, el crecimiento radial de *Trichoderma* spp. fue más rápido que el de *Fusarium* sp.;

**Cuadro 2.** Escala para determinar el grado de micoparasitismo de las cepas de *Trichoderma* spp. sobre las cepas de *Fusarium* sp.

Escala	Grado de micoparasitismo
0	Ninguna invasión a la superficie de la colonia del hongo patógeno.
1	Invasión de ¼ de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
2	Invasión de ½ de la superficie de la colonia hongo patógeno.
3	Invasión total de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
4	Invasión total de la superficie de la colonia del hongo patógeno y esporulación sobre ella.

De acuerdo con Ezziyani *et al.* (2004).

en la Figura 1 se ejemplifica con las confrontaciones de la cepa B1A de *Fusarium* sp., contra las nueve cepas de *Trichoderma*.

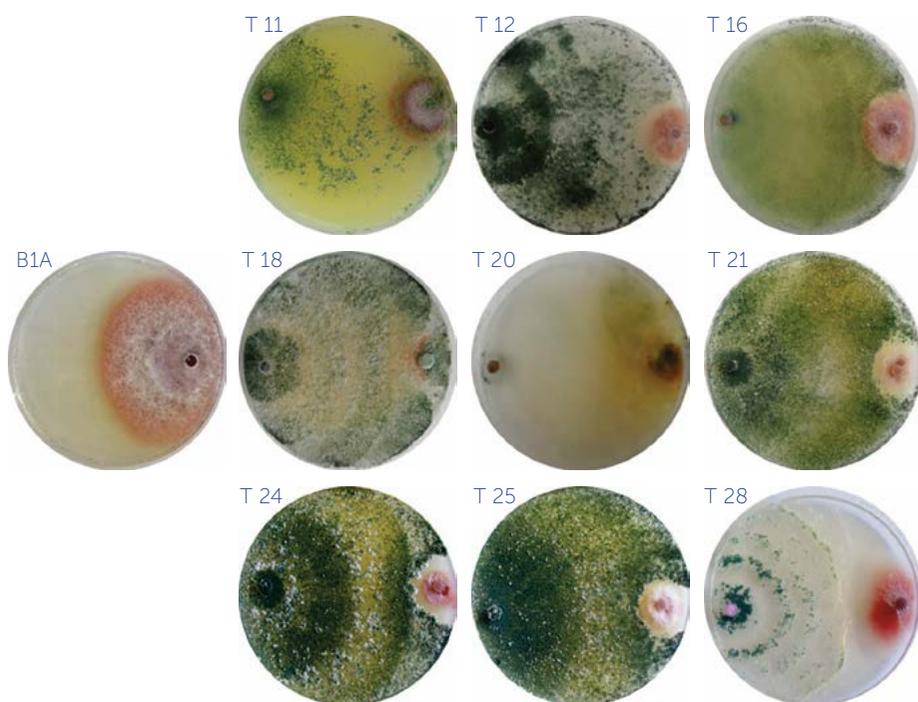
La capacidad de crecimiento rápido es uno de los principales mecanismos de antagonismo de *Trichoderma* spp. contra patógenos (Lorito *et al.*, 2010). Las mayores tasas de crecimiento de *Trichoderma* spp., se pueden apreciar con claridad en las curvas de crecimiento de ambos organismos en las confrontaciones (Figura 2), para el caso de la cepa B1A de *Fusarium* sp. en confrontación contra *Trichoderma* spp. La función logística tuvo el mayor ajuste en casi todas las confrontaciones, por su menor cuadrado medio del error y  $r^2$  promedio de 0.98 para *Trichoderma* spp. y 0.88 para la cepa B1A de *Fusarium* sp. (Figura 2); las curvas de la Figura 2 se trazaron con los valores predichos por el modelo matemático correspondiente, cuya expresión es la siguiente:

$$Y = \frac{a}{1 + be^{-cX}}$$

Y=Crecimiento radial (mm); a, b y c=Parámetros del modelo de regresión; X=Días de incubación.

**Cuadro 3.** Crecimiento radial (mm) de las cepas de *Trichoderma* spp. y *Fusarium* sp. al quinto día de la siembra en caja de petri con PDA acidificado.

<i>Trichoderma</i> spp.				<i>Fusarium</i> sp.	
Cepa	Crecimiento radial (mm)	Cepa	Crecimiento radial (mm)	Cepa	Crecimiento radial (mm)
T 24	84.8	T 19	76.1	X3B	28.0
T 21	84.4	T 22	74.6	A3A	26.5
T 20	82.8	T 23	73.4	B1A	24.0
T 11	82.1	T 14	72.3	C2C	19.8
T 16	81.9	T 26	68.0	C2B	18.8
T 28	81.1	T 27	67.3		
T 25	78.1	T 17	60.9		
T 12	77.5	T 13	36.1		
T 18	76.1	T 15	36.1		
Tukey (P=0.05)	4.6		4.6		2.3



**Figura 1.** Cultivos duales de la cepa B1A de *Fusarium* sp. y nueve cepas de *Trichoderma* spp., en caja de petri con PDA acidificado. En la caja del extremo izquierdo se observa el crecimiento de la cepa B1A de *Fusarium* sp. sola, y en el resto, en confrontación con cada cepa de *Trichoderma* spp. Imágenes de 10 días después de la siembra de los microorganismos.

La proporción de inhibición del crecimiento radial (PICR) de las cepas de *Fusarium* sp. confrontadas contra las cepas de *Trichoderma* spp. varió significativamente (Cuadro 4). El PICR es un efecto derivado tanto de la competencia por espacio y nutrientes como de los metabolitos secundarios excre-

tados por el antagonista, mismos que pueden tener efectos sobre el patógeno, o sobre otros procesos en la planta, más allá del sitio de síntesis (Mutawila et al., 2016; Kostathane et al., 2015).

Michael-Aceves et al. (2009) reportaron PICR de cepas de *Trichoderma*,

en el orden de 0.05 a 0.42 al confrontar *Fusarium subglutinans* y de 0.43 a 0.62 contra *F. oxysporum*.

### Micoparasitismo y antibiosis

Se presentaron diferencias marcadas en el grado de micoparasitismo entre las diferentes confrontaciones. Las cepas T 16, T 18 y T 20 presentaron de manera consistente los valores más altos de micoparasitismo contra las tres cepas de *Fusarium* sp. (Cuadro 5), mientras que las cepas T 21, T 24 y T 25 no presentaron micoparasitismo contra ninguna de las cepas de *Fusarium* sp. (Cuadro 5 y Figura 1).

Michael-Aceves et al. (2009) evaluaron tres cepas de *Trichoderma* sp. en cultivos duales contra *F. oxysporum* y *F. subglutinans* y reportaron valores de micoparasitismo de 1 a 3, en la misma escala utilizada en esta investigación. El mecanismo de antibiosis, estimado por el cambio pronunciado en la coloración del medio de cultivo, solamente se observó en la cepa T 20 contra todas las cepas de *Fusarium* sp. (Figura 1, para el caso de confrontación contra B1A de *Fusarium* sp.).

**Cuadro 4.** Proporción de inhibición del crecimiento radial (PICR) de tres cepas de *Fusarium* sp. por la confrontación con nueve cepas de *Trichoderma* spp., al quinto día de incubación.

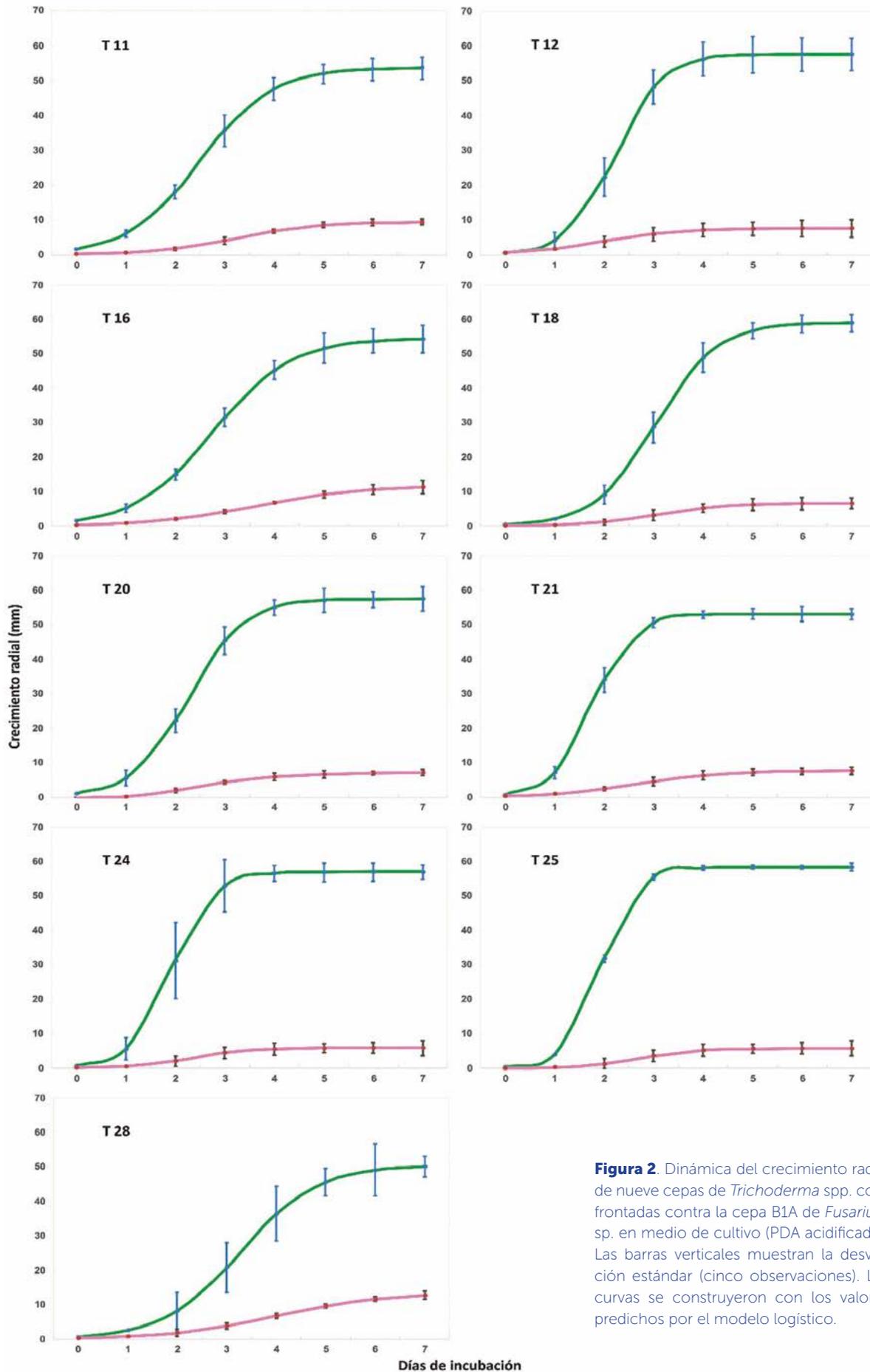
Cepa	X3B		A3A		B1A	
	PICR	PICRt <sup>a)</sup>	PICR	PICRt	PICR	PICRt
T 11	0.29	0.55	0.18	0.42	0.30	0.58
T 12	0.38	0.67	0.29	0.55	0.34	0.62
T 16	0.18	0.42	0.25	0.51	0.33	0.61
T 18	0.14	0.35	0.32	0.60	0.27	0.55
T 20	0.30	0.58	0.41	0.69	0.40	0.68
T 21	0.53	0.82	0.27	0.53	0.42	0.70
T 24	0.38	0.66	0.42	0.70	0.44	0.73
T 25	0.35	0.63	0.47	0.75	0.30	0.58
T 28	0.20	0.11	0.19	0.44	0.15	0.33
Tukey (P=0.05)	--	0.30	--	0.30	--	0.26

a) Proporción de inhibición del crecimiento radial transformado con:  $PICRt = \arcseno\sqrt{PICR}$

**Cuadro 5.** Grado de micoparasitismo (°M) de nueve cepas de *Trichoderma* spp. confrontadas con tres cepas de *Fusarium* sp., al décimo día de incubación.

Cepa	X3B	A3A	C2B
T 11	3	2	3
T 12	1	0	0
T 16	3	2	3
T 18	4	4	4
T 20	4	3	4
T 21	0	0	0
T 24	0	0	0
T 25	0	0	0
T 28	1	0	1

Según la escala de Ezziyani et al. (2004).



**Figura 2.** Dinámica del crecimiento radial de nueve cepas de *Trichoderma* spp. confrontadas contra la cepa B1A de *Fusarium* sp. en medio de cultivo (PDA acidificado). Las barras verticales muestran la desviación estándar (cinco observaciones). Las curvas se construyeron con los valores predichos por el modelo logístico.

## CONCLUSIONES

**Se logró** el aislamiento y selección de cepas monospóricas de *Trichoderma* spp. sobresalientes, las cuales, en confrontaciones contra cepas de *Fusarium* sp., presentaron uno o más de los mecanismos de antagonismo de competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y antibiosis.

## LITERATURA CITADA

- Barnet H., Hunter B. 1978. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. 4th Ed. MacMillan Pub. Company. New York, USA.
- Ezziyani M., Pérez S., Requena M., Rubio L., Candela M. 2004. Biocontrol por *Streptomyces rochei-Ziyani*, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. Anales Biología 26:69-78.
- García P.F., Ramírez R.S., Osuna C.F.J., Ocampo T. 2009. Enfermedades de las principales ornamentales en Morelos. SAGARPA. INIFAP. Campo Experimental Zacatepec. Folleto técnico No. 39.
- García A. 2009. Producción de nochebuena planta terminada. pp. 63-77. En: Osuna, C.F.J., F. García P., S. Ramírez R., L. Granada C. y D.V. Galindo G. (Comp.) Memoria del 7º. Simposium Internacional de Viverismo. Oaxtepec, Morelos, México. ISBN 978-607-425-148-7.
- Harman G.E., Obregón M.A., Samuels G., Lorito M. 2010. Changing models of biocontrol in the developing and developed world. Plant Disease 94: 928-939.
- Kotasthane A., Agrawal T., Kushwah R., Rahatkar O.V. 2015. *In-vitro* antagonism of *Trichoderma* spp. against *Sclerotium rolsii* and *Rhizoctonia solani* and their response towards growth of cucumber, bottle gourd and bitter melon. European Journal of Plant Pathology 141: 523-543.
- Leslie J., Summerell B. 2006. The Fusarium Laboratory Manual. Blackwell Publishing. Iowa. USA.
- Lorito M., Woo L.S., Harman E.G., Monte E. 2010. Translational Research on *Trichoderma*: From Omics to the Field. Annual Review of Phytopathology 48: 19.1-19.23.
- Michael-Aceves A., Otero-Sánchez M., Solano-Pascacio L. 2009. Biocontrol *in vitro* con *Trichoderma* spp. de *Fusarium subglutinans* (Wollenweb y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas y *F. oxysporum* Schlecht., agentes causales de la "escoba de bruja" del mango (*Mangifera indica* L.). Revista Mexicana de Fitopatología 27: 18-26.
- Mutawila C., Vinale F., Halleen F., Lorito M., Mostert L. 2016. Isolation, production and *in vitro* effects of the major secondary metabolite produced by *Trichoderma* species used for the control of grapevine trunk diseases. Plant Pathology 65: 104-113.
- Osuna-Canizalez F.J., Moreno-López M.F., García-Pérez F., Ramírez-Rojas S., Canul-Ku J. 2012. Biocontrol de la pudrición de raíz de nochebuena de interior con *Trichoderma* spp. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 553-564.
- SAS. 2009. The SAS system. Version eight for windows. Cary, N.C. USA.
- SIAP. 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> (Consulta: 28-04-2016).
- Vinale F., Sivasithamparam K., Ghisalberti E.L., Marra R., Woo S.L., Lorito M. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. Soil Biology and Biochemistry 40: 1-10.
- Woo S.L., Ruocco M., Vinale F., Nigro M., Marra N., Lombardi N., Pascale A., Lansuise S., Manganiello, Lorito M. 2015. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. Open Micology Journal 8: 71-126.



# PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE LA SÁBILA (*Aloe vera*)

## MAIN DISEASES OF THE CULTIVATION OF ALOE (*Aloe vera*)

Rubio-Tinajero, S.<sup>1</sup>; Osorio-Hernández, E.<sup>1\*</sup>; Rodríguez-Mejía, M.L.<sup>2</sup>; López-Santillán, J.A.<sup>1</sup>; Estrada-Drouaillet, B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología. Carretera México- Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

\*Autor de correspondencia: eosorio@docentes.uat.edu.mx

---

### ABSTRACT

Aloe (*Aloe vera*) is a species of great importance worldwide and Mexico is one of the main producing countries and the main exporter, with an area sown of 5,538.63 ha; highlighting the state of Tamaulipas with a harvested area of 3,941.89 ha year. However, the crop faces some problems related to phytopathogenic microorganisms (fungi and bacteria) that cause different diseases such as root rot, leaf spot and soft rot.

**Keywords:** Phytopathogen, symptoms, root rot, leaf spot, soft rot.

### RESUMEN

La sábila (*Aloe vera*) es una especie de suma importancia a nivel mundial y México es uno de los principales países productores y el principal exportador, con una superficie sembrada de 5,538.63 ha; destacando el estado de Tamaulipas con una superficie cosechada de 3,941.89 ha al año. Sin embargo, el cultivo enfrenta algunos problemas relacionados con microorganismos fitopatógenos (hongos y bacterias) causantes de diferentes enfermedades como pudrición de la raíz, mancha foliar y putrefacción blanda. En este artículo se hace una descripción de estas enfermedades, los organismos causales y los principales síntomas que presentan.

**Palabras clave:** Fitopatógenos, síntomas, pudrición de raíz, mancha foliar, putrefacción blanda.

## INTRODUCCIÓN

**El género** *Aloe*, pertenece a la familia Xanthorrhoeaceae (Jiménez, 2015) y cuenta con más de 360 especies entre las que destaca *Aloe vera*, comúnmente llamada sábila, que tiene su origen en África, Asia y el Mediterráneo (Calderón-Oliver *et al.*, 2011). Esta especie ha sido ampliamente distribuida en la mayoría de los continentes, principalmente en aquellos que cuentan con zonas de climas cálidos y secos (Gómez, 2003). Los principales países productores de este cultivo son República Dominicana, Venezuela y México (Schmelzer y Gurib-Fakim, 2008). México es considerado el principal productor y exportador de sábila (Álvarez *et al.*, 2012), y solo siete estados son productores, destacando Tamaulipas (Figura 1), entidad que cuenta con una superficie cosechada que corresponde a 3,941.89 ha al año, la mayor producción se encuentra en los municipios de González, Padilla, Jaumave, Llera y Tula (SIAP, 2014).

De la planta de sábila, se obtienen diversos productos como el jugo natural, gel concentrado y gel en polvo, cubriendo la demanda principalmente de Estados Unidos y países europeos (Pedroza-Sandoval *et al.*, 2015). El gel, se utiliza ampliamente en la producción de cosméticos, fármacos y suplementos alimenticios (Patishtán *et al.*, 2010); por consiguiente la comercialización de los subderivados y las características de tolerancia a factores bióticos y abióticos adversos, ha provocado que este cultivo tenga un éxito a nivel mundial (Pedroza y Gómez, 2014). Sin embargo, una de las principales limitantes que afectan el rendimiento y provocan pérdidas económicas, es el ataque de diversos fitopatógenos como los hongos y las bacterias que causan diversas enfermedades en la planta (Jiménez, 2015). El mercado al que se dirige la sábila, establece estándares de calidad y sanidad, por lo tanto es de vital importancia evitar las infecciones causadas por los hongos, dado que algunos géneros producen micotoxinas en el hospedero, provocando riesgos en la salud del consumidor (Kawuri *et al.*, 2012). En Estados Unidos (EUA) se han reportado como los principales fitopatógenos fúngicos, causantes de manchas fo-

liares a *Physalospora* sp., *Alternaria* sp., *Exserohilum* sp., *Botryodiplodia* sp., *Macrophoma* sp., *Microsphaeropsis* sp., *Cercosporidium* sp., *Corynespora* sp., y *Phyllosticta* sp., y en cuanto a las pudriciones radicales se encontró *Phytophthora nicotianae*, *Pythium ultimum*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii* (Lugo *et al.*, 2004). Por otro lado, en las regiones de Asia, Europa y Norte América se han reportado enfermedades en la sábila provocadas por bacterias de los géneros *Erwinia*, *Dickeya* y *Pectobacterium* pertenecientes al grupo pectolítico (Kumar *et al.*, 2011). Debido a la escasa información que se tiene sobre las enfermedades de la sábila, el objetivo de este trabajo ha sido recopilar información acerca de las principales enfermedades de la sábila y los fitopatógenos que las causan.



**Figura 1.** Cosecha de la hoja de sábila en el municipio de Xicoténcatl, Tamaulipas.

## FACTORES QUE LIMITAN LA PRODUCCIÓN DE SÁBILA

La sábila es considerada una planta tolerante a factores bióticos y abióticos, aunque en ocasiones puede presentar afectaciones por enfermedades, deficiencia o exceso de agua, radiación solar, falta de nutrientes, y salinidad del suelo, entre otros, dependiendo del genotipo y los fines para los que se cultive (Pedroza y Gómez, 2014). Sobre las enfermedades de este cultivo existe poca información, que en general han sido provocadas por cuestiones de manejo agronómico

inadecuado (Moreno *et al.*, 2012) en incremento en la superficie sembrada (Lugo *et al.*, 2004). Algunos de los organismos causantes de las enfermedades son hongos, que ocasionan daños en raíz, tallo, y hojas (Ochoa *et al.*, 2007). Además, las bacterias de los géneros *Erwinia*, *Pectobacterium* y *Dickeya* (Mandal y Maiti 2005; Kumar *et al.*, 2011; Jiménez, 2015) son causantes de otras enfermedades en sábila. En una revisión actual se encontró que las principales enfermedades causadas por hongos y bacterias son la pudrición de la raíz, la mancha de la hoja y la putrefacción blanda (Pedroza y Gómez, 2014).

### Microorganismos que causan la pudrición de raíz de la sábila

Dentro de los principales causantes de la pudrición radicular se encuentran los hongos fitopatógenos *Fusarium*

y *Rhizoctonia* (Lugo et al., 2004). Hongos del género *Fusarium* son causantes de enfermedades en más de 100 especies de plantas, incluyendo la sábila, debido a que cuenta con un mecanismo de crecimiento rápido y la producción abundante de colonias (Garces et al., 2001). Este fitopatógeno se encuentran ampliamente distribuidos en el suelo, debido a la capacidad que tiene para desarrollarse a una temperatura de 37 °C (Tapia y Amaro, 2014). Por consiguiente este género representa un problema en los cultivos ya que reducen el crecimiento y pueden ocasionar hasta la muerte de la planta (Magallón-Alcázar et al., 2016; Osorio-Hernández et al., 2016). La especie de *F. oxysporum* (Figura 2) causa la podredumbre de la base, el amarillamiento y el marchitamiento de las hojas y es el principal fitopatógeno de *Aloe barbadensis* siendo esta una de las especies más utilizadas comercialmente (Kawuri et al., 2012). Además *Rhizoctonia solani* Kühn ataca el sistema radicular, el tallo y las partes aéreas, puede descomponer también los órganos de reserva así como causar marchitez y necrosis de las hojas (López-Cruz et al., 2013). En el cultivo de la sábila este hongo se ha reportado como uno de los principales causantes de la pudrición radical ya que provoca el amarillamiento de las hojas, las manchas oscuras en el tallo y la raíz, que con el paso del tiempo se vuelven una pudrición a la altura del tallo y finalmente provocan la caída de las hojas (Lugo et al., 2004).

### Microorganismos que causan la mancha foliar en la sábila

La mancha de la hoja de la sábila es una enfermedad de gran importancia ya que causa grandes pérdidas. Esta enfermedad es causada principalmente por *Alternaria alternata*, que se manifiesta en cualquier parte de la superficie de las hojas, como manchas necróticas de color marrón oscuro y centro grisáceo, con una forma circular u ovals, una vez que la hoja se infecta, empieza a secarse desde la punta, esto trae como consecuencia la reducción del contenido de gel mucilaginoso en la hoja (Ghosh et al., 2016). Además se ha

reportado pérdidas en sábila por *Colletotrichum*, causando hasta 80% de daño; inicialmente se caracteriza por la aparición de lesiones de color marrón claro con margen castaño oscuro que con el paso del tiempo se convierte en manchas secas de color marrón oscuro casi negro (Cedeño et al., 2010), normalmente la mancha se ubica en la superficie y los bordes de las

hojas causando así el endurecimiento de la punta (Pedroza y Gómez, 2014). Por otra parte se ha reportado *Nigrospora oryzae* como otro fitopatógeno, que al inicio de la enfermedad causa manchas cloróticas y de color marrón que se expanden hasta 4 mm de diámetro y con el transcurso del tiempo, su color se vuelve más oscuro. Estas lesiones pueden manifestarse en las puntas de las hojas hasta un 50% por planta, y conforme la infección avanza, las lesiones se unen invadiendo toda la hoja y posteriormente causan la muerte (Alam et al., 2017). Otro de los fitopatógenos que causa daños es *Polyrostrata indica*, principalmente en la superficie de las hojas en forma de manchas redondas y húmedas, que con el paso del tiempo y conforme la infección avanza, las manchas se hunden y se tornan color marrón y por último, toma un color negro pardo causando una necrosis total (Avasthi et al., 2017). Además, se ha reportado a *Phoma eupyrena* Sacc. en los meses lluviosos ya que comienza con una lesión en forma de raspado irregular, alargado

y hundido en la hoja, otros síntomas son en forma de mancha abultada y a medida que la infección avanza las manchas aumentan de tamaño y se pigmentan de un color marrón cremoso que con el tiempo se vuelven lesiones secas y color marrón oscuro hasta verse necrótica (Avasthia et al., 2016).

### Microorganismo que causa pudrición blanda en la sábila

Uno de los organismos causales de la pudrición blanda de la sábila es *Dyckeya* gen. nov. (ex. *Erwinia chrysanthemi*, *Pectobacterium chrysanthemi*) (Samson et al., 2005; Palacio-Bielsa y Cambra-Alvares, 2008). Las especies de este género bacteriano causan importantes



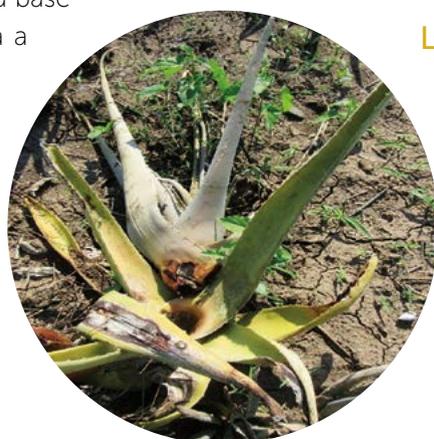
**Figura 2.** A) Crecimiento de *Fusarium* en medio de cultivo Agar dextrosa de papa B) Síntomas de plantas de *Aloe* enfermas por causa del fitopatógeno *Fusarium* (Necrosis en la raíz, amarillamiento y marchitez de las hojas).

pérdidas económicas debido a la gran actividad pectolíticas que macera los tejidos (Figura 3) degradando la pared celular de las plantas (Czajkowski et al., 2015), produciendo múltiples enzimas hidrolíticas que le permiten liberar los nutrientes que permitirán el crecimiento bacteriano (López y Rodríguez, 2009). Por lo tanto *Dickeya* puede producir la pudrición acuosa del pseudo-tallo (Nagaraj et al., 2012), además degrada plantas suculentas y cuenta con un alto índice de sobrevivencia, ya que puede permanecer por largos periodos de tiempo en suelo y desechos vegetales, lo cual tiene por consecuencia la manifestación de infecciones latentes. Este fitopatógeno cuenta con escasas medidas de manejo, lo más recomendado cuando la planta manifiesta síntomas de infección, es la erradicación (Ramírez et al., 2014). Otros estudios muestra que las especies de *Dickeya* conocidas como *D. dadanti*, *D. dieffenbachiae* y *D. Zeae*, son altamente patogénicas sobre la planta de Aloe (Samson et al., 2005).

El género *Dickeya* puede causar pudrición foliar en sábila, con heridas en la base de las hojas y a partir de ahí comienza a degradarse la pared vegetal causando una putrefacción de rápido avance provocando, dentro de la epidermis una formación de gas, inflándose y posteriormente liberando una masa fangosa (Mandal and Maiti 2005; Pedroza y Gómez, 2014). Los síntomas de la enfermedad consisten en lesiones necróticas que presentan una consistencia acuosa al comienzo de la infección y que posteriormente se torna seca del tercio superior de las hojas tiernas del cogollo, una vez que la enfermedad está avanzada el tercio superior se desprende (Figura 4) terminando así el avance del daño dejando solo una cicatriz necrosada (Pedroza et al., 2011).



**Figura 3.** A) Crecimiento de *Dickeya chrysanthemi* en medio de cultivo de Agar Bacteriológico. B) Síntomas de plantas de Aloe enfermas por causa del fitopatógeno *Dickeya chrysanthemi* (Pudrición blanda en tallo que se extiende a través de las hojas).



**Figura 4.** Síntomas de plantas de sábila enfermas por causa de *Dyckeya* gen. nov. (ex. *Erwinia chrysanthemy*, *Pectobacterium chrysanthemi*) caracterizadas por lesiones necróticas de en el tercio superior de las hojas tiernas del cogollo, de consistencia acuosa al comienzo de la infección y se torna seca causando el desprendimiento del tercio superior.

## CONCLUSIONES

El cultivo de la sábila ha resultado ser de gran importancia en el estado de Tamaulipas, México. Sin embargo, el ataque de enfermedades causadas por diferentes especies de bacterias y hongos ha reportado hasta un 14% de pérdidas, lo que ha generado la necesidad de realizar una recopilación de información acerca de los fitopatógenos causantes de enfermedad en el cultivo dando a conocer que existen una gran diversidad de hongos y bacterias responsables de las enfermedad. A fin de contribuir a un manejo sostenible del cultivo, los esfuerzos subsiguientes deben enfocarse a buscar soluciones ecológicas a fin de identificar microorganismos antagonistas que ayuden a revertir el crecimiento de los fitopatógenos en los suelos en los que se cultiva la sábila. Las líneas de investigación por lo tanto deben diseñar las metodologías para identificar cepas específicas de hongos como *Trichoderma* spp. y bacterias como *Bacillus* spp. Brinden la posibilidad de controlar los fotopatógenos del cultivo.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez M.G., Rodríguez G.R., Flores M.A. 2012. Efectos de la certificación sobre la competitividad de la industria de la sábila en México. Revista Mexicana de Agronegocios 30: 921-929.
- Alam M.W., Rehman A., Saira M., Khan N. A., Aslam S., Fiaz M., Muhammad S. 2017. First report of leaf spots in *Aloe vera* caused by *Nigrospora oryzae* in Pakistan. Plant Disease 101: 841.
- Avasthi S A., Gautam K., Bhadauria R. 2016. First report of leaf spot disease caused by *Phoma eupyrena* Sacc. on *Aloe vera* from Madhya Pradesh, India. Archives of Phytopathology and Plant Protection 50: 1-8.
- Avasthi S., Gautam A. K., Bhadauria R. 2017. First report of leaf spot disease caused by *Polyrostrata indica* on *Aloe vera* from Madhya Pradesh, India. Suan Sunandha Science and Technology Journal 4: 14-18.
- Magallón-Alcázar J., Anaya-Flores Y., Zepeda-Jazo I. 2016. Ácidos orgánicos para la mejora

- de germinación y protección ante *Fusarium* sp. Suplemento de Revista Mexicana de Fitopatología 34: 23-24.
- Mandal K., Maiti S. 2005. Bacterial soft rot of Aloe caused by *Pectobacterium chrysanthemi*: a new report from India. Plant Pathology 54: 573.
- Moreno A., López M. Y., Jiménez L. 2012. *Aloe vera* (Sábila) cultivo y utilización. España. Mundi-Prensa. 129 p.
- Nagaraj M.S., Umashankar N., Palanna K.B., Khan A. 2012. Etiology and management of tipover disease of banana by using biological agents. International Journal of Advanced Biological Research 2: 483-486.
- Calderón-Oliver M., Quiñones M.A.P., Pedraza-Chaverri J. 2011. Efectos benéficos del Aloe en la salud. VERTIENTES Revista Especializada en Ciencias de la Salud 14: 53-73.
- Cedeño L., Briceño R.A., Fermín G. 2010. Antracnosis en sábila causada por *Colletotrichum gloeosporioides* en la zona árida del estado Mérida, Venezuela. Fitopatología Venezolana 23: 30-34.
- Czajkowski R., Pérombelon M.C.M., Jafra S., Lojkowska E., Potrykus M., van der Wolf J.M., Sledz W. 2015. Detection, identification and differentiation of *Pectobacterium* and *Dickeya* species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review. The Annals of Applied Biology 166: 18-38.
- Garces G.E., Amezcuita O.M., Bautista G.R., Valencia H. 2001. *Fusarium oxysporum*: El hongo que nos falta conocer. Acta Biologica Colombiana 6: 7-21.
- González-Hernández D. 2002. Estado Actual de la Taxonomía de *Rhizoctonia solani* Kühn. Revista Mexicana de Fitopatología 20: 200-205.
- Gómez C.A.M. 2003. El *Aloe vera* en Medicina. SEMERGEN 29: 382-386.
- Ghosh R., Barman S., Khatun J., Mandal N.C. 2016. Mycology and Plant Pathology Laboratory Biological control of *Alternaria alternata* causing leaf spot disease of *Aloe vera* using two strains of rhizobacteria. Biological Control 97: 102-108.
- Jiménez C.H.E. 2015. Identificación de fitopatógenos asociados a las principales enfermedades del cultivo de sábila en los municipios de agua de dios y ricaurte (Cundinamarca). Revista Tecnología y Productividad Girardot Regional Cundinamarca 1: 35-50.
- Kawuri R., Suprpta D.N., Nitta Y., Homma T. 2012. Destructive leaf rot disease caused by *Fusarium* spp., on *Aloe barbadensis* Miller in Bali. Agricultural Science Research Journal 2: 295-301.
- Kumar Y., Samanta J.N., Mandal K., Gajbhiye N.A. 2011. Phenotypic, pathogenic, molecular and phylogenetic comparisons of bacteria causing Aloe rot from three countries. Indian Phytopathology 64: 329-334.
- López-Cruz V., Paz-González A., Fomet-Hernández E., Núñez-Tablada R., Ricardo-Palacio S. 2013. Incidencia y distribución de *Rhizoctonia solani* Kühn, en el cultivo de *Vigna unguiculata* L. Walp. (frijol caupi). Ciencias Holguín 19: 1-10.
- López S.E., Rodríguez P.P. 2009. *Pseudomonas syringae* pv tomato DC3000 y *Dickeya dadantii* 3937, diferentes modelos de infección en bacterias fitopatógenas. Actualidad 47: 14-18.
- Lugo Z., Tua D., Medina R. 2004. Pudrición del tallo y raíz en sábila (*Aloe vera*) causada por *Rhizoctonia* en el estado falcón, Venezuela. Fitopatología Venezolana 17: 49-51.
- Osorio-Hernández E., Martínez-Padrón H.Y., López-Santillán J.A., Estrada-Drouaillet B., Torres-Castillo J.A. 2016. Efectividad de *Trichoderma* contra *Fusarium* en plantas de sábila. Suplemento de Revista Mexicana de Fitopatología 34: 13.
- Ochoa J.L., Hernández-Montiel L.G., Latisnere-Barragán H., León J.L.L., Larralde-Corona C. P. 2007. Aislamiento e identificación de hongos patógenos de naranja *Citrus sinensis* L. Osbeck cultivada en Baja California Sur, México. Ciencia y Tecnología Alimentaria 5: 352-359.
- Patisthán P.J., Rodríguez G.R., Zavala G.F., Jasso C.D. 2010. Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. Revista Fitotecnia México 33: 305-314.
- Palacio-Bielsa A., Cambra-Alvares M. 2008. Bacterias fitopatógenas del género *Dickeya* en aguas de riego de Aragón. Agricultura 911: 784-787.
- Pedroza S.A., Fucikovsky Z.L., Samaniego G.J.A. 2011. Etiología y patogenicidad de la bactoriosis de la sábila (*Aloe barbadensis*). Revista Mexicana de Fitopatología 29: 76-77.
- Pedroza S.A., Gómez L.L. 2014. La sábila (*Aloe* spp.). Universidad Autónoma Chapingo. México. Dirección General de Difusión Cultural y Servicio. Chapingo, México. 209 p.
- Pedroza-Sandoval A., Aba-Guevara C.G., Samaniego-Gaxiola J.A., Trejo-Calzada R., Sánchez-Cohen I., Chávez-Rivero J.A. 2015. Características morfométricas y calidad de gel en sábila (*Aloe barbadensis* M.) aplicando algaenzimas y composta. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6: 7-18.
- Ramírez J.G., Benjamid J.A., Buritacá P.E. 2014. Manejo de la pudrición acuosa del pseudo-tallo (*Dickeya* sp.) en banano (*Musa* sp.) bajo condiciones de invernadero. Agronomía Costarricense 38: 83-92.
- Schmelzer G.H., Gurib-Fakim A. 2008. Plant resources of Tropical Africa. Medicinal plants 1. PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands/Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands/CTA, Wageningen, The Netherlands. 791 p.
- Samson R., Bernard L.J., Christen R., Fischer-Le S.M., Achouak W., Gardan L. 2005. Transfer of *Pectobacterium chrysanthemi* (Burkholder et al. 1953) Brenner et al. 1973 and *Brenneria paradisiaca* to the genus *Dickeya* gen. nov. as *Dickeya chrysanthemi* comb. nov. and *Dickeya paradisiaca* comb. nov. and delineation of four novel species, *Dickeya dadantii* sp. nov., *Dickeya dianthicola* sp. nov., *Dickeya dieffenbachiae* sp. nov. and *Dickeya zae* sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 55: 1415-1427.
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Cierre de la producción agrícola por cultivo. México. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/identidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp).
- Tapia C., Amaro J. 2014. Género *Fusarium*. Revista Chilena de Infectología 31: 85-86.
- Vega G.A., Ampuero C.N., Díaz N.L., Lemus M.R. 2005. El *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* miller) como componente de alimentos funcionales. Revista Chilena de Nutrición 32: 208-214.



# LA PLAGA DEFOLIADORA *Zadiprion falsus* Smith EN LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

## SAWFLY *Zadiprion falsus* Smith IN THE NORTH SIERRA OF OAXACA, MEXICO: CURRENT STATE AND PERSPECTIVES

Suárez-Mota, M.E.<sup>1\*</sup>; Pacheco-García, M.M.<sup>1</sup>; Cristobal-Angulo, O.P.<sup>1</sup>; Antúnez, P.<sup>1</sup>; Santiago-García, W.<sup>1</sup>; Bautista-Juárez, I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la Sierra Juárez. División de Estudios de Postgrado. Avenida Universidad S/N, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

\*Autor para correspondencia: mesuarez@unsj.edu.mx

### ABSTRACT

In the state of Oaxaca, Mexico, many aspects of the biology and ecology of epidemic species are unknown, which leads to a greater ignorance about the combat and control techniques, in addition there are no specific data on the impact of defoliation on the trees that has been affected by a defoliating species *Zadiprion falsus*. This work was carried out with the aim of estimating the distribution and potential area of affectation of this species in the Sierra Norte de Oaxaca. For which ecological niche models were used using the MaxEnt algorithm, by using the Kernel density the ecological niche model was evaluated. It is estimated that the species has a potential impact on *Pinus pseudostrobus* in an area of 14,000 ha. It is necessary to propose an adequate strategy to reduce the affectations of said species, otherwise the degree of infection will affect more than 80% of the forest destined for forest exploitation.

**Keywords:** MaxEnt, Sawfly, *Zadiprion*, Sierra Norte de Oaxaca.

### RESUMEN

En el estado de Oaxaca, México, se desconocen muchos aspectos de la biología y ecología de especies epidémicas, lo que conlleva a un desconocimiento mayor sobre las técnicas de combate y control, además no existen datos específicos sobre el impacto de la defoliación en el arbolado que ha sido afectado por una especie defoliadora conocida como mosca sierra (*Zadiprion falsus*). Este trabajo se realizó con el objetivo de estimar la distribución y área potencial de afectación de esta especie en la Sierra Norte de Oaxaca. Para ello se obtuvieron modelos de nicho ecológico empleando el algoritmo MaxEnt, evaluados mediante el uso de la densidad de Kernel. Se estima que la especie tiene un potencial de afectación sobre *Pinus pseudostrobus* en un área de 14,000 ha. Es necesario plantear una estrategia adecuada para reducir las afectaciones de dicha especie, de lo contrario su grado de infección afectará más del 80% del bosque destinado al aprovechamiento forestal.

**Palabras clave:** MaxEnt, Mosca Sierra, *Zadiprion*, Sierra Norte de Oaxaca.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 35-41.

**Recibido:** enero, 2018. **Aceptado:** mayo, 2018.



## INTRODUCCIÓN

La entomofauna de los bosques de coníferas mexicanos es un campo desconocido aun por muchos investigadores, ya que la mayor atención ha sido dirigida solo a unas cuantas familias que son consideradas de mayor importancia debido al impacto que ocasionan en su ataque a los bosques. En México y más aún en el estado de Oaxaca se desconocen muchos aspectos de la biología, estrategias de combate y la correcta identificación de especies con brotes epidémicos. El ataque es causado por una especie determinada y al corroborarlo se sabe que es una especie diferente a la reportada (Smith *et al.*, 2012).

Un caso particular se da con la familia Diprionidae comúnmente llamados "moscas sierra", del orden Hymenoptera: Symphyta (abejas, avispas y hormigas). Esta familia incluye los géneros *Zadiprion*, *Neodiprion* y *Monoctenus*, que muestran preferencia por ciertos hospederos. Por ejemplo, *Monoctenus* se alimenta exclusivamente de *Juniperus*; *Zadiprion* solo de *Pinus*; mientras que la mayoría de las especies de *Neodiprion* se alimentan también de *Pinus*, excepto algunas que llegan a consumir *Abies* y *Picea* (Smith, 1988; Knerer, 1993; Linnen y Farrell 2010). Los daños producidos por estos defoliadores son: reducción de la superficie fotosintética, alteración en el proceso de transpiración y en el de asociación de nutrimentos, suspensión de resina, defoliaciones severas y cinchado de ramillas, modificación en el desarrollo del tamaño y estructura de los anillos anuales de crecimiento y muerte de arbolado (Nolasco, 2014).

En los años 2007 y 2008, la superficie afectada por la familia Diprionidae aumentó de 4,170 a 6,550 ha y alcanzó hasta 34,493 ha en el año 2009, afectando todo el área de distribución de *Pinus arizonica* Engelmann, abarcando los municipios de Guerrero, Bocoyna y Ocampo en el estado de Chihuahua (Olivo, 2011). En México, esta familia ha afectado extensiones considerables en los estados de Chihuahua, Durango y Michoacán, en donde se tiene registrado un promedio de 10,000 a 15,000 ha; en el estado de Jalisco, causó daños en 25,000 ha sobre *Pinus douglasiana* Mtz. Actualmente se reportan en Durango, áreas infestadas por este defoliador sobre *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. herrerae* como principales hospederos, aunque también se reportó sobre *P. engelmannii* (González *et al.*, 2014). Sin embargo, en el estado de Oaxaca aún se desconocen datos específicos sobre las afectaciones que ha tenido sobre el arbolado de las regiones infestadas.

El género *Zadiprion* se caracteriza porque las larvas manifiestan hábitos gregarios para alimentarse, permaneciendo en grupos de dos hasta cuatro individuos en una sola hoja (Castro, 1981; Cibrián *et al.*, 1995). En el caso de *Zadiprion falsus*, el tamaño del adulto macho oscila entre 7 y 8.7 mm, con un promedio de 8 mm de longitud. La coloración del insecto es negra, con excepción de los tarsos, las tibias, el extremo distal de los fémures y los márgenes posteriores de las porciones ventrolaterales de cada segmento abdominal, que son de amarillo pálido. Las antenas están formadas de 26 a 30 segmentos, las alas son membranosas, transparentes y en posición de reposo descansan sobre la parte dorsal del abdomen. La hembra es más grande que

el macho, ya que su tamaño oscila entre los 9 a 10 mm, con un promedio de 9.8 mm de longitud. La cabeza es café con antenas aserradas, los primeros segmentos son cafés y los restantes de coloración oscura, casi negra. La larva es eruciforme, con ocho pares de patas falsas. La cabeza es de color café claro, con una mancha ocular evidente en cada lado de la cabeza. El cuerpo es casi liso, con setas poco evidentes, de coloración verdosa clara, parda o rosado violácea; puede presentar dos bandas longitudinales de color gris oscuro, a veces poco conspicuas. Se presentan cinco instares en los machos y seis en las hembras. El último instar alcanza un tamaño de 25 a 30 mm de longitud. Para pupar estas larvas elaboran un capullo de seda cilíndrico, que será más grande o más pequeño dependiendo del sexo (Cibrián *et al.*, 1995).

En el estado de Oaxaca se desconocen muchos aspectos de la biología y ecología de esta especie, lo que conlleva a un desconocimiento mayor sobre las técnicas de combate y control, además no existen datos específicos sobre el impacto de la defoliación en el arbolado afectado. De lo anterior parte la importancia de realizar estudios más específicos sobre cómo tratar infestaciones de este tipo.

En la actualidad se han presentado brotes epidémicos de *Zadiprion falsus* en la Sierra Norte del estado de Oaxaca, lo que involucra una oportunidad de estudio de esta especie y con ello la adquisición de nuevos conocimientos acerca de su distribución.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La Sierra Norte es una de las ocho grandes regiones que integran el es-

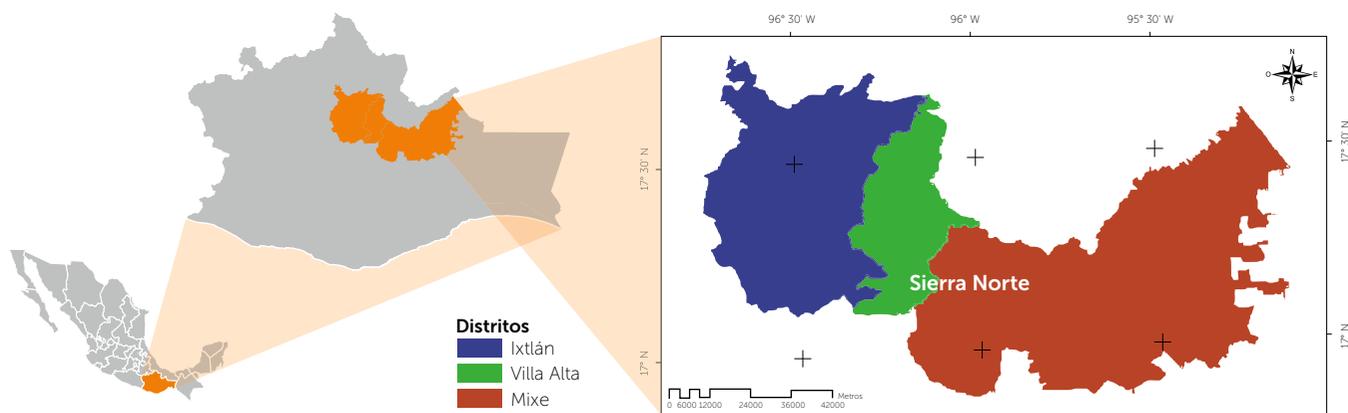
tado de Oaxaca, comprende un territorio de gran riqueza forestal. Se ubica dentro de las coordenadas  $16^{\circ} 58'$  y  $17^{\circ} 48'$  de latitud N y  $-95^{\circ} 8'$  y  $-96^{\circ} 47'$  de longitud W. Limita al norte con las regiones Chinantla y Sierra Mazateca, al este con la Sierra Mixe, al oeste con la Cañada Cuicateca y al sur con los Valles Centrales de Oaxaca. Incluye 68 municipios, divididos en tres distritos: Ixtlán, Mixe y Villa Alta (Figura 1). Es una región de gran relevancia en producción forestal (Gasca-Zamora, 2014).

Los datos utilizados para detectar la presencia de la especie fueron colectados en el periodo comprendido del mes de noviembre del 2016 a noviembre del 2017. Los árboles (pinos) defoliados son signos de la infestación por larvas de la mosca sierra, o aquellos otros en los que se encontraron restos del animal en cualquiera de sus fases (larva, pupa o adulto), fueron considerados como individuos afectados (Figura 2). Además con las observaciones realizadas en campo se verificó que el daño

ocasionado en los árboles afectados es muy particular de este insecto.

Los registros de las especies de pinos afectadas y la distribución de la mosca sierra, se realizaron en campo utilizando un GPS de mano (Garmin eTrex 20x) y se procesaron mediante una base de datos que posteriormente se analizó en un sistema de información geográfica (SIG; ArcMap 10.1). Los árboles afectados se determinaron a nivel de especie, identificándose en campo por medio de claves para corteza, tipos de cono y fascículos de las hojas (acículas) posteriormente se verificaron en el herbario consultando a un botánico experto. Asimismo, se realizó la clasificación del insecto de acuerdo a la fase en que fue hallado en el sitio: larva, pupa y adulto, considerando su ciclo de vida.

Para estimar la distribución potencial y así definir los hábitats adecuados para *Zadiprion falsus* en la Sierra Norte de



**Figura 1.** Distritos distribuidos en la Sierra Norte de Oaxaca, México.

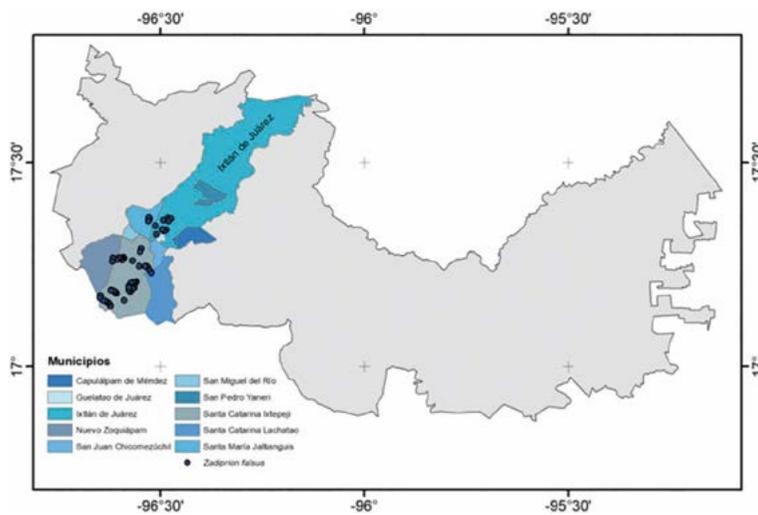


**Figura 2.** Imágenes de una hembra de *Zadiprion falsus* Smith tomada de la Sierra Norte de Oaxaca, México.

Oaxaca, se utilizó el algoritmo Maxent 3.4.1. (Phillips *et al.*, 2006), el cual ha demostrado su eficacia cuando se pretende hacer predicciones basadas en información de datos solamente de presencia (Elith *et al.*, 2006; Peterson *et al.*, 2007; Phillips, 2008; Phillips y Dudik, 2008; Phillips *et al.*, 2017).

Para eliminar los puntos de ocurrencia redundantes o espacialmente autocorrelacionados, se utilizó la herramienta espacial de datos de ocurrencia SDMToolbox implementada en el SIG (ArcMap 10.1; Brown, 2014), reduciendo así las localidades de ocurrencia a un único punto dentro de una distancia de 1 km. Finalmente, en el modelo, se utilizaron las localidades registradas en campo (Figura 3). Se consideraron las variables ambientales obtenidas por Cuervo-Robayo *et al.* (2013) y Cruz-Cárdenas *et al.* (2014), para análisis de modelación en México. Tomando en cuenta los argumentos discutidos por autores como Soberrón y Peterson (2005), Peterson *et al.* (2011) o Radosavljevic y Anderson (2013), el área de calibración (M) para la selección de los sitios de fondo (background) de los modelos se definió con los límites de la Sierra Norte (Figura 1).

La información sobre los sitios de recolecta que documentan la distribución de las especies en la zona de estudio, junto con la de las variables ambientales (Cuadro 1), se incorporaron al programa MaxEnt para generar los modelos de nicho ecológico. Para facilitar la convergencia del



**Figura 3.** Distribución de *Zediprion falsus* Smith, en municipios actualmente afectados de la Sierra Norte de Oaxaca, México.

modelo, las iteraciones máximas se incrementaron a 1,000. Se usó una prueba de Jackknife con todos los datos para estimar el peso de cada variable ambiental en el modelo y así seleccionar aquellas de mayor importancia en el ciclo de vida de la especie epidémica (Suárez-Mota

*et al.*, 2016). Para evaluar el modelo final se utilizó el área bajo la curva (AUC; Elith *et al.*, 2006; Morueta-Holme *et al.*, 2010).

La evaluación en el área afectada por la presencia de la mosca sierra en la Sierra Norte de Oaxaca, fue utilizada para identificar zonas con tendencia a ser infestadas por dicha plaga en toda la región, gracias a la similitud entre las características y condiciones ambientales de los sitios donde ya se tienen registros de daños, con aquellos en los cuales aún no hay evidencias de su aparición. La estimación de la densidad de Kernel (KDE) en el modelado geoespacial, sirvió para evaluar la

**Cuadro 1.** Variables empleadas en los modelos de nicho ecológico.

Variable	Descripción	Porcentaje de contribución, Jackknife
bio_01	Temperatura promedio anual (°C).	1.1
bio_02	Oscilación diurna de la temperatura (°C).	3.5
<b>bio_03</b>	<b>Isotermalidad (°C).</b>	<b>4.9</b>
bio_04	Estacionalidad de la temperatura (%)	0.9
bio_05	Temperatura máxima del periodo más cálido (°C).	2.3
<b>bio_06</b>	<b>Temperatura mínima del periodo más frío (°C).</b>	<b>10.2</b>
bio_07	Oscilación anual de la temperatura (°C).	0.2
bio_08	Temperatura promedio del trimestre más húmedo (°C).	0
bio_09	Temperatura promedio del trimestre más seco (°C).	0
bio_10	Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C).	0.4
bio_11	Temperatura promedio del trimestre más frío (°C).	0
bio_12	Precipitación anual (mm).	1
bio_13	Precipitación del periodo más húmedo (mm).	4.4
<b>bio_14</b>	<b>Precipitación del periodo más seco (mm).</b>	<b>8.6</b>
bio_15	Estacionalidad de la precipitación (%).	2.7
bio_16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm).	1
<b>bio_17</b>	<b>Precipitación del trimestre más seco (mm).</b>	<b>33.6</b>
bio_18	Precipitación del trimestre más cálido (mm).	0.2
<b>bio_19</b>	<b>Precipitación del trimestre más frío (mm).</b>	<b>24.9</b>

distribución geográfica de la especie en la Sierra Norte (Beyer, 2012; O'Brien et al., 2012; Martins et al., 2013; Denoël y Ficetola, 2015).

Se seleccionó una función de densidad del núcleo de Gauss y se estimó el ancho de banda óptimo utilizando un método de complemento (Wand y Jones, 1994), implementado a partir del paquete "Ks" en el entorno R (Duong, 2007). Se consideraron diez valores de KDE del 10% al 100%, cada uno de los cuales corresponde al área de ubicaciones de las especies analizadas. Los contornos de 100% de KDE se usaron para presentar el rango de distribución general de la mosca sierra en la región de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

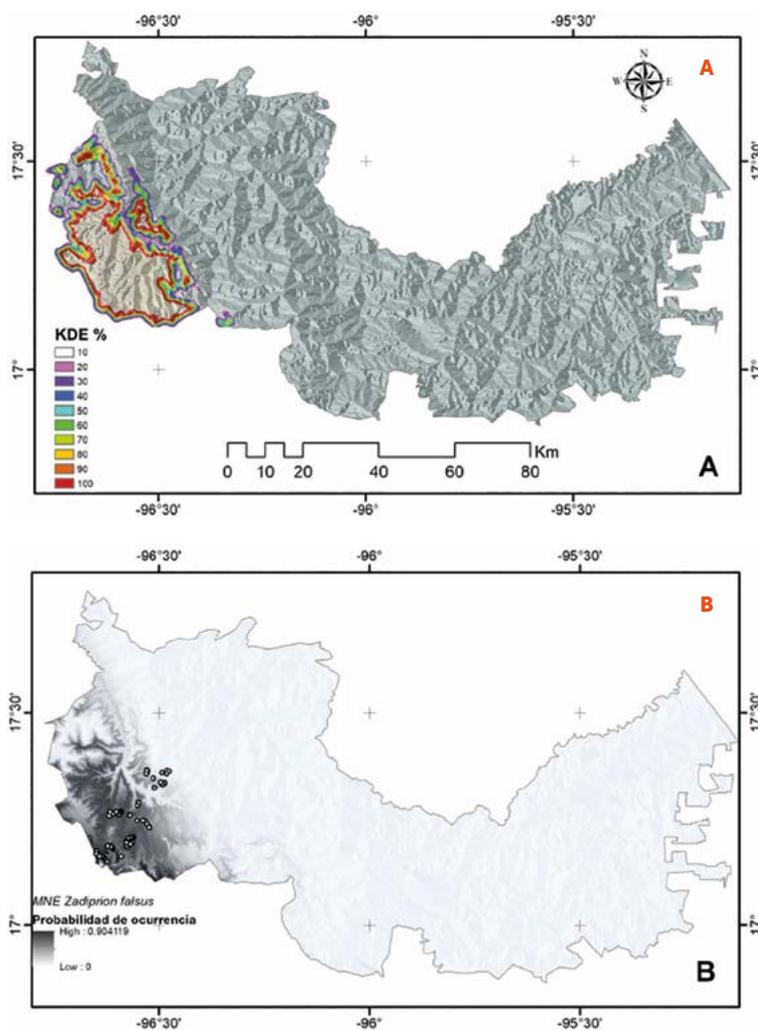
En total, se obtuvo información de 69 localidades con presencia de *Zadiprion falsus*, en la Sierra Norte; la mayoría de datos de su presencia se registraron en su fase larvaria de los meses de junio a noviembre aunque en esta fase se puede encontrar hasta el mes de diciembre incluso enero; durante su fase de pupa se incrementa su frecuencia de septiembre hasta abril, siendo los meses de octubre-noviembre su mayor concentración en el suelo. Se encontró una densidad por árbol de 35 hasta 138 individuos por  $m^2$ . El número de árboles habitados (infestados) es aún desconocido. Todos los registros provienen de diferentes especies de *Pinus*. A pesar de la presencia de diversas especies de pino en las localidades estudiadas, *Pinus pseudostrobus* es la de mayor frecuencia de registros, y no hay casos de presencia de

la especie epidémica en otras especies de árboles que no sean pinos, aunque se ha reportado que en otros estados del país también infesta especies de *Quercus*. El número de pupas y larvas colectadas varió de un sitio a otro, ya que en algunos árboles aún había presencia abundante de larvas y poca presencia de pupas, mientras en otros árboles se encontró una abundante cantidad de pupas por metro cuadrado y muy pocas larvas. Las especies con mayor afectación en los sitios analizados fueron *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus teocote*.

El análisis de KDE mostró alta concentración de árboles ocupados en la parte noroccidental de la región, claramente aislada de las poblaciones principales (Figura 4A). En general, el 100% de KDE cubrió un área de  $1.21 \text{ km}^2$ , es decir, el 7.03% del área de estudio, estimada con el MNE. La presencia de la especie en la región, delineada por la isopleta del 100% de KDE, coincide en gran parte con la distribución de los hábitats adecuados estimados

con el modelado de MaxEnt (Figura 4B). El modelo mostró un excelente rendimiento predictivo, con un AUC de 0.962. Los hábitats adecuados cubren el 9.19% del área estudiada ( $812.7 \text{ km}^2$ ).

Cinco variables hicieron una contribución de más del 4% al modelo de MaxEnt (Cuadro 2). La prueba de jackknife mostró que la variable ambiental con mayor ganancia, cuando se usó como única variable, fue la precipitación en el trimestre más frío (bio 19), que pareció transmitir la información más útil por sí misma. Por otro lado, el predictor con la mayor cantidad de información no presente en otras variables fue la temperatura mínima



**Figura 4.** Distribución potencial de *Zadiprion falsus* en la Sierra Norte de Oaxaca. A) Evaluación del MNE con la densidad de Kernel (KDE) y B) área potencial de afectación por la especie epidémica.

**Cuadro 2.** Contribuciones relativas e importancia de la permutación de las variables ambientales para el modelo de nicho ecológico obtenido con la prueba de Jackknife.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de permutación	Fases del ciclo de vida de <i>Zadiprion falsus</i>
bio_03	6.6	4.7	Todas
bio_06	11.3	1.5	Pupa
bio_14	17.4	9.3	Adulto y Larva
bio_17	56.5	84.0	Pupa y adulto
bio_19	8.3	0.5	Larva y pupa

del mes más frío (bio 06) que redujo la ganancia cuando se omitió. Aunque la probabilidad de aparición de la especie generalmente aumentó al incrementar la temperatura y disminuir la precipitación; los valores extremos parecen evitarse. Estas variables seleccionadas con la prueba de Jackknife son de suma importancia para la especie epidémica, pues coinciden con las fases de su ciclo de vida (Cuadro 2).

## CONCLUSIONES

**En el caso** de Oaxaca, la mosca sierra (*Zadiprion falsus*) había sido reportada en los bosques de coníferas de la Sierra Sur, sin embargo, desde el 2015 se empezaron a observar brotes atípicos en la región de la Sierra Norte y se han ido incrementando en un promedio del 400% al año, en un contexto de sequía y cambio climático.

Lo anterior, ha ocasionado que a la fecha se tengan identificadas 3,900 ha afectadas por la plaga, perteneciente a tres comunidades con aprovechamiento forestal, amenazando con extenderse y ocasionar daños económicos. Las comunidades con mayor afectación son: Nuevo Zoquiapam, San Pedro Nexicho y Santa Catarina Ixtepeji y se tiene ya un considerable avance en Ixtlán de Juárez (Figura 1).

La mosca sierra, reporta un avance rápido y efectos contundentes sobre el arbolado hospedero. La comunidad de Ixtlán de Juárez está realizando ya labores de mitigación en zonas afectadas y de prevención en zonas que aún no presentan daños, sin embargo, dispersarse de forma aérea, la hace una especie difícil de controlar. No se tiene conocimientos acerca del combate hacia la misma, ni de depredadores naturales debido a que esta plaga es de nueva aparición en la Sierra Norte.

El control de esta plaga no es cuestión únicamente del municipio de Ixtlán sino de toda la Sierra Norte, ya que se puede controlar en una zona, sin embargo, las zonas afectadas sin tratar seguirán siendo un foco infeccioso y un riesgo para las comunidades aledañas. Aún se está a tiempo de realizar labores de mitigación y prevención, para controlar lo que si se descuida, puede resultar un grave peligro para la economía local y regional, así como alterar los ciclos biológicos de las especies vegetales presentes en los ecosistemas de la Sierra Norte de Oaxaca. Se pretende generar información nueva adaptada a las condiciones locales, tomando en cuenta información ya registrada en zonas donde comúnmente han tenido la plaga, con el fin de proporcionar

información útil para medidas futuras de prevención y mitigación.

## LITERATURA CITADA

- Beyer H.L. 2012. Geospatial Modelling Environment (Version 0.7.2.1). <http://www.spatial ecology.com/gme> [accessed April 10, 2017]
- Brown J.L. 2014. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution* 5: 694-700.
- Castro C.J. 1981. Contribución al estudio de la biología del defoliador de pino *Neodiprion fulviceps* (Cresson) complex (Hymenoptera: Diprionidae) en el estado de Chihuahua. *Ciencia Forestal* 6: 43-51.
- Cibrián T.D., Méndez M.J.T., Campos B.R. 1995. Insectos forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 174-177 pp.
- Cruz-Cárdenas G., López-Mata L., Villaseñor J.L., Ortiz E. 2014. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85:189-199. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314707444>.
- Cuervo-Robayo A.P., Téllez-Valdés O., Gómez Albores M.A., Venegas-Barrera C.S., Manjarrez J., Martínez-Meyer E. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International journal of climatology*. 34: 2427-2437.
- Denœl M., Ficetola G. F. 2015. Using kernels and ecological niche modeling to delineate conservation areas in an endangered patch-breeding phenotype. *Ecological Applications* 25: 1922-1931.
- Duong T. 2007. ks: Kernel Density Estimation and Kernel Discriminant Analysis for Multivariate Data in R. *Journal of Statistical Software* 21: 1-16.
- Elith J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leathwick J.R., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Loiselle B.A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J.Mc.C.M., Peterson A.T., Phillips S.J., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R.E., Soberón J., Williams S.,

- Wisz M.S., Zimmermann N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Gasca-Zamora J. 2014. Gobernanza y gestión comunitaria de recursos naturales en la Sierra Norte de Oaxaca. *Región y Sociedad*. XXVI. Obtenido de: <<http://ucsj.redalyc.org/articulo.oa?id=10231796004>> ISSN 1870-3925.
- González G.E., Bonilla T.F., Quiñonez B.S., Sanchez M.G., Tafoya R. F., España L. M.P., Lozano G.J., Robles U.S. 2014. Guía Para la Identificación de Moscas Sierra de la Familia Diprionidae Presentes en el Centro Norte de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Obtenido de: [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4201/01020882600066360\\_CIRNOC.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4201/01020882600066360_CIRNOC.pdf?sequence=1)
- Knerer G. 1993. Life history diversity in sawflies. In M. Wagner and K.F. Raffa (eds.) *Sawfly life history adaptations to woody plants*. Academic Press, San Diego, CA. pp. 33-60.
- Linnen C.R., Farrell B.D. 2010. A test of the sympatric host race formation hypothesis in *Neodiprion* (Hymenoptera: Diprionidae). *Proceedings of the Royal Society B*. 277: 3131-3138. doi:10.1098/rspb.2010.0577
- Martins C.C.A., Andriolo A., Engel M.H., Kinas P.G., Saito C.H. 2013. Identifying priority areas for humpback whale conservation at Eastern Brazilian Coast. *Ocean and Coastal Management* 75: 63-71.
- Morueta-Holme N., Fløjgaard C., Svenning J.C. 2010. Climate Change Risks and Conservation Implications for a Threatened Small-Range Mammal Species. *PLoS ONE* 5: e10360. Obtenido de: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0010360>
- Nolasco G. A. 2014. Defoliadores de coníferas de los géneros de *Zadiprion* spp., y *Neodiprion* spp., existentes en México. Monografía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 84 p. Obtenido de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3887/63120%20NOLASCO%20GUMETA%2C%20ARTURO%20%20MONOG..pdf?sequence=1>.
- O'Brien S.H., Webb A., Brewer M.J., Reid J.B. 2012. Use of kernel density estimation and maximum curvature to set Marine Protected Area boundaries: Identifying a Special Protection Area for wintering red-throated divers in the UK. *Biological Conservation* 156: 15-21. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320711004964?via%3Dihub>
- Olivo M.J.A. 2011. Brotes epidémicos de Diprionidos en la Sierra Tarahumara del Estado de Chihuahua. Memoria del XV simposio Nacional de parasitología Forestal. Comisión Nacional Forestal. Región VI. Chihuahua. Pag. 33-35. Obtenido de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203831/Anexo\\_Demandas\\_especificas\\_del\\_sector\\_2017-2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203831/Anexo_Demandas_especificas_del_sector_2017-2.pdf)
- Peterson A.T., Papes M., Eaton M. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography* 30: 550-560.
- Peterson A.T., Soberón J., Pearson R.G., Anderson R.P., Martínez-Meyer E., Nakamura M., Araujo M.B. 2011. *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton: Princeton University Press. 315 p.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Phillips S.J. 2008. Transferability, sample selection bias and background data in presence only modelling: a response to Peterson et al. (2007). *Ecography* 31: 272-278.
- Phillips S.J., Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175
- Phillips S.J., Anderson R.P., Dudík M., Schapire R.E., Blair M.E. 2017. Opening the black box: an open-source release of MaxEnt. *Ecography*: 40: 887-893. doi: 10.1111/ecog.03049
- Radosavljevic A., Anderson R.P. 2013. Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. 41:629-643. Obtenido de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jbi.12227>.
- Smith D.R. 1988. A synopsis of the sawflies (Hymenoptera: Symphyta) of America South of the United States: Introduction Xyelidae, Pamphiliidae, Cimbicidae, Diprionidae, Xyphidiidae, Siricidae, Orussidae, Cephidae. *Systematic Entomology* 13: 205-261.
- Smith D.R., Sánchez M.G., Ojeda A.A. 2012. A new species of *Zadiprion* (Hymenoptera: Diprionidae) on *Pinus durangensis* from Chihuahua, Mexico, and a review of other species of the genus. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 114: 224-237.
- Soberón J., Peterson A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10.
- Suárez-Mota M.E., Ortiz E., Villaseñor J.L., Espinosa-García F.J. 2016. Ecological Niche Modeling of Invasive Plant Species According to Invasion Status and Management Needs: The Case of *Chromolaena odorata* (Asteraceae) in South Africa. *Polish Journal Of Ecology*. 64: 369-383.
- Wand M.P., Jones M.C. 1994. Multivariate plugin bandwidth selection. *Computational Statistics* 9: 97-116.



# EXPERIENCIAS SOCIOECONÓMICAS DE LOS PRODUCTORES DE TRES CULTIVOS CON POTENCIAL BIOENERGÉTICO EN MÉXICO

## SOCIOECONOMIC EXPERIENCES OF THE PRODUCERS OF THREE CROPS WITH BIOENERGY POTENTIAL IN MEXICO

Salas-Martínez, F.<sup>1</sup>; Valdés-Rodríguez, O.A.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto No. 26, Xalapa, Veracruz, México.

\*Autor para correspondencia: andrea.valdes@gmail.com

---

### ABSTRACT

The production of crops for bioenergy purposes is an activity that the government of Mexico has fostered since 2008. However, comparative evaluations are still required among the different options to determine which ones will have the greatest potential for the Mexican producers. The objective of this study was to document and compare the socioeconomic experiences that the producers of three Bioenergy crops: sugarcane (*Saccharum* spp.), Mexican pine nut or jatropha (*Jatropha curcas*) and moringa (*Moringa oleifera*) have challenged in the production process and marketing in different states of the country. The information obtained was accomplished through the application of 35 semi-structured questionnaires to the different producers. The analysis of the information was made by descriptive statistics. The results showed that the producers of sugar cane have an absolute dependence on the sugar mills, lower levels of education, they are older, and there is greater participation of women in comparison with the producers of moringa and jatropha. The producers of jatropha have received economic benefits from the Mexican government, although currently the market for this crop in México is almost nonexistent. In the case of moringa producers, they had not received governmental support, and even so they obtained greater economic satisfaction because they have managed to develop a value chain in the pharmaceutical and food supplements industries. It is concluded that the production of moringa is the one that represents the greatest advantages for Mexican producers, but at the same time it requires an investment in expertise superior to the national average.

**Keywords:** Sugarcane, moringa, jatropha, socioeconomic experiences, bioenergetics.

## RESUMEN

La producción de cultivos con fines bioenergéticos es una actividad que el gobierno de México ha fomentado desde 2008. Sin embargo, aún se requieren evaluaciones comparativas entre las diferentes opciones para determinar cuáles tendrán mayor potencial para los productores mexicanos. El objetivo de este estudio fue documentar y comparar las experiencias socioeconómicas que los productores de tres cultivos bioenergéticos: caña de azúcar (*Saccharum* spp.), piñón mexicano o *Jatropha* (*Jatropha curcas*) y moringa (*Moringa oleifera*) han enfrentado en el proceso de producción y comercialización en diferentes estados del país. La información recabada se obtuvo mediante la aplicación de 35 cuestionarios semi-estructurados a los diferentes productores. El análisis de la información se realizó mediante estadística descriptiva. Los resultados mostraron que los productores de caña de azúcar presentan una dependencia absoluta hacia los ingenios, niveles de estudio inferiores, mayor edad y mayor participación de la mujer en comparación con los productores de moringa y *Jatropha*. Los productores de *Jatropha* han recibido beneficios económicos del gobierno mexicano, aunque actualmente el mercado para este cultivo en México es casi inexistente. En el caso de los productores de moringa, éstos no manifestaron haber contado con apoyos gubernamentales, y aun así obtuvieron una mayor satisfacción económica porque han logrado desarrollar una cadena de valor en las industrias farmacéuticas y de complementos alimenticios. Se concluye que la producción de moringa es la que representa mayores ventajas para los productores mexicanos, pero al mismo tiempo requiere de una inversión en conocimientos superior al promedio nacional.

**Palabras clave:** Caña de azúcar, moringa, *Jatropha*, experiencias socioeconómicas, bioenergéticos.

chamiento Sustentable de Energía (CDHCU, 2008). Posteriormente en 2009 la SENER lanzó programas de apoyo a los bioenergéticos y en el mismo año la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) inició una serie de proyectos para promover la siembra e investigación de los biocombustibles (SAGARPA, 2009).

A partir de las iniciativas del gobierno federal se tienen documentados diversos estudios en los cuales se consideró la problemática asociada con la producción de biocombustibles a partir de la caña de azúcar y *Jatropha*, como se muestra en el Cuadro 1.

Con respecto a la moringa, aunque existen estudios en Australia (Azad *et al.*, 2015), Brasil (da Silva *et al.*, 2010), Pakistán (Rashid *et al.*, 2008) y Malasia (Mofijor *et al.*, 2014), entre otros, que demuestran que mediante esta planta se puede extraer aceite de sus semillas para la producción de biodiesel; en México no hay evidencias de que se emplee para la producción de biocombustibles. Sin embargo, sí se emplea en la producción de alimentos y con fines farmacéuticos (Olso y Fahey, 2011).

En resumen, se observa que en México a pesar de que existan leyes y proyectos por parte del gobierno federal y estatal para el apoyo de los productores de distintos cultivos bioenergéticos, aún no se cuenta con un estudio comparativo, donde se consideren caña de azúcar, moringa y *Jatropha*. El objetivo de esta investigación fue documentar y comparar las experiencias socioeconómicas que presentan los productores mexicanos de caña de azúcar, *Jatropha* y moringa.

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alternativas para la independencia de combustibles fósiles alrededor del mundo genera la necesidad de proponer nuevas fuentes de energía renovables, tales como los cultivos bioenergéticos. Con la producción de biocombustibles a partir de estos cultivos no solo se incrementa la producción de energía, sino también se logra la generación de nuevos mercados para productores agrícolas.

En el último balance nacional de energía del 2015, realizado por la Secretaría de Energía (SENER), del total de la producción de energía primaria, el 7.86% correspondió a energías renovables, de lo cual la biomasa y el biogás solo obtuvo el 4.46%. Cabe mencionar que en dicho balance la SENER consideró inexistente la aportación de los cultivos biocombustibles a la producción primaria de energía (SENER, 2016). Lo anterior se debe a que las iniciativas del gobierno mexicano tuvieron una respuesta tardía para apoyar la producción de estos cultivos; ya que los esfuerzos gubernamentales recién se reportan a partir del 2006, cuando la SENER publicó un estudio sobre cultivos con potencial bioenergético (SENER, 2006). En 2008 se promulgó la "Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos" junto con la "Ley para el Aprove-

**Cuadro 1.** Resumen de impactos sociales y económicos reportados en México sobre caña de azúcar y jatropha.

Estado	Bioenergético	Impacto social	Impacto económico
Veracruz	Caña de azúcar (Agüero-Rodríguez <i>et al.</i> , 2015)	Garantía de una mayor rentabilidad social hacia productores, evitando conflictos por control de tierras e intensificación de migración.	Competencia por la producción de alimentos y encarecimiento de alimentos
Veracruz	Caña de azúcar (Aguilar, 2014)	Disminución de la seguridad alimentaria al abandonarse cultivos alimenticios.	Caída de la productividad debido a una débil agroindustria
Yucatán	Jatropha (Rucoba <i>et al.</i> , 2013)	Riesgos en el bienestar de la población y en la identidad cultural de la comunidad.	Generación de empleos a jóvenes, mujeres y adultos mayores en el medio rural
Chiapas	Jatropha (Valdés <i>et al.</i> , 2014; Valero Padilla <i>et al.</i> , 2011)	Mejoramiento en reformas estructurales del proceso de producción que beneficiaron a los campesinos.	Inició bien con los apoyos del gobierno, pero al final se reportaron pérdidas económicas.
Michoacán	Jatropha (Hinojosa y Skutsch, 2011)	Afectaciones de los sistemas parcelarios y problemática alimenticia	Afectaciones a los ingresos por la reducción de los productos a vender.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer las experiencias sociales y económicas se eligieron productores mexicanos de caña de azúcar, jatropha y moringa con experiencia en producción, manejo y venta de tales cultivos bioenergéticos. Para el caso de caña de azúcar, éstos se localizaron por medio del representante de la Unión Agrícola Regional de Productores de Caña de Azúcar de la Zona de Abasto del Ingenio La Gloria A. C. Con respecto a los productores de jatropha y moringa, al no contar con grupos o asociaciones identificadas en el país, éstos fueron localizados mediante un buscador web usando frases relacionadas con el cultivo tales como "productores de jatropha en México", "producción de biodiesel mediante jatropha", "Jatropha curcas en México", "venta de biodiesel en México", etc.; para el caso de los productores de moringa también se realizaron búsquedas como las antes mencionadas, pero usando la palabra "moringa" en lugar de jatropha en dichas frases.

Posterior a la localización de los productores con las características descritas, se recurrió a emplear una técnica de muestreo no probabilístico como lo fue la bola de nieve con el objetivo de generar una base de datos de productores. Dicha base contó con 35 para caña de azúcar, 21 para jatropha y 24 para moringa. Los productores de jatropha se localizaron en los estados de Jalisco, Puebla, Querétaro y Tabasco. Para el caso de moringa se encontraron en los estados de Michoacán, Oaxaca, Yucatán y Veracruz, siendo éste último el único contemplado para los productores de caña de azúcar.

La metodología para la recolección y sistematización del análisis del conocimiento experimental se realizó mediante la aplicación directa de un cuestionario a los productores, quedando plasmados el interés y objetivos

de este estudio. La aplicación de dicho cuestionario se realizó de forma presencial con visita directa al hogar, para el caso de los productores del estado de Veracruz, y mediante llamadas telefónicas, para el caso de los demás estados. Los cuestionarios contaron con dos secciones: 1) la dimensión social (sexo, edad, escolaridad terminada, cultivo anterior al actual y tipo de productor) y 2) la dimensión económica (destino de ingresos, rentabilidad ante el cultivo, autosuficiencia familiar, satisfacción económica, autosuficiencia económica y perspectiva de precio de venta). Adicionalmente, se plasmaron cuestionamientos acerca de la problemática presentada en la producción y venta de su producto, así como la diversificación del mismo y la presencia de apoyos por parte del gobierno federal.

El trabajo de campo se realizó durante el mes de abril del año 2017 y se aplicaron 15 encuestas a productores de caña de azúcar, pero solo 10 a productores de jatropha y 10 a productores de moringa, teniendo en total 35 encuestas realizadas. El menor número (67%) obtenido con los productores de jatropha y moringa se debió a que, al ser entrevistas telefónicas, muchos se negaron a responder los cuestionarios por considerar un riesgo dar esta información, aun cuando se les enviaron documentos de la institución encuestadora. Esto probablemente debido a la inseguridad presente actualmente en el país. Los resultados obtenidos también se compararon con la información de las experiencias de los productores antes de la introducción de los cultivos (caña de azúcar, jatropha y moringa) obtenida en el mismo cuestionario.

El procesamiento de la información fue realizado mediante el programa de Excel Microsoft 2010. Se utilizó estadística descriptiva (promedios y porcentajes) con la cual se estructuraron tablas comparativas para el aspecto

social, económico y la problemática en el proceso de producción-venta.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis del aspecto social

Los resultados observados, con respecto a la edad de los productores, indican que el cultivo de caña de azúcar es realizado por un rango amplio de edad comprendiendo desde el adulto joven (30 años) hasta el adulto mayor (82 años), caso contrario a los productores de jatropha y moringa, donde la mayoría de los productores son adultos maduros (entre 40 a 60 años). Otro aspecto importante de resaltar es la participación femenina de hasta un 33% en la producción de caña de azúcar, índice que rebasa el 13.8% reportado por la última Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2014 (INEGI, 2014). En el caso de moringa y jatropha se aprecia un sistema de producción donde el género masculino es el predominante (80 y 100%, respectivamente). Con respecto al nivel educativo, las personas que producen caña de azúcar presentan el índice de estudios concluidos más bajo comparados con los productores de jatropha y moringa, concentrándose principalmente en el nivel de estudios primarios (el 60% solo tiene educación primaria), mientras que los productores de moringa y jatropha se encuentran con un nivel terciario, con postgrados incluso (Cuadro 2). Todo esto se debe a que para producir caña de azúcar no es necesario un alto nivel de estudios, tener alguna edad en particular o algún tipo específico de sexo, ya que los ingenios, brindan a los productores información, apoyos e insumos para su producción (Celso y Cortés, 2010). En el caso de jatropha y moringa, debido a que no existe una industria desarrollada, como en el caso de la caña de azú-

car, es requerido un grado de estudios alto y especializado, ya que la transformación y comercialización implica una mayor tecnificación, puesto que el producto no se vende como materia prima, sino como elementos transformados que se ofertan directamente al consumidor final (principalmente en forma de biodiesel, en el caso de jatropha, y en productos para farmacéutica y alimentos, en moringa).

En relación con el tipo de propiedad del productor, en caña de azúcar predominaron los ejidatarios (73%), correspondiendo con lo dicho por Parral (2014), en su trabajo realizado en México. Mientras que en jatropha y moringa en su mayoría fueron propiedad privada (60% para ambos cultivos). Con respecto a la jatropha y moringa, la iniciativa privada surge como principal actor, debido a que no cuentan con una agroindustria bien definida, lo que implica que sean los emprendedores quienes apuesten a este tipo de cultivos. En cuanto a la producción anterior, en las tierras que actualmente se utilizan para los tres cultivos de este estudio, se tiene que en la caña de azúcar y moringa se han modificado las prácticas de la agricultura tradicional (cultivos como maíz, frijol, tomate, etc.) en un 72% y 50%, respectivamente. Esto coincide por lo dicho por Márquez y Martínez (2007), quienes mencionan que la producción de monocultivos ha eliminado prácticas agrícolas tradicionales, como los policultivos, la rotación de cultivos comerciales y de autoconsumo, y el aprovechamiento de leña o de hongos para su venta, entre otros. Caso contrario pasa en jatropha donde se tiene el cambio de pastizales y acahuals (45 y 27%, respectivamente). La conversión de pastizales puede deberse a las características de la jatropha de sobrevivir en cualquier parte de los trópicos y subtropicos, y en suelos que van desde fértiles a suelos áridos o semiáridos (SAGARPA, 2011), contando con un aprovechamiento total de casi todos los usos del suelo del país (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Aspectos sociales de los productores mexicanos que siembran caña de azúcar, moringa y jatropha.

		Caña de azúcar	Moringa	Jatropha
Rango de edad	(años)	30-82	40-63	41-60
Género (%)	Masculino	67	80	100
	Femenino	33	20	0
Nivel de estudios (%)	Primario*	60	20	0
	Secundario**	20	10	10
	Terciario***	20	70	90
Producción anterior (%)	Cultivos básicos	72	50	27
	Pastizal	25	21	45
	Selva o acahual	3	7	27
	Florales	0	21	0
Tipo de propiedad (%)	Propiedad privada	20	60	60
	Ejido	73	30	40
	Tierra comunal	0	10	0
	Pequeña propiedad	7	0	0

\*primario=considera nivel primaria, \*\*secundario=considera nivel secundaria y bachillerato, \*\*\*terciario=considera licenciatura o ingeniería y postgrados.

### Análisis del aspecto económico

En el ámbito económico el destino que tiene el ingreso por la venta de la producción es para la reinversión en caña de azúcar y jatropha (46 y 58%, respectivamente), mientras que en moringa los productores lo destinan en su mayoría a la manutención familiar (53%). Para los productores de caña y jatropha, esto se ve reflejado en su autosuficiencia familiar, ya que ellos aseguran que no alcanza para mantener a sus familias (caña de azúcar con 33% y jatropha con 40%). Aunque los productores de caña de azúcar presentan un alto grado de satisfacción y conformidad (80%), debido a que consideran que la producción de este cultivo les asegura un ingreso anual con un menor esfuerzo; mientras que en el caso de moringa y jatropha consideran que son cultivos rentables en un 60% y 50%, respectivamente. A pesar de la gran diferencia de opiniones de los productores, mayoritariamente coinciden en encontrarse satisfechos con las ganancias que obtienen por la producción del cultivo (caña de azúcar con 73%, moringa con 60% y jatropha con 80%). Con respecto al precio de venta, los productores de caña de azúcar y moringa en su mayoría lo consideran adecuado (67 y 70%, respectivamente). A pesar de ello, los productores cañeros no consideran que sea suficiente con las ganancias de producción para mantener a sus familias debido a que los insumos requeridos para la producción de este cultivos son altos y contemplan la preparación del terreno, siembra, riego, fertilizantes, control de plagas y enfermedades, además de la cosecha (FIRA, 2010), costos que ellos mismos tienen que pagar. En el cultivo de jatropha se requiere seguir reinvertiendo debido a que todavía no se cuenta con la suficiente información científica, paquetes tecnológicos y estrategias para poder garantizar mejores ganancias (Valdés *et al.*, 2015). Caso contrario pasa en moringa, donde los productores se encuentran en su mayoría satisfechos económicamente por la adecuada colocación de su producción en el mercado (Cuadro 3).

### Problemática en procesos de producción y comercialización

Los problemas que se presentaron en el proceso de producción en los dife-

rentes cultivos fueron diversos, pero todos coincidieron que el mayor reto se presenta en el control de plagas y enfermedades. Caña de azúcar con 40%, moringa 62% y jatropha 83%; esto coincide con lo dicho en la ENA 2014, donde se reportó que el 79% de los productores en México presentaron afecciones de plagas, enfermedades, condiciones climáticas, etc. (INEGI, 2014). En el momento de la venta de su producto, el 88% de los cañeros no presentó ningún problema, mientras que el 12% restante indica que solo tuvo retraso de órdenes de cosecha. Los productores de este cultivo mantienen una alta dependencia con los lazos de financiamiento del ingenio, debido a que los contratos que tiene con éstos aseguran la compra de su producción (García *et al.*, 2014). En moringa el mayor reto fue un adecuado conocimiento (46%) de lo que implica producir este cultivo. En el caso de jatropha, el mayor problema que se tuvo fue que los precios son bajos al momento de vender, esto se debe que en la actualidad no se cuenta con una cadena de valor bien establecida en México (Valdés *et al.*, 2015), lo que hace que se dificulte la venta de este cultivo (Cuadro 4).

Otro aspecto que se analizó fue la comercialización del producto. En la Figura 1a se muestra que la moringa es la que presentó mayor diversificación, con cuatro diferentes formas de utilización del producto, como lo son: a) utilización como forraje para animales, b) venta de nue-

**Cuadro 3.** Aspectos económicos de tres cultivos con potencial biocombustible en México.

		Caña de azúcar	Moringa	Jatropha
Destino de ingreso (%)	Manutención familiar	32	53	25
	Reinvertir	46	29	58
	Pago de deudas	11	12	17
	Ahorro	11	6	0
Rentabilidad ante el cultivo (%)	Conforme	80	10	0
	Alta demanda	0	30	0
	Rentable	20	60	50
	Fines de investigación	0	0	30
Autosuficiencia familiar (%)	No es rentable	0	0	20
	Si	33	60	40
Satisfacción económica (%)	No	67	40	60
	Satisfecho	73	60	80
Autosuficiencia económica (%)	Insatisfecho	27	40	20
	Con solvencia	20	80	20
	Viviendo día a día	70	20	40
Satisfacción con el precio de venta (%)	Con pérdidas	20	40	40
	Si	67	70	10
	No	33	30	90

vas plántulas, c) utilización como alimento humano, y d) uso en el área farmacéutica; esto es menor a lo descrito por Magaña (2012), donde se describe el aprovechamiento de la moringa a nivel mundial en cinco diferentes utilidades: alimentos para personas, depuración de aguas, para producción de aceite con diferentes usos, para forrajes de animales y melífero. Para jatropha se tienen tres productos que son: la venta de semilla, aceite y biodiesel. Los productores de este cultivo solo se limitan a la comercialización con destinos bioenergéticos; aunque existen oportunidades de diversificación, tal como lo reportan Sánchez-Sánchez *et al.* (2015) y Valdés *et al.* (2013), quienes documentan diversos usos de la jatropha en México, como lo es el consumo humano, medicinal, cerco vivo e incluso como alimento para animales. En contraste, los productores de caña no pueden comercializar su producto por ellos mismos debido a los contratos donde se garantiza la compra de su producción por sus respectivos ingenios, dejándolos propensos a los posibles problemas que se presentan en estas empresas.

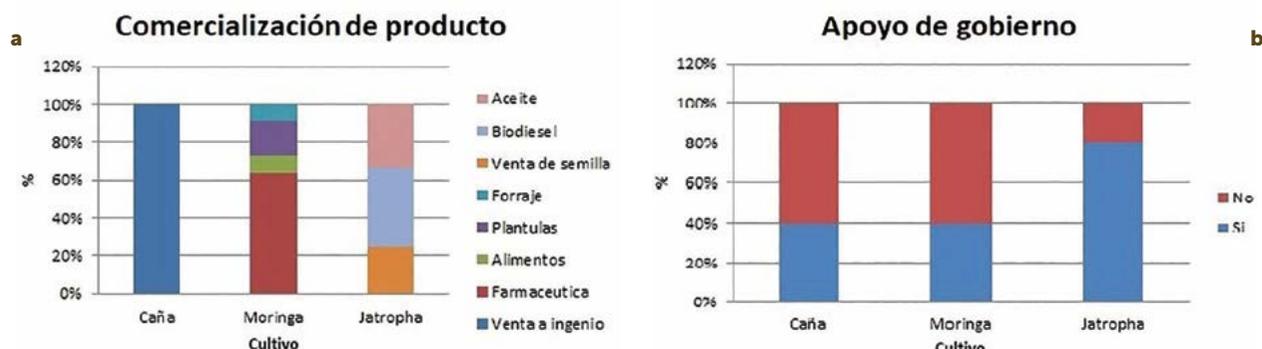
Con respecto a apoyos gubernamentales, ya sean federales, estatales, o ambos, el gobierno mexicano a partir del 2009 mediante la SENER

**Cuadro 4.** Problemática asociada a la producción y venta de tres cultivos bioenergéticos mexicanos reportada por los productores mexicanos.

Problemática		Caña de azúcar	Moringa	Jatropha
En producción (%)	Inversión alta	5	0	0
	Fertilizantes caros	15	0	0
	Plagas	40	62	83
	Riego	10	8	0
	Traslados	15	0	0
	No existe equidad	7	0	0
	Preparación de terreno	0	15	0
	No hay infraestructura	0	15	17
	Ninguno	10	0	0
En venta (%)	Retraso en ordenes	12	0	0
	No hay mercado	0	0	0
	Precios altos	0	9	80
	Mayor conocimiento de producto	0	46	20
	Mucha competencia	0	18	0
	Ninguno	88	27	0

y la SAGARPA ha impulsado créditos para la siembra de cultivos con potencial bioenergético. Aunque tales subsidios no son ampliamente conocidos, ya que los productores cañeros, en su mayoría (60%), indican que no reciben algún tipo de apoyo por parte del gobierno federal. Sin embargo, mediante el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2014-2018 (PRO-NAC 2014-2018), se establece que sí se brindan apoyos para todos los participantes de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar. Para acceder a los subsidios que brinda la

SAGARPA, el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA) difunde lineamientos con el fin de que los productores puedan solicitarlos, ya sea personalmente o en conjunto a través de un apoderado legal (CONADESUCA, 2015). No obstante, es posible que no se accedan a estos recursos debido a que las personas cuentan con muy bajo nivel educativo, lo que los limita en la solicitud de los financiamientos, teniendo que recurrir a representantes legales que no realizan el trámite adecuadamente, o en el peor de



**Figura 4.** a) Diversificación de los productos derivados de los cultivos y b) productores con apoyos del gobierno federal.

los casos, que realicen algún tipo de desvío de recursos (Figura 1b). Se debe mencionar que adicionalmente los productores de caña de azúcar cuentan con el beneficio de la seguridad social (seguro médico y pensión por cesantía o vejez); aunque los productores en este estudio no los mencionaron. Esta situación constituye una ventaja que ningún otro productor tiene y es posible que ha sido una causa mayor para el aumento de la siembra de esta especie en el estado de Veracruz.

En el caso de moringa, la mayoría de los productores (60%) no son apoyados por el gobierno federal, debido a que son iniciativa privada y su producción es destinada principalmente a la industria farmacéutica y alimentaria; caso contrario a *Jatropha*, donde aun cuando también son iniciativas privadas, el gobierno les proporcionó apoyos para su siembra.

Respecto a los fines para biocombustibles, se encontró que *Jatropha* es el único cultivo destinado para este fin. Mientras que para la caña de azúcar apenas inicia una incipiente participación, principalmente, debido a que la producción completa es vendida a los ingenios azucareros que la destinan a otro tipo de productos. Por ejemplo, en el estado de Veracruz, solo existen cuatro empresas productoras de etanol (Destiladora de Energía Atoyac, Destiladora del Papaloapan, Destiladora del Valle de Orizaba y el Ingenio Azucarero de San Nicolás), el cual es destinado para consumo interno y para la zona conurbana de Veracruz-Boca del Río. Para el caso de la moringa, los productores desconocen la aplicación del uso como biocombustible.

## CONCLUSIONES

**La caña** de azúcar alberga una mayor diversidad de productores en características como rango de edad amplio, escolaridad primaria, sexo femenino y ejidatarios; aunque dichos productores presentan una gran dependencia de los ingenios debido al apoyo técnico y financiero que éstos les brindan. Por el contrario, los productores de moringa y *Jatropha* no cuentan con compradores que brinden los servicios de un ingenio, lo que implica tener conocimientos superiores y se refleja en niveles educativos altos. Por otra parte, es importante remarcar que el productor más apoyado por el gobierno federal fue el de *Jatropha*, debido a los proyectos impulsados para la obtención de biocombustibles, mientras que los cañeros cuentan con una seguridad social que ningún otro cultivo les otorga. Con respecto a la diversificación de

la producción, la rentabilidad, escasos insumos de producción, conocimiento de los beneficios del producto y un precio adecuado, los productores de moringa obtienen beneficios económicamente superiores a los otros cultivos, permitiendo destinar sus ganancias a la manutención familiar y estar satisfechos con su producto, por lo que se considera que moringa es el cultivo con mejores perspectivas futuras para el país. Finalmente, solo los productores de *Jatropha* producen biocombustible por cuenta propia, mientras que los de caña de azúcar se ven limitados a lo que los ingenios realicen con su producto, aunque ya existe una producción incipiente de etanol.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar R.N. 2014. Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. *Nova Scientia* 6: 125-161.
- Agüero-Rodríguez J.C., Tepetla-Montes J., Torres-Beristain B. 2015. Producción de biocombustible a partir de la caña en Veracruz, México: perspectivas y riesgos socio-ambientales. *Ciencia UAT* 9: 74-84.
- Azad A.K., Rasul M.G., Khan M.M.K., Sharma S.C. Islam R. 2015. Prospect of Moringa Seed Oil as a Sustainable Biodiesel Fuel in Australia: A Review. *Procedia Engineering* 105: 601-606.
- CDHCU. 2008. Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos; Ley para el aprovechamiento sustentable de energías. Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. México, D. F.
- Celso A. P. L., Cortés F. J. H. 2010. Análisis de la eficiencia técnica relativa de la agroindustria azucarera: el caso de México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 26: 202-213.
- CONADESUCA. 2015. Guía práctica de los programas de apoyo de la SAGARPA para productores de caña de azúcar. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. México. 62 p.
- Da Silva, J.P.V., Serra T.M., Gossmann M., Wolf C.R., Meneghetti M.R., Meneghetti S.M.P. 2010. *Moringa oleifera* oil: studies of characterization and biodiesel production. *Biomass and Bioenergy* 34: 1527-1530.
- FIRA. 2010. Producción sostenida de caña de azúcar en México. Fideicomiso Instituido en Relación con la Agricultura. México, D. F. 64p.
- García, F.F., Álvarez H. M., Sánchez M. N. E. 2014. La agricultura azucarera en el Mante, Tamaulipas. Estrategias para potenciar la cadena de valor. *Revista Mexicana de Agronegocios* 35: 922-933.
- Hernández R.M.A., Hernández Z.J.A. 2008. Verdades y mitos de los biocombustibles. *Elementos: Ciencia y Cultura* 15: 15-18.
- Hinojosa I.D., Skutsch M. 2001. Impacto de establecer *Jatropha curcas* para producir biodiesel, en tres comunidades de Michoacán, México, abordado a partir de diferentes escalas. *Revista Geográfica de América Central* 2: 1-15.
- INEGI 2014. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2014. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- Magaña B.W. 2012. Aprovechamiento poscosecha de la moringa (*Moringa oleifera*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 13: 171-174.

- Márquez M.L.E., Martínez S.T. 2007. La combinación de sistemas agrícolas tradicionales y comerciales, el proceso de conversión en Cruz de Piedra, Estado de México. *Revista de Antropología Iberoamericana* 2: 67-90.
- Mofijur M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Atabani A.E., Arbab M.I., Cheng S.F., Gouk S. W. 2014. Properties and use of *Moringa oleifera* biodiesel and diesel fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management* 82: 169-176.
- Olson M.E., Fahey J. W. 2011. *Moringa Oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1071-1082.
- Parral Q. L. E.2014. Las organizaciones de productores de caña y sus relaciones de poder. El caso de la asociación local cañera de Casasano, en Cuautla de Morelos, México. *Revista Pueblos y Fronteras Digital* 9: 81-90.
- Rashid U., Anwar F., Moser B.R., Knothe G. 2008. Moringa oleifera oil: a possible source of biodiesel. *Bioresource Technology* 99: 8175-8179.
- Rucoba G.A., Munguía G.A., Sarmiento F.F. 2013. Entre la *Jatropha* y la pobreza: reflexiones sobre la producción de agrocombustibles en tierras de temporal en Yucatán. *Estudios Sociales* 21: 115-142.
- SAGARPA. 2011. Guía para cultivar piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Jalisco. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca, y Alimentación. Jalisco, México. 44 p.
- SAGARPA. 2009. Programa de producción sustentable de insumos para bioenergéticos y de desarrollo científico y tecnológico. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca, y Alimentación. México, D. F. 38 p.
- Sánchez-Sánchez O.M., Valdés-Rodríguez O.A., Sánchez-Herrera D.E. 2015. Ecología y etnobotánica de *Jatropha Curcas* L. no tóxica. En: Osuna-Canizales F.J., Atkinson C.J., Vázquez-Alvarado J.M.P., Barrios-Gómez E.J., Hernández-Arenas M., Rangel-Estrada S.E., Cruz-Cruz E. (Eds.). Estado del arte en la ciencia y tecnología para la producción y procesamiento de la *Jatropha* no tóxica. SAGARPA, INIFAP. México, D. F. 100 p.
- SENER. 2016. Balance Nacional de Energía 2015. Secretaría de Energía. Ciudad de México, México. 136 p.
- SENER. 2006. Energías renovables para el desarrollo sustentable en México. Secretaría de Energía. Ciudad de México, México. 82 p.
- Valdés R.O.A., Pérez V.A., Sánchez S.O. 2015. Las experiencias mexicanas con plantaciones de *Jatropha curcas* L. En: Osuna-Canizales F. J., Atkinson C. J., Vázquez-Alvarado J. M. P., Barrios-Gómez E. J., Hernández-Arenas M., Rangel-Estrada S. E., Cruz-Cruz E. (Eds.). Estado del arte en la ciencia y tecnología para la producción y procesamiento de la *Jatropha* no tóxica. SAGARPA, INIFAP. México, D. F. 100 p.
- Valdés R.O.A., Pérez V. A., Muñoz-Gamboa C. 2014. Drivers and consequences of the first *Jatropha curcas* Plantations in Mexico. *Sustainability* 6: 3732-3746.
- Valdés R.O.A., Pérez V.A., García P.E., Inurreta A.H.D. 2013. Condiciones agroecológicas de procedencias nativas de *Jatropha curcas* L. En: A. Pérez-Vázquez, García-Pérez E. (Ed.). *Energía Alterna y Biocombustibles* (1ra ed.). Colegio de Postgraduados. Texcoco, Mexico. pp. 143-152.
- Valero P.J., Cortina V.H.S., Vela C.M.P. 2011. El proyecto de biocombustibles en Chiapas: experiencias de los productores de piñón (*Jatropha curcas*) en el marco de la crisis rural. *Estudios Sociales* 19: 120-144.



# TOLERANCIA A SALINIDAD EN PLANTAS CULTIVADAS: UNA VISIÓN AGRONÓMICA

## TOLERANCE TO SALINITY IN CULTIVATED PLANTS: AN AGRONOMIC VISION

Orosco-Alcalá, B.E.<sup>1</sup>; Núñez-Palenius, H.G.<sup>1\*</sup>; Pérez-Moreno, L.<sup>1</sup>; Valencia-Posadas, M.<sup>2</sup>; Trejo-Téllez L.I.<sup>3</sup>;  
Díaz-Serrano, F.R.<sup>1</sup>; Ruiz-Nieto, J.E.<sup>1</sup>; Abraham-Juárez, M.R.<sup>4</sup>

Universidad de Guanajuato. <sup>1</sup>Departamento de Agronomía, <sup>2</sup>Departamento de Medicina Veterinaria, <sup>4</sup>Departamento de Alimentos. Ex Hacienda El Copal. Carretera Irapuato-Silao km 9, Irapuato, Guanajuato, México. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

\*Autor de correspondencia: palenius@ugto.mx

---

### ABSTRACT

Stress, both biotic and abiotic, negatively affects the growth of plants. Particularly, salinity stress decreases the productivity of agricultural crops, and consequently the profitability of the affected production units. The excess of salinity causes ionic and osmotic stress and there have been considerable advances in the understanding of the biochemical, physiological and molecular processes that activate plants in the presence of salt. In this review, the response of plants to abiotic stress caused by salts and the importance of tolerance is analyzed from an agronomic perspective.

**Keywords:** Salinity, salt, osmotic stress, ionic stress, tolerance.

### RESUMEN

El estrés tanto de naturaleza biótica como abiótica, afecta negativamente el crecimiento de las plantas. Particularmente, el estrés por salinidad disminuye la productividad de los cultivos agrícolas, y en consecuencia la rentabilidad de las unidades de producción afectadas. El exceso de salinidad provoca estrés iónico y osmótico y ha habido avances considerables en el entendimiento de los procesos bioquímicos, fisiológicos y moleculares que activan las plantas en presencia de sal. En esta revisión, se analiza la respuesta de las plantas al estrés abiótico ocasionado por sales y la importancia de la tolerancia, desde una perspectiva agronómica.

**Palabras clave:** Salinidad, sales, estrés osmótico, estrés iónico, tolerancia.

## INTRODUCCIÓN

**El estrés** por factores bióticos y abióticos representa un desequilibrio en la homeostasis de la planta (Lemoine *et al.*, 2013). Los factores abióticos que más causan daño en la producción de los cultivos son temperaturas extremas, sequía y salinidad (Hoang *et al.*, 2016), ya que afectan el crecimiento de las plantas y disminuyen su productividad, ocasionando pérdidas de hasta un 50% en el rendimiento (Rengasamy, 2010). Aunado a lo anterior, la desertificación y el cambio climático exacerbaban los problemas en la producción de alimentos, sobre todo en países en desarrollo, ya que merman el rendimiento y la calidad de los cultivos (Xu, 2016). Por lo que, para garantizar la seguridad alimentaria mundial, es necesario incrementar la tolerancia de las plantas al estrés abiótico y reducir las pérdidas en la producción de los cultivos agrícolas. Asimismo, para sobrevivir, e incluso producir bajo condiciones adversas, las plantas han desarrollado mecanismos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y genéticos que les permitan resistir, evitar, y escapar a los estímulos ambientales negativos o incluso permanecer bajo un estado particular de estrés sin que su metabolismo se vea afectado drásticamente (Bronwyn *et al.*, 2014).

## LA SALINIDAD Y SU ORIGEN

La salinidad se refiere a la acumulación de sales solubles en agua y suelo (Bronwyn *et al.*, 2014; Mata-Fernández *et al.*, 2014). De acuerdo con Ashraf (2009) y SEMARNAT (2009), el problema se deriva de un conjunto de factores, entre los que se encuentran: baja precipitación, alta evaporación superficial, desgaste de las rocas nativas, riego con agua salina, suelos con drenaje deficiente y malas prácticas culturales.

### Suelos salinos en el mundo y en México

Actualmente, más de 74% de los suelos dedicados a la agricultura a nivel mundial muestran problemas de salinidad (Argentel *et al.*, 2017). Del mismo modo, Schroeder *et al.* (2013) y Qadir *et al.* (2014) mencionan que los suelos afectados por sales

ocupan entre 7 y 10% (8.97 millones de km<sup>2</sup>) de las tierras alrededor del mundo, lo que engloba entre 20 y 30% de las tierras irrigadas en la agricultura, y representa una superficie mayor a los 60 millones de ha; además, la salinidad está destruyendo al menos 3 ha cultivables cada minuto. Por los altos niveles de salinidad, se pierden al año aproximadamente 1.5 millones de ha de suelos irrigados, lo que reduce aproximadamente 11 mil millones de dólares la productividad agrícola (Munns y Tester; 2008; Bronwyn *et al.*, 2014). En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2009), señala que se encuentran alrededor de 100 millones de ha de suelos con problemas de salinidad y sodicidad, y 30% del área irrigada presenta problemas con altos niveles de sales en el suelo o medio. Mata-Fernández *et al.* (2014) mencionan que la superficie afectada (en diferente grado) es de 600 mil ha, de las cuales 300 mil producen rendimientos deficientes (SEMARNAT, 2009).

## CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTAS POR SU CAPACIDAD PARA CRECER EN AMBIENTES SALINOS

Mata-Fernández *et al.* (2014) y Munns y Gilliam (2015) señalan que las plantas, de acuerdo con su reacción con la salinidad, se dividen en dos grupos (Cuadro 1).

## EFFECTO DE LAS SALES DE CLORURO DE SODIO EN LOS CULTIVOS

La salinidad provoca valores altos en la presión osmótica del suelo, lo que repercute negativamente en los rendimientos de una amplia variedad de cultivos, como frutales;

tales como aguacate, ciruelo, almendro, peral, y cítricos (Flowers, 2004; Munns y Tester, 2008); y hortalizas; entre ellas tomate, pimiento y pepino (Bergougnoux, 2014; Munns y Gilliam, 2015; Penella *et al.*, 2016). La sensibilidad de la planta está determinada por la composición de las sales y no tanto por su concentración (López-Climent *et al.*, 2008). Alrededor del 50% de los suelos afectados por sales, son sódicos, una condición en donde el Na<sup>+</sup> contribuye

**Cuadro 1.** Clasificación de plantas de acuerdo con su respuesta a la concentración de sales.

Halófitas	Glicófitas
<ol style="list-style-type: none"> <li>Plantas que toleran altas concentraciones de sodio.</li> <li>Se desarrollan en hábitats salinos.</li> <li>Presión osmótica elevada en el citoplasma celular.</li> <li>Grupos diferentes de plantas halófitas:                     <ol style="list-style-type: none"> <li>Euhalófitas: acumulan sales en sus tejidos (más tolerantes a las sales).</li> <li>Crinohalófitas: tienen glándulas excretoras que eliminan sales.</li> <li>Glicohalófitas: raíces selectivas a sales.</li> <li>Localhalófitas: localizan las sales en estructuras especiales (tejidos senescentes).</li> </ol> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Plantas que no toleran altas concentraciones de sodio.</li> <li>Se desarrollan en hábitats no salinos.</li> <li>Presentan menor concentración de Na<sup>+</sup> en las hojas que en la solución externa (exclusión del ion).</li> <li>La sensibilidad a las sales por:                     <ol style="list-style-type: none"> <li>Incapacidad en la osmorregulación: insuficiente absorción de iones o carencia de síntesis de solutos orgánicos.</li> <li>Daños por iones inorgánicos: absorbidos por la célula y no compartimentalizados en orgánulos celulares.</li> </ol> </li> </ol>

al menos con 15% de la capacidad de intercambio catiónico (Rozema y Flowers 2008).

Cuando las raíces de las plantas están expuestas a las altas concentraciones de sales, éstas causan tanto estrés osmótico como iónico (Munns y Gilliam, 2015). El mayor daño se asocia a la alta toxicidad del  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , ya que afectan negativamente los procesos fisiológicos de las plantas, principalmente la absorción de agua y nutrientes, así como la fotosíntesis (Munns y Tester, 2008; Hasegawa, 2013; Dekoum et al., 2017). Además, las altas concentraciones externas de  $\text{Na}^+$  reducen la absorción de  $\text{K}^+$  y estimulan su salida, lo que conduce a una insuficiencia de  $\text{K}^+$ , nutrimento necesario para las reacciones enzimáticas y los ajustes osmóticos dentro de la célula (Hasegawa, 2013; Dekoum et al., 2017). Sin embargo, las plantas han desarrollado mecanismos para prevenir el daño por la acumulación de  $\text{Na}^+$  citosólico, lo que incluye la regulación de la concentración intracelular de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Este proceso es considerado un mecanismo clave en la tolerancia al estrés salino de los cultivos (Roy et al., 2014; Dekoum et al., 2017), ya que se puede presentar una reducción de  $\text{Na}^+$  en la parte aérea de la planta (Munns y Gilliam, 2015).

### MECANISMOS DE RESPUESTA DE LA PLANTA A LA SALINIDAD

De acuerdo con lo señalado por Taiz y Zeiger (2010), en las plantas existen dos mecanismos generales para resistir a las sales; la evasión y la tolerancia. La evasión consiste en evitar la acumulación de sales y la tolerancia consiste en la aptitud de las plantas en no perder su ca-

pacidad productiva a un nivel de salinidad determinado (Cuadro 2).

La tolerancia al estrés abiótico en la planta entera es muy compleja, y en los niveles celulares (Ashraf, 2009) se debe, en parte, a las interacciones entre los factores de estrés y diversos fenómenos moleculares, bioquímicos y fisiológicos que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Zhu, 2002). Actualmente, no existen medios tecnológicos económicamente viables para facilitar la producción de cultivos en condiciones de estrés salino. Sin embargo, el desarrollo de plantas cultivadas tolerantes a las tensiones ambientales se considera un enfoque prometedor, que puede ayudar a satisfacer las crecientes demandas de alimentos (Ashraf, 2009; Zhu et al., 2015).

### ESTRÉS SALINO EN EL CRECIMIENTO MORFOLÓGICO DE LAS PLANTAS

El estrés por salinidad, disminuye la división celular epidérmica de la raíz y la tasa de alargamiento, reduciendo el crecimiento de raíces primarias e inhibiendo la iniciación lateral (Jung y McCouch, 2013). Las raíces presentan halotropismo negativo, es decir crecen lejos de la sal. Esta respuesta de crecimiento asimétrica se inicia por un gradiente positivo de auxinas, el cual se redistribuye activamente al lado de la raíz frente a la sal (Galvan-Ampudia et al., 2013; Rogers y Benfey, 2015). Por lo tanto, los sistemas radicales son clave para mejorar la tolerancia a las sales, ya que incrementan la absorción del agua y nutrimentos, y limitan la adquisición de sales (Jung y McCouch, 2013).

**Cuadro 2.** Mecanismos de respuesta de las plantas a la salinidad (Levitt, 1980; Mahajan y Tuteja, 2005; Hasegawa, 2013; Shabala, 2013; Almeida et al., 2014; Flowers et al., 2015).

Evasión	Tolerancia
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Reabsorción por el xilema y la retranslocación. El transporte vía xilema es determinado por la transpiración, por lo que es necesario regular la selectividad, para evitar la entrada de <math>\text{Na}^+</math> y <math>\text{Cl}^-</math> a las raíces o su liberación en el xilema y evitar su exceso en la parte aérea.</li> <li>2) Compartimentalización dentro de la planta. Los iones tóxicos (<math>\text{Na}^+</math> y <math>\text{Cl}^-</math>) son retenidos principalmente en vacuolas corticales, los iones que fluyen hacia el xilema, son reabsorbidos en la planta.</li> <li>3) Exclusión. Se inhibe la absorción de iones monovalentes, <math>\text{Na}^+</math> y <math>\text{Cl}^-</math> a nivel plasmalema, y se absorbe de manera preferencial de <math>\text{Ca}^{2+}</math>.</li> <li>4) Extrusión. Es el "bombeo" de sales desde los órganos aéreos, lo que evita el estrés primario por <math>\text{Na}^+</math>, y, el secundario por la deficiencia de <math>\text{K}^+</math>.</li> <li>5) Suculencia. Es el engrosamiento de los órganos de la planta, lo cual se logra por el aumento en el volumen de almacenamiento mediante el desarrollo de estructuras gruesas, carnosas y suculentas. La suculencia es principalmente el resultado de las vacuolas de las células del mesófilo que se llenan de agua y aumentan de tamaño.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Osmoregulación. La tolerancia al estrés por ósmosis puede ser de dos tipos: 1) Impedir la deshidratación, al compartimentar en hojas adultas los iones salinos, lo que permite la rehidratación de las células, devolviendo la turgencia a las mismas y reiniciando el crecimiento celular y; 2) Tolerar la deshidratación, lo que permite a las plantas sobrevivir a niveles de turgencia muy bajos, pero mantiene a las células en un estado de no crecimiento.</li> <li>2) Acumulación de iones. Compartimentalizar la mayor parte del <math>\text{Na}^+</math> y <math>\text{Cl}^-</math> en las vacuolas de la hoja para mantener sus concentraciones por debajo de los valores tóxicos en citosol y en orgánulos, y utilizar osmolitos (<math>\text{K}^+</math>) para equilibrar la presión osmótica en la célula.</li> <li>3) Acumulación de solutos orgánicos. En condiciones de estrés salino, las plantas sintetizan y almacenan sustancias orgánicas en el citoplasma (glicerol, glicinabetaína, prolina, sacarosa, trehalosa y alcoholes, como el sorbitol).</li> </ol>

Un efecto reconocible del estrés por la salinidad es la reducción en el crecimiento de los brotes, que, a su vez, puede cambiar la asignación de la biomasa entre éstos y las raíces (Almeida *et al.*, 2014), y afectar la expansión celular de hojas jóvenes, lo que causa una disminución en la altura y en el área foliar (Munns y Tester, 2008); y finalmente repercute negativamente en la producción.

## DIVERSIDAD GENÉTICA A LA TOLERANCIA A SALES EN PLANTAS

Según Dale y Henry (2003), los genes implicados en la tolerancia a la salinidad incluyen los que controlan los siguientes procesos: 1) La capacidad de la raíz de excluir la absorción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  por medios activos (canales iónicos) o pasivos (permeabilidad de la membrana), pero manteniendo la absorción selectiva de iones importantes para el crecimiento; 2) Habilidad de compartamentalizar el  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  dentro de la vacuola, o en tejidos senescentes, manteniendo bajos niveles citoplásmicos de estos iones tóxicos para las hojas en crecimiento activo; 3) Síntesis de osmoprotectantes que ayudan a la planta a conservar la turgencia de las células, a mantener el agua y la absorción de nutrimentos contra un gradiente osmótico creado por la sal en el suelo; y 4) Respuestas secundarias al estrés que eliminan radicales libres de alta energía para prevenir daños en la célula.

Se han identificado y caracterizado genes involucrados en la tolerancia al estrés iónico y osmótico que abren la posibilidad en la ingeniería de cultivos al incrementar la tolerancia a la sal en plantas. A continuación, se resumen algunos hallazgos sobre de genes que confieren a las plantas incremento a la tolerancia a salinidad:

- **NtHAL3a.** La expresión de estos genes se relaciona con la acumulación de osmolitos o solutos compatibles y/o el transporte de iones tóxicos como el sodio (Espinosa-Ruiz *et al.*, 1999). Kupke *et al.* (2001) sugieren que la proteína AtHAL3a funciona en la ruta biosintética de la coenzima A de las plantas.
- **AtNHX1.** Gen que media el transporte de sodio y potasio con afinidades similares (osmorregulación) (Venema *et al.*, 2002).
- **P5CS** y **OsTPS1.** Genes implicados en el incremento en la concentración de prolina y en los niveles de trehalosa (Nayakama *et al.*, 2004).
- **Ena1p.** Expresión del gen que codifica para la bomba de eflujo de sodio; exporta  $\text{Na}^+$  citosólico durante los eventos de estrés por salinidad (Nayakama *et al.*, 2004).

- **OsHKTs.** Genes que codifican para los transportadores de potasio de alta afinidad en arroz, explicando el mecanismo de homeostasis del  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  (Suzuki *et al.*, 2016).
- **QTLs.** Muchos genes de los loci de rasgos cuantitativos son asociados a la adaptación al estrés salino en el arroz. Se detectó que están relacionados con el tiempo de supervivencia bajo este tipo de estrés, en la etapa de plántula, crecimiento vegetativo y reproductivo (Kumar *et al.*, 2015; Liang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017).
- **Genes de eliminación de especies reactivas de oxígeno (ERO).** La sobreexpresión de los genes implicados en la eliminación de ERO produce menor daño celular, por lo tanto, mantiene la energía fotosintética, y mejora el crecimiento de las raíces y brotes bajo condiciones salinas (Dong *et al.*, 2013; Roy *et al.*, 2014).

## FISIOLOGÍA DE LA TOLERANCIA AL ESTRÉS EN LAS PLANTAS

Los estomas controlan el intercambio de vapor de agua y  $\text{CO}_2$  entre el interior de la hoja y la atmósfera, y sirven para que se lleve el proceso de transpiración en las plantas (Lawson y Blatt, 2014). La apertura estomática está influenciada tanto por la planta como por su entorno (Hetherington y Woodward, 2003), bajo condiciones salinas, las células vegetales pierden agua y reducen el alargamiento celular para el ajuste osmótico a corto plazo y posteriormente acumulan  $\text{NaCl}$  celular durante un período más largo (Zhu, 2002; Munns y Tester, 2008). La acumulación de  $\text{NaCl}$  en las células vegetales (protección estomática) afecta su función, el cierre estomático es una respuesta inmediata a la salinidad, y es crucial para minimizar la pérdida de agua de la planta en condiciones hiperosmóticas en su rizósfera (Shabala y Pottosin, 2014).

La reducción de la densidad estomática es otra forma de optimizar el equilibrio entre la pérdida de agua de las hojas y la asimilación de  $\text{CO}_2$ . Las especies halófitas, son capaces de reducir la densidad estomática cuando se cultivan en condiciones de hipersalinidad (Shabala, 2013). Liu *et al.* (2014) indican que la conductancia estomática, la tasa de transpiración y la concentración de  $\text{CO}_2$  en las células disminuyen bajo estrés salino.

Khazaei *et al.* (2010) y Aminian *et al.* (2011), mencionan que los parámetros estomáticos y fotosintéticos, como: tamaño y frecuencia de los estomas, conductancia

estomática, asimilación del carbono, tasa de transpiración y eficiencia del uso del agua, afectan los rendimientos de los cultivos en cualquier condición (estrés o no). Sin embargo, la capacidad que tienen las plantas para mantener la velocidad normal de transpiración bajo condiciones salinas es un indicador importante de la tolerancia a la sal, particularmente, porque se relaciona con la absorción de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis (Harris et al., 2010).

Otro rasgo importante para la función de la planta es la capacidad de mantener el contenido de agua en los tejidos en niveles óptimos frente al estrés ambiental. El contenido relativo de agua se utiliza ampliamente para determinar el estado hídrico, bajo condiciones salinas las plantas ajustan su potencial osmótico para mantener la presión de turgencia (Boyer et al., 2008). La fracción de agua (FA) es el contenido de agua del brote como una parte de la masa fresca de éste. Una planta con una FA más alta es capaz de mantener su contenido de agua bajo estrés salino (Negrão et al., 2017).

La presencia de sales en el suelo exige "mayor esfuerzo" por parte de la planta, para absorber el agua; cuanto más elevada es la concentración salina, mayor será la presión que ejercen; por lo que parte de la energía de origen metabólico se dirige a tal proceso, disminuyendo en otros importantes como crecimiento, floración, fructificación, etc. La mayor parte de la energía adquirida por la fotosíntesis se utiliza por las plantas en mantenimiento general (Jacoby et al., 2011), sólo una pequeña proporción (10-40%) se destina para acumulación de biomasa. En consecuencia, el estrés salino se puede definir en términos de costos energéticos; si se considera que la cantidad de energía adquirida por la planta se reduce y/o se redistribuye para la defensa ante esta condición (Almeida et al., 2014).

## CONCLUSIÓN

**La salinidad** provoca efectos nocivos (disminución en el rendimiento) en los cultivos agrícolas, por lo que sus mecanismos de respuesta al estrés salino son complejos e influyen diversos factores, tanto inherentes al genotipo, como a la morfología y fisiología de la planta para tolerar estas condiciones adversas. Sin embargo, el rendimiento de los cultivos sometidos a este tipo de estrés es el resultado de equilibrar la asignación de recursos (fotosintéticos) entre el crecimiento y la defensa contra el estrés.

## PERSPECTIVAS

La salinidad es un factor abiótico, que afecta severamente la condición hídrica de la planta, lo cual influye en el rendimiento de los cultivos, ya sean de índole hortícola, frutícola, ornamental, y otros. Sin embargo, existen estrategias agronómicas sostenibles para mitigar o tolerar esta condición adversa (estrés) para la productividad de los cultivos, como son el uso de los injertos, la aplicación de bioestimulantes entre los que se encuentran los elementos benéficos, entre otras.

## LITERATURA CITADA

- Almeida P., Feron R., Gert-Jan de Boer, Albertus H. 2014. Role of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, proline and sucrose concentrations in determining salinity tolerance and their correlation with the expression of multiple genes in tomato. *AoB Plants* 6: plu039.
- Aminian R., Mohammadi S., Hoshmand S., Khodombashi M. 2011. Chromosomal analysis of photosynthesis rate and stomatal conductance and their relationships with grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water-stressed and well-watered conditions. *Acta Physiologia Plantarum* 33: 755-764.
- Argentel M.L., Fonseca R.I., Garatuza P.J., Yépez G.E., González A.J. 2017. Efecto de la salinidad en callos de variedades de trigo durante el cultivo *in vitro*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 477-488.
- Ashraf M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances* 27: 84-93.
- Bergougnoux V. 2014. The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology Advances* 32: 170-189.
- Boyer J.S., James R.A., Munns R., Condon T.A.G., Passioura J.B. 2008. Osmotic adjustment leads to anomalously low estimates of relative water content in wheat and barley. *Functional Plant Biology* 35: 1172-1182.
- Bronwyn J.B., Vera-Estrella R., Balderas E., Pantoja O. 2014. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotecnología* 14: 263-272.
- Dale G., Henry R. 2003. Biotechnology for salt tolerance and/or enhanced water use in plants—interesting science or a pathway to the future? 9th National Conferences, Salinity under the sun – investing in prevention and rehabilitation of salinity in Australia Yeppoon, Qld.
- Dekoum V.M., Assaha A.U., Hirofumi S., Rashid A., Mahmoud W.Y. 2017. The role of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> transporters in salt stress adaptation in glycophytes. *Frontiers in Physiology* 8: 509. doi: 10.3389/fphys.2017.00509.
- Dong W., Wang M., Xu F., Quan T., Peng K., Xiao L., Xia G. 2013. Wheat oxophytodienoate reductase gene *TaOPR1* confers salinity tolerance via enhancement of abscisic acid signaling and reactive oxygen species scavenging. *Plant Physiology* 161: 1217-1228.
- Espinosa-Ruiz A., Belles J.M., Serrano R., Culiñez-Macla F.A. 1999. *Arabidopsis thaliana* ATHAL3: a flavoprotein related to salt and osmotic tolerance and plant growth. *The Plant Journal* 20: 529-539.
- Flowers T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal Experimental Botany* 55: 145-152.



- Flowers T.J., Munns R., Colmer T.D. 2015. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of Botany* 115: 419-431.
- Galvan-Ampudia C.S., Julkowska M.M., Darwish E., Gandullo J., Korver R.A., Brunoud G., Haring M.A., Munnik T., Vernoux T., Testerink C. 2013. Halotropism is a response of plant roots to avoid a saline environment. *Current Biology* 23: 2044-2050.
- Harris B.N., Sadras V.O., Tester M. 2010. A water-centred framework to assess the effects of salinity on the growth and yield of wheat and barley. *Plant and Soil* 336: 377-389.
- Hasegawa P.M. 2013. Sodium (Na<sup>+</sup>) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental and Experimental Botany* 92: 19-31.
- Hetherington A.M., Woodward, F.I. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature* 424: 901-918.
- Hoang T.M.L., Tran T.N., Nguyen T.K.T., Williams B., Wurm P., Bellair S., Mundree S. 2016. Improvement of salinity stress tolerance in rice: challenges and opportunities. *Agronomy* 6: 54
- Jacoby R.P., Taylor N.L., Millar A.H. 2011. The role of mitochondrial respiration in salinity tolerance. *Trends in Plant Science* 16: 614-623.
- Jung J.K.H., McCouch S. 2013. Getting to the roots of it: genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in Plant Science* 4:186. doi: 10.3389/fpls.2013.00186
- Khazaei H., Monneveux P., Hongbo S., Mohammady S. 2010. Variation for stomatal characteristics and water use efficiency among diploid, tetraploid and hexaploid Iranian wheat landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57: 307-314.
- Kumar V., Singh A., Mithra A.S. V., Krishnamurthy S.L., Parida S.K., Jain S., Tiwari K.K., Kumar P., Rao A.R., Sharma S.K., Khurana J.P., Singh N.K., Mohapatra T. 2015. Genome-wide association mapping of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa*). *Genome Research* 22: 133-145.
- Kupke T., Hernandez-Acosta P., Steinbacher S., Cullianez-Macia F.A. 2001. *Arabidopsis thaliana* flavoprotein AtHAL3a catalyses the decarboxylation of 4'-phosphopantothienoylcysteine to 4'-phosphopantetheine, a key step in coenzyme A biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry* 276: 19190-19196.
- Lawson T., Blatt M.R. 2014. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. *Plant Physiology* 164: 1556-70.
- Lemoine R., La Camera S., Atanassova R., Dédaldéchamp F., Allario T., Pourtau N., Bonnemain J.L., Laloi M., Coutos-Thévenot P., Maurousset L., Faucher M., Girousse C., Lemonnier P., Parrilla J., Durand M. 2013. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science* 4: 272. doi: 10.3389/fpls.2013.00272.
- Levitt J.D. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Volume II. Physiological Ecology. Academic. Press. Inc. Orlando, Florida. pp. 365-488.
- Liang J.L., Qu Y.P., Yang C.G., Ma X.D., Cao G.L., Zhao Z.W., Zhang S.Y., Zhang T., Han L.Z. 2015. Identification of QTLs associated with salt or alkaline tolerance at the seedling stage in rice under salt or alkaline stress. *Euphytica* 201: 441-452.
- Liu X., Mak M., Babla M., Wang F., Chen G., Veljanoski F., Wang G., Shabala S., Zhou M., Chen Z. 2014. Linking stomatal traits and slow anion channel genes to grain yield for salinity tolerance in barley. *Frontiers in Plant Science* 5: 634. doi: 10.3389/fpls.2014.00634.
- López-Climent M.F., Arbona V., Pérez-Clemente R.M., Gómez-Cadenas A. 2008. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. *Environmental and Experimental Botany* 62: 176-184.
- Mahajan S., Tuteja N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139-158.
- Mata-Fernández I., Rodríguez-Gamiño M.L., López-Blanco J., Vela-Correa G. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento. El Hombre y su Ambiente* 1: 26-35.
- Munns R.H., Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology* 59: 651-681.
- Munns R., Gilliham M. 2015. Salinity tolerance of crops-what is the cost? *New Phytologist* 208: 668-673.
- Nakayama H., Yoshida K., Shinmyo A. 2004. Yeast plasma membrane Ena1p ATPase alters alkali-cation homeostasis and confers increased salt tolerance in tobacco cultured cells. *Biotechnology Bioengineering* 85: 776-789.
- Negrão S., Schmöckel S.M., Tester M. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany* 119: 1-11.
- Penella C., Landi M., Guidi L., Nebauer S.G., Pellegrini E., San Bautista A., Remorino D., Nali C., López-Galarza S., Calatayud A. 2016. Salt-tolerant rootstock increases yield of pepper under salinity through maintenance of photosynthetic performance and sinks strength. *Journal of Plant Physiology* 193: 1-11.
- Qadir M., Quillerou E., Nangia V., Nangia V., Murtaza G., Singh M., Thomas R.J., Drechsel P., Noble A.D. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum* 38: 282-295.
- Rengasamy P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology* 37: 613-620.
- Rogers E.D., Benfey P.N. 2015. Regulation of plant root system architecture: implications for crop advancement. *Current Opinion in Biotechnology* 32: 93-98.
- Roy S.J., Negrão S., Tester M. 2014. Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology* 26: 115-124.
- Rozema J., Flowers T. 2008. Crops for a salinized world. *Science* 322: 1478-1480.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. El Medio Ambiente en México: En Resumen 2009. México. Gobierno Federal. (www.semarnat.gob.mx) pp. 20-23.
- Schroeder J.I., Delhaize E., Frommer W.B., Guerinot M.L., Harrison M.J., Herrera-Estrella L., Tsay Y.F. 2013. Using membrane transporters to improve crops for sustainable food production. *Nature* 497: 60-66.
- Shabala S. 2013. Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Annals of Botany* 112: 1209-1221.
- Shabala S. and Pottosin I. 2014. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiology Plant* 151: 257-279.
- Suzuki K., Costa A., Nakayama H., Katsuhara M., Shinmyo A. and Horie T. 2016. OsHKT2; 2/1-mediated Na<sup>+</sup> influx over K<sup>+</sup> uptake roots potentially increase toxic Na<sup>+</sup> accumulation in a salt-tolerance landrace of rice Nona Bokra upon salinity stress. *Journal Plant Research* 129: 67-77.
- Taiz L., Zeiger E. 2010. *Plants Physiology*. Fifth edition. Sinauer Associates Inc., Publisher. Sunderland, Massachusetts, USA. 782 p.

- Venema K., Quintero F.J., Pardo J.M. and Donaire J.P. 2002. The Arabidopsis Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>Exchanger AtNHX1 Catalyzes Low Affinity Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> Transport in Reconstituted Liposomes. *Journal Biology Chemistry* 277: 2413-2418.
- Wang S., Cao M., Ma X., Chen W., Zhao J., Sun C., Tan L. and Liu F. 2017. Integrated RNA Sequencing and QTL Mapping to Identify Candidate Genes from *Oryza rufipogon* Associated with Salt Tolerance at the Seedling Stage. *Frontier in Plant Science* 8: 1427. doi: 10.3389/fpls.2017.01427
- Xu Y. 2016. Envirotyping for deciphering environmental impacts on crop plants. *Theoretical and Applied Genetics* 129: 653-673.
- Zhu J.K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 53: 247-273.
- Zhu M., Zhou M., Shabala L., Shabala S. 2015. Linking osmotic adjustment and stomatal characteristics with salinity stress tolerance in contrasting barley accessions. *Functional Plant Biology* 42: 252-63.





# DEPRESIÓN ENDOGÁMICA DE HÍBRIDOS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) DERIVADOS DE PROGENITORES CON DISTINTO GRADO DE DOMESTICACIÓN

## INBREEDING DEPRESSION OF TOMATO HYBRIDS (*Solanum lycopersicum* L.) DERIVED FROM PROGENITORS WITH DIFFERENT DEGREE OF DOMESTICATION

Bonilla-Barrientos, O.<sup>1</sup>; Lobato-Ortiz, R.<sup>1\*</sup>; García-Zavala, J.J.<sup>1</sup>; Cruz-Izquierdo, S.<sup>1</sup>; López-Romero, G.<sup>2</sup>;  
Rodríguez-Guzmán, E.<sup>3</sup>; Hernández-Leal, E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. <sup>3</sup>Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ramón Padilla Sánchez No. 2100, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México.

\*Autor de correspondencia: rlobato@colpos.mx.

---

### ABSTRACT

In Mexico, the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) breeding programs are developed by transnational companies, so the seeds of commercial varieties available in the national market are imported, which makes them expensive, since they are quoted in dollars or euros. The objectives of this study were: i) to evaluate fruit quality characteristics and hybrids performance, and ii) to estimate the effects of inbreeding depression on the F<sub>2</sub> generation. During the evaluation, a total of 23 hybrids (F<sub>1</sub>), obtained from the crossing between 9 advanced lines S<sub>5</sub> of native tomato and three S<sub>5</sub> saladette lines advanced from commercial hybrids, were evaluated, as well as their respective generations F<sub>2</sub> and a commercial control. The experiment was performed in the 2016 in the greenhouses of the Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, in Texcoco, Estado de Mexico. We performed a variance analysis and a means comparison using the Tukey test (P≤0.05), and a contrast analysis to compare the averages of the F<sub>1</sub> vs. F<sub>2</sub>. Inbreeding depression (DEP, in %) was estimated using (F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub>)/F<sub>1</sub>\*-1. The analysis of variance showed significant differences for all variables between the F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> generations for 23 tomato crosses. The values of inbreeding depression in total fruit weight ranged from 0 to 28.6%. The crosses as LOR85 \* L, LOR103 \* L, LOR95 \* L, had values of 68.2%, 3.1% and 3.6% respectively, exceeding F<sub>1</sub>. For days to maturation only eight crosses had a percentage reduction in their F<sub>2</sub>, while the rest of the crosses their F<sub>2</sub> exceeded their F<sub>1</sub>. Intervarietal crosses can be a viable alternative for tomato production for small and medium producers since they show a low inbreeding depression in quality and yield characteristics.

**Key words:** *Solanum lycopersicum*, inbreeding depression, intervarietal crosses.



## RESUMEN

En México, los programas de mejoramiento genético de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) son desarrollados por empresas transnacionales, por lo que las semillas de variedades comerciales disponibles en el mercado nacional son de importación lo cual las encarece, pues se cotizan en dólares o euros. El presente estudio tuvo como objetivos: i) evaluar características de calidad de fruto y el rendimiento de los híbridos, y ii) estimar efectos de depresión endogámica presentes en la generación  $F_2$ . Para la evaluación se utilizaron 23 híbridos ( $F_1$ ) provenientes del cruzamiento entre 9 líneas avanzadas  $S_5$  de jitomate nativo y tres líneas avanzadas  $S_5$  tipo "saladette" y sus respectivas generaciones  $F_2$  y un testigo comercial. El experimento se estableció en el ciclo Primavera-Verano de 2016 en los invernaderos del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México. Se realizó un análisis de varianza y las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), y un análisis de contrastes para comparar los promedios de las cruzas  $F_1$  vs.  $F_2$ . La depresión endogámica (DEP, en %) se estimó con las diferencias  $[(F_1 - F_2)/F_1] * -1$ . El análisis de varianza mostró diferencias significativas para todas las variables entre las generaciones  $F_1$  y  $F_2$  en 23 cruzas de jitomate. Los valores de depresión endogámica en peso total de fruto fueron de 0 hasta 28.6%. Las cruzas como LOR85\*L, LOR103\*L, LOR95\*L, tuvieron valores positivos de 68.2%, 3.1% y 3.6% respectivamente, superando la  $F_1$ , lo que indica que hubo segregación transgresiva positiva. Para días a maduración solo ocho cruzas tuvieron una reducción porcentual en su  $F_2$ , mientras que el resto de las cruzas su  $F_2$  superó a su  $F_1$ . Las cruzas intervarietales pueden ser una alternativa viable para la producción de jitomate para pequeños y medianos productores, ya que muestran una baja depresión endogámica en características de calidad y rendimiento.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, depresión endogámica, cruzas intervarietales.

aceleradamente durante los últimos años, debido al uso de cultivares híbridos que han destacado por su mayor rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad de fruto, y vida de anaquel (Gur y Zamir, 2004). A nivel mundial, el mejoramiento genético de jitomate es desarrollado principalmente por empresas transnacionales, por lo que las semillas obtienen un alto valor dependiendo de cada casa comercial. Por lo que a la mayoría de los pequeños y medianos productores se les dificulta obtener semillas híbridas de empresas extranjeras por su alto costo. Esta situación obliga a estos productores a recurrir al uso de la segunda generación filial ( $F_2$ ) para ahorrar dinero, suponiendo que el rendimiento es similar al del híbrido. Mohamed (1998) menciona que en la segunda generación filial pueden aparecer plantas de jitomate con la misma apariencia que los híbridos y con mayor peso, estas últimas debido a la segregación transgresiva (De Vicente y Tanksley, 1993; Pohelman y Allen, 2003). Esta previa situación explica por qué algunos agricultores obtienen rendimientos en la generación  $F_2$  similares a los de la  $F_1$ .

Los grados de la depresión endogámica y segregación transgresiva varían de población en población debido a que no siempre se observan los mismos porcentajes de reducción e incremento. Martínez-Solís *et al.* (2005) estudiaron el efecto de la depresión endogámica en 37 híbridos comerciales de jitomate y observaron que la mayoría de las poblaciones  $F_2$  exhibieron bajos valores de depresión endogámica ( $<10\%$ ) en rendimiento, mientras que la segregación transgresiva mostró valores cercanos a 35%. Por su parte, Shalaby (2013) encontró una reducción promedio en el

## INTRODUCCIÓN

**El jitomate** (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más cultivadas en todo el mundo, rebasa los 3 millones de hectáreas cosechadas anualmente, con una producción promedio de 88 millones de toneladas al año (FAO 2014). Los principales países productores de jitomate son Estados Unidos y China con el 15 % de la producción mundial (Wijnands, 2003). México ocupa la décima posición y es el tercer país exportador de esta hortaliza, principalmente a Estados Unidos que sigue demandando el 90 % (FAO, 2014), en la temporada invernal (De Giglio, 2003).

Este cultivo es de suma importancia económica para nuestro país, ocupando el segundo lugar entre las hortalizas, y representa una de las fuentes de empleo rural más importantes, debido al uso de mucha mano de obra. El SIAP (2015) reportó que la producción de jitomate en México fue de 2.7 millones de toneladas. Por lo que la producción de esta hortaliza se ha incrementado

rendimiento del 23 % en una población  $F_2$  originada de la cruce entre CastleRock $\times$ CLN2498E. En contraste, Hernández-Leal *et al.* (2013) evaluaron siete híbridos de jitomate tipo 'Saladette' y sus  $F_2$ s, y reportaron reducciones en el rendimiento superiores al 50% e incrementos debidos a segregación transgresiva de hasta 10%.

Una manera de obtener material genético mejorado en el corto y mediano plazo para los productores es el uso de cruces intervarietales entre materiales elite por nativos o entre variedades locales. De esta forma se pudiera aprovechar la amplia variabilidad genética presente en los materiales nativos y así obtener híbridos con altos rendimientos y características novedosas (Shah *et al.*, 2014). Por otra parte, el efecto de la depresión endogámica en híbridos comerciales de jitomate ha sido previamente estudiado extensamente (Martínez-Solís *et al.*, 2005; Magaña-Lira *et al.*, 2013). Sin embargo, los efectos en híbridos derivados entre material élite y nativo es limitado. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivos: i) evaluar características de calidad de fruto y el rendimiento de los híbridos, y ii) estimar los efectos de la depresión endogámica presentes en la generación  $F_2$  de cada híbrido intervarietal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético estuvo constituido por 23 híbridos ( $F_1$ ) provenientes del cruzamiento entre nueve líneas avanzadas  $S_5$  de jitomate nativo (LOR-79, LOR-81, LOR-82, LOR-85, LOR-91, LOR-95, LOR-97, LOR-103 y LOR-111) y dos líneas avanzadas  $S_5$  tipo "saladette" derivadas de híbridos comerciales, más una tercera línea avanzada, la cual solo fue cruzada con LOR-79, LOR-81, LOR-91, LOR-

95, LOR-103. Las líneas nativas tipo "pimiento o cuadrado" fueron generadas por medio de autofecundación y selección individual (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014), mientras que las líneas tipo "saladette" fueron derivadas bajo la metodología de pedigrí (Hernández-Leal *et al.*, 2013). En el experimento también fueron incluidas las respectivas generaciones  $F_2$  y el híbrido comercial 'El Cid' como testigo.

El experimento se estableció en el ciclo de cultivo de Primavera-Verano de 2016 en un invernadero del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México (19° 30" N y 98° 53" O, a una altitud de 2250 m). La siembra se realizó el 3 de febrero y el trasplante el 18 de marzo del 2016 (45 d después de la siembra).

### Diseño experimental

Los 59 genotipos se evaluaron con un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Tres individuos por repetición para las líneas y las  $F_1$ s y cinco individuos por repetición para las  $F_2$ s. Se realizaron dos cortes, uno en junio y otro en agosto de 2016. Las plantas se manejaron a un solo tallo y se tutoraron con hilo de rafia.

### Variables medidas

Durante el ciclo del cultivo se registró información del peso total de frutos por planta (PTF, en g), número total de frutos por planta (NTF), peso promedio de fruto (PPF, en g), diámetro (DF, en mm) y longitud de fruto (LF, en mm), contenido de sólidos solubles totales (SST, en °Bx), y firmeza del fruto (FIR, en Newtons -N-), esta última fue medida con un texturómetro universal marca FORCEFIVE<sup>®</sup> con un puntal cónico de 0.8 mm, modelo FDV-30 (Greenwich, EEUU). Las variables PPF, DF, LF, SST y FIR se obtuvieron de una muestra de tres frutos representativos por planta. Los sólidos solubles totales se midieron con un refractómetro digital marca PAL-1<sup>®</sup> (Tokio, Japón) de rango 0.0 a 53.0 °Brix.

### Análisis estadístico

Para cada variable se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) usando el programa estadístico SAS<sup>®</sup> V.9.0 (SAS Institute Inc., 2002). El modelo estadístico estuvo establecido de acuerdo con el diseño experimental de bloques completos al azar, mediante el modelo lineal general (PROC GLM), y con el procedimiento CONTRAST se compararon los promedios de las cruces  $F_1$  vs. sus respectivas generaciones  $F_2$ . La depresión endogámica (DEP, en %) se estimó con los promedios de las diferencias  $(F_1 - F_2)/F_1$ , expresadas en porcentaje, y multiplicada por (-1) para indicar una disminución de la magnitud de la variable a evaluar.

### Manejo del cultivo

Se aplicó la solución nutritiva propuesta por Steiner (1984) modificándola según las etapas fenológicas de los genotipos, primero a una concentración de 50% por planta antes de la floración, posteriormente se incrementó la concentración al 100%, realizando cuatro fertirriegos al día durante el ciclo y el pH de la solución se mantuvo entre 5.5 y 6.0. Para la prevención y control

de mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) y paratíozia (*Bactericera cockerelli*) se realizaron aplicaciones periódicas de Confidor® (imidacloprid) y Ampligo® (lambda cialotrina y clorantraniliprol). Para enfermedades fungosas como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) se realizaron aplicaciones periódicas de Captan® (captan), cupravit® (oxicloruro de cobre) y Ridomil Gold® (Metalaxil).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contrastes ortogonales detectaron pocas diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las generaciones filiales para cada variable (Cuadro 1). La cruz LOR85\*L presentó diferencias significativas para peso total (PT), número de frutos (NF) y diámetro del fruto (DF). LOR91\*L solo tuvo significancia para días a maduración del tercer racimo y sólidos solubles, mientras que LOR95\*L para días a floración del tercer racimo. La cruz LOR82\*L presentó solo diferencia significativa para peso promedio de fruto. De igual forma, en la variable número de lóculos solo se detectó

significancia en una sola cruz (LOR111\*L). La cruz LOR91\*C mostró significancia para número de frutos y longitud de frutos, mientras que LOR82\*C, LOR111\*C, LOR91\*R, LOR103\*R, LOR81\*R solo fueron significativas en una variable.

Los valores más altos de los coeficientes de variación se observaron en variables como peso total de frutos (21.7), número de frutos (15.9), peso promedio de frutos (14.7) y firmeza del fruto (13.2). Aunque la mayoría de las variables indicaron una desviación por debajo de la media poblacional la cual corresponde al 20%, solo la variable de peso total fue la que se encontró por encima de la media poblacional.

En la comparación de medias de los contrastes se observaron diferencias significativas para la mayoría de las variables entre las generaciones  $F_1$  y sus respectivas  $F_2$ s en las 23 cruces de jitomate (Cuadro 2). Para la variable PT las cruces que sobresalieron fueron LOR82\* $CF_1$  y LOR103\*R  $F_1$  con valores de 4.3 y 4.2 kg por planta, respectivamente, mientras que los valores más bajos se observaron en las cruces LOR111\* $LF_2$  y LOR97\* $CF_2$  con 2.9 y 1.8 kg por planta respectivamente. Sin embargo, en PPF las cruces sobresalientes fueron LOR82\* $LF_2$  (151 g) LOR82\* $CF_1$  (136.2 g), mientras que LOR97\* $CF_2$  obtuvo el valor más bajo (71.3 g). La variable NF presentó mayor número de frutos en la cruz LOR81\* $RF_1$  con 51.5 frutos, la cruz LOR82\* $LF_2$  mostró el valor más bajo con 29.2 frutos. Para las variables de precocidad se encontraron cruces (LOR91\* $RF_1$ ) con 39.7 días a la floración y 97.8 días a la maduración (LOR91\* $LF_2$ ). Cabe resaltar que estos valores fueron tomados a partir del trasplante.

En general, las cruces derivadas del probador L, tales como: LOR85\*L, LOR91\*L, LOR81\*L, LOR82\*L, LOR97\*L, LOR95\*C, y LOR81\*C, resultaron ser las más estables de una generación a otra, debido a que la depresión en-

**Cuadro 1.** Cuadrados medios de los contrastes para las variables de rendimiento y calidad en 23 cruces de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y sus respectivas generaciones filiales.

GENOTIPOS	DFR3	DMR3	PT	NF	DF	LF	PPF	BRIX	LUCU	FIR
LOR85*L $F_1$ vs $F_2$	29.0	21.7	3.5**	208.9*	41.08*	2.04	478.8	0	0	0
LOR91*L $F_1$ vs $F_2$	2.5	36.5*	0.015	2.5	5.23	10.14	8.4	0.88**	0.14	0.04
LOR95*L $F_1$ vs $F_2$	144.1**	0.96	0.015	25.6	47.6*	58.9	360.4	0.027	0.027	0.04
LOR82*L $F_1$ vs $F_2$	30.4	3.8	0.026	117.04	162.2	29.5	3441.6**	0.0017	0.082	0.06
LOR91*C $F_1$ vs $F_2$	35.5	3.5	1.6	276.1**	19.4	294.0**	37.5	0.43	0	0.007
LOR95*C $F_1$ vs $F_2$	79.9*	1.3	0.13	0.24	1.12	34.6	321.2	0.33	0.042	0.0017
LOR82*C $F_1$ vs $F_2$	1.3	1.3	1.04	55.2	2.53	0.24	194.9	0.0417	0.06	0.11*
LOR111*C $F_1$ vs $F_2$	1.0	2.9	0.015	33.6	0.37	0.17	51.6	0.015	0.0067	0.17*
LOR91*R $F_1$ vs $F_2$	21.7	4.9	0.2	9.8	1.7	2.94	436.9	0.06	0.38*	0.007
LOR103*R $F_1$ vs $F_2$	26.5	63.4	2.53*	38.0	7.04	7.71	261.4	0.0017	0.027	0.015
LOR81*R $F_1$ vs $F_2$	2.9	3.7	0.28	28.2	1.31	7.93	2.8	0.082	0.11	0.17*
C.V.	7.5	2.9	21.7	15.9	5.5	7.5	14.7	6.5	10.02	13.2

\*, \*\* Significativo a  $P \leq 0.05$ ) y a  $P \leq 0.01$ , respectivamente. DFR3=días a floración del tercer racimo; DMR3=días a maduración del tercer racimo; PT=peso total de frutos por planta (g); NF=número total de frutos por planta; PPF=peso promedio del fruto (g); DF=diámetro de fruto (mm); LF=longitud de fruto (mm); SST=contenido de sólidos solubles totales (°Brix); LOCU=número de lóculos; FIR=firmeza del fruto; C.V.=Coeficiente de variación.

**Cuadro 2.** Comparación de medias en 23 híbridos provenientes del cruzamiento entre líneas S<sub>5</sub> de jitomate nativo contra líneas avanzadas S<sub>5</sub> de jitomate tipo "saladette" y sus respectivas F<sub>2</sub>. Texcoco, Estado de México, México.

GENOTIPOS	PT	NF	PPF	DF	LF	DFR3	DMR3	BRIX	LUCU	FIR
LOR91*L F <sub>1</sub>	3.8 ab	37.2 ab	131.0 a-e	54.3 a-h	77.5 a-c	45.1 ab	102.8 ab	4.0 a-c	2.2 de	0.93 b
LOR91*L F <sub>2</sub>	3.7 ab	35.9 ab	133.4 a-d	56.1 a-g	74.9 a-c	46.4 ab	97.8 b	4.8 a	2.5 a-e	1.1 ab
LOR95*L F <sub>2</sub>	3.3 ab	34.2 ab	116.8 a-f	53.9 a-i	68.5 a-e	52.1 a	104.9 ab	4.3 a-c	2.4 b-e	1.1 ab
LOR82*L F <sub>1</sub>	3.0 ab	38.0 ab	103.1 a-f	48.1 e-i	72.8 a-d	42.7 ab	103.6 ab	4.3 a-c	2.9 a-e	1.5 a
LOR82*L F <sub>2</sub>	2.9 ab	29.2 b	151.0 a	58.5 ab	77.2 a-c	47.2 ab	105.2 ab	4.3 a-c	3.1 a-d	1.3 ab
LOR111*L F <sub>2</sub>	2.5 ab	31.3 ab	105.6 a-f	48.6 c-i	75.9 a-c	42.0 ab	106.0 ab	4.6 ab	2.2 e	1.3 ab
LOR97*L F <sub>2</sub>	3.1 ab	36.8 ab	105.6 a-f	47.8 e-i	86.6 a	46.7 ab	108.3 ab	4.6 ab	2.7 a-e	1.4 ab
LOR85*C F <sub>1</sub>	3.8 ab	46.0 ab	112.4 a-f	55.1 a-h	69.3 a-e	42.3 ab	105.8 ab	3.6 c	2.6 a-e	1.2 ab
LOR81*C F <sub>1</sub>	3.8 ab	42.3 ab	108.7 a-f	54.7 a-h	63.7 b-e	42.3 ab	104.5 ab	4.1 a-c	2.5 b-e	0.93 b
LOR79*C F <sub>2</sub>	3.0 ab	36.5 ab	114.1 a-f	55.8 a-g	62.9 c-e	46.7 ab	108.7 a	3.7 bc	2.4 b-e	1.2 ab
LOR82*C F <sub>1</sub>	4.3 a	42.1 ab	136.2 a-c	59.7 a	64.4 b-e	42.3 ab	99.9 ab	3.8 ba	3.2 ab	0.97 b
LOR82*C F <sub>2</sub>	3.5 ab	36.1 ab	124.8 a-f	58.4 a-c	64.8 b-e	41.4 ab	100.9 ab	4.0 a-c	3.4 a	1.2 ab
LOR97*C F <sub>2</sub>	1.8 b	38.2 ab	71.3 f	48.6 d-i	51.8 e	41.3 ab	104.7 ab	4.4 a-c	2.8 a-e	1.2 ab
LOR91*R F <sub>1</sub>	3.4 ab	48.4 ab	95.8 b-f	47.00 f-i	74.3 a-d	39.7 b	103.8 ab	3.9 a-c	2.3 c-e	1.1 ab
LOR95*R F <sub>2</sub>	3.1 ab	48.2 ab	81.2 ef	44.4 i	74.5 a-c	43.4 ab	101.7 ab	4.4 a-c	2.5 a-e	1.3 ab
LOR103*RF <sub>1</sub>	4.2 a	46.6 ab	110.1 a-f	49.3 b-i	78.6 a-c	42.3 ab	98.2 b	3.9 a-c	2.7 a-e	1.5 ab
LOR81*R F <sub>1</sub>	3.7 ab	51.5 a	94.6 b-f	46.6 g-i	71.8 a-d	41.0 ab	104.1 ab	3.9 a-c	2.4 b-e	1.5 ab
DHS	2.4	21.5	54.6	9.8	18.3	11.2	10.6	0.92	0.89	0.55

\*, \*\* Significativo a  $P \leq 0.05$  y a  $P \leq 0.01$ , respectivamente. Medias con la misma letra en columna entre tratamientos, son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ); R=reducciones porcentuales. PT=peso total de frutos por planta (g); NF=número total de frutos por planta; PPF=peso promedio del fruto (g); DF=diámetro de fruto (mm); LF=longitud de fruto (mm); DFR3=días a floración del tercer racimo; DMR3=días a maduración del tercer racimo; SST=contenido de sólidos solubles totales (°Brix); LOCU=número de lóculos; FIR=firmeza del fruto; DHS=Diferencia honesta significativa.

dogámica afectó un menor número de variables. Por otro parte, los híbridos conformados por las líneas R y C fueron afectados en las variables de precocidad, calidad (sólidos solubles totales y número de lóculos) y algunas variables de tamaño de fruto (longitud y diámetro del fruto) (Cuadro 3).

En este estudio se observaron valores de depresión endogámica en peso total de fruto (PT) de 0 hasta 28.6%. Tal resultado indicó que el efecto de la depresión endogámica no fue tan notorio en comparación con otros estudios, como los realizados por Hernández Leal et al. (2013), quienes evaluaron siete genotipos comerciales y sus respectivas F<sub>2</sub>s, y encontraron que la depresión endogámica para PT fue entre 17.5 a 66.1%. Por otra parte,

Martínez-Solís et al. (2005) evaluaron 9 híbridos comerciales y sus respectivas F<sub>2</sub>s, encontrando valores similares a los nuestros para peso total de frutos de 0.6 a 22.8. Tales diferencias de magnitudes entre poblaciones pudieran ser explicadas por el diferente grado de disminución de la heterocigosidad, la cual es afectada por el incremento de la frecuencia de loci homocigóticos (Poehlman y Allen, 2003). En el presente estudio, no todas las cruas presentaron un efecto adverso por la depresión endogámica. Las cruas como LOR85\*L, LOR103\*L, LOR95\*L, no mostraron un abatimiento para PT, por el contrario la F<sub>2</sub> superó a la F<sub>1</sub> ya que tuvieron valores de 68.2%, 3.1% y 3.6%, respectivamente. Al respecto, valores similares fueron reportados por Martínez-Solís et al. (2005) con

porcentajes de 0.5 a 4.8%, para la variable de peso total.

La depresión endogámica para el número total de frutos fue de 3.5% hasta 29.1% para la mayoría de las cruas; Charlesworth y Willis (2009) sostienen que se debe a que la eficiencia fisiológica de la planta disminuye (tasa de crecimiento, tamaño, vigor y susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades) en plantas por efecto de la depresión por endogamia. Siete cruas no presentaron depresión ya que la F<sub>2</sub> fue superior a su F<sub>1</sub> con valores que fueron de 0.7 hasta 37.1%.

Para peso promedio de fruto se encontró que LOR 85\*L (18.1%), LOR91\*L (1.8%), LOR95\*L (15.3%), LOR103\*L (0.8%), LOR81\*L (3.6%), LOR82\*L (46.5%), LOR97\*L (14.9%),

**Cuadro 3.** Reducción porcentual en 23 híbridos provenientes del cruzamiento entre líneas S<sub>5</sub> de jitomate nativo contra líneas avanzadas S<sub>5</sub> de jitomate tipo "saladette" y sus respectivas F<sub>2</sub>. Texcoco, Estado de México, México.

GENOTIPOS	PT	NF	PPF	DF	LF	DFR3	DMR3	BRIX	LUCU	FIR
LOR85*L	68.2	37.1	18.1	11.1	1.5	-9.2	-3.6	0	0	0
LOR91*L	-2.6	-3.5	1.8	3.3	-3.4	2.9	-4.9	5	13.6	18.3
LOR95*L	3.1	-10.7	15.3	11.6	-8.4	23.2	-0.9	4.9	-7.7	-15.4
LOR103*L	3.6	10.3	0.8	2.2	-2.4	-8.6	-0.3	5	-10.7	0
LOR81*L	-11.4	0.7	3.6	2.6	1.3	0	-1.4	2.3	0	-9.1
LOR79*L	-24.3	-18.6	-12.5	-4	-4.5	9.7	4.4	2.4	0	-13.3
LOR82*L	-3.3	-23.2	46.5	21.6	6	10.5	1.5	0	6.9	-13.3
LOR111*L	-28.6	-24.4	-14.4	-8.8	1.5	-4.3	3.1	4.5	-22.2	30
LOR97*L	0	-3.7	14.9	2.6	5.7	5.4	2.1	7	12.5	27.3
LOR85*C	-21.1	-21.3	2	2.9	-3.2	0.9	-1.4	5.6	-3.8	-8.3
LOR91*C	-24.4	-29.1	-3.8	-6.3	21.4	11.7	1.4	12.5	0	-8.3
LOR95*C	-11.5	1.1	-14.1	-1.7	7.8	17.1	0.9	12.8	9.1	0
LOR103*C	-14.7	-12	0.9	-6.4	0	4.1	1.8	-2.4	-11.5	8.3
LOR81*C	-18.4	-4.3	-16.8	0.7	10.5	9	1.6	2.4	0	18.3
LOR79*C	-16.7	-9.7	-6.7	-3.5	0.5	6.9	1.6	2.7	4.3	-7.7
LOR82*C	-18.6	-14.3	-8.4	-2.2	0.6	-2.1	1	5.3	6.2	23.7
LOR111*C	-3.4	14.9	5.5	-0.9	0.6	-1.7	1.4	2.7	4	-26.7
LOR97*C	-14.5	4.9	-24.9	-8	-7.8	3.2	3.6	2.3	7.7	-7.7
LOR91*R	-8.8	-5.2	-17.8	-2.3	1.9	9.6	1.7	5	21.7	9.1
LOR95*R	-18.4	2.3	-18.6	-6.1	0.3	5.1	-2.3	15.8	-7.4	0
LOR103*R	-31	-10.9	-12	-4.3	-2.8	9.9	6.6	0	-3.7	-6.7
LOR81*R	-10.8	-8.5	-1.4	1.9	3.2	3.4	-1.5	5.1	12.5	-26.7
LOR79*R	-6.5	-11.6	6.9	7	1.9	4.7	3.2	4.9	-3.8	-15.4

\*, \*\* Significativo a P≤0.05) y a P≤0.01, respectivamente. R=reducciones porcentuales. PT=peso total de frutos por planta (g); NF=número total de frutos por planta; PPF=peso promedio del fruto (g); DF=diámetro de fruto (mm); LF=longitud de fruto (mm); DFR3=días a floración del tercer racimo; DMR3=días a maduración del tercer racimo; SST=contenido de sólidos solubles totales (°Brix); LOCU=número de lóculos; FIR=firmeza del fruto.

LOR85\*C (2%), LOR103\*C (0.9%), LOR111\*C (5.5%) y LOR79\*R (6.9%) no tuvieron reducciones, si no que su F<sub>2</sub> incrementó el PPF. Este aumento debido a la segregación transgresiva es muy común en algunas especies como el jitomate.

Para las variables de precocidad (días a maduración y días a floración) solo ocho cruza tuvieron una reducción porcentual en días a maduración en su F<sub>2</sub>, pero solo fue de 0.3 hasta 4.9%, el resto de las cruza F<sub>2</sub>s superaron a sus progenitores (F<sub>1</sub>). Esto se debe a que la depresión endogámica en especies autóгамas como el jitomate es relativamente pequeña en comparación con las especies alógamas (Charlesworth y Charlesworth, 1987), debido a que en las especies autóгамas el proceso de autofecundación recurrente tiene un efecto depurador de alelos recesivos deletéreos. En la variable días a floración, solo cinco cruza (LOR85\*L, LOR103\*L, LOR111\*L, LOR82\*C, LOR111\*C) presentaron una reducción con valores de 1.7 a 9.2 %, sin embargo, en las otras 18 cruza las F<sub>2</sub>s fueron superiores con valores que fueron de 0 a 23.2 %.

Berry y Uddin (1991) mencionan que durante la selección de plantas, además del rendimiento y la adaptabilidad, también se deben considerar el desarrollo de cultivares con alta calidad de fruta, incluyendo el color (Chalukova y Manuelyan, 1991). Por otra parte, Gonzalez *et al.* (2004) mencionan que la firmeza, sólidos solubles totales y pH del fruto determinan la calidad del jitomate, ya que influyen en la percepción de la calidad del fruto por el consumidor. Para sólidos solubles totales, en la mayoría de las cruza se observó una ganancia en sus F<sub>2</sub>s, con valores de 0 hasta 15.8%, y solamente LOR103\*C

tuvo una reducción (2.4%); estos valores coinciden con los reportados por Hernández Leal et al. (2013). En la variable firmeza, se encontraron valores negativos (%) en LOR95\*L (-15.4), LOR81\*L (-9.1), LOR79\*L y LOR95\*L (-13.3), LOR85\*C y LOR91\*C (-8.3), LOR79\*C (-7.7), LOR111\*C y LOR81\*R (-26.7), LOR97\*C (-7.7), LOR103\*R (-6.7), y LOR79\*R, en el resto de las cruzas sus F<sub>2</sub>s superaron a la F<sub>1</sub> con valores entre 0 y 27.3%, siendo LOR97\*L la que expresó el mayor valor. Los resultados de depresión endogámica en este estudio resultaron ser bajos en comparación con otros trabajos, donde se ha encontrado depresión endogámica por encima del 50%, Esto nos indica que estos materiales son ideales para avanzar a la segunda generación filial en cruzas como LOR85\*L, LOR95\*L, LOR81\*L, LOR81\*L LOR97\*L, LOR95\*C, LOR81\*C, obteniendo rendimientos y variables de calidad aceptables.

## CONCLUSIONES

Las generaciones avanzadas de cruzas intervarietales de jitomate pueden ser una alternativa viable para la producción para pequeños y medianos productores, ya que muestran una baja depresión endogámica en la F<sub>2</sub> para características de calidad y rendimiento. La línea L fue la que resultó más estable de generación en generación en las cruzas realizadas de material nativo por élite, sobresaliendo en el peso total de frutos y algunos otros componentes de rendimiento.

La depresión endogámica observada en las cruzas expresó valores pequeños en comparación con la reducción porcentual que se manifiesta en generaciones avanzadas de materiales híbridos, los cuales son por encima del 50 %, en este caso la depre-

sión endogámica en las variables evaluadas fue menor al 29.1%. Lo encontrado en ese estudio es importante ya que se encontró germoplasma sobresaliente para seguir avanzando y explorando nuevas fuentes de variación genética.

## LITERATURA CITADA

- Berry S. Z., Uddin M. R. 1991. Breeding tomato for quality and processing attributes. *In: Genetic Improvement of Tomato Monographs Theoretical and applied Genetics*. Ed. Kalloo, G. Vol. 14. Berlin: Springer. 197 p.
- Bonilla-Barrientos O., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J.J., Cruz-Izquierdo S., Reyes-López D., Hernández-Leal E., Hernández-Bautista A. 2014. Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimienta de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 129-139.
- Chalukova M., Manuelyan H. 1991. Breeding for carotenoid pigments in tomato. *In: Genetic Improvement of Tomato Monographs Theoretical and Applied Genetics*. Ed. Kalloo, G. Vol. 14. Berlin: Springer. 179 p.
- Charlesworth D., Charlesworth B. 1987. Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 18: 237-268.
- Charlesworth D., Willis J.H. 2009. The genetics of inbreeding depression. *Nature Reviews Genetics* 10: 783-796.
- De Giglio M.A. 2003. Growth of the fresh greenhouse tomato market in the USA. *Acta Horticulturae* 611: 91-92.
- De Vicente M.C., Tanksley S. D. 1993. QTL analysis of transgressive segregation in an interespecific tomato cross. *Genetics* 134: 585-589.
- FAO. 2014. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: [www.apps.fao.org](http://www.apps.fao.org). (Marzo 2017).
- Gonzalez C.A., Salas S.M.C, Urrestarazu C.M. 2004. Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. *In: Tratado de Cultivos sin Suelo*. Urrestarazu Gavilán M. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 703-747.
- Gur A., Zamir D. 2004. Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *Plos One Biology* 2:e245.
- Hernández-Leal E., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J.J., Reyes-López D., Méndez-López A., Bonilla-Barrientos O., Hernández-Bautista A. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F<sub>2</sub> de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 209-215.
- Magaña-Lira N., Peña-Lomelí A., Sánchez del Castillo F., Rodríguez-Pérez J.E., Moreno-Pérez E.D.C. 2013. Comportamiento productivo de híbridos F<sub>1</sub> de tomate y sus poblaciones F<sub>2</sub>. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 371-379.
- Martínez-Solís J., Peña L. A., Rodríguez P. J. E., Villanueva V. C., Sahagún C. J., Peña O. M. G. 2005. Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones F<sub>2</sub>. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2: 299-307.
- Mohamed M. F. 1998. Characteristics and inheritance of natural facultative parthenocarpic fruit-set in 'Nadja' tomato under low temperature conditions. *Euphytica* 103: 211-217.
- Poehlman J. M., Allen D. S. 2003. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. Limusa. México, D.F. pp: 172-176.
- SIAP. 2015. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo "Modalidad riego + temporal". <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccionagricola-por-cultivo/> (Enero 2017).
- SAS Institute (2002) User's Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 550 p.
- Shalaby T. A., El-Banna A. 2013. Molecular and horticultural characteristics of *in vitro* induced tomato mutants. *Journal of Agricultural Science* 5: 155-163.
- Shah K. H., Nostramo R., Zhang B., Varia S. N., Klett B. M., Herman P. K. 2014. Protein Kinases Are Associated with Multiple, Distinct Cytoplasmic Granules in Quiescent Yeast Cells. *Genetics* 198: 1495-1512.
- Steiner A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture*. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650.
- Wijnands J. 2003. The international competitiveness of fresh tomatoes, peppers and cucumbers. *Acta Horticulturae* 611: 79-90.



# VARIACIÓN EN TAMAÑO DE GRANO Y RENDIMIENTO DE ALMIDÓN EN CULTIVARES DE *Vicia faba* L.

## VARIATION IN GRAIN SIZE AND STARCH YIELD IN CULTIVARS OF *Vicia faba* L.

Salamanca-Bautista, G.<sup>1</sup>; Delgado-Alvarado, A.<sup>1\*</sup>; Herrera-Cabrera, B.E.<sup>1</sup>; Mendoza-Castillo, M.C.<sup>2</sup>; Conde-Martínez, V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

\*Autora de correspondencia: adah@colpos.mx

### ABSTRACT

The faba bean (*Vicia faba* L.) stands out for its content and characteristics of starch which has advantages compared to commercial starches. The study aimed to analyze the characteristics of grain yield starch and total starch content of different cultivars of broad bean in the region of the Llanos de Serdán, Puebla, Mexico. The analysis was carried out in 14 accessions of five cultivars harvested in two localities, according to the collection number, and the locality. Grain thickness showed highly significant differences between Tlachichuca 2007 (7.5 mm) and San Cayetano 2011 (7.1 mm) locations. Total starch in flour had a dry weight (dw) percentage range of 50% to 60%, where highlighted most of the broad bean accessions planted in San Cayetano 2011, whose average (55.8% dw) was significantly higher than that of Tlachichuca 2007 (52% dw). In the extraction of pure starch an average yield of 36% was obtained where the cultivar Tarragona amarilla (Ta), collection 281 of San Cayetano 2011 had the highest percentage (43.7% dw). The yield of the starch did not have a significant correlation with the grain dimensions of the analyzed cultivars. These results provide knowledge about characteristics of broad bean cultivar selection to obtain the best yields of starch.

**Keywords:** *Vicia faba* L., starch, environments, cultivars, grains.

### RESUMEN

El haba (*Vicia faba* L.) destaca por su contenido y característica de almidón, el cual presenta ventajas en comparación con almidones comerciales. El objetivo del trabajo fue analizar las características del grano, el rendimiento del almidón, y el contenido de almidón total de diferentes cultivares de haba de la región de los Llanos de Serdán, Puebla, México. Se realizó el análisis en 14 colectas de cinco cultivares cosechados en dos localidades, en función del número de colecta, y de la localidad. El grosor de grano presentó diferencias altamente significativas entre las localidades Tlachichuca 2007 (7.5 mm) y San Cayetano 2011 (7.1 mm). El almidón total en harina tuvo un rango de porcentaje en materia seca (ms) de 50% a 60%, en donde destacaron la mayoría de las colectas de haba sembradas en San Cayetano 2011 cuyo promedio (55.8% ms) fue significativamente superior al de Tlachichuca 2007 (52% ms). En la extracción del almidón puro se obtuvo un rendimiento promedio de 36% donde el cultivar Tarragona amarilla (Ta), colecta 281 de San Cayetano 2011 tuvo el porcentaje mayor (43.7% ms). El rendimiento del almidón no tuvo una correlación significativa con las dimensiones del grano de los cultivares analizados. Estos resultados aportan conocimiento sobre características de selección de cultivares de haba para obtener los mejores rendimientos de almidón.

**Palabras clave:** *Vicia faba* L., almidón, ambientes, cultivares, granos.

## INTRODUCCIÓN

**El almidón** es la materia prima e ingrediente funcional más utilizado para conferir textura y consistencia en la industria alimenticia (Zhao y Whistler, 1994). El haba (*Vicia faba* L.) por su composición nutricional, es una leguminosa importante a nivel mundial (Tharanathan y Mahadevamma, 2003; Zhang *et al.*, 2007), por ser rica fuente de carbohidratos y de proteína. Sin embargo, existe la necesidad de mejorar la calidad de los alimentos, lo que amerita la búsqueda de nuevas fuentes de extracción de almidón.

Se sabe que el almidón que proviene de leguminosas como el haba, posee características que mejoran la digestión, en relación a los almidones comúnmente utilizados en la industria alimenticia (Sandhu, 2008). Uno de los puntos que sobresalen durante la digestión del almidón de leguminosas, es que posee un índice glucémico bajo debido a que se transforma en un flujo de glucosa a un ritmo más lento en relación con otros almidones, y con mayor duración, lo cual desencadena mejoras en la salud, disponibilidad de energía por más tiempo, y menor almacenamiento de grasa en el cuerpo (Tovar, 1996; Seewi *et al.*, 1999). Otro punto distintivo, es que termina de digerirse fermentándose en el colon, lo que produce gases, que las células de la flora de esta parte del intestino aprovechan para mantenerse, esto ayuda a evitar cáncer en el colon (Guillon y Champ, 2002). Adicionalmente, la extracción de estos almidones conlleva la obtención de subproductos útiles como fibra, y proteína, productos también apreciados en la industria de los alimentos (Kozłowska *et al.*, 1998).

La producción de haba en México está fuertemente arraigada a las tradiciones de las localidades en donde se produce. Por lo que en Mesoamérica, muy lejos del lugar de origen de los cultivos, los agricultores han formado nuevos tipos, variedades o razas a través de la selección dirigida a favorecer diversas características de interés, como adaptación a sus parcelas, mayor tamaño de grano, mejor sabor y mayores propiedades nutricionales entre otras (Díaz-Bautista *et al.*, 2008). De ahí que, los cultivares de haba de las principales zonas de producción del país, como los Valles de Serdán, Puebla presenten variación por características agronómicas (Herrera-Cabrera *et al.*, 2006), y como fuente de compuestos nutritivos y funcionales (García, 2011; Delgado-Alvarado *et al.*, 2013).

Con base en lo anterior, el objetivo del trabajo fue analizar las características del grano, determinar la concentración del almidón total en grano, el rendimiento de almidón y su variación en función de las características morfológicas del grano de *Vicia faba* L de distintos cultivares de los Valles de Serdán, Puebla, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Se utilizaron cinco cultivares de haba, representados en 14 colectas que se establecieron durante 2007 en Tlachichuca y en 2011 en San Cayetano (Chalchicomula de Sesma), en el estado de Puebla. Las localidades en donde se cultivó el material tuvieron la siguiente ubicación geográfica: Tlachichuca (Latitud: 19.14, Longitud: -97.41, altura: 2,780.0 msnm), y Chalchicomula de Sesma (Longitud: 18.98, Latitud: -97.45, altitud de 2,565 msnm), en los Llanos de Serdán, Puebla (Figura 1).

### Caracterización morfológica de granos

Para tamaño de semilla, en cada colecta de haba se tomaron muestras al azar de 40 semillas, y se registró por cuadruplicado en mm el largo, ancho y grosor, con un vernier digital (marca Mitutoyo, modelo CD-06). Para peso y volumen de 100 semillas, por cada colecta de haba se colectaron al azar 100 semillas, y se pesaron por cuadruplicado en una balanza digital (marca AND, modelo HF 3000G), y se registró el volumen (mL) de 100 semillas por desplazamiento de agua en una probeta de vidrio.

### Extracción de almidón y rendimiento

Los granos de cada colecta fueron desprovistos de la testa, pasados por el molino y tamizados en malla de 0.8 mm de tamaño de partícula para obtener la harina. Posteriormente, con base en el protocolo de Lee *et al.* (2007), se extrajo el almidón con solución alcalina de NaOH a pH 9.5, y la temperatura de la extracción se controló entre 35 y 38 °C. Por cada extracción se calculó el porcentaje de rendimiento de almidón obtenido en base seca a partir del peso de la muestra de harina y se expresó como porcentaje de materia seca (% ms), para cada extracción se realizaron tres repeticiones por colecta (Figura 2).

### Determinación de almidón total en harina

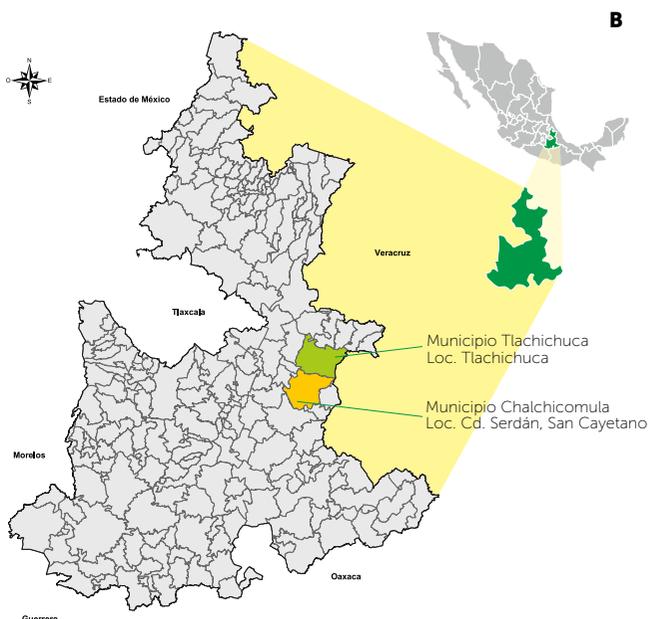
Se realizó con base en el protocolo de Megazyme Internacional (Método de amiloglicosidasa/ $\alpha$ -amilasa, AOAC 996.11, AACC 76.13, con modificaciones), así como en adaptaciones basadas en Herrera-Saldaña y Hubber

**A**

Cultivar	Colectas Tlachichuca 2007		Colectas San Cayetano 2011	
	Code	Image	Code	Image
Cb	22Cb		22Cb	
	160 Cb		160 Cb	
Cm	146 Cm		146 Cm	
Ca	93 Ca		93 Ca	
Tp	181 Tp		181 Tp	
Ta	281 Ta		281 Ta	
	288 Ta		288 Ta	

Cultivares

Ca: cochinera amarilla; Cm: cochinera morada; Cb: cochinera blanca; Tp: tarragona parraleña; Ta: tarragona amarilla.



**Figura 1.** A. Habas de testa color blanco, amarillo, morado y parraleña de 14 colectas. B. Área de cultivo en la región de los Llanos de Serdán, Puebla, México.



**Figura 2.** Proceso de extracción del almidón a partir de harina de granos sin testa de *Vicia faba*. A. Lavado de la harina con una solución alcalina de NaOH mediante centrifugación. B. Eliminación principalmente de lípidos. C. Extracción mediante dilución con solución alcalina de NaOH, a temperatura de 35 a 38 °C, con ajuste de pH a 9.5 con solución alcalina. D. Filtración en malla de 44 µm, en la cual pasan los gránulos de almidón junto con el extracto proteico. E. Primera extracción, se observa almidón en el fondo con el extracto proteico. F. Segunda extracción. G. Almidón lavado con agua destilada. H. Reposo de almidón con agua destilada. I. Filtrado con embudo büchner. K. Secado a temperatura ambiente. L. Pulverizado de la costra en mortero. M. Almidón nativo de *Vicia faba* L.

(1989). El contenido de glucosa se realizó por el método de antrona. Los resultados fueron obtenidos en porcentaje de materia seca (% ms). Se utilizaron por duplicado 100 mg de muestra de harina en cada repetición y se realizaron tres repeticiones por colecta de haba.

El análisis de los datos se hizo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Al conjunto de datos, se les realizó el análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey) con significancia  $\alpha=0.05$ , también se realizaron correlaciones de Pearson entre los caracteres del grano, el contenido de almidón total en harina, y rendimiento de almidón, se utilizó el software SAS versión 9.0 (SAS, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracteres del grano

Los resultados se muestran en forma de gráficas radiales que representan los valores relativos de los caracteres evaluados de las diferentes colectas. Las letras indican diferencias estadísticas significativas de la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

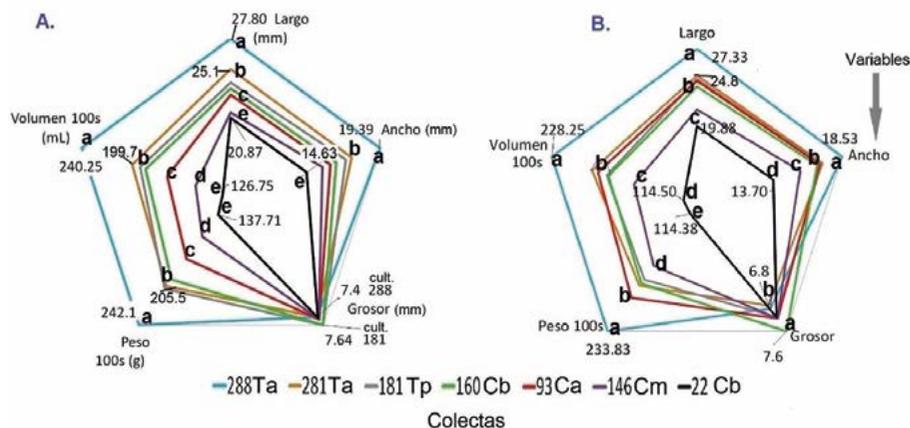
El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en largo ( $P\leq 0.001$ ), ancho ( $P\leq 0.001$ ), peso ( $P\leq 0.001$ ) y volumen de 100 semillas ( $P\leq 0.001$ ) entre las colectas, en cada una de las localidades de estudio (Figura 3). Se aprecia que el cultivar "Tarragona" (Ta) fue el de dimensiones mayores con la colecta 288 tanto en Tlachichuca 2007, como en San Cayetano 2011. Los granos de dimensiones menores fueron de los cultivares "Cochinera" con las colectas 22 con color de testa blanca y la 146 de color morada. El grosor tuvo diferente respuesta de acuerdo a la localidad al ser significativamente mayor en Tlachichuca 2007. Dentro de cada localidad, se

aprecian las variaciones relativas entre las colectas, cada una representada por una línea (Figura 3A y 3B), donde el grosor no varía proporcionalmente con el largo, ancho, peso, o volumen del grano, sino que algunas colectas de granos más grandes presentan menor grosor.

En Tlachichuca no se detectó diferencia significativa del grosor entre cultivares. Sin embargo, en San Cayetano la respuesta del grosor se diferenció en dos grupos, y al comparar ambas localidades la diferencia en grosor fue significativa ( $P\leq 0.001$ ) (Figura 4). Consecuentemente también hubo diferencias en el peso ( $P\leq 0.001$ ) y el volumen ( $P\leq 0.01$ ), pero no se obtuvieron diferencias con significancia en largo y ancho. La expresión de los caracteres de grano de haba, pudieron estar en función del ambiente de cultivo. Al respecto, la precipitación acumulada en los meses del cultivo (marzo-noviembre) fue mayor en San Cayetano 2011 (685 mm) que en Tlachichuca 2007 (529 mm), pero las temperaturas mínimas en la etapa final de llenado de grano cercanas a la cosecha, sobre todo en octubre y noviembre fueron inferiores en San Cayetano (oct 1.6°C y nov -1.5°C) en relación a Tlachichuca (oct 3.8°C, nov 1°C), lo que coincidió con un menor desarrollo del grosor y peso del grano para el caso de las colectas más tardías (160, 146, 93, 181, 281, 288).

### Contenido de almidón total en harina de haba y rendimiento de almidón

En las colectas de haba el promedio de almidón total en la harina fue de 54% ms, con un rango entre 50% y 60% ms (Figura 5A), lo cual concuerda con Hoover y Sosulsky (1991), quienes indican que los carbohidratos totales en las leguminosas van desde 24 a 68%, donde

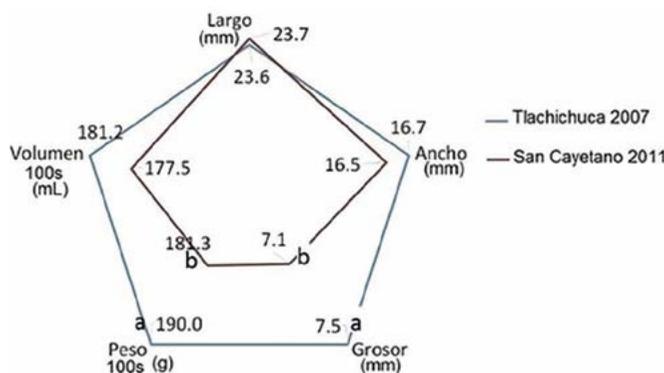


**Figura 3.** Posición relativa de medias de caracteres de grano en función de siete colectas evaluada: A Tlachichuca 2007, y B San Cayetano 2011, en los llanos de Serdán, Puebla, México. Ta=cultivar Tarragona amarilla, Tp=Tarragona parralleña, Cb=Cochinera blanca, Ca=Cochinera amarilla, Cm=Cochinera morada.

el almidón es el elemento predominante. En Polonia variedades de haba han reportado un almidón total entre 62 y 65% ms (Giczewska y Borowska, 2004). En este estudio los cultivares de haba tuvieron diferencia estadística significativa entre las localidades, y en promedio las colectas sembradas en San Cayetano fueron estadísticamente superiores (Figura 5B). En el cultivo de haba el estrés originado por déficit hídrico, nutrición, o temperatura durante las fases reproductivas, reduce la tasa fotosintética que repercute en el rendimiento final de carbohidratos

(Pichardo-Riego et al., 2013). Esto concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo ya que el contenido superior de almidón total en los granos de San Cayetano coincide con una mayor precipitación acumulada en la temporada (685 mm en Chalchicomula de Sesma, San Cayetano, de marzo a noviembre 2011; 529 mm en Tlachichuca 2007).

El rendimiento de almidón en promedio fue de 36.2% ms, este porcentaje es superior al documentado (32.9 a 34.6% ms) para diferentes variedades de haba de Canadá (Ambigaipalan et al., 2011). En leguminosas como frijol común, el rendimiento de almidón es de 38% ms (Tovar et al., 2005), en frijol negro 36.3%, y frijol peruano 48.8% (Vargas et al., 2006), y en cultivares de chícharo de 32.7% a 33.7% (Ratnayake et al., 2001). En este trabajo, el rendimiento de almidón presenta diferencias estadísticas entre las colectas ( $P \leq 0.05$ ) (Figura 5).



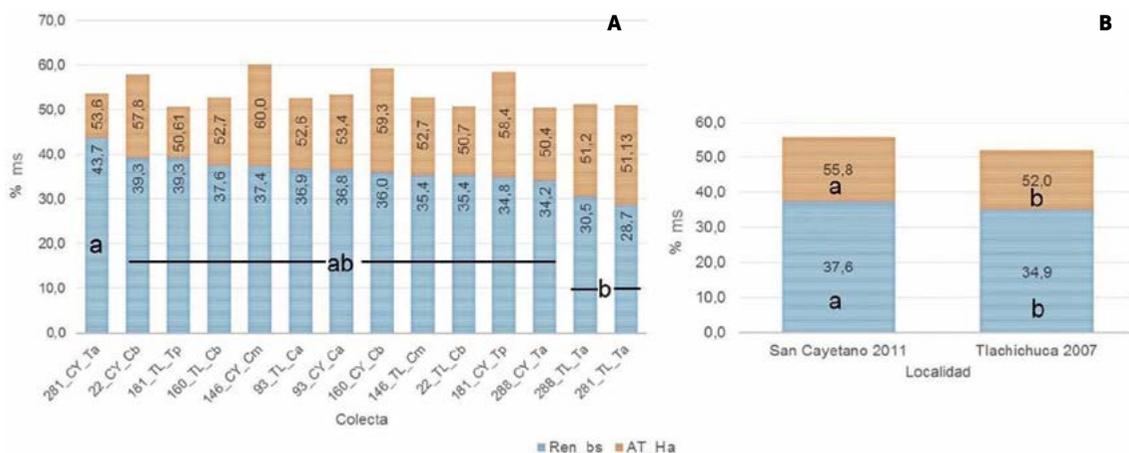
**Figura 4.** Comparación de medias de caracteres de grano de haba en función de siete colectas cultivadas en Tlachichuca y San Cayetano en los llanos de Serdán Puebla, México.

La colecta 281 del cultivar Tarragona amarilla (Ta) obtuvo el rendimiento mayor (43.7% ms) cuando fue cultivada en San Cayetano 2011 (CY). Pero en Tlachichuca 2007 (TL) obtuvo el rendimiento menor (28.7% ms) (Figura 5A). Estos resultados confirman que algunos cultivares de haba pueden responder con un rendimiento de almidón, en función de la disponibilidad de agua en el suelo, como es el caso del cultivar Ta-281. A pesar de que todas las siembras fueron bajo temporal, las diferencias de precipitación entre Chalchicomula de Sesma 2011 (685 mm), y Tlachichuca 2007 (529 mm), marcaron una respuesta acorde al

mayor rendimiento de almidón en granos de haba (Figura 5). Como lo señalan Ovando-Martínez et al. (2011) para leguminosas, quienes mencionan que la disponibilidad de agua en el suelo puede influir positivamente en el rendimiento de almidón en algunos genotipos de frijol.

Diferencias morfológicas de la planta y los granos

al comparar el almidón total, o rendimiento de almidón de distintas variedades de haba poco se han descrito de manera conjunta. Según Pichardo-Riego et al. (2013), parámetros como el peso del grano, número de granos, y número de vainas por planta, son decisivos en el rendimiento final de carbohidratos. Incluso en leguminosas el grosor de la testa puede originar diferencias en el contenido de carbohidratos entre variedades de la misma especie (Silva et al., 2007). Por su parte Giczewska y Borowska (2004) señalan que, en variedades de haba de tamaño pequeño, la cantidad del almidón total es ligeramente menor, aunque no



**Figura 5.** A. Cuantificación de almidón total en harina, y rendimiento de almidón en catorce colectas de cinco cultivares de haba sembrados en Tlachichuca 2007(TL) y San Cayetano 2011 (CY) en los llanos de Serdán Puebla, México. B. Comparación de contenido de almidón total en harina y rendimiento de almidón de granos sembrados en San Cayetano 2011 y Tlachichuca 2007. Letras distintas indican diferencias significativas Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Ren\_bs=rendimiento de almidón en base seca, AT\_ha=almidón total en harina, Ta=Tarragona amarilla, Cb=Cochinera blanca, Tp=Tarragona parraleña, Ca=Cochinera amarilla, Cm=cochinera morada.

varía significativamente entre granos grandes y pequeños. En este trabajo, las dimensiones del grano no tuvieron una correlación significativa con el rendimiento de almidón de los cultivares de haba. Esto sugiere que no necesariamente las variedades de granos más grandes poseen mayor rendimiento de almidón. Por otro lado, el factor de disponibilidad de humedad en suelo si puede marcar una diferencia significativa tanto en el almidón total del endospermo como en el rendimiento de almidón.

## CONCLUSIONES

El rendimiento de la extracción de almidón varió entre 28.7 y 43.7% ms, en función de los cultivares y de las colectas analizadas. El rendimiento del almidón no tuvo una correlación significativa con las dimensiones del grano de los cultivares evaluados. Los caracteres de peso, volumen, largo y ancho de los granos de haba presentaron diferencia significativa entre cultivares dentro de una misma localidad, a excepción del grosor, el cual presentó mayor diferencia entre localidades. Los resultados del presente estudio apoyan hacia la elección y el manejo que favorezca un mejor rendimiento de almidón de los cultivares de haba de la región de los Llanos de Serdán, Puebla.

## LITERATURA CITADA

- Ambigaipalan P., Hoover R., Donner E., Liu Q., Jaiswal S., Chibbar R., Nantanga K. K. M., Seetharaman K. 2011. Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Research International*. 44: 2962-2974.
- Delgado-Alvarado A., Herrera-Cabrera B.E., García-Sánchez I., Cortes-Aguilar I.R., Solar-Vigueras J. 2013. Caracterización de compuestos nutricionales y funcionales en *Vicia faba* L. p. 195-215. *In: Solórzano V. E. y Mora A. R., Memoria de resúmenes en extenso del 2° Congreso Nacional del Cultivo del Haba. 27-29 de octubre de 2011. Universidad Autónoma Chapingo (CD-Rom). Chapingo, México. ISBN 978-607-12-0300-7*
- Díaz-Bautista M., Herrera-Cabrera B.E., Ramírez-Juárez J., Aliphath-Fernández M., Delgado-Alvarado A. 2008. Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la Sierra Norte de Puebla México. *Interciencia*. 33(8): 610-615.
- García S.I. 2011. Variación en el contenido de L-Dopa y compuestos fenólicos durante el desarrollo de semilla de *Vicia faba*. Tesis de Maestría. Posgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados-Campus Puebla.
- Giczewska A., Borowska J. 2004. Nutritional value of broad bean seeds. Part 3: Changes of dietary fibre and starch in the production of commercial flours. *Nahrung* 48: 116-122
- Guillon F., Champ M.M.J. 2002. Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health URPOI & UFDNH, National Institute for Agronomic Research (INRA). *British Journal of Nutrition* 88: 293-306.
- Herrera-Cabrera B.E., Díaz R.R., González F., Delgado-Alvarado A. 2006. Diversidad genética y valor agronómico de haba en la región central de México. Informe Técnico, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Colegio de Postgraduados - Campus Puebla. Puebla, México. 96 p.
- Herrera-Saldaña R.E., Huber J.T. 1989. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cow. *Journal Dairy Science* 72: 1477-1483.
- Hoover R., Sosulski F. 1991. Composition, structure, functionality, and chemical modification of legume starches: a review. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 69: 79-92.
- Lee H.C., Htoon A. K.B., Paterson J.L. 2007. Alkaline extraction of starch from Australian lentil cultivars Matilda and Digger optimised for starch yield and starch and protein quality. *Food Chemistry* 102: 551-559
- Kozłowska H., Zdunczyk Z., Honke J. 1998. Legume grains for food and non food uses. *In: Proceedings of the 3rd European Conference on Grain Legumes, Valladolid, Spain. pp. 43-47* Megazyme International Ireland Limited. 2011. Total Starch Assay Procedure. Amyloglucosidasa / $\alpha$ -amilase Method. K-Tsta 07-11.
- Ovando-Martínez M., Bello-Pérez L.A., Whitney K., Osorio-Díaz P., Simsek S. 2011. Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. *Carbohydrate Polymers* 85: 54-64.
- Pichardo-Riego J.C., Escalante-Estrada J.A.S., Díaz-Ruiz R., Quevedo-Nolasco A., Volke-Haller V., Morales-Rosales E.J. 2013. Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de cultivares de haba (*Vicia faba* L.) para doble propósito. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 71-84.
- Ratnayake W.S., Hoover R., Shahidi F., Perera C., Jane J. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chemistry* 74: 189-202.
- Sandhu K.S., Lim S. 2008. Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. *Carbohydrate Polymers* 71: 245-252.
- SAS. 2002. SAS/STAT. User guide, version 9.0. SAS Institute Inc, North Carolina.
- Seewi G., Gnauck G., Stute R., Chantelau E. 1999. Effects on parameters of glucose homeostasis in healthy humans from ingestion of leguminous versus maize starches. *European Journal of Nutrition* 38: 183-189.
- Silva C.L., Osorio D.P., Bello P.L.A. 2007. Digestibilidad del almidón en haba (*Vicia faba* L.). *Agrociencia* 41: 845-852.
- Tharanathan R.N., Mahadevamma S. 2003. Grain legumes. A boon to human nutrition. *Trends in Food Science and Technology* 14: 507-518.
- Tovar J. 1996. Bioavailability of carbohydrates in legumes: digestible and indigestible fractions. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 44: 36-40.
- Tovar J., Fernández P.M., Blanco M.A. 2005. Digestibilidad *in vitro* en preparaciones cocidas y molidas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia* 30: 780-783.
- Vargas T.A., Osorio D.P., Agama A.E., Morales F.L., Bello P.L. 2006. Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia* 31: 281-284.
- Zhang T., Jiang B., Wang Z. 2007. Gelation properties of chickpea protein isolates. *Food Hydrocolloids* 21: 280-286.
- Zhao J., Wistler R.L. 1994. Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. *Food Technology* 48: 104-105.

# TENDENCIAS DE PRODUCCIÓN, MANEJO POSTCOSECHA Y COMERCIALIZACIÓN NACIONAL Y PARA EXPORTACIÓN DE NOPALITO (*Opuntia ficus-indica*)

## TRENDS IN PRODUCTION, POSTHARVEST MANAGEMENT AND NATIONAL AND EXPORT COMMERCIALIZATION OF NOPALITO (*Opuntia ficus-indica*)

Maki-Díaz, G.<sup>1,2</sup>; Peña-Valdivia, C.B.<sup>2\*</sup>; Arévalo-Galarza, M.L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca. División de Ingenierías. Departamento de Arte y Empresa. Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5+1.8, Palo Blanco, Salamanca, Guanajuato, México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

\***Autora de correspondencia:** cecilia@colpos.mx

### ABSTRACT

The production and export of vegetables are some of the most important activities of the Mexican economy. The production of nopalito (young and succulent cladodes of the genera *Opuntia* and *Nopalea*) in Mexico has increased in recent decades and has been recognized as a vegetable with increased export potential. The objectives of the present study were to identify the trends of production, postharvest handling and national and international marketing of nopalito (*Opuntia ficus-indica*), to characterize the differences in postharvest handling according to the production destination and to know its dynamics as a horticultural crop in Mexico. The information was obtained from bibliographic sources, official statistics and questionnaires applied to producers and exporters in Otumba and San Martín de las Pirámides regions, Estado de Mexico. The information regarding national production, which destined to export and internal consumption, is scarce; in part, for lack of a specific tariff fraction for nopalito. The systems of production of nopalito in Mexico destined for export contrast with those that produce nopalito for national consumption in the resources assigned by the producer.

**Keywords:** Vegetables, vegetable nopal, cladodes, tariff fraction.

### RESUMEN

Producción y exportación de hortalizas son algunas de las actividades más importantes de la economía mexicana. La producción de nopalito (cladodios jóvenes y, suculentos de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*) en México ha aumentado en las últimas décadas y se ha reconocido como una hortaliza con incremento en el potencial de exportación. Los objetivos del presente estudio fueron identificar las tendencias de producción, manejo postcosecha y comercialización nacional y al extranjero del nopalito (*Opuntia ficus-indica*), caracterizar las diferencias en el manejo postcosecha de acuerdo con el destino de la producción y conocer su dinámica como cultivo hortícola en México. La información se obtuvo de fuentes bibliográficas, estadísticas oficiales y cuestionarios aplicados a los productores y exportadores de la región de Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México. La información referente a la producción nacional, la destinada a exportación y al consumo interno, es escasa; en parte, por falta de una fracción arancelaria específica para nopalito. Los sistemas de producción de nopalito en México destinado a la exportación contrastan con los que producen nopalito para consumo nacional en los recursos asignados por el productor.

**Palabras clave:** Hortalizas, nopal verdura, cladodios, fracción arancelaria.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 73-79.

**Recibido:** diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.



## INTRODUCCIÓN

**México** es uno de los productores y exportadores principales de hortalizas en el mundo, y la actividad hortofrutícola es una de las más redituables en el campo. La superficie destinada para estos cultivos es aproximadamente 2.7 % de la superficie agrícola nacional y aporta 16 % del valor total de la producción (FAOSTAT, 2017; SIAP, 2017). La riqueza de climas en México favorece la producción de hortalizas durante todo el año y es una de las principales ventajas para la producción.

Los nopalitos son los cladodios tiernos de las especies *Opuntia* y *Nopalea* que se consumen como verdura. En gran parte del territorio mexicano el clima propicia la producción adecuada de los nopalitos (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). El interés por el cultivo y producción de esta hortaliza en otros países es reciente; pero, en general han tenido poco éxito (Flores-Valdez, 2003; Sáenz, 2006; Ramírez *et al.*, 2012). Esto propicia la comercialización de los nopalitos mexicanos a otros países. Sin embargo, la información y los registros oficiales de las exportaciones de nopalitos, que son necesarios para evaluar las tendencias de producción y exportación, están documentados escasamente.

Las estadísticas oficiales de organismos internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2014) no incluyen al nopal entre las hortalizas, por lo que el registro de la cantidad exportada no está reconocido por estos organismos.

El nopalito está entre las 15 hortalizas más importantes de México, por su producción, y se ha mantenido con incremento durante las últimas décadas (SIAP, 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue identificar las tendencias de producción y comercialización nacional e internacional del nopalito, identificar su variación entre los cultivos hortícolas más importantes en México y caracterizar las diferencias en el manejo postcosecha de acuerdo con el destino de la producción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa de esta investigación se basó en la revisión de la información de 19 fuentes oficiales nacionales e internacionales, para identificar las tendencias de producción y exportación de nopalito mexicano.

La segunda etapa consistió en visitas a la zona productora de los municipios de Otumba (19° 42' N; 98° 45' O; 2,349 m de altitud y clima Cwb, templado subhúmedo con lluvias en verano; García, 2004) y San Martín de las Pirámides (19° 46' N; 98° 53' O; 2,300 m de altitud y clima Cwb, templado subhúmedo con lluvias en verano; García, 2004), Estado de México. El proceso de embarque del nopalito para la exportación se documentó con fotografías. Además, entrevistamos a los productores-exportadores entre octubre de 2011 y marzo de 2014. Las entrevistas se basaron en las especificaciones del *Codex Alimentarius* (Codex Stan 185-1993), la Norma Mexicana del Nopal (NMX-FF-068-SCFI-2006) y en el Plan Rector del Sistema Producto Nopal.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Mercado nacional

La actividad hortofrutícola es una de

las más productivas en la agricultura mundial (Financiera Rural, 2008; ASERCA, 2012; Ayala *et al.*, 2012). La producción y comercialización de los productos hortofrutícolas ha incrementado en las últimas décadas (Escalante y Catalán, 2008, SIAP 2017) debido a las nuevas pautas de la economía internacional, regidas por los cambios en la oferta y la demanda (Macías, 2010). México destina 21,901,600 ha a la producción agrícola (SIAP, 2017). La producción de hortalizas en 2014 fue de 13,212,766 t, con valor de producción de 3,751,610 miles de dólares, su producción ocupó 2.59 % de la superficie cultivada y aportaron 13% del valor total de la producción agrícola (SIACON, 2014). La superficie cosechada de frutas y hortalizas ha crecido constantemente en los últimos 35 años. La tasa de crecimiento anual entre 1980 y 2015 fue 2.09%, mientras que la superficie agrícola mundial creció 12.97% (FAOSTAT, 2017).

México es el principal productor mundial de nopalito. Los datos del SIACON (2014) indican que en 2014 la producción fue 12,038 ha, alcanzó 824,602 t y su valor fue US\$90,522,960.

Las estadísticas oficiales indican que la superficie cosechada con nopalitos incrementó más del doble (de 5,269 a 12,038 ha) entre 1990 y 2015. Así, la superficie cosechada con nopalito en 1990 ocupó el lugar 14 entre las hortalizas y en 2010 subió al número 10. Por esto, los nopalitos estuvieron entre las 15 hortalizas principales producidas en México (SIAP, 2017).

Los incrementos en producción de nopalito, superficie sembrada, superficie cosechada, rendimiento,

precio medio rural y valor de la producción en las últimas décadas los consiguan SIACON (2017) y SIAP (2017). De 1980 a 1990 la superficie cosechada, la producción y su valor incrementaron 33%, 91% y 3,114 dólares; de 1990 a 2000 los incrementos representaron 63%, 129% y 48,570,125 dólares. Además, en la siguiente década, de 2000 a 2010, todos estos parámetros continuaron incrementando 42.40 %, 79 % y 70,605,751 dólares (SIACON, 2017).

La producción de nopalito en México se concentra en Morelos (352,603 t), Ciudad de México (254,611 t) y Estado de México (82,903 t) (SIAP, 2017). La producción fluctúa durante el año por los requerimientos del cultivo. La oferta es mayor entre marzo y julio, se mantiene durante agosto y septiembre y disminuye entre octubre y febrero. Estos cambios afectan el precio y ocasionan su fluctuación durante el año, la que actúa en sentido inverso a la producción. Así, los precios mayores corresponden a la época con menos producción, entre octubre y febrero. Específicamente, la producción mensual menor corresponde a enero y representa 2.12 % de la anual; en contraste, la producción mayor se obtiene en abril y representa 13.29 %. En la Central de Abastos Iztapalapa, Ciudad de México, el precio menor y mayor de un centenar de nopalitos en 2016 fue 1.5 y 4.5 dólares (SNIIM, 2017).

### **Mercado internacional**

La información del destino y volumen de las exportaciones de nopalito es escasa, principalmente porque es un producto sin fracción arancelaria que lo clasifique en el sistema armonizado (DOF, 2007). Así, las estadísticas mexicanas oficiales de los volúmenes exportados y destinos internacionales son prácticamente inexistentes.

De acuerdo con Callejas-Juárez *et al.* (2009) las exportaciones de nopalito a EE.UU. en 2000 y 2005 fueron 11,385 y 14,293 t; lo que representó incremento de 26 % en cinco años. El incremento lo atribuyeron al crecimiento de la población latina en ese país; pues, el mercado más importante de tuna y nopalito está en Dallas, San Francisco, Seattle, Boston, Atlanta, Baltimore y Missouri y representa 95 % de las importaciones totales.

Los productores de Otumba estiman que exportan a Estados Unidos mensualmente 147,456 kg de nopalito fresco, con espinas (comunicación personal con el Sr. José Flavio Álvarez, presidente de la Asociación de Productores Exportadores de Nopal, Tuna, Xoconostle y Penca de Maguey, A.C.).

### **Manejo postcosecha de nopalito en Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México**

Los grupos PRONACUA y Grupo Agrícola Ixquiltán, de Otumba y San Martín de las Pirámides, están integrados por productores y exportadores de nopalito. Ellos exportan nopalito fresco, con espinas, del cv. Atlixco. El grupo PRONACUA también destina parte de su producción a empresas, como México Fresco<sup>®</sup>, que lo exportan procesado mínimamente (nopal "picado", fresco y sin espinas). El grupo PRONACUA combina el manejo "a cielo abierto" en primavera-verano y el sistema de producción en microtúnel en otoño-invierno. Este grupo, en 2014 realizaba su certificación con el sello México Calidad Suprema y obtuvo el certificado de Buenas Prácticas Agrícolas, otorgado

por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

El Grupo Agrícola Ixquiltán está formado por productores de los municipios de San Martín de las Pirámides y Otumba, comercializa nopalito, tuna y xoconostle y posee el certificado de aplicación de buenas prácticas agrícolas, otorgado por el SENASICA.

Un objetivo central de los grupos de productores es ofrecer productos inocuos de primera calidad, por lo que se centran en el combate de plagas con productos no tóxicos. Es decir, esos productores usan únicamente productos orgánicos y prácticas mecánicas, como uso de cuchillo, para mantener la sanidad de sus cultivos.

La comercialización internacional se realiza en marzo, abril y mayo, que son los meses de mayor producción. El destino principal son ciudades de Estados Unidos, como Houston, McAllen, Atlanta, Dallas, Nueva Jersey y Los Ángeles. La exportación la realizan mediante acopiadores o intermediarios. La exportación en promedio representa dos remolques de camión (tráiler refrigerados) semanales, cada uno con capacidad para 48 tarimas y cada una con 24 cajas de aproximadamente 16 kg. Esto equivale a 147,456 kg mensuales. La refrigeración se realiza con "termoking" que mantiene el ambiente de la carga a 1.66 °C (35 °F).

Según los productores, los parámetros de calidad que exige el mercado internacional son: ausencia de defectos, por enfermedades, plagas, heladas u otro agente, y el tamaño del nopalito, que depende de las

preferencias del mercado destino. Por esto, el tamaño estándar se agrupa en dos: 18 a 20 cm y 18 a 25 cm. La excepción es el mercado de Los Ángeles, que solicita de 25 a 30 cm.

El precio, que varía con la temporada de producción, puede ser alrededor de 2 a 9 dólares un ciento de nopalitos en temporada de sobreproducción y producción mínima.

### Condiciones para exportación

Los nopalitos para exportar básicamente deben cumplir las especificaciones de embalaje y fitosanitarias (ausencia de plaguicidas), la verificación del registro del comprador y el pago de impuestos. Al respecto, la Aduana Importadora de Reynosa realiza todos los trámites.

Los impuestos incluyen: peaje en puentes mexicano y americano: US\$55 y 21.5, seguro: US\$20 y transferencia ("Transfer"): US\$60. Además, por la carga que exceda 21,000 kg o que esté estibada incorrectamente deben pagarse multas.

### Empaque y embalaje

Los nopalitos para exportación deben incluirse en empaque y embalaje que cumplan con algunos elementos como (Figura 1):

- Etiqueta:** con nombre del producto, lugar de origen, nombre del productor, nombre del distribuidor, lugar destino y peso.
- Cajas para exportación:** nuevas o perfectamente limpias y desinfectadas, de material plástico, con capacidad de 16 kg aproximadamente y sello "Producto de México".



**Figura 1.** A: Caja plástica. B: Etiqueta. C: Flejadora. D: Esquineros. E: Tarimas. F: Sello. G: Papel estraza.

**Tarimas:** con sello grabado con clave indicadora que el producto procede de México. Su capacidad es para 48 cajas, de ellas solo las de la parte superior deben cubrirse con papel estraza, para disminuir la pérdida de humedad. Todas las cajas en la tarima se refuerzan con esquineros de cartón, se sujetan con fleje y se etiquetan.

### Costos

De acuerdo con los productores en la zona de estudio, los costos de producción promedio por invernadero, microtúnel o referencia que se indica a continuación (expresados en dólares (US\$), al tipo de cambio del 29 de septiembre de 2017; Banxico, 2017) del nopalito para exportación en 2014, incluían: los bordos (\$22 por cada 100 m), el abono (\$52 por m<sup>2</sup>, un camión), las plantas (\$99 para 1900 plantas por 100 m), jornales (\$2.2 diarios), cubiertas plásticas (\$186), varilla (\$89), lazo (\$19 por rollo), tarima (\$7 por tarima), cajas (\$1), esquineros (\$0.30 pequeños, \$0.45 grandes), grapas (\$3 por kg), rollo de fleje (\$11), y flete (\$1,633).

El mantenimiento de las huertas en condiciones óptimas para la producción de nopalitos para exportar es costoso, porque las cubiertas plásticas son indispensables y los productos orgánicos deben utilizarse, los volúmenes producidos para el mercado internacional son insuficientes y los productores no tienen financiamiento gubernamental.

### Proceso de embarque para exportación de nopalito

El embarque se realiza en la mañana. Este inicia con el corte manual de los nopalitos, con cuchillo. Los

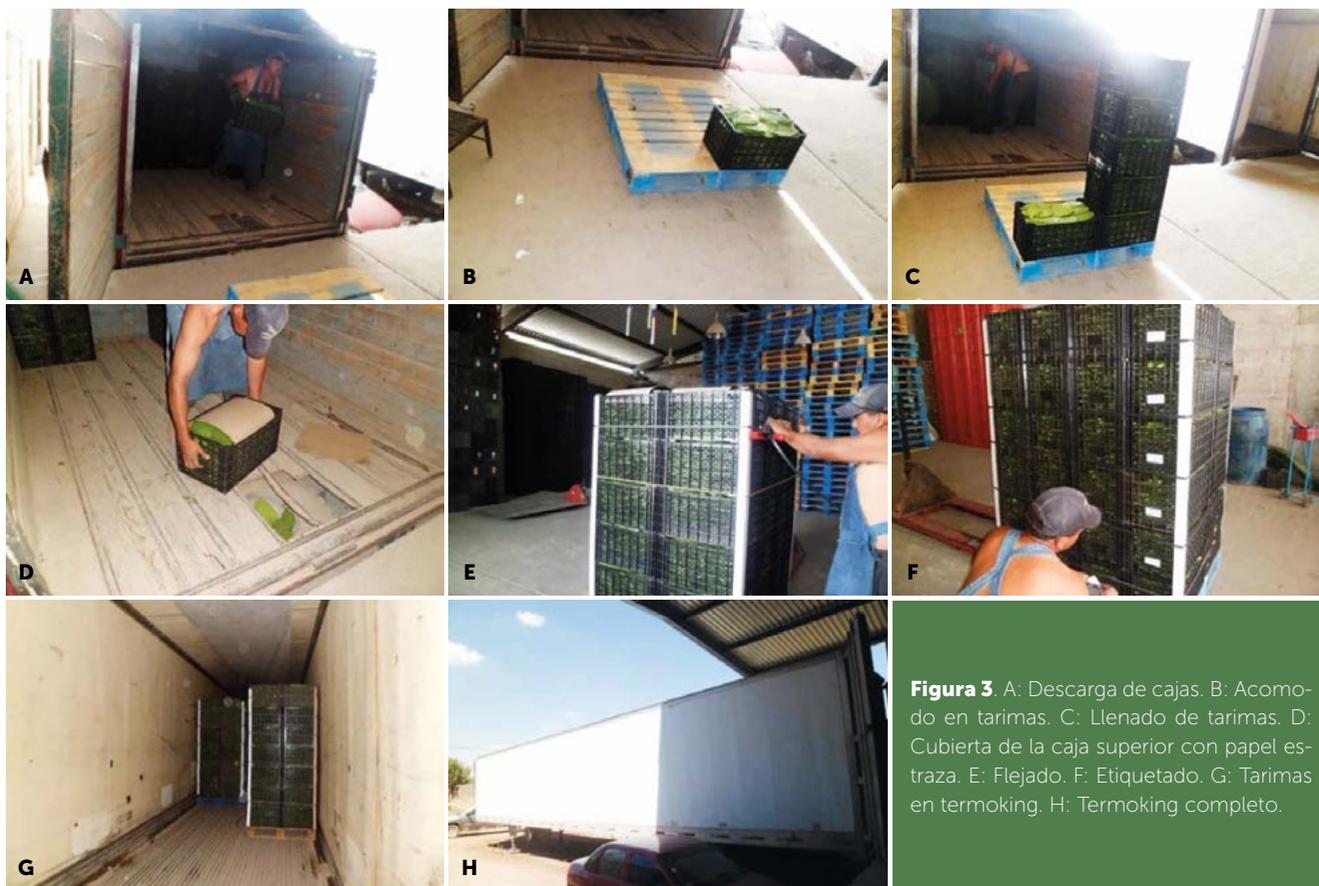
nopalitos se acomodan en cajas plásticas (capacidad aproximada de 16 kg), que se transportan en carretillas hasta el camión que las lleva a la empacadora (Figura 2).

En la empacadora, las cajas se colocan en las tarimas (capacidad para 48 cajas), las de la parte superior se cubren con papel estraza, y se colocan los esquineros y flejes. Luego, cada caja se etiqueta. Las tarimas con el embalaje se trasladan al "termoking", que debe estar 1.66 °C (Figura 3). Así, el comprador recogerá la carga en la empacadora.

La producción de nopalito en México varía marcadamente entre los sistemas de producción, zonas de producción, manejo del cultivo y destino de la producción. Un caso es el sistema de cultivo en microtú-



**Figura 2.** A: Corte con cuchillo de nopalitos para exportar. B: Llenado de cajas (16 kg). C: Transporte en carretilla. D: Acomodo de cajas. E: Transporte en camión a empacadora.



**Figura 3.** A: Descarga de cajas. B: Acomodo en tarimas. C: Llenado de tarimas. D: Cubierta de la caja superior con papel estraza. E: Flejado. F: Etiquetado. G: Tarimas en termoking. H: Termoking completo.

neles otro es el uso de riego, pues sólo algunos productores cuentan con recursos para implementarlos. Pero, si el productor destinará su producción al mercado internacional deberá utilizar necesariamente varios de esos sistemas costosos.

La tendencia de producción en microtúnel es relativamente común en la zona del estudio, ya que pueden suceder granizadas y heladas. Aunque, el cultivo en microtúneles se destina principalmente a exportación, y es una de las principales diferencias de la producción destinada al mercado nacional.

La producción de las huertas de los grupos de productores-exportadores de nopalitos encuestados se destina a la exportación y también al mercado nacional. Esto último sucede cuando los volúmenes para el mercado internacional no se alcanzan o no hay demanda externa. Destaca que, estos grupos mantienen los cuidados y limpieza de las huertas, aunque la producción se comercialice en México, y contrastan con el manejo de las huertas que destinan el total de su producción a la comercialización nacional.

La heterogeneidad entre las huertas con producción destinada al mercado nacional respecto al destino externo incluye falta de implementación de buenas prácticas agrícolas, con cierto descuido en las plantaciones, uso indiscriminado de agroquímicos, y falta de limpieza en las huertas (Figura 4).

## CONCLUSIONES

La información referente a la producción nacional, la

destinada a exportación y al consumo interno, es escasa; en parte, por falta de una fracción arancelaria específica para nopalito. La producción de nopalito en México ha incrementado varias veces según los primeros registros oficiales, de 1980 a 2015. Los sistemas de producción de nopalito en México destinado a la exportación contrastan con los que producen nopalito para consumo nacional en los recursos asignados por el productor. Los productores reconocen la necesidad de manejar las plantaciones mediante un sistema que no represente contaminación con compuestos tóxicos o agroquímicos que dañen el medio y a los consumidores, y que reduzca sus posibilidades de expansión y el reconocimiento de su producto en los mercados internacionales. Los productores aplican una normativa parcial de calidad, que indica el consumidor por sus preferencias. Estas se refieren principalmente a color, tamaño y daños físicos en los nopalitos.

## LITERATURA CITADA

- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios). 2012. <http://www.aserca.gob.mx/>. Consulta: septiembre de 2014.
- Ayala G.A.V., Schwentesius R.R., Cabrera C.B. 2012. Hortalizas en México: competitividad frente a EE.UU. y oportunidades de desarrollo. *Globalización, Competitividad y Gobernabilidad* 6: 70-88.
- BANXICO (Banco de México). 2017. <http://www.banxico.org.mx/> (Consulta: septiembre de 2017).
- Callejas-Juárez N., Matus G.J.A., García S.J.A., Martínez D.M.A., Salas G.J.M. 2009. Situación actual y perspectivas de mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el Estado de México, 2006. *Agrociencia* 43: 73-82.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2014. <http://www.cepal.org/> (Consulta: septiembre de 2017).



**Figura 4.** Manejo y limpieza de huertas para producción nacional (A, B y C) y para exportación (D, E y F).

- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2007. Ley de los Impuestos Federales de Importación y Exportación. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIGIE.pdf>. Consulta: enero de 2014.
- Escalante S.R., Catalán H. 2008. Situación actual del sector agropecuario en México: perspectivas y retos. *Economía Informa* 350: 7-25.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017 <http://www.fao.org/home/es/> (Consulta: septiembre de 2017).
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Dirección de estadística). 2017. <http://faostat.fao.org/> (Consulta: septiembre de 2017).
- Financiera Rural, 2008. La producción de hortalizas en México. Informe Dirección General Adjunta de Fomento y Promoción de Negocios. 47 p.
- Flores-Valdez C.A. 2003. Producción y comercialización de nopalitos. *In: nopalitos y tunas*. Flores-Valdez C. A. (Ed). Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM- Programa nopal. 19-37 pp.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 5ª ed. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Macías M.A. 2010. Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América 1989-2009. *Agroalimentaria* 16(31):31-48.
- Ramírez P.J.C., Sosa-López R., Santos B.A. 2012. Plan Rector del Sistema Producto Nopal y Tuna del Estado de Michoacán. SAGARPA. 73 p.
- Reyes-Agüero J.A., Aguirre R.J.R., Hernández H.M. 2005. Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia* 39: 395-408.
- Sáenz C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 165 p.
- SIACON (Sistema de Información Agropecuaria de Consulta, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola). 2014. CD ROM 1980-2014. México, D. F.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (Consulta: agosto-septiembre de 2017).
- SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados). 2017. Secretaría de Economía. <http://www.economia-sniim.gob.mx/> (Consulta septiembre 2017).





# APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (WQI-NSF) EN LAGUNAS METROPOLITANAS Y RURALES

## APPLICATION OF THE WATER QUALITY INDEX (WQI-NSF) IN METROPOLITAN AND RURAL LAGOONS

Salcedo, M.A.<sup>1\*</sup>; Sánchez, J.A.<sup>1</sup>; Cruz-Ramírez, A.<sup>1</sup>; Álvarez-Pliego, N.<sup>1</sup>; Florido, R.<sup>1</sup>; Ruíz-Carrera, V.<sup>1</sup>; Garrido, A.<sup>1</sup>; Alejo-Díaz, R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, Villahermosa, Tabasco, México.

\*Autor de correspondencia: mzalcedo@gmail.com

### ABSTRACT

Unsustainable fringe urbanization affects the water quality and the public health. Then, the Water Quality Index of the National Sanitation Foundation (WQI-NSF) was measured in six lagoons in the Villahermosa metropolitan zone (ZM) and surrounding rural zone (ZR) during low and high flow, in the floodplain of Grijalva River, Mexico. The aim was to estimate whether the water quality in the lagoons is suitable for public health. In the ZM, the two lagoons registered medium water quality in both flow conditions. In the ZR, the water quality in the four lagoons varied from good to bad, but they kept better water quality during the high flow than the low one. The bad water quality is tied to the fringe urbanization impact. Instead, the good water quality was associated with the presence and coverage of aquatic vegetation, which favors the water depuration and highlights its benefits to conserve environmental services. The fecal coliforms (CF) and the total phosphorus (PT-PO<sub>4</sub>) negatively and frequently affected the WQI-NSF rating and exceeded the Norms of water quality for urban public use in Mexico, which display their potential public health risk.

**Keywords:** Grijalva Basin, Mexican standards, public health, urbanization.

### RESUMEN

La periurbanización insostenible afecta la calidad del agua y la salud pública. Por lo mismo, el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Sanidad (WQI-NSF) se midió en seis lagunas en la zona metropolitana de Villahermosa (ZM) y rural (ZR) aledaña durante flujo bajo y alto, en en la planicie del Río Grijalva, México. El objetivo fue estimar si la calidad del agua en las lagunas es apropiada para la salud pública. En la ZM, las dos lagunas registraron calidad media del agua en ambas condiciones de flujo. En la ZR, la calidad del agua en las cuatro lagunas varió de buena a mala y mantuvieron mejor calidad del agua durante el flujo alto que en el bajo. La mala calidad del agua se atribuye al impacto de periurbanización. En cambio, la mejor calidad del agua se asoció con la presencia y cobertura de vegetación acuática, las cuales favorecen la depuración del agua y destacan sus beneficios para conservar los servicios ambientales. Los coliformes fecales (CF) y el fósforo total (PT-PO<sub>4</sub>) afectaron negativa y frecuentemente la calificación del WQI-NSF y superaron los lineamientos de la calidad del agua como fuente de abastecimiento para uso público urbano en México, lo que evidencia su potencial riesgo a la salud pública.

**Palabras clave:** cuenca Grijalva, Normas mexicanas, salud pública, urbanización.

## INTRODUCCIÓN

**El suministro,** la depuración del agua y la recreación son tres servicios ecosistémicos que ofrecen las lagunas epicontinentales (Costanza *et al.*, 1997), y que ayudan a mantener la biodiversidad y favorecen el desarrollo de actividades productivas y de esparcimiento. Sin embargo en estas lagunas, las presiones antropogénicas han deteriorado su calidad del agua, que a su vez incrementan los riesgos a la salud pública y la vulnerabilidad ambiental (Ternus *et al.*, 2011; Lammers *et al.*, 2015).

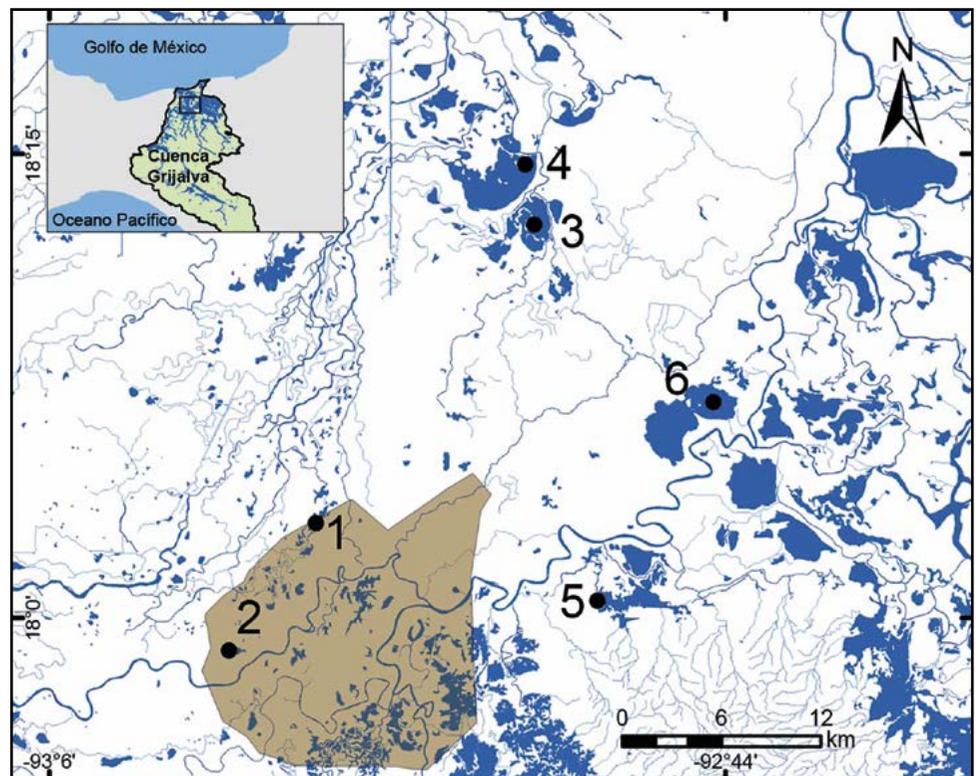
En la planicie del río Grijalva, en el estado de Tabasco, México, Villahermosa es la ciudad más extensa, dada su área metropolitana cercana a 20,655 ha (Instituto de Planeación y Desarrollo Urbano del Municipio de Centro 2008), su concentración de pobladores y actividades económicas en el estado de Tabasco (INEGI, 2012; 2015). Así mismo, la demanda del recurso hídrico destacó en el 2015, con 224.6 hm<sup>3</sup> para agricultura y 183.8 hm<sup>3</sup> para abastecimiento público (CONAGUA, 2016). El auge petrolero comenzó en la década de 1970 y para 1980 inició la periurbanización por la modernización y saturación del territorio dentro del límite de la ciudad de Villahermosa dado por los ríos Mezcalapa Viejo, Grijalva y Carrizal que la circundan (Díaz-Perera 2014; Palomeque *et al.*, 2017a). A inicios de la década de 1980, cuatro lagunas urbanas de Villahermosa aún mantenían condiciones oligotróficas y mesotróficas (Rodríguez *et al.*, 1996). Pero, al avanzar la década de 1980 hacia el 2010 el incremento del 58% del crecimiento poblacional estuvo acompañado con un cambio de uso de suelo que favoreció

la infraestructura urbana y provocó la pérdida de 289 ha de humedales (Palomeque *et al.*, 2017a). Entre las consecuencias de este crecimiento periurbano insostenible ha destacado el deterioro de la calidad del agua de las lagunas en la planicie de los ríos Grijalva-Usumacinta, vinculado con el aislamiento hidráulico, la fragmentación por urbanización y la contaminación por vertidos sin adecuado tratamiento (Sánchez *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2017). Sin embargo, el modelo de desarrollo metropolitano continúa con las prácticas de invadir y fragmentar las lagunas y sus zonas adyacentes de inundación (Palomeque *et al.*, 2017a). Este modelo generará una pérdida adicional de 109 ha para 2030 (Palomeque *et al.*, 2017b) que incluye las áreas

propuestas para la preservación ecológica, conservación total y regulación hidrológica y de valor ambiental (IMPLAN, 2008). Bajo este escenario insostenible de crecimiento periurbano, la presión sobre las lagunas urbanas y rurales adyacentes a la metrópoli aumentarán su pérdida en área y de sus condiciones ecológicas, en detrimento de la salud pública y biodiversidad. En este contexto la aplicación del WQI-NSF en lagunas en la ZM y ZR permitirá explicar si la condición de la calidad del agua en las lagunas es aún favorable para la salud pública.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** Las seis lagunas seleccionadas se localizan en la planicie del río Grijalva (Figura 1) en la que se ha registrado un escurrimiento superficial medio de 109,016 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> al año (CONAGUA, 2012). La construcción de infraestructura hidráulica



**Figura 1.** Localización de las seis lagunas ubicadas en la ZM de Villahermosa (sombreado en color café claro) y ZR en la planicie del río Grijalva. 1=El Gordiano; 2=Loma de Caballo; 3=Manguito; 4=Pucté; 5=Playa de Poza y 6=Maluco. Fuente SIATL (2010).

(presas, bordos y canales), urbana y carretera ha propiciado la disminución de la interconexión o aislamiento hidráulico de algunas lagunas de la ZM y ZR adyacente a la ciudad de Villahermosa con los ríos que las abastecen (Sánchez et al., 2015; Palomeque et al., 2017a).

En la ZM se seleccionaron dos lagunas en el área de descarga de los ríos Carrizal-Samaria. En la ZR se eligieron cuatro lagunas ubicadas a 20 km río abajo de la ZM en dos diferentes áreas de drenaje (Cuadro 1). Solamente en la Laguna Pucté se ha registrado la presencia de la macrófita enraizada sumergida *Vallisneria americana*. Las plantas acuáticas flotadoras como es el lirio acuático *Eichhornia crassipes* son comunes en las seis lagunas, pero dominaron en la Laguna Playa de Poza.

**Muestreo.** En dos lagunas dentro de la ZM y cuatro en la ZR se realizaron mediciones en dos condiciones de flujo contrastante en función del caudal esperado del río Grijalva, el cual fluctúa de 107 a 588 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (CONAGUA, 2012). El primer muestreo fue en flujo alto (septiembre 2013) y el segundo en flujo bajo (mayo 2014).

La calidad del agua se definió con el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América (WQI-NSF) (Brown et al., 1970). El WQI-NSF se compone de nueve parámetros: temperatura del agua (Temp), turbidez (Turb), potencial de hidrógeno (pH), nitratos (NO<sub>3</sub>), fósforo total (PT-PO<sub>4</sub>), saturación de oxígeno disuelto (SOD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólidos totales (ST) y coliformes fecales (CF). Los nueve parámetros fueron analizados según los métodos APHA (1998) y EPA, (1971).

Los cálculos de WQI se realizaron de acuerdo con Carter (1998) y Abbasi y Abbasi (2012), mediante la aplicación de la fórmula:

$$WQI_{NSF} = \sum_{i=0}^n Q_i \times W_i$$

Donde:  $Q_i$  es la calificación de calidad de cada parámetro y  $W_i$  es el peso de importancia. Este índice agrupa sus resultados en cinco categorías que definen sus efectos a la salud pública (muy malo, malo, medio, bueno y excelente).

**Análisis de datos.** El efecto negativo ( $E^{-50}$ ) de cada parámetro se determinó a partir de  $\leq Q_i=49$  o  $\geq Q_i=49$  (Cuadro 2), que es donde inicia dicho efecto sobre la calificación del índice. En los 12 WQI-NSF se registró la frecuencia de cada  $E^{-50}$  por parámetro, laguna y en ambas condiciones de flujo. El valor del  $E^{-50}$  de cada parámetro fue cotejado con el definido en los lineamientos permisibles de la calidad del agua como fuente de abastecimiento para uso público urbano o uso 1 (Cuadro 2).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad del agua resultó buena con cuatro registros, seis resultaron en calidad media, dos con calidad mala y ninguna con calidad excelente o muy mala (Cuadro 3). En la condición de flujo alto, la calidad media se obtuvo en tres lagunas, El Gordiano, Loma de Caballo y Playa de Poza. La calidad buena resultó en otras tres lagunas, Manguito, Pucté y Maluco, todas incluidas en la ZR; las dos primeras lagunas se localizan en el área de drenaje del río González y la tercera en el área de descarga del río Grijalva (Cuadro 3).

En la condición de flujo bajo desmejoró la calidad del agua, al determinarse calidad mala en dos lagunas, en tres lagunas media y buena en una laguna. La calidad mala del agua fue registrada en las lagunas Playa de Poza y Maluco en la ZR, del área de descarga del río Grijalva. La calidad

media fue medida en las lagunas El Gordiano, Loma de Caballo y Manguito, las dos primeras se ubicaron en la ZM, en el área de drenaje de los ríos Carrizal-Samaria y la tercer laguna se localiza en la ZR, en el área de drenaje del río González. La calidad buena del agua sólo fue registrada en la Laguna Pucté (Cuadro 3).

La calidad media del agua persistió en los dos muestreos en

**Cuadro 1.** Localización de las lagunas en las zonas metropolitana y rural con el número de habitantes y coberturas en porcentaje de áreas agrícola, pecuaria y forestal (AAPF) y de vegetación hidrófita (AVH) en su área de escurrimiento. Fuente SIATL (2010).

Lagunas	Localización (N/O)		AAPF (%)	AVH (%)	Número de habitantes
Zona Metropolitana					
1. El Gordiano	18.0544°	-92.9554°	95	3	108322
2. Loma de Caballo	17.9824°	-93.0026°			
3. Manguito	18.2117°	-92.8369°	73	15	43353
4. Pucté	18.2439°	-92.8419°			
5. Playa de Poza	18.0092°	-92.8027°	84	6	2452
6. Maluco	18.1055°	-92.7399°			

las lagunas Loma de Caballo y Gordiano, ambas localizadas en la ZM y en el área de descarga de los ríos Carrizal-Samaria. Tres lagunas disminuyeron en categoría de calidad del agua, entre la condición de flujo alto a bajo. Así, la calidad del agua cambió de buena a media en la laguna El Manguito en la ZR, en el área de drenaje del río González. El cambio de categoría de calidad media a mala se registró en la laguna Playa de Poza y el cambio en dos categorías, de buena a mala calidad fue detectado en la laguna El Maluco en la ZR. Las dos anteriores lagunas están localizadas en el área de escurrimiento del río Grijalva, aguas abajo de la ZM de Villahermosa (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Valor de los parámetros ( $\leq Qi=49$  o  $\geq Qi=49$ ) empleados en la identificación del efecto negativo ( $E^{-50}$ ).

Parámetro	$E^{-50}$	Uso 1 <sup>a</sup>
SOD (%)	<54	50.7 <sup>b</sup>
pH (unidades)	5.8-9	6.0-9.0
CF (NMP 100 <sup>-1</sup> mL)	>64	1000
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	> 6.3	-
Cambio de Temp (°C)	> 9.1	-
PT-PO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	>0.74	0.1
NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	>11	2.25 <sup>c</sup>
Turb (UTN)	>35	10
ST (mg L <sup>-1</sup> )	>380	550

<sup>a</sup> Valor límite en la Ley Federal de Derechos (2016), <sup>b</sup> 50.7 % SOD=4 mg L<sup>-1</sup> de OD a 27.7 °C; <sup>c</sup> 2.5 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub>=5.0 NO<sub>3</sub>-N.

Las mayores frecuencias de  $E^{-50}$  se detectaron en Playa de Poza para los dos flujos, y para Gordiano y Maluco en flujo bajo, los cuales fueron

principalmente causados por los valores de CF y PT-PO<sub>4</sub> (Cuadro 4). En estas tres lagunas los valores de CF durante el flujo bajo y en la laguna Loma de Caballo en flujo alto superaron el límite máximo de las Normas mexicanas como fuente de abastecimiento para uso público urbano (Cuadro 4). Los  $E^{-50}$  registrados para PT-PO<sub>4</sub> sobresalieron en flujo bajo en las dos lagunas de la ZM y en dos en la ZR del área de drenaje del río Grijalva (Cuadro 4).

Todos los  $E^{-50}$  atribuidos a los PT-PO<sub>4</sub> coincidieron o superaron su lineamiento para el empleo del agua para fuente de abastecimiento para uso público urbano (Ley Federal de Derechos, 2016). Esta restricción se fundamenta en que la materia orgánica es la fuente principal de fósforo en ambientes alterados por la actividad humana (Ternus et al., 2011), condiciones que sobresalieron en la Laguna Maluco durante flujo bajo. En este contexto, la calidad del agua en las lagunas Playa de Poza y Maluco se deteriora más durante el flujo bajo, de acuerdo con Shuhaimi-Othman et al. (2007), pues la

**Cuadro 3.** Variación de las categorías de la calidad del agua (WQI-NSF) en las lagunas en condiciones contrastantes de flujo.

Lagunas	Flujo alto	Flujo bajo	Zona	Calificaciones WQI-NSF	Calidad
El Gordiano	67	59	ZM	91-100	Excelente
Loma de Caballo	60	65	ZM	71-90	Buena
Manguito	75	67	ZR	51-70	Medio
Pucté	78	71	ZR	26-50	Mala
Playa de Poza	52	44	ZR	0-25	Muy mala
Maluco	76	46	ZR		

**Cuadro 4.** Frecuencia del efecto negativo ( $E^{-50}$ ) de los parámetros en la calidad de agua en las lagunas en ambas condiciones de flujo (0=efecto positivo, 1=efecto negativo). (a=incumple Norma mexicana).

Sitios	Condición	SOD	CF	ST	NO <sub>3</sub>	PT- PO <sub>4</sub>	DBO <sub>5</sub>	Turb	Temp	pH	$E^{-50}$
Loma de Caballo	FA	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	0	0	2
Gordiano		0	1	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	0	2
Pucté		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Manguito		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Playa de Poza		1 <sup>a</sup>	1	0	0	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	3
Maluco		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Loma de Caballo	FB	0	1	0	0	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	2
Gordiano		0	1 <sup>a</sup>	1	0	1 <sup>a</sup>	0	1 <sup>a</sup>	0	0	4
Pucté		0	0	0	0	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	1
Manguito		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Playa de Poza		1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	4
Maluco		0	1 <sup>a</sup>	0	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	1	1 <sup>a</sup>	0	0	5
$E^{-50}$		3	10	2	2	6	1	2	0	0	

concentración de CF y PT-PO<sub>4</sub> puede aumentar, lo que es más evidente en lagunas de la ZR, donde hay peores condiciones de calidad del agua, que en la ZM.

En el área de drenaje de las lagunas de la ZR se realiza la mayor proporción de actividades agrícolas, pecuarias y forestales (SIATL 2010) y sus aguas residuales son vertidas al río Grijalva, cuyo curso atravesó previamente Villahermosa, lo cual ayuda a interpretar la calidad mala del agua en las lagunas Playa de Poza y Maluco, y se puede explicar por los E<sup>-50</sup> de los CF y de PT-PO<sub>4</sub>. Esta suma de aguas residuales proveniente de zonas urbanas y vertidas en las rurales ha ayudado a fundamentar el deterioro de la calidad ambiental en los ecosistemas acuáticos de las zonas periurbanas y rurales (Sudha et al., 2013); ya que estas condiciones incrementan los riesgos a la salud pública por enfermedades gastrointestinales y la mortalidad de organismos acuáticos (Almazan-Marroquín et al., 2016).

En contraste, la buena calidad del agua en laguna Pucté se asoció con el menor porcentaje de cambio de uso de suelo (73.3 %) que se traduce en mayor cobertura de macrófitas acuáticas en su área de escurrimiento y presencia de macrófitas enraizadas sumergidas en la laguna. Ambas asociaciones de vegetación acuática ayudan en la depuración del agua (Lone et al., 2014).

## CONCLUSIONES

**El índice** de calidad del agua de la National Sanitation Foundation (WQI-NSF) calificó condiciones desfavorables para la salud pública en lagunas las suburbanas y rurales, las cuales quedaron ratificadas por las Normas mexicanas que regulan el uso de agua como fuente de abastecimiento para uso público urbano. La mayor frecuencia de E<sup>-50</sup>, determinada principalmente por CF y PT-PO<sub>4</sub>, indicó que los elevados valores de enterobiontes y nutrientes pueden ser relacionados con desechos provenientes de las actividades agropecuarias por escorrentía en la ZR, y de las aguas residuales en ambas zonas, lo que abre la duda acerca de la eficiencia de los servicios municipales y de la aplicación de políticas públicas dirigidas a su regulación. En este sentido se suma que la calidad del agua empeoró en la temporada de flujo bajo en las lagunas de la ZR, cuando disminuye el volumen de agua. En términos de conservación de los servicios ambientales de la vegetación acuática, la buena calidad del agua en la laguna Pucté se asoció con la presencia de macrófitas enraizadas sumergida (*Vallisneria americana*) y mayor

cobertura de macrófitas enraizadas emergentes (tulares y espadañales) que favorecen la depuración del agua.

## AGRADECIMIENTOS

Resultados del proyecto PIFI UJAT-2012-IA-13. Rafael Alejo Díaz fue becario y obtuvo su grado en Ingeniería Ambiental con parte de la información de este artículo mediante la opción de resolución de casos prácticos.

## LITERATURA CITADA

- Abbasi T., Abbasi S. A. 2012. Water quality indices. Elsevier. Great Britain. 362 p.
- Almazan-Marroquín V., Figueroa R., Parra O., Fernández X., Baeza C., Yañez J., Urrutia R. 2016. Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 44: 313-326.
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. Joint Ed. Board. Washington D. C. 1397 p.
- Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A., Tozer R.G. 1970. A Water Quality Index – do we dare?. *Water Sewage Works* 117: 339-343.
- Canter L.W. 1998. Manual de Evaluación del Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U. 841 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2012. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales. Comisión Nacional del Agua. Disponible en línea: [ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases\\_Datos\\_Bandas](ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases_Datos_Bandas). Recuperado el 15 de Mayo de 2015.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México. 275 p.
- Costanza R., D'Arge R., De Groot R. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Díaz-Perera M.Á. 2014. La construcción histórica de las condiciones de posibilidad de un desastre: el caso de dos colonias de Villahermosa, Tabasco. *In*: M. González-Espinosa, M.C. Brunel-Manse (eds.) Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva. Ciudad de México: Editorial Juan Pablos. pp. 1-25.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1971. Oxygen, dissolved (Membrane Electrode). Method 360.1.
- IMPLAN (Instituto de Planeación y Desarrollo Urbano del Municipio de Centro). 2008. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la Ciudad de Villahermosa y Centros Metropolitanos del Municipio de Centro, Tabasco 2008-2030. Villahermosa: H. Ayuntamiento Constitucional de Centro. 72 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. Secretaría de Desarrollo Social. Consejo Nacional de Población. México. 34 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 415 p.
- Lammers P.L., Richter T., Waeber P., Mantilla-Contreras J. 2015. Lake Alaotra wetlands: how long can Madagascar's most important rice and fish production region withstand the anthropogenic pressure? *Madagascar Conservation & Development* 10: 116-127.

- Ley Federal de Derechos. 2016. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales. México, DF: Comisión Nacional del Agua. 167 p.
- Lone P.A., Bhardwaj A.K., Shah K.W. 2014. Macrophytes as Powerful Natural Tools for Water Quality Improvement. *Research Journal of Botany* 9: 24-30.
- Palomeque M.A., Galindo A., Pérez E., Sánchez A.J., Escalona M.J. 2017b. Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 253-267.
- Palomeque M.A., Galindo A., Sánchez A.J., Escalona M.J. 2017a. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México *Investigaciones Geográficas* 68: 151-172.
- Rodríguez R.E. 1996. Clasificación Limnológica de Lagunas Continentales de Tabasco. *Revista de divulgación, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco* 2: 26-33.
- Sánchez A.J., Salcedo M.A., Florido R., Mendoza J.D., Ruiz-Carrera V., Álvarez-Pliego N. 2015. Ciclos de inundación y conservación de servicios ambientales en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta. *ContactoS* 97: 5-14.
- Sánchez A.J., Salcedo M.A., Macossay-Cortez A., Feria-Díaz Y., Vázquez L., Ovando N., Rosado L. 2012. Calidad ambiental de la laguna urbana la Pólvora en la cuenca del río Grijalva. *Tecnología y Ciencias del Agua* 3: 143-152.
- Shuhaimi-Othman M., Lim E.C., Mushrifah I. 2007. Water quality in Chini Lake, Pahang, west Malasia. *Environmental Monitoring and Assessment* 131: 279-292.
- SIATL (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas). 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México Versión 3.2. Recuperado de: [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#)
- Sudha M.C., Ravichandran S., Sakthivadivel R. 2013. Water Bodies Protection Index for assessing the sustainability status of lakes under the influence of urbanization: a case study of south Chennai, India. *Environment, Development and Sustainability* 5: 1157-1171.
- Ternus R.Z., de Souza-Franco G.M., Anselmini M.E.K., Mocellin D.J.C., Magro J.D. 2011. Influence of urbanisation on water quality in the basin of the upper Uruguay River in western Santa Catarina, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 23:189-199.
- Torres-Martínez A.A., Sánchez A.J., Álvarez-Pliego N., Hernández-Franyutti A., López-Hernández J.C., Bautista-Regil J. 2017. Gonadal histopathology of fish from La Pólvora urban lagoon in the Grijalva basin. *Revista Internacional de Contaminación Acuática* 33: 713-717.



# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE CHAROLAS HÍBRIDO

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HYBRID TRAY DEHYDRATOR

Zárate-Castillo, G.<sup>1\*</sup>; Huerta-Pérez, M.A.<sup>1</sup>; Rodríguez-Alcalá, O.<sup>1</sup>; Hernández-Loyo, L.<sup>1</sup>;  
Roque-Martínez, U.<sup>1</sup>; Damián-Hernández, X.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Av. Universidad No. 350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Localidad Dos Caminos, Cuitláhuac, Veracruz, México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia. mcgregoriozc@gmail.com

### ABSTRACT

Dehydration is one of the oldest methods used by the human beings for the conservation of food. Over the time, this method has developed new techniques to improve the process and obtain good quality products. The objective of this project was to obtain drying kinetics of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) through the use of a hybrid convection dryer. The dryer operates with an optimum temperature range between 45° to 75 °C; the heating system works with 127 volts electric resistors powered by a bank of rechargeable batteries by means of solar panels and alternating current when the batteries have been discharged. The lime used were cut into slices of a thickness of 0.5 cm and with an average diameter of 7±1 cm which were dehydrated at 45 °C (590 min), 65 °C (550 min) and 75 °C (320 min) such time-temperature relation obtained humidity of less than 3% on a wet basis.

**Key words:** Convective drying, dehydration, drying kinetics.

### RESUMEN

La deshidratación es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos, y con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas técnicas para mejorar el proceso y obtener productos de calidad. El presente trabajo tuvo como objetivo la obtención de cinéticas de secado de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a través del uso de un deshidratador híbrido de convección, el cual opera en un rango de temperaturas óptimo de 45 a 75 °C; el sistema de calentamiento funciona con resistencias eléctricas de 127 volts alimentado por un banco de baterías recargables mediante paneles solares y corriente alterna cuando las baterías se han agotado. La lima fue cortada en rebanadas de un 0.5 cm de grosor con un diámetro de promedio de 7±1 cm las cuales se deshidrataron a 45 °C (590 min), 65 °C (550 min) y 75 °C (320 min) obteniéndose en dichas relaciones de tiempo-tempera una humedad menor al 3% en base húmeda.

**Palabras clave:** Secador híbrido, cinéticas de secado, lima persa.

## INTRODUCCIÓN

**El secado** es el método más antiguo utilizado para la conservación de los alimentos (Lynn y Ed, 2017). Es empleado en la industria alimentaria debido a sus beneficios, como la pérdida de peso, la reducción del contenido de humedad y actividad de agua que son parámetros que reducen la probabilidad de crecimiento microbiano y las reacciones enzimáticas en el alimento deshidratado lo cual facilita el transporte y prolonga la vida útil de los alimentos. La deshidratación hace posible la obtención de productos de calidad nutritiva y de bajo costo. En la actualidad existen diferentes métodos para el secado de los alimentos, los cuales, se pueden clasificar de acuerdo a su función en: 1) Naturales; 2) Solares directos; 3) Solares indirectos; 4) Mixtos; y 5) Híbridos.

A continuación, se describen las características de los tipos de secadores mencionados anteriormente.

**Secado natural.** Se utiliza el sol y el aire directamente, por lo que el proceso no es controlado. Los alimentos son colocados sobre rejillas y puestos al sol con orientación hacia el viento para la deshidratación. Este tipo de secado es efectivo, aunque necesita de intervención humana para la protección y recolección del producto en caso de lluvia, de sobrecalentamiento de la capa superior y homogeneizar el producto para que se seque bien por ambos lados. Los secadores naturales son empleados tradicionalmente en comunidades pequeñas, ya que es un medio de conservación para sus productos que son para consumo o para venta. Una desventaja de este tipo de secado es la posibilidad de pérdidas por alimentos mal deshidratados, por destrucción de vitaminas A y C debido a la exposición directa al sol o contaminación por algunos insectos o animales.

**Secado solar directo.** Al igual que el secado natural, utiliza el sol de manera directa para la deshidratación de los alimentos. Los aparatos diseñados para ello son simples, hechos rústicamente con vidrios y cajones con charolas donde son puestos los alimentos a secar. Cabe mencionar que también se emplea aire para el proceso de deshidratación, generalmente es por circulación del aire que hay al exterior, raramente se emplean ventiladores en este tipo de secado.

**Secado híbrido.** Este tipo de secado utiliza la energía solar, además de otra fuente de energía como diesel, madera, y electricidad, entre otras, con el fin de asegurar

un nivel adecuado de calentamiento del aire (Ouaouich *et al.*, 2005). Estos secadores, son utilizados debido a su menor costo en producciones de gran escala o en aplicaciones comerciales donde la calidad del producto terminado depende de las condiciones climáticas (Chou y Chua, 2001).

Los parámetros que tienen influencia en el rendimiento de un secador son dos: 1) Las características del aire (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, entre otras); y 2) Las variables dimensionales como espesor, largo, alto, diámetro del secador y el diseño del mismo (Dadda *et al.*, 2009).

Generalmente los deshidratadores híbridos consisten de un colector solar (panel), un reflector, una unidad de almacenamiento de calor y una cámara de secado. Los secadores de este tipo pueden trabajar tanto con luz solar como con otras energías, el objetivo principal es aprovechar los rayos solares que son captados por los paneles solares para convertirlos en energía y con ella llevar a cabo el proceso de secado de frutas o verduras principalmente o cualquier otro alimento. Si la radiación solar no es suficiente, debido a condiciones climáticas, se utilizan otras fuentes de energía alterna, normalmente energía eléctrica, para llevar a cabo el secado. Una condición particular de los secadores híbridos es que deben ser adaptados específicamente a las condiciones del lugar.

### Lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka)

Es una variedad de las limas que crecen de manera silvestre. Tienen una excelente calidad y uniformidad, los árboles crecen desde el nivel del mar hasta los 2200 metros de altitud. El árbol puede alcanzar una altura de 7 m, pero es preferible mantenerlos pequeños. Su fruto es ligeramente ovalado, tiene un peso que va de 55 a 75 g, es de cáscara fina, tiene en promedio 12 gajos o segmentos que contienen la pulpa que es de color amarillo verdoso, es ácida y muy aromática. El fruto es verde intenso en las primeras etapas de desarrollo, y se torna verde claro hasta amarillo cuando envejece, lo que ocasiona pérdida de aroma y no tiene buen rendimiento de jugo como fruta fresca.

### Producción de lima persa

En el año 2013 México ocupó el segundo lugar como productor de limones y limas en el mundo, con un rendimiento promedio de 13.29 t ha<sup>-1</sup> en un área cosechada de 151,000 ha. Este rendimiento contrasta con los

reportados para Argentina con  $28.93 \text{ t ha}^{-1}$ , Brasil con  $23.83 \text{ t ha}^{-1}$  y Estados Unidos con  $37.15 \text{ t ha}^{-1}$ , lo cual hace evidente la necesidad de nuevos desarrollos tecnológicos e innovaciones para mejorar este indicador en el país. A nivel nacional, el estado de Veracruz presenta una dinámica importante en la producción de cítricos, misma que representó 80%, 52% y 60% de la producción nacional de naranja agria, naranja valencia y limón persa, respectivamente (Fernández-Lambert et al., 2015).

La cadena de producto de los cítricos en Veracruz incluye además de la fruta, algunos productos industrializados como concentrados, aceite esencial y gajos; y algunos subproductos para la industria farmacéutica, refresquera y alimentaria nacional e internacional (SIAP-SAGARPA, 2017).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Construcción del deshidratador

En la construcción de la cámara de secado se utilizaron láminas de acero inoxidable grado alimentario de medidas  $50.5 \text{ cm} \times 71.0 \text{ cm} \times 52.0 \text{ cm}$ . Se utilizó fibra de vidrio como aislante de un grosor de 6 cm para reducir la transferencia de calor del equipo al exterior de la cámara durante la deshidratación de los alimentos (Abdullah et al., 2001). Para la colocación de los alimentos se construyeron y colocaron rejillas de acero inoxidable de  $2500 \text{ cm}^2$  colocadas de manera horizontal separados por espacio de 12.5 cm. Se instalaron 4 ventiladores en pares en las paredes verticales del gabinete. Se instalaron en pares en el nivel inferior y superior del cuerpo de la cámara de secado en forma de contracorriente a desnivel. En el interior de las paredes horizontales entre la cámara de secado y los ventiladores se colocaron resistencias eléctricas que suministran el calor al interior de las cámaras de secado a la vez que desplaza al exterior el aire húmedo. Para medir y controlar la temperatura se instaló en el gabinete un termopar de tipo "K" modelo Max 6675 calibrado con una precisión de  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , el cual se instaló para programar la operación mediante la plataforma Arduino®.

### Instalación eléctrica

Se instalaron cuatro resistencias de 300 watts con un diámetro de  $3/8$  de pulgada con capacidad para ser alimentadas a 127 VCA (Voltaje de Corriente Alterna) y con recubrimiento de acero inoxidable de grado alimenticio. El suministro de energía eléctrica del equipo deshidratador se da a través de una fuente de alimentación de seis baterías de litio marca Trojan® Modelo

T-45 Plus de 6 volts de 260 AH 6 horas y 215 AH 5 horas que se cargan mediante tres paneles solares. Cuando la radiación solar es deficiente se cambia a energía de Comisión Federal de Electricidad (CFE) a 127 VCA, es decir funciona de manera híbrida mediante la utilización de un conversor.

### Pruebas de secado

Se seleccionaron frutos de lima persa que no presentaran manchas o que tuvieran un estado de madurez avanzado. Posteriormente se lavaron y se cortaron en rebanadas de un grosor de 0.5 cm, utilizando una rebanadora mecánica (Marca Torrey®, Modelo RB-250). Las unidades experimentales se identificaron y se aleatorizaron mediante el uso del software Microsoft Office Excel®. Las rebanadas se pesaron y colocaron en pesafiltros de aluminio de peso constante, se introdujeron al secador híbrido de charolas a temperaturas de 45, 65 y 75 °C y se procedió al deshidratado de la lima hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Durante el secado se tomaron muestras aleatoriamente en distintos intervalos de tiempo y se les determinó el contenido de humedad, posteriormente se graficaron las cinéticas de secado (Tripathy y Kumar, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron datos de tiempo de secado cuando el producto deshidratado alcanzó un nivel de humedad menor o igual al 3% obteniéndose las siguientes relaciones de tiempo-temperatura: 590 min para la temperatura de 45 °C, 550 min para la temperatura de 65 °C y 320 min para la temperatura de 75 °C. Se evaluó el efecto de la temperatura en la velocidad de secado mediante un Análisis de Varianza y la prueba de Fisher mediante el uso del software estadístico Minitab 15®. Se obtuvieron los siguientes resultados: a una temperatura de 45 °C se llevó un tiempo de secado de 590 minutos, aunque no se logró obtener el secado al nivel esperado. Por lo tanto, se considera que el proceso puede durar mucho más tiempo, lo que implica el uso de mayor cantidad de energía. Al emplear un secador solar de gabinete, Chen et al. (2005) sugieren incrementar gradualmente la temperatura 2 °C cada hora en un rango de trabajo de 36 a 52 °C, con lo cual se obtienen frutos de limón deshidratados con características apropiadas de contenido de humedad y apariencia.

En la Figura 1 se muestra la curva el comportamiento que se tuvo de acuerdo al modelo experimental de

regresión, obtenido con los datos del proceso. El valor de  $r^2$  mayor al 95% indica la cercanía de los datos al modelo, y la menor dispersión de los datos de la curva.

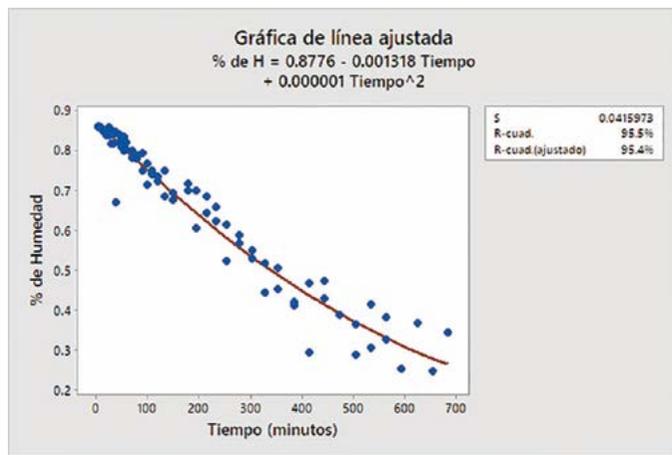
En la Figura 2 se presenta la gráfica con la curva de secado correspondiente a la temperatura de 65 °C. Se observa una mayor dispersión de los datos experimentales al modelo planteado, lo cual es reflejado en una reducción del valor de  $r^2$  (ajustado: 90.8%). Esta mayor dispersión de los datos se debe a que los pesos de las rebanadas de lima variaron considerablemente unas a otras a pesar de haber sido cortadas del mismo grosor y ser del mismo tamaño. Sin embargo, a los 550 minutos, se llega a un peso constante, es decir, ya no hay más pérdida de agua en la lima.

En la Figura 3, se presenta también la curva correspondiente a la temperatura de 75 °C. Con esta temperatura se tiene un proceso más corto de 320 minutos, sin em-

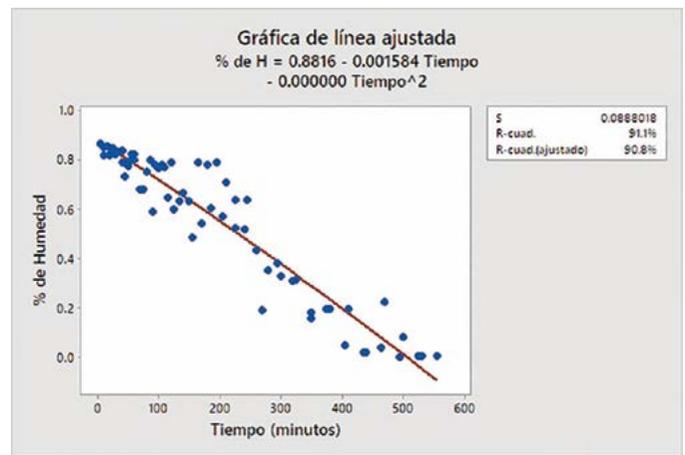
bargo, las limas presentan al final del secado una coloración café obscuro, esto debido a la degradación de la vitamina C (Ordóñez-Santos *et al.*, 2013), cuestión poco favorable para el deshidratado y el fin comercial que se desea obtener (Jun *et al.*, 2018). Además, los datos tuvieron una mayor dispersión y en consecuencia el valor de  $r^2$  ajustado disminuyó a 89.8%

En la Figura 4 se muestra una gráfica que agrupa las tres curvas de secado con la finalidad de comparar mejor los resultados de las pruebas respecto a los modelos experimentales aplicados.

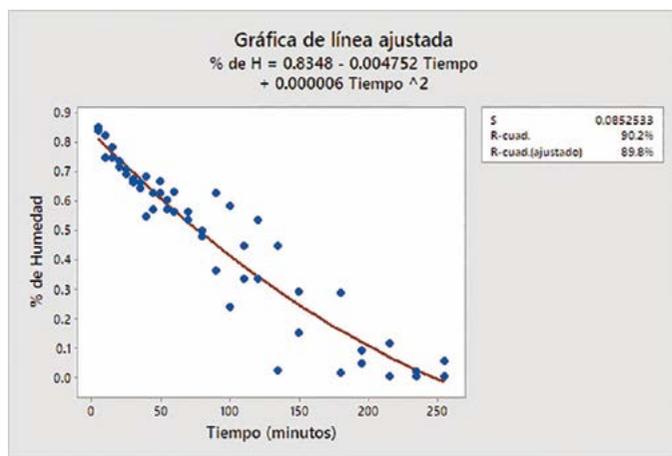
En las figuras mostradas anteriormente y el análisis estadístico del Cuadro 1, se demuestra que la mejor temperatura para el secado fue a 65 °C ya que con ella, la lima no sufre un cambio drástico con respecto al color y pierde a un nivel considerable su contenido de agua en un tiempo de 550 minutos (Jun *et al.*, 2018).



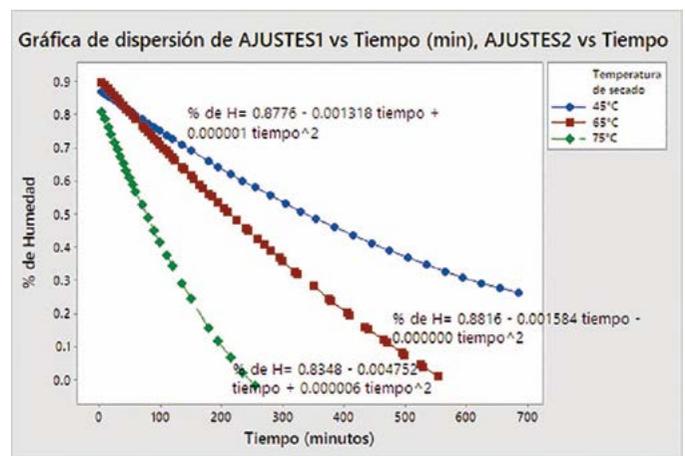
**Figura 1.** Curva de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a 45 °C.



**Figura 2.** Curva de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a 65 °C.



**Figura 3.** Curva de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a 75 °C.



**Figura 4.** Comparativo de curvas de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a tres temperaturas empleadas.

**Cuadro 1.** Humedad promedio de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a tres diferentes temperaturas de secado.

Temperatura de secado (°C)	Contenido de humedad de las rebanadas al término del secado
45	0.64a
65	0.54b
75	0.47b

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Fisher ( $P \leq 0.05$ ).

### Funcionamiento del deshidratador

Se observó que en los primeros 45 minutos de la deshidratación de la lima persa la eficiencia disminuyó, lo cual se debe a que el agua que se encuentra en la superficie se evapora y el alimento busca equilibrar su temperatura con la de la cámara de secado. Las razones por las cuales se presenta esta resistencia de la pérdida de agua en este periodo se deben a que el alimento se encuentra a una baja temperatura al inicio del proceso de secado, por lo que necesita incrementar su temperatura para vaporizar el agua y siendo la humedad contenida en el alimento agua ligada, la cual necesita más energía y tiempo para poder separarla del alimento. Conforme el contenido de humedad va disminuyendo se necesita más energía para vaporizar el agua contenida en el alimento y esto se ve reflejado en la disminución de la eficiencia de secado, la cual relaciona la cantidad de agua evaporada y la energía suministrada a la cámara de secado. En estas condiciones de operación el tiempo de secado fue de 6 a 10 horas con un contenido de humedad final menor al 3% en base húmeda lo cual concuerda con el tiempo de secado de la investigación realizada por Jun *et al.*, (2018) en el secado de limón en un intervalo de temperaturas de 60 a 75 °C.

### CONCLUSIONES

**D**e acuerdo a los resultados presentados en este trabajo, la utilización de la temperatura de 65 °C en el funcionamiento del deshidratador híbrido permite la obtención de lima persa deshidratada con características de calidad adecuadas para la comercialización del producto terminado.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del PRODEP y de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz para el desarrollo de la presente investigación.

### LITERATURA CITADA

- Aguilar C.M.A. 2004. Curso sobre manejo, producción y comercialización de la lima persa (*Citrus latifolia* Tan.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia.
- Abdullah K., Wulandani D., Nelwan L.O., Manalu L.P. 2001. Recent development of the solar drying in Indonesia. *Drying Technology* 19: 245-256.
- Chen H.H., Hernández C.E., Huang T.C. 2005. A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. *Solar Energy* 78: 97-103.
- Chou S.K., Chua K.J. 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science and Technology* 12:359-369.
- Dadda B., Kherrou S., Serir L. 2008. Réalisation d'un séchoir solaire indirect. *Revue des Energies Renouvelables* 2008: 127-134.
- Fernández-Lambert G., Aguilar-Lasserre A.A., Martínez-Castellanos G., Ruvalcaba-Sánchez M.L.G. Correa-Medina J.G., Martínez-Flores J.L. 2015. Contexto y Caracterización de la Cadena de Suministro del Limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Veracruz-México. *Conciencia Tecnológica* 50: 21-31.
- Lynn P., Ed D. 2017. *Drying Fruits MontGuide. Nutrition and Health (Food Preservation)*. Montana Extension Service Publications.
- Ordóñez-Santos L., Ospina-Portilla M., Rodríguez-Rodríguez D. 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación* 10: 44-51.
- Ouaouich A., Osakwe A., Chimi H. 2005. Guide du constructeur du sechoir hybride. Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel. 26 p.
- SIAP-SAGARPA. 2016. Consultado el 01 de Febrero de 2018 de <https://www.gob.mx/siap/articulos/limon-casi-2-44-millones-de-toneladas-en-2016?idiom=es>.
- Tripathy P.P., Kumar S. 2009. A methodology for determination of temperature dependent mass transfer coefficients from drying kinetics: Application to solar drying. *Journal of Food Engineering* 90: 212-218.
- Wang J., Law C.L., Nema P.K., Zhao J.H., Xiao H.W. 2018. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *Journal of Food Engineering* 224: 129-138.





# RENTABILIDAD ECONÓMICA Y AGREGACIÓN DE VALOR DEL CULTIVO DE AMARANTO (*Amaranthus* spp.) EN TOCHIMILCO, PUEBLA, MÉXICO

## ECONOMIC PROFITABILITY AND AGREGATION OF AMARANTH CULTURE VALUE (*Amaranthus* spp.) IN TOCHIMILCO, PUEBLA, MEXICO

Corona-González, N.A.<sup>1</sup>; Jaramillo-Villanueva, J.L.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México.

\*Autor de correspondencia: jaramillo@colpos.mx

### ABSTRACT

The production of amaranth (*Amaranthus* spp.), in Tochimilco, Puebla, Mexico, is the basis of the municipal economy. Although it is practiced under peasant agriculture conditions, it is market oriented. The above, because there is no culture of consumption among producers, despite the nutritional properties that this grain has. Two cultivation systems are practiced: conventional and organic. In both systems, the crop is financially profitable for the producer, when depreciation of equipment and family labor are not considered. In general, the income obtained is higher than the costs. However, the results of the VAN, TIR and RBC profitability indicators through an eight-year projection, with an update rate of 12%, indicate that the practice of the conventional system is not profitable with a NPV of -\$22,818, an IRR of -11% and a RBC of 0.7. However, for the producers it means an important inflow of resources because they do not consider family labor costs and the depreciation of their assets. For its part, the organic system leads to a more efficient practice and better use of resources. The cost of production per ton of organic product is 31% lower than the conventional system, the yield is 11% higher (1.9 t ha<sup>-1</sup> compared to 1.7 t ha<sup>-1</sup>) and is profitable in the long term, with NPV of \$2,765, IRR of 15% and RBC of 1.5. When value is added to production through trapping, the profitability of both systems increases; RBC of 1.5 for the traditional system with trapping, and RBC of 2.10 for the organic system with trapping.

**Keywords:** Amaranth, economic profitability, organic agriculture, conventional agriculture.

## RESUMEN

La producción de amaranto (*Amaranthus* spp.), en Tochimilco, Puebla, México, es la base de la economía municipal. A pesar de que se practica en condiciones de agricultura campesina, está orientada al mercado. Lo anterior, debido a que no existe la cultura de su consumo entre los productores, pese a las propiedades nutricionales que este grano posee. Se practican dos sistemas de cultivo: el convencional y el orgánico. En ambos sistemas, el cultivo es rentable financieramente para el productor, cuando no se consideran la depreciación de equipo y la mano de obra familiar. En general, los ingresos obtenidos son superiores a los costos. No obstante, los resultados de los indicadores de rentabilidad VAN, TIR y RBC a través de una proyección a ocho años, con una tasa de actualización de 12%, indican que la práctica del sistema convencional no es rentable con una VAN de  $-\$22,818$ , una TIR de  $-11\%$  y una RBC de 0.7. Sin embargo, para los productores significa una entrada de recursos importante debido a que no consideran costos de mano de obra familiar y la depreciación de sus activos. Por su parte, el sistema orgánico deriva en una práctica más eficiente y mejor aprovechamiento de los recursos. El costo de producción por tonelada de producto orgánico es 31% inferior respecto al sistema convencional, el rendimiento es 11% superior ( $1.9 \text{ t ha}^{-1}$  respecto a  $1.7 \text{ t ha}^{-1}$ ) y es rentable en el largo plazo, con VAN de  $\$2,765$ , TIR de 15% y RBC de 1.5. Cuando se agrega valor a la producción a través del reventado, la rentabilidad de ambos sistemas aumenta; RBC de 1.5 para el sistema tradicional con reventado, y a RBC de 2.10 para el sistema orgánico con reventado.

**Palabras clave:** Amaranto, rentabilidad económica, agricultura orgánica, agricultura convencional.

La producción de amaranto en el municipio de Tochimilco, Puebla, es la base de la economía municipal. A pesar de que se practica en condiciones de agricultura campesina esta está orientada al mercado (Sánchez-Olarte *et al.*, 2016). Lo anterior, dado que no existe la cultura del consumo de amaranto entre los productores.

### Importancia del cultivo

La superficie sembrada de amaranto a nivel nacional y en el estado de Puebla ha cambiado muy poco en los últimos diez años. Sin embargo, estadísticas de la SAGARPA analizadas por Ayala-Garay *et al.* (2016) muestran un incremento importante en la superficie cosechada en el año 2014, al pasar de un promedio de 2,686 hectáreas del 2000 al 2013, a 5,14.25 en el año 2014 y 6,389.9 ha en 2015. Para el caso de Puebla, estado líder en superficie sembrada en México, la superficie sembrada ha crecido de 1,829 ha en 2000 a 2,088 ha en 2016.

### Problemática económica

La producción y comercialización del amaranto presenta una serie de problemas de tipo productivo y económico. Entre los más importantes de tipo productivo está la inexistencia de paquetes tecnológicos para las regiones productoras de amaranto de Puebla. Debido a esto, los productores aplican cantidades de semilla por hectárea sub óptimas, dosis de fertilización acorde a su disponibilidad de recursos y no en función de óptimos técnicos y económicos, y no existen variedades mejoradas resistentes al acame, sequía, o plagas, entre otros (Ayala-Garay *et al.*; 2016). La falta de maquinaria adecuada para la cosecha

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la familia Chenopodiaceae o Amaranthaceae, el género *Amaranthus* comprende más de 70 especies, de las cuales la mayoría son nativas de América y solo 15 provienen de Europa, Asia, África y Australia (Chagaray, 2005). De este género, existe una gran cantidad de especies, y únicamente tres son utilizadas para la producción de grano: *A. cruentus* L., *A. caudatus* L. y *A. hypochondriacus* L. (Chagaray, 2005). Los genotipos del género *Amaranthus* que se cultivan en México son variedades criollas, aunque existen variedades mejoradas de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* (García-Pereyra *et al.*, 2004).

El amaranto es un alimento rico en hierro, vitaminas y minerales. No obstante, su principal cualidad es su alto contenido proteico que va del 15 al 18% (Mapes-Sánchez, 2015). La calidad de su proteína es comparable con la caseína, considerada la proteína por excelencia. Posee equilibrio a nivel de aminoácidos, su contenido de lisina, esencial en la alimentación humana, es superior al resto de los cereales. Contiene entre 5 y 8% de grasas saludables. La cantidad de almidón de este cereal está entre 50 y 60% de su peso (Chagaray, 2005).

disminuye la rentabilidad del cultivo vía mayores costos de mano de obra y pérdidas de grano.

La problemática económica se centra en la comercialización y en la agregación de valor. En la primera coexiste el problema de falta de información de mercado y la casi nula organización para tal fin. El otro aspecto se refiere a que más del 90% de los productores no realiza agregación de valor. No realizan el reventado de grano y tampoco realizan transformación de éste. El financiamiento, la falta de capacitación, y la falta de información de mercado son las razones que los productores mencionan como las causas principales por las que no abordan alternativas de comercialización y/o agregación de valor. En general, la problemática anterior sitúa a los productores poblanos en una posición poco competitiva con respecto a los productores de Morelos y Ciudad de México, e incluso Tlaxcala y San Luis Potosí, quienes han avanzado en alternativas de distribución de su producto y de agregación de valor.

En este contexto, el objetivo del presente estudio es determinar la rentabilidad económica y social del cultivo de amaranto producido bajo dos sistemas: orgánico y convencional; y determinar el beneficio económico de éstos cuando se realizan actividades de agregación de valor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante la técnica del muestreo simple aleatorio se determinó un tamaño de muestra de 70 productores de amaranto, calculada con una precisión del 10% y una confiabilidad del 95%, distribuidos en cinco localidades del municipio de Tochimilco, estado de Puebla. Lo anterior, teniendo un universo de 2,728 productores (Padrón Historial de Núcleos Agrarios del Registro Agrario Nacional, 2017). La información se obtuvo a través de la aplicación de un cuestionario estructurado y un taller participativo con productores de amaranto, en los meses de mayo a septiembre de 2017. El cuestionario incluyó las siguientes secciones: 1) datos generales de la Unidad de Producción Familiar (UPF); 2) datos generales de la producción de amaranto (costos de

producción, rendimiento, variedades cultivadas, comercialización, y principales problemas de la producción); y 3) proceso de transformación del amaranto. Por su parte, en el taller participativo se utilizaron las técnicas "lluvia de ideas" y el "mapa histórico" con la finalidad de conocer cómo perciben los productores la incorporación de procesos de transformación al amaranto, sus opiniones y actitudes respecto a la agregación de valor.

El cálculo de la rentabilidad económica corresponde al ciclo agrícola primavera verano 2016. Los costos fueron divididos en variables y fijos (Cuadro 1). Los primeros incluyen el pago de maquinaria por preparación del terreno y cosecha, el pago de mano de obra por la siembra, las labores culturales y el corte, los insumos utilizados (semilla, fertilizantes y otros agroquímicos) y el costo del transporte. Los costos fijos incluyeron la renta de la tierra y la depreciación de los activos —normalmente no contabilizados por el productor<sup>1</sup>—. Para el cálculo del ingreso total por hectárea se utilizó el precio de venta (\$2,000.00 por carga, es decir \$12.50 kg<sup>-1</sup>)

**Cuadro 1.** Variables empleadas para medir rentabilidad económica y social de incorporar procesos de agregación de valor al amaranto.

Concepto	Escala	Nomenclatura
<b>Costos variables de producción</b>		
1. Preparación del terreno	Razón	PREP TERRENO
1.1 Barbecho	Razón	BARB
1.2 Rastra	Razón	RAST
2. Siembra	Razón	SIEMBRA
3. Labores Culturales	Razón	LAB CULT
3.1 Deshijado	Razón	DESH
3.2 Raspadilla	Razón	RASP
3.3 1ra labor/despacho	Razón	1RA
3.4 2da labor/última tierra	Razón	2DA
4. Corte	Razón	CORTE
5. Cosecha	Razón	COSECHA
6. Transporte	Razón	FLETE
7. Insumos	Razón	INSUMOS
7.1 Semilla	Razón	SEM
7.2 Fertilizantes (químico y orgánico)	Razón	FERT
<b>Costos fijos</b>		
1. Renta de la tierra	Razón	RENT
2. Depreciación de activos	Razón	DEP ACT
<b>Ingresos/ha (rendimiento) (precio)*</b>	Razón	ING

Fuente: Elaboración propia.

<sup>1</sup> Los activos considerados para el cálculo incluyen animales de trabajo, utilizados como fuente de tracción animal, y un espacio destinado para el almacenamiento del grano (bodega).

por el rendimiento ( $1.7 \text{ t ha}^{-1}$ ). Por su parte la factibilidad social fue medida en términos de la contribución que representa el amaranto a los ingresos necesarios cubrir la Línea de Bienestar (LB).

El cálculo de la ganancia se realizó mediante la expresión  $\text{Rentabilidad} = \text{IT} - \text{CT}$  (Krugman y Wells, 2006). En la expresión anterior, IT es igual al rendimiento por hectárea multiplicado por el precio y CT es igual a la sumatoria de los costos fijos y los costos variables. En adición a lo anterior, se utilizó la metodología de evaluación de proyectos<sup>[2]</sup> mediante el cálculo de los indicadores de rentabilidad Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y Relación Beneficio Costo (RBC). El flujo de efectivo se actualizó a una tasa de descuento del 12% (Roura y Cepeda, 1999).

Se detectaron dos sistemas de producción practicados en la zona. El sistema convencional, caracterizado por el uso de fertilizantes químicos, herbicidas e insecticidas y el sistema orgánico, caracterizado por el uso de abonos orgánicos (composta y gallinaza principalmente), el uso de mano de obra para el control de maleza y el control biológico de plagas. El sistema convencional es practicado por el 91% de la muestra mientras que el orgánico por el 9% de los productores entrevistados. Se realizó una comparación de la rentabilidad entre ambos sistemas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los productores entrevistados tienen en promedio 53.7 años de edad, en una proporción del 79% hombres y 21% mujeres. El nivel de educación formal se encuentra 30% por debajo de la media estatal y 35% de la media nacional en hombres y, 42% y 47% respectivamente en mujeres<sup>[3]</sup>. Las UPF están compuestas por 3.3 integrantes en promedio y una media de edad de 47 años. Un 59% de las UPF registraron ingresos inferiores a la Línea de Bienestar (LB) mínimo. El 27% registraron ingresos superiores a la LB mínimo, pero inferiores a la LB. El 14% restante presentó ingresos per cápita superiores a la LB con una media de \$3,156. Los productores convencionales reportaron rendimiento de  $1.7 \text{ ton/ha}$  y los del sistema orgánico de  $1.9 \text{ t ha}^{-1}$ .

### Características del proceso productivo y costos de producción

La preparación del terreno, primera actividad del proceso de producción, se realiza en febrero y marzo, iniciando con el barbecho que se realiza con tractor, seguido de una o dos rastras. Todos los entrevistados realizan esta actividad con tractor rentado a un costo promedio de \$1,100.00 por hectárea. La siembra se realizó en la primera semana de junio, una vez establecida la temporada de lluvias, en surcos de 60-70 cm, de forma mateada, a una distancia de 30 cm. La fertilización se prepara con abono orgánico (estiércol) o con fertilizantes químicos, después se lleva a cabo una primera labor del cultivo

(arado o despacho). Una vez que la semilla llega a madurez, las panojas se cortan y se dejan secar en campo para poder trillarlas. La cosecha se recoge en octubre.

### Rentabilidad Financiera del cultivo en sistemas de producción convencional y orgánico

El costo de producción por hectárea para el ciclo PV 2016 en el sistema convencional fue de \$ 19,816.00 (Cuadro 2), de los cuales el 77% corresponden a costos variables y 23% a costos fijos. Este costo es similar al reportado por Ayala *et al.* (2014), quien calculó un costo de \$17,669.2, y al reportado por Sánchez-Olarte *et al.* (2016), de \$17,380.00, si tomamos en cuenta que ellos no consideraron la renta de la tierra ni la depreciación de los activos fijos. Para el sistema de producción convencional el rendimiento promedio es de  $1.7 \text{ t ha}^{-1}$  y el costo por tonelada de amaranto de \$11,656.

Bajo este escenario, los ingresos obtenidos equivalen al resultado de multiplicar el precio de venta (\$12.50 por kilogramo<sup>[4]</sup>) por el rendimiento ( $1.7 \text{ t ha}^{-1}$ ). Lo anterior generó ingresos por \$21,250.00. Los resultados del análisis de rentabilidad considerando una proyección de un periodo de ocho años y una tasa de actualización del 12% arrojaron un Valor Actual Neto (VAN) de -\$22,818.00. La Tasa Interna de Retorno (TIR) fue de -11% y la Relación Beneficio Costo (RBC) de 0.07. Lo anterior reveló que este sistema no es rentable financieramente en

<sup>2</sup> La evaluación de proyectos permite medir las bondades de la inversión desde el punto de vista económico, por ello se estiman los probables ingresos y los costos en un horizonte de tiempo, la comparación de los valores genera un conjunto de indicadores que muestran la rentabilidad y determinan la conveniencia de ejecutar el proyecto.

<sup>3</sup> En Puebla, el grado promedio de escolaridad de la población de 15 años y más es de 8.5 años, lo que equivale a poco más de segundo año de secundaria. A nivel nacional, la población de 15 años y más tiene 9.2 grados de escolaridad (INEGI, 2010).

<sup>4</sup> La unidad de medida utilizada por los productores de amaranto es la carga. Una carga equivale a 160 kg y es comercializada a un precio de dos mil pesos.

**Cuadro 2.** Costos de producción de amaranto en Tochimilco, Puebla, en los sistemas de producción convencional y orgánico.

Concepto	Sistema convencional (\$)	Sistema orgánico (\$)
<b>Costos Variables</b>		
<b>1 Preparación del terreno</b>	<b>2,200.00</b>	<b>2,200.00</b>
1.1 Barbecho		
Renta de maquinaria	1,100.00	1,100.00
1.2 Rastra		
Renta de maquinaria	1,100.00	1,100.00
<b>2 Siembra</b>	<b>1,200.00</b>	<b>760</b>
Mano de obra	600	360
Semilla	600	400
<b>3 Labores culturales</b>	<b>4,080.00</b>	<b>3,720.00</b>
3.1 Deshijado	1,200.00	600
Mano de obra	1,200.00	600
3.2 Raspadilla	1,200.00	1,200.00
Mano de obra	1,200.00	1,200.00
3.3 1a labor/despacho	840	960
Mano de obra	840	960
3.4 2da labor/última tierra	840	960
Mano de obra	840	960
<b>4 Corte</b>	<b>1,320.00</b>	<b>1,200.00</b>
Mano de obra	1,320.00	1,200.00
<b>5 Cosecha</b>	<b>1,800.00</b>	<b>2,320.00</b>
Renta de maquinaria	1,200.00	1,000.00
Mano de obra	600	1,320.00
<b>6 Flete</b>	<b>450</b>	<b>450</b>
<b>7 Insumos</b>	<b>4,200.00</b>	<b>130</b>
7.1 Fertilizante	4,050.00	130
7.2 Otros agroquímicos	150	0
<b>Subtotal</b>	<b>15,250.00</b>	<b>10,780.00</b>
<b>Costos Fijos</b>	<b>4,566.00</b>	<b>4,566.00</b>
<b>1 Renta de la tierra</b>	<b>3,000.00</b>	<b>3,000.00</b>
<b>2 Depreciación de activos</b>	<b>1,566.00</b>	<b>1,566.00</b>
<b>Subtotal</b>	<b>4,566.00</b>	<b>3,000.00</b>
<b>Total</b>	<b>19,816.00</b>	<b>15,346.00</b>

el horizonte de tiempo analizado. No obstante, para los productores representa una opción viable debido a que hay costos que no contabilizan, como el costo de la semilla, debido a que emplean la del ciclo anterior; y la mano de obra familiar.

En el sistema orgánico, el costo de producción por hectárea, considerando los mismos conceptos que para el

convencional, fue de \$15,346. Del costo total, 70% son costos variables y 30% son fijos. Debido a que bajo este sistema el rendimiento es de 1.9 t ha<sup>-1</sup>, el costo por tonelada de amaranto es \$8,076; 31% inferior al sistema convencional. En este escenario, el proyecto cubre todos sus costos a una tasa de actualización del 12% y además, genera un VAN de \$ 2,765. La TIR fue de 15% y la RBC de 1.5 (Por cada peso invertido se obtienen \$0.5 de ganancia).

### Rentabilidad financiera y social de la agregación de valor al amaranto

La importancia de la rentabilidad financiera como condición necesaria, aunque no suficiente, para el mantenimiento de la supervivencia de la UPF, así como para su crecimiento en el largo plazo, está confirmada desde el punto de vista empírico (Gálvez *et al.*, 2014). En este contexto, y derivado del análisis de rentabilidad de los sistemas de producción convencional y orgánico, se concluye que la producción de amaranto bajo el sistema convencional no es rentable en términos financieros en el largo plazo, no obstante, la actividad se sigue practicando debido al papel estratégico que juega el amaranto en términos de la solución de problemas económicos en el corto plazo (un año). Además de lo anterior, es generadora de empleos. Ambos sistemas generan una derrama económica por ciclo productivo bajo el concepto de mano de obra contratada igual a \$6,600 (33% del costo total), y a \$1,200 por concepto de mano de obra familiar en el caso del sistema convencional y \$1,400 en el sistema orgánico.

El análisis del ingreso per cápita mensual que generan cuatro modalidades de producción; el sistema convencional, el sistema orgánico, la producción de amaranto reventado convencional y la producción de amaranto reventado orgánico, revela que el sistema convencional genera \$1,434 mientras que el sistema orgánico genera \$8,404 por hectárea por ciclo productivo. Es decir \$119.5 mensuales del primero y \$700 mensuales el segundo, ambos insuficientes para cubrir el costo de la canasta alimentaria (Coneval, 2017).

En relación a la agregación valor, se realizó un análisis del proceso de reventado del grano. Los costos del reventado del grano de amaranto incluyen gas, energía eléctrica, materiales, insumos y mano de obra, y equivalen a \$7.50 por kg<sup>[5]</sup>. A esta cifra se le suma la depreciación de

<sup>5</sup> Información proporcionada por los productores que realizan el reventado del grano.

la maquina reventadora, y el costo de producción unitario, tanto para el sistema convencional y como para el orgánico.

En el sistema convencional se obtiene un costo total de \$33,566.00 por hectárea mientras que en el orgánico el costo asciende a \$27,033.00. Considerando que el rendimiento en el sistema convencional es de 1.7 t ha<sup>-1</sup> y en el orgánico de 1.9 t ha<sup>-1</sup>, y que la eficiencia en el reventado es del 75%, se obtiene ingreso por \$17,434 por ciclo productivo para el sistema convencional y de \$29,966 para el orgánico. En ambos casos el precio de venta de grano reventado fue de \$40.00 por kg. En este contexto los ingresos mensuales del productor fueron de \$1,452 para el convencional y de \$2,497 para el orgánico. En ambos casos, el ingreso mensual es superior al costo de la canasta alimentaria. El 75% utiliza el sistema de producción convencional y el 25% utiliza el orgánico. El 6% de la muestra realizó reventado del grano.

Se realizó el ejercicio de estimar la superficie y producción necesarias para generar el ingreso equivalente para alcanzar la línea de bienestar mínimo (LBM) y la línea de bienestar (LB). El cálculo se realizó para una familia de cuatro integrantes (Cuadro 3).

El estudio reveló que la producción con el sistema orgánico es rentable en términos financieros y por lo tanto significa una opción para incrementar los ingresos de los productores de amaranto. Sin embargo un primer proceso de agregación de valor mejora sustancialmente el ingreso. Al respecto, en un estudio previo, Jaramillo-Villanueva y Carranza-Cerda (2017), encontraron que la relación beneficio-costos del cultivo pasa de 1.5 a 2.5 cuando la cosecha es mecanizada y se realiza el reventado del grano. Por su parte, Escobedo-Garrido y Macías-López (2017), en un estudio sobre las perspectivas y oportunidades de agregación de valor a diversos frutales encontraron, en el caso de la manzana, que el precio pagado al productor es más alto cuando se incorporan procesos de agregación de valor tales como el deshidratado y el cristalizado.

## CONCLUSIONES

El cultivo de amaranto en el municipio de Tochimilco, Puebla, cumple con una función económica dentro del sistema, debido a que no existe una apropiación cultural ni social para el mismo. Fue introducido a la zona hace cuatro décadas y se sigue sembrando debido a que el precio es superior al de otros cultivos como el maíz, además de que es posible almacenarlo hasta por siete años. Esta cualidad, hace que para el productor sea un cultivo estratégico en términos de la posibilidad que tienen de venderlo paulatinamente conforme a sus necesidades de ingreso.

En el municipio de Tochimilco se practican dos sistemas de cultivo, el convencional y el orgánico, ambos son rentables financieramente, cuando no se considera la depreciación de equipo y la mano de obra familiar; los ingresos obtenidos son superiores a los costos. No obstante, los resultados de los indicadores de rentabilidad, a través de una proyección a 8 años, con una tasa de actualización del 12%, indican que la práctica del sistema convencional no es rentable. Sin embargo, el amaranto se sigue cultivando porque prácticamente "saca de apuros" a los productores, en términos económicos.

El sistema orgánico deriva en una práctica más eficiente y un mejor aprovechamiento de los recursos. El costo de producción por tonelada es 31% inferior al del sistema convencional, el rendimiento es 11% superior y es rentable en el largo plazo. En conclusión, una manera de que los productores obtengan mayores beneficios del cultivo de amaranto sería mediante el aprovechamiento de sus propiedades nutricionales a través del consumo y la práctica del sistema de producción orgánico. Para ello se deberá promover el reventado a pequeña escala. La producción y el consumo de amaranto va en aumento en la región centro de México. Es un grano versátil para la transformación e industrialización. Un aspecto que explica el aumento en su consumo son sus propiedades nutritivas. Lo anterior, es una oportunidad de impulsar el cultivo de esta especie incorporarlo a la dieta general de la población. Enfatizar la capacitación sobre

**Cuadro 3.** Superficie necesaria para alcanzar la LBM y la LB bajo cuatro tecnologías de producción diferentes.

Cultivos	Costo por ha (\$)	Ing. bruto por ha (\$)	Nivel de ganancia (\$)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Superficie para LBM (ha)	Superficie para LB (ha)
Amaranto Convencional	19,816.00	21,250.00	1,434.00	1700	63.13	35.49
Amaranto orgánico	15,346.00	23,750.00	8,404.00	1900	10.77	6.06

Fuente: Elaboración propia.

el manejo del producto cosechado, su empaque, elaboración y estrategias de marketing.

## LITERATURA CITADA

- Ayala-Garay A.V., Rivas-Valencia P., Cortés-Espinoza L., De la O Olán M., Escobedo-López D., Espitia-Rangel E. 2014. La rentabilidad del cultivo de Amarantho (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. *Ciencia Ergo Sum* 21: 47-54.
- Ayala-Garay A.V., Espitia-Rangel E., Rivas-Valencia P., Almaguer-Vargas G., Preciado-Rangel P. 2016. Análisis del sistema productivo de amaranto en Temoac, Morelos, México. *Ciencia Ergo Sum* 23: 49-57.
- Chagaray A. 2005. Estudio de Factibilidad del Cultivo de Amarantho. Ministerio de Producción y Desarrollo Gobierno de la Provincia de Catamarca, Argentina. 28 p.
- CONEVAL. 2017. InfoPobreza. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. <http://sistemas.coneval.org.mx/InfoPobreza/> (16 de octubre del 2017).
- Escobedo-Garrido J., Macías-López A. 2017. Análisis de la producción y rentabilidad económica de frutales en el estado de Puebla. *In: Jaramillo-Villanueva J.L., Escobedo-Garrido J., Carranza-Cerda I. Oportunidades Estratégicas para el Desarrollo del Sector Agropecuario en Puebla. Sistemas de Producción y Procesos de Agregación de Valor. Puebla, Puebla: Plaza y Valdés. p.155.*
- García-Pereyra J., Valdés-Lozano C.G.S., Olivares-Sáenz E., Alvarado-Gómez O., Medrano-Roldán H., Alejandre-Iturbide G. 2004. Evaluación de genotipos de amaranto para adaptabilidad productiva en el noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 53-56.
- Jaramillo-Villanueva J.L., Carranza-Cerda I. 2017. Análisis de la producción y rentabilidad económica del Amarantho en Puebla. *In: Jaramillo-Villanueva J.L., Escobedo Garrido J., Carranza Cerda I. Oportunidades Estratégicas para el Desarrollo del Sector Agropecuario en Puebla. Sistemas de Producción y Procesos de Agregación de Valor. Puebla, Puebla: Plaza y Valdés. p.135.*
- Krugman P., Wells R. 2006. Introducción a la economía: microeconomía. Barcelona, España. 312 p.
- Mapes-Sánchez E.C. 2015. El amaranto. *Ciencia*. Julio-Septiembre de 2015: 8-15.
- Padrón Historial de Núcleos Agrarios (PHINA) del Registro Agrario Nacional. 2017. <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php/sistemas-de-consulta/phina> (19 de octubre del 2017).
- Roura H., Cepeda H. 1999. Manual de identificación, formulación y evaluación de proyectos de desarrollo rural. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. ILPES. Publicación de las Naciones Unidas. Santiago de Chile.
- Sánchez-Olarte J., Argumedo-Macías A, Álvarez-Gaxiola J.F., Méndez-Espinosa J.A., Ortiz Espejel B. 2016. Análisis económico del sistema socio técnico del cultivo de amaranto en Tochimilco, Puebla. *Acta Universitaria* 26: 95-04.





# POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DEL SUERO DE QUESO EN MÉXICO

## POTENTIAL FOR THE USE OF CHEESE WHEY IN MEXICO

Osorio-González, C.S.<sup>1,2</sup>; Sandoval-Salas, F.<sup>2</sup>; Hernández-Rosas, F.<sup>1</sup>; Hidalgo-Contreras, J.V.<sup>1</sup>;  
Gómez-Merino, F.C.<sup>1</sup>; Ávalos de la Cruz, D.A.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. <sup>2</sup>Instituto Tecnológico Superior de Perote. Carretera Federal Perote-México km 2.5, Perote, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: davalos@colpos.mx

### ABSTRACT

Cheese whey is a by-product of the transformation of milk into cheese (85% of the total milk used). The current production of this waste in the Veracruz State, Mexico is of 354,227 tons. This waste is disposed on bodies of water and soil, causing damage to the environment due to high oxygen demand that is needed to degrade the high concentrations of organic matter that it presents. This situation has generated the search for new processes for the approach of this waste. Actually, several alternatives have been proposed for your exploitation such as contemplates its use as a substrate for obtaining products with added-value as biofuels, enzymes, lipids and organic acids. The objective was to analyze different alternatives for the use of cheese whey produced in the Veracruz State, Mexico.

**Key words:** cheese whey, cheese production, added-value to whey.

### RESUMEN

El suero de queso es un subproducto de la transformación de leche en queso (alrededor de 85% del total de leche usada). La producción actual de este residuo en el estado de Veracruz es de 354,227 toneladas y la mayor parte se desecha en cuerpos de agua, lo que provoca daño al ambiente debido a la alta demanda bioquímica y química de oxígeno que se necesita para degradar las altas concentraciones de materia orgánica que presenta. Esta situación ha generado la búsqueda de nuevos procesos para la transformación de este subproducto y se han propuesto diversas alternativas para su aprovechamiento, una de estas alternativas contempla su uso como sustrato para la obtención de productos con valor agregado como biocombustibles, enzimas, lípidos, ácidos orgánicos. El objetivo fue analizar alternativas para el aprovechamiento del suero de queso producido en el estado de Veracruz.

**Palabras clave:** Suero de queso, producción de queso, valor agregado al lactosuero.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 101-106.

**Recibido:** febrero, 2018. **Aceptado:** junio, 2018.

## INTRODUCCIÓN

El suero de leche es un subproducto poco aprovechado en México, incluso se le considera un problema ambiental potencial. El suero de queso es el residuo líquido generado en el proceso de elaboración de queso (Prudencio *et al.*, 2014), aun contiene aproximadamente 50% de los nutrientes presentes en la leche (Vázquez *et al.*, 2009). Se estima que por 1 kg de queso producido se generan de 9 a 10 litros de suero (Padin y Díaz, 2009). La producción mundial de suero de queso es alrededor de 200 millones de toneladas por año (estimado con base en la producción total de queso), de la cual Europa produce cerca del 50%, Estados Unidos de Norteamérica 3% y México 0.6% (FAOSTAT, 2017).

La industria láctea produce dos tipos de suero, comúnmente conocidos como suero dulce y suero ácido, el primero es obtenido por coagulación enzimática, el segundo se obtiene por coagulación por acidificación a través de cultivos lácticos o ácidos orgánicos. Independientemente del tipo de suero de leche que se produce, aproximadamente 50% del total de suero que se genera se desecha en cuerpos de agua o en el suelo (Aktas *et al.*, 2006), lo que provoca un severo problema ambiental, debido a la gran cantidad de materia orgánica que contiene, principalmente lactosa de 40 a 60% de los sólidos totales (Prazeres *et al.*, 2012), lo que provoca una alta demanda química de oxígeno (DQO), de 60 a 80 g L<sup>-1</sup> y una demanda bioquímica de oxígeno de 30 a 50 g L<sup>-1</sup> (Spalatelu, 2012) para llevar a cabo su degradación. La descarga continua de suero sin tratamiento previo, a los cuerpos de agua, causa un rápido consumo de oxígeno, lo que produce eutrofización, formación de jabón, salinización, generación de malos olores y acidificación, entre otros elementos (Prazeres *et al.*, 2013). Para analizar la producción y uso del suero de queso producido por la industria láctea, es necesario separarlo en dos grandes grupos, el mercado de queso

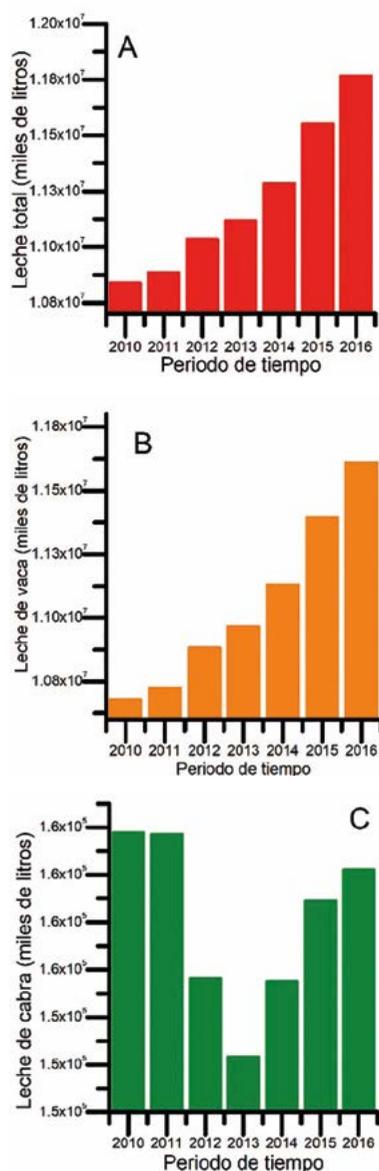
dominado por las grandes industrias, y un amplio sector en pequeña escala que elaboran quesos tradicionales y comercializan en mercados locales y regionales. El objetivo de este trabajo fue presentar un panorama del potencial aprovechamiento del suero de queso generado por propietarios o empresas rurales ubicadas en las diferentes regiones del estado de Veracruz, a fin de generar alternativas de aprovechamiento de este subproducto.

## PRODUCCIÓN DE LECHE EN MÉXICO

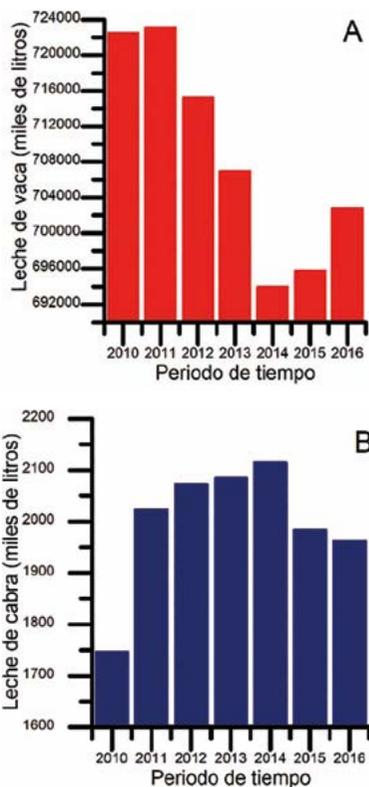
La leche es un alimento completo e indispensable para la nutrición humana, especialmente para los niños, por lo que su producción es de importancia crucial en la seguridad alimentaria de México. Con una producción en 2016 de 11.61 millones de toneladas de leche de vaca, México ocupa el decimocuarto lugar mundial, lo que representa 1.8% de la producción total, esto es, dos de cada cien litros de leche en el mundo son producidos en México (FAO, 2017).

El sector lechero mexicano desde la última década del siglo pasado, ha venido integrándose progresivamente a la economía mundial globalizada, con la consecuente apertura de sus mercados al comercio exterior (Abrego, 2011). La producción total de leche en el país ha aumentado durante la última década, en 2016 la producción fue de  $1.18 \times 10^7$  miles de litros (Figura 1a), de la que el 98.6% ( $1.16 \times 10^7$  miles de litros; Figura 1b) es leche de bovino y el 1.4% restante es leche de cabra ( $1.6 \times 10^5$  miles de litros; Figura 1c) (SIAP, 2016).

De la producción total de leche en el país, el estado de Veracruz contribuye con 702,832 miles de litros (Figura 2a), ocupa el sexto lugar a nivel nacional en producción de leche bovina, lo que representa el 6.2% de la producción en México. Por otro lado, el Estado ocupa el decimosegundo lugar en producción de leche de cabra con 1,963 miles de litros (Figura 2b), esta aportación es de 1.2% de la producción total del país (SIAP-SAGARPA, 2017).



**Figura 1.** Producción total de leche en México en los últimos siete años. (A) Producción total nacional, (B) Bovino y (C) Caprino.



**Figura 2.** Producción de leche en el estado de Veracruz durante el periodo 2010 a 2016. A) Bovino y B) Caprino.

Para fortalecer el acopio de leche en cuanto a infraestructura se refiere, en el año de 2005 la SAGARPA apoyó la construcción de 16 nuevos centros de acopio, no obstante la industrialización de leche líquida es a través de empresas como Nestlé, EVAMEX y LICONSA, las cuales se localizan en diferentes municipios del Estado (Coatepec, Veracruz, Xalapa y Acayucan), en donde la materia prima es obtenida directamente con los productores (CTEE, 2009).

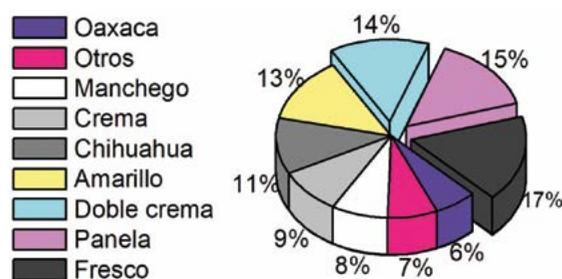
La producción de leche de bovino en el estado de Veracruz se concentra principalmente en diez municipios (Figura 3a), de los cuales Minatitlán es el más importante con una producción de 46,560 toneladas, resalta que esta producción se concentra en municipios ubicados en zonas tropicales; en cambio, la producción de

leche de cabra, se desarrolla en municipios ubicados en las altas montañas, cuyo clima predominante es el semiárido, el municipio de Perote es el mayor productor de leche de cabra (Figura 3b) con 222 toneladas (OEIDRUS, 2016; SIAP-SAGARPA, 2017).

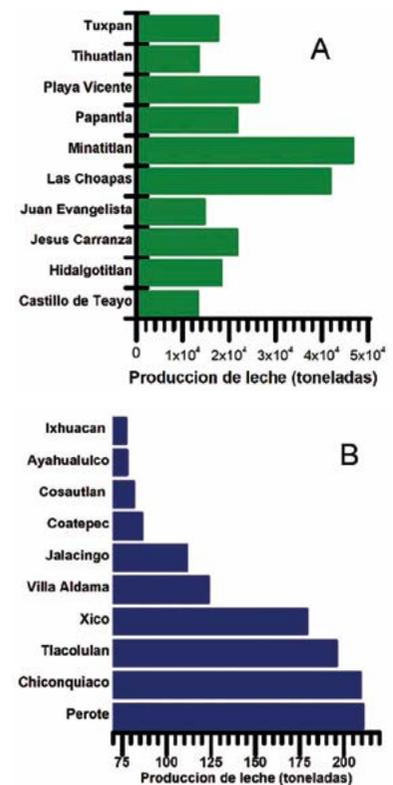
## PRODUCCIÓN DE QUESO EN MÉXICO

En México los productos lácteos más comercializados son los quesos, los yogures, y las leches industrializadas: pasteurizada, ultra-pasteurizada y en polvo. El abastecimiento privilegia las zonas urbanas, que cuentan con vías de comunicación accesibles y concentran grupos con niveles de ingreso más altos; en contraste, en las zonas rurales el consumo de lácteos se limita principalmente a leche bronca y productos artesanales (Figuroa-Rodríguez et al., 2012). La producción total de queso en el país es de 332,251 toneladas, se distinguen 9 tipos principales (Figura 4): fresco, panela, doble crema, amarillo, Chihuahua, crema, tipo Manchego, Oaxaca y otros (SAGARPA, 2015).

La leche de cabra tradicionalmente se utiliza en la producción de dulces (cajeta principalmente); sin embargo, durante los últimos años ha tenido un incremento la producción de queso, principalmente por pequeños productores que repre-



**Figura 4.** Producción en México de diferentes tipos de queso (SAGARPA, 2015).



**Figura 3.** Principales municipios productores de leche en el estado de Veracruz. A) Bovino y B) Caprino.

sentan alrededor del 40% del sector lechero caprino (Cuchillo et al., 2010). En México, la demanda de productos lácteos provenientes de las cabras mantiene una tendencia de crecimiento, lo que ha fomentado la integración de la cadena productiva hasta la comercialización (Escareño-Sánchez et al., 2011). Según datos de la FAOSTAT (2017), la producción de queso de leche de cabra en el país durante el año 2014 fue de 15,698 toneladas.

En el estado de Veracruz los productos lácteos como el queso, están distribuidos en tres sectores principales: i) elaborados por productores, ii) elaborados por intermediarios (en ambos sectores el queso se elabora de forma artesanal utilizando equipos inadecuados que no cumplen con las normas de calidad) y



iii) elaborados por empresas que figuran dentro de este ramo en el Estado, tales como Quesos de Ozuluama<sup>®</sup>, Jamapa<sup>®</sup>, Rancho Chico<sup>®</sup> y La Joya<sup>®</sup>. No obstante, en el inventario estatal de agroindustrias del sector pecuario, solo están registradas 124 queserías, que representan el 54.4% de este sector (CTEE, 2009).

### **Producción de suero de queso en México**

Hasta el momento, no existen datos en las dependencias reguladoras internacionales (FAOSTAT) o nacionales (SIAP y SAGARPA) en relación al aprovechamiento de suero de queso para la producción de algún producto con valor agregado en México. Sin embargo, desde inicios del siglo XX, en el país se han desarrollado diferentes investigaciones referentes al proceso y aprovechamiento del suero de queso, los principales trabajos se refieren a la producción de bebidas saborizadas, ácidos orgánicos o como suplemento alimenticio.

### **Producción de suero de queso en el estado de Veracruz**

De acuerdo a Montero-Lagunés *et al.* (2009), en México las queserías artesanales procesan de 2000 a 10000 litros de leche; en Veracruz el 56% de la producción de leche se usa para producir quesos (393,595 miles de litros de leche de bovino y 1099 miles de litros de leche de cabra), si se toma en cuenta que por cada kilo de queso producido se utilizan de 9 a 10 litros de leche y por cada kilogramo de queso se producen de 8 a 9 litros de suero (Remón *et al.*, 2016), en 2016 la producción de suero por el procesamiento de leche bovina en el Estado fue de 354,227 miles de litros y de 989 miles de litros de suero de la producción de queso de leche de cabra.

Si consideramos que al menos 45% del suero es desechado a mantos acuíferos o al suelo, lo anterior representa una pérdida económica significativa y provoca serios problemas de contaminación (eutrofización, acidificación o alcalinización del suelo). Esto se debe principalmente a que los productores de mediana y baja escala no cuentan con la tecnología necesaria para el aprovechamiento de este subproducto, ya que, debido a su alto contenido de humedad y composición, así como a las condiciones de clima de la región, se aceleran los procesos de descomposición y se dificulta su manejo y almacenamiento.

### **Usos potenciales del suero de queso**

#### **Producción de biomasa microbiana**

Existe una demanda constante de producción de pro-

teína dado que es insuficiente para la alimentación de la población. Una alternativa de solución a esta deficiencia es la producción de biomasa (rica en proteína) a través de procesos de fermentación. Estos procesos pueden usar como sustrato suero de queso con diferentes tipos de microorganismos. La proteína unicelular, se puede utilizar para diferentes propósitos, por ejemplo, como suplemento proteico en alimentos balanceados para ganado o en alimentos para consumo humano (Aguirre-Ezkauriatza *et al.*, 2009; Wolz *et al.*, 2016).

#### **Obtención de lactosa**

El compuesto de mayor importancia en el suero de queso es la lactosa (4.4 al 5.2%). Este carbohidrato se puede utilizar en diversas aplicaciones, tales como suplemento en fórmulas lácteas para bebés, en la industria de los alimentos o en la producción de glucosa y galactosa por hidrólisis. La lactosa es importante en la industria de los alimentos y la industria farmacéutica debido a que presenta un bajo índice glicémico y calórico en comparación con otros azúcares. Este compuesto se puede obtener por medio de diferentes operaciones, dentro de las que destacan la concentración por evaporación, la cristalización y la filtración (Xinmin *et al.*, 2008).

#### **Extracción y producción de metabolitos secundarios**

El suero de queso tiene gran potencial como sustrato para la obtención de compuestos benéficos para la salud, como los aminoácidos, los cuales están presentes en las proteínas del suero de queso. Los aminoácidos presentes son de cadena ramificada como leucina, valina e isoleucina, dentro de sus funciones en el organismo son reguladores del metabolismo celular y se consideran importantes para el control de peso corporal, lo que ofrece una posibilidad de extender beneficios sobre la salud de los consumidores (Goulart *et al.*, 2014). Otros metabolitos obtenidos son las bacteriocinas, las cuales se obtienen a partir de procesos fermentativos usando diferentes bacterias ácido lácticas (BAL). La principal característica de estos compuestos es que actúan contra microorganismos patógenos presentes en los alimentos (Altuntas *et al.*, 2010). Por otro lado, a partir del suero de queso también se pueden producir exopolisacáridos, los cuales brindan diferentes cualidades y funciones en los alimentos, ya que intervienen directamente en sus propiedades reológicas como agentes emulsificantes o gelificantes. Adicionalmente, tienen efectos benéficos en la producción de alimentos gracias a la relación que existe entre estos

compuestos y la protección que brindan contra ciertos compuestos tóxicos (Zhou *et al.*, 2014; Haj-Mustafa *et al.*, 2015).

### Producción de ácidos orgánicos por fermentación

Un uso industrial importante que se le puede dar al suero de queso es como sustrato para la producción de ácidos orgánicos como el cítrico y el láctico, los cuales se obtienen a partir de la fermentación de lactosa mediante bacterias lácticas. Diversas industrias como la alimentaria, de bebidas, farmacéutica y cosmética, los ocupan dentro de sus procesos de transformación, debido a que actúan como conservadores, acidificantes, estabilizadores y potenciadores del sabor (Cortés-Sánchez *et al.*, 2015; Arslan *et al.*, 2016).

### Uso de microorganismos para la producción de aceites

Hay diferentes especies de microorganismos capaces de acumular más del 20% de su peso celular en lípidos. Algunos de estos microorganismos producen una cantidad mayor de lípidos que ciertos cultivos oleaginosos, que a diferencia de estos, no requieren de grandes espacios y se pueden producir en tiempos más cortos sin ser afectados por las condiciones climáticas. La producción de lípidos a través de microorganismos, usando como sustrato suero de queso, es una alternativa prometedora para la obtención de ácidos grasos poliinsaturados, los cuales pueden ser utilizados como aditivos alimentarios o como materia prima para la producción de biodiesel (Castanha *et al.*, 2014; Tsouko *et al.*, 2016).

### Biocombustibles

La producción de bioetanol se considera una alternativa energética que contribuye a la reducción de impactos ambientales negativos, provocados por el uso de combustibles fósiles. La conversión de lactosa proveniente del suero de queso crudo o suero de queso permeado a etanol, es una opción que puede competir con el uso de otros sustratos utilizados actualmente (caña de azúcar y almidón de maíz) o con la biomasa lignocelulósica (tecnología de segunda generación). Al ser un residuo de un proceso agroalimentario, el suero de queso tiene una amplia ventaja sobre las materias primas comúnmente utilizadas para la producción de etanol, consideradas de primera necesidad, debido a que no compromete la seguridad alimentaria. Por otra parte, el etanol potable obtenido a partir de suero de queso, puede encontrar mercados adecuados, por ejemplo, en la industria de procesos químicos, automotriz, de cosméticos, alimen-

tos, bebidas, y en la farmacéutica (Demirbas, 2010; Parashar *et al.*, 2015).

La producción de biogás e hidrógeno se realiza a través de procesos químicos muy costosos, por lo que el proceso de producción biológico de ambos gases es una opción viable para resolver esa limitación, como se producen a partir de fuentes renovables se tiene un impacto positivo sobre el medio ambiente, ya que la producción neta de gases de efecto invernadero que se generan durante su combustión es menor en comparación con la originada por el hidrógeno obtenido de materias primas fósiles.

La principal variable a considerar en la producción biológica de hidrógeno o biogás es el costo de la materia prima, contenido de carbohidratos, biodegradabilidad y su disponibilidad en el mercado. Entre las materias primas más utilizadas para la producción de biogás están las aguas residuales provenientes de la agroindustria, el suero de queso y estiércol líquido de bovino (Dareioti y Kornaros 2015; Zhong *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

Debido a su alto contenido de nutrientes el suero de queso es una fuente potencial para la obtención de productos con alto valor agregado; así también, mediante el aprovechamiento de este recurso se contribuye a la disminución de la contaminación ambiental. Aunque se han desarrollado diversas alternativas tecnológicas para el procesamiento y aprovechamiento del suero de queso, se requiere de investigaciones complementarias que permitan obtener mayores rendimientos para que sea factible el escalamiento industrial de los procesos.

Finalmente, estas tecnologías y productos pueden ser una ruta de desarrollo sustentable para la preservación del ambiente en un futuro cercano. No obstante, los desarrollos tecnológicos, el uso y disposición del suero de queso sigue siendo un punto de discusión importante para la industria láctea.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Instituto Tecnológico Superior de Perote T.N.M., al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, a la Red Temática 12.3, para reducir y valorizar las PDA: Hacia Sistemas Alimentarios Sostenibles, por brindar las condiciones para el desarrollo de este trabajo. Este documento forma parte del proyecto ITESPE06-LÍPIDOS y de la LGAC 2 Innovación y Desarrollo de Procesos Agroalimentarios para el Bienestar Social.

## LITERATURA CITADA

- Abrego C.H. 2011. El sistema familiar de producción de leche bovina en el municipio de Nopalucan, Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. 97 p.
- Aguirre-Ezkauriatza E.J., Ramírez-Medrano A., Aguilar-Yáñez J.M., Álvarez M.M. 2009. Production of freeze dried protein and *Lactobacillus casei* probiotic biomass from goat milk whey. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 8 (2): 67-76.
- Aktaş N., Boyacı İ.H., Mutlu M., Tanyolaç A. 2006. Optimization of lactose utilization in deproteinized whey by *Kluyveromyces marxianus* using response surface methodology (RSM). *Bioresource Technology* 97: 2252-2259.
- Altuntas E.G., Cosansu S., Ayhan K. 2010. Some growth parameters and antimicrobial activity of a bacteriocin-producing strain *Pediococcus acidilactici* 13. *International Journal of Food Microbiology* 141: 28-31.
- Arslan N.P., Aydogan M.N., Taskin M. 2016. Citric acid production from partly deproteinized whey under non-sterile culture conditions using immobilized cells of lactose-positive and cold-adapted *Yarrowia lipolytica* B9. *Journal of Biotechnology* 231: 32-39.
- Castanha R.F., Pinto A.M., Salgado L.A.M., Scramin S., Rosim R.T.M. 2014. Optimization of lipids production by *Cryptococcus laurentii* 11 using cheese whey with molasses. *Brazilian Journal of Microbiology* 45 (2): 379-387.
- Comité Técnico Estatal de Evaluación (CTEE). 2009. Diagnóstico del sector primario en Veracruz. 109 p. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones>
- Cortés-Sánchez A., Valle-González E.R., Salazar-Flores R.D., Ashutosh S. 2015. Biotechnological alternatives for the utilization of dairy industry waste products. *Advances in Bioscience and Biotechnology* 6: 223-235.
- Cuchillo H.M., Delgadillo P.C., Wrage N., Perez-Gil R.F. 2010. Feeding goats on scrubby Mexican rangeland and pasteurization: influences on milk and artisan cheese quality. *Tropical Animal Health Production* 42: 1127-1134.
- Dareioti M.A., Kornaros M. 2015. Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum, cheese whey and liquid cow manure in a two-stage CSTR system: Effect of hydraulic retention time. *Bioresource Technology* 175: 553-562.
- Demirbas A., 2010. Biorefinery Technologies for Biomass Upgrading. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 32: 1547-1558.
- Escareño-Sánchez L.M., Wurzing M., Pastor-López F., Salinas H., Sölkner J., Iñiguez L. 2011. La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la comarca lagunera, en el norte de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente XVII*: 235-246.
- FAOSTAT. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Figuerola-Rodríguez K.A., Figuerola-Sandoval B., Hernández-Rosas F. 2012. Estudio exploratorio del nivel de producción e inocuidad en empresas lácteas del Estado de Veracruz, México. *Revista Científica, FCV-LUZ* 22 (5): 451-458.
- Goulart A.J., Bassan J.C., Barbosa O.A., Marques D.P., Silveira C.B., Santos A.F., Garrido S.S., Resende F.A., Contiero J., Monti R. 2014. Transport of amino acids from milk whey by CaCo-2 cell monolayer after hydrolytic action of gastrointestinal enzymes. *Food Research International* 63: 62-70.
- Haj-Mustafa M., Abdi R., Sheikh-Zeinoddin M., Soleimani-Zad S. 2015. Statistical study on fermentation conditions in the optimization of exopolysaccharide production by *Lactobacillus rhamnosus* 519 in skimmed milk base media. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 4: 521-527.
- Montero-Lagunes M., Juárez-Lagunes F.I., García-Galindo H.S. 2009. Fermented whey with lactobacilli for calf feeding in the tropics. *Agrociencia* 43 (6): 585-593.
- OEIDRUS. 2016. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Disponible en <http://www.oeidrus-veracruz.gob.mx/>
- Padín C.G., Díaz M.F. 2009. Fermentación alcohólica del lactosuero por *Kluyveromyces marxianus* y solventes orgánicos como extractantes. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 29: 110-116.
- Parashar A., Jin Y., Mason B., Chae M., Bressler D.C. 2015. Incorporation of whey permeate, a dairy effluent, in ethanol fermentation to provide a zero waste solution for the dairy industry. *Journal Dairy Science* 99: 1-9.
- Prazeres A.R., Carvalho F., Rivas J. 2013. Fenton-like application to pretreated cheese whey wastewater. *Journal of Environmental Management* 129: 199-205.
- Prazeres A.R., Carvalho F., Rivas J. 2012. Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management* 110: 48-68.
- Prudêncio E.S., Müller C.M.O., Fritzen-Freire C.B., Amboni R.D.M.C., Petrus J.C.C. 2014. Effect of whey nanofiltration process combined with diafiltration on the rheological and physicochemical properties of ricotta cheese. *Food Research International* 56: 92-99.
- Remón J., Ruiz J., Oliva M., García L., Arauzo J. 2016. Cheese whey valorisation: Production of valuable gaseous and liquid chemicals from lactose by aqueous phase reforming. *Energy Conversion and Management* 124: 453-469.
- SAGARPA. 2015. Panorama de la lechería en México. Boletín informativo. 15 p. Disponible en <https://www.gob.mx/sagarpa>
- SIAP. 2016. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en <http://www.gob.mx/siap>
- Spalatel C. 2012. Biotechnological valorisation of whey. *Innovative Romanian Food Biotechnology* 10: 1-8.
- Tsouko E., Papanikolaou S., Koutinas A.A. 2016. Production of fuels from microbial oil using oleaginous microorganisms: Handbook of Biofuels Production. Ed. Elsevier Ltd. United Kingdom. 748 p.
- Vázquez S., Crosa M.J., Rey F., Lopretti M. 2009. Viabilidad del uso de suero de quesería como base del medio de cultivo de la cepa nativa probiótica *Lactobacillus paracasei* HA9-2. *Revista LATU* 4: 10-14.
- Wolz M., Mersh E., Kulozik U. 2016. Thermal aggregation of whey proteins under shear stress. *Food Hydrocolloids* 56: 396-404.
- Xinmin W., Ruili Z., Zhihua L., Yuanhong W., Tingfu J. 2008. Determination of glucosamine and lactose in milk-based formulae by high-performance liquid chromatography. *Journal of Food Composition and Analysis* 21: 225-258.
- Zhong J., Stevens D.K., Hansen C.L. 2015. Optimization of anaerobic hydrogen and methane production from dairy processing waste using a two-stage digestion in induced bed reactors (IBR). *International Journal of Hydrogen Energy* 40: 15470-15476.
- Zhou F., Wu Z., Chen C., Han J., Ai L., Guo B. 2014. Exopolysaccharides produced by *Rhizobium radiobacter* S10 in whey and their rheological properties. *Food Hydrocolloids* 36: 362-368.

# JOCOQUE: UN ALIMENTO LÁCTEO FERMENTADO TRADICIONAL CON POTENCIAL FUNCIONAL

## JOCOQUE: A TRADITIONAL FERMENTED DAIRY FOOD WITH FUNCTIONAL POTENTIAL

García-Caballero, B.E.<sup>1,2</sup>; Muñoz-Ríos, R.<sup>1</sup>; Pensaben, M.<sup>1</sup>; Villarreal-Carrera M.L.<sup>1</sup>; Reyes-Vázquez, Z.C.<sup>1</sup>;  
González-Herrera, S.M.<sup>1</sup>; Rodríguez-Herrera, R.<sup>2</sup>; Rutiaga-Quiñones, O.M.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Durango. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Boulevard Felipe Pescador 1830 Oriente, Durango, Durango, México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Departamento de Alimentos. Av. Venustiano Carranza e Ing. José Cárdenas Valdés, Colonia República, Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: omrutiaga@itdurango.edu.mx

### ABSTRACT

Due to changes in eating habits associated with the cultural level, increased income, increased availability of processed foods, among others, the consumption of some traditional foods and identities has decreased in recent years. Within that type of food are fermented products, like the jocoque, regional food that is produced in the state of Durango, Mexico, mainly in an artisanal way using unpasteurized milk and whose consumption has been maintained through decades. Like other types of fermented milk, the jocoque has nutraceutical attributes through lactic acid bacteria, which intervene in the fermentation process. The products of these bacteria confer benefits such as reduction of pathogenic bacteria, mitigation of the effects of infectious diarrhea and prevention of colitis. The objective of this article is to disseminate information about the jocoque produced in the state of Durango, its processing, organoleptic characteristics, how to consume it and in this way contribute to the rescue of traditional foods with healthy potential, in addition to promoting its production and consumption.

**Keywords:** Functional foods, nutraceutical, fermentation.

### RESUMEN

Debido a cambios en los hábitos alimenticios asociados con el nivel cultural, aumento de ingresos, mayor disponibilidad de alimentos procesados, entre otros, el consumo de algunos alimentos tradicionales e identitarios ha disminuido en los últimos años. Dentro de ese tipo de alimentos se encuentran productos fermentados como el jocoque, alimento regional que se produce en el estado de Durango, México, principalmente en forma artesanal utilizando leche sin pasteurizar y cuyo consumo se ha mantenido a través de décadas. Al igual que otros tipos de leches fermentadas, el jocoque reúne atributos nutraceuticos a través de las bacterias ácido lácticas, que intervienen en el proceso de fermentación. Los productos de estas bacterias confieren beneficios tales como reducción de bacterias patógenas, mitigación de los efectos de la diarrea infecciosa y prevención de colitis. El objetivo de este artículo es difundir información acerca del jocoque producido en el estado de Durango, su procesamiento, características organolépticas, forma de consumirlo y de esta manera contribuir al rescate de alimentos tradicionales con potencial saludable, además de promover su producción y consumo.

**Palabras clave:** Alimentos funcionales, nutracéutica, fermentación.



**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 107-111.

**Recibido:** enero, 2018. **Aceptado:** mayo, 2018.

## INTRODUCCIÓN

Con la llegada de los colonizadores europeos que trajeron ganado lechero, en México se empezaron a producir algunos alimentos lácteos con propiedades sensoriales de textura, aroma y sabores originales, cuya producción se ha mantenido a escala artesanal por pequeños productores. Dentro de este tipo de alimentos se encuentra el jocoque, producto tradicional de algunas regiones de México generado a base de leche fermentada generalmente de forma natural, con sabor agrio y que se consume frío. En el estado de Durango, México, la producción de jocoque es artesanal y se ha mantenido a través de los años. El jocoque es un producto que cada vez es más apreciado y se incorpora en la dieta y aun cuando los estudios sobre este producto son escasos, se le atribuye un potencial efecto benéfico en la salud al igual que otras leches fermentadas. Entre sus beneficios se encuentran: aliviar los síntomas de la enfermedad inflamatoria intestinal, síndrome del intestino irritable, colitis y reducen el riesgo de cáncer de colon, hígado y mama.

Hoy en día, los consumidores son más conscientes a la hora de elegir los alimentos, particularmente por los beneficios a la salud que pueda representar la adquisición de productos que no solamente sean tradicionales sino que también aporten elementos para conservar la salud o evitar el riesgo de enfermedades. Con base en lo anterior, y con el fin de revalorizar y recuperar tradiciones culinarias y alimentos se integró información en este artículo, de manera que se puedan proporcionar elementos para la difusión de este tipo de alimentos funcionales.

## LECHES FERMENTADAS

La mayoría de los alimentos fermentados autóctonos que forman parte de nuestra cultura culinaria, tienen características con potencial para la salud, como es el caso de la leche agria o acidificada conocida actualmente como jocoque, la cual contiene altas concentraciones de bacterias acidolácticas, entre las que se encuentran las llamadas probióticas, cuya actividad beneficia la salud humana. Los alimentos fermentados son accesibles para casi todas las personas (vino, queso, cerveza, pan y yogurt). Sin embargo, los llamados alimentos tradicionales fermentados sólo son elaborados de manera artesanal por ciertos grupos sociales o étnicos (Olivares-Ileana *et al.*, 2002). Varios autores describen a estos alimentos como un ejemplo de "ennoblecimiento biológico" debido al enriquecimiento con nutrientes esenciales durante la fermentación, además de ser una fuente de microor-

ganismos beneficiosos que tienen un papel importante en la conservación de los alimentos, la palatabilidad y la biodisponibilidad de nutrientes (Champagne *et al.*, 2005). Los alimentos fermentados, han sido definidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y la Organización Mundial de la Salud (OMS), como aquellos productos que contienen microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio para la salud del huésped.

En todo el mundo, hay alrededor de 3,500 tipos de alimentos tradicionales fermentados a partir de cereales, legumbres, tubérculos y frutas, donde participa un consorcio de bacterias, levaduras y mohos que puede tener efectos beneficiosos para la salud del consumidor (De Vuyst *et al.*, 2014), mejorando el equilibrio intestinal del huésped y reduciendo el riesgo de enfermedades gastrointestinales (Chiang y Pan, 2012). Uno de los principales beneficios es que alivian los síntomas de la enfermedad inflamatoria intestinal, el síndrome del intestino irritable, la colitis y reducen el riesgo de cáncer de colon, hígado y mama (Prado *et al.*, 2008). Las leches fermentadas forman parte de este grupo de alimentos, las cuales se clasifican en función del tipo del microorganismo utilizado en su elaboración. En México se consumen algunas leches fermentadas a nivel artesanal y semi-industrial, como yogurt, leche búlgara y jocoque; y a nivel industrial: yogurt, yakult y kefir (García Garibay, 2000). Las leches fermentadas son productos preparados a partir de la leche entera, parcial o totalmente descremada, concentrada o bien sustituida total o parcialmente con leche descremada en polvo, pasteurizada o esterilizada y fermentada por medio de microorganismos específicos, siendo las principales las BAL (García *et al.*, 1998; Jay, 2000). Durante esas fermentaciones se producen metabolitos como el ácido láctico, etanol, bacteriocinas y muchos otros compuestos que conservan la leche y le imparten características organolépticas distintivas (Shirai *et al.*, 1996; García *et al.*, 1998; Barbosa *et al.*, 2004). El yogurt es el más ampliamente difundido en el mundo. En algunos países el consumo de estos productos es superior al de la leche fresca y se utilizan leches de diferentes especies animales; por ejemplo, vaca, borrega, cabra, camella y yegua (García *et al.*, 1998). En ocasiones es difícil definir algunos de esos productos debido a su gran número y a que se elaboran de diferentes formas y con distintos tipos de materia prima; este puede ser el caso del buttermilk, o en México el jocoque.

La Norma Oficial Mexicana, NOM-243-SSA1-2010, define a la leche fermentada como la obtenida por la acidificación de la leche estandarizada entera o deshidratada, pasteurizada, parcialmente descremada, semidescremada o descremada, debido a la acción de bacterias lácticas vivas con la consiguiente reducción del pH, adicionada o no con aditivos, por alimentos e ingredientes opcionales. Dentro de las leches fermentadas podemos clasificar al jocoque.

## JOCOQUE

Se define al jocoque o jocoqui como una preparación alimenticia, de gusto ácido hecha de leche, que se toma siempre frío, su nombre deriva del náhuatl xococ, que significa "cosa agria", razón por la cual se dice que proviene de nuestros antepasados indígenas, por lo que su origen sería prehispánico, aunque no derivado de leche. Sin embargo, jocoque no tiene significado único ya que en realidad se aplica a diversos productos lácteos fermentados, algunos muy populares y de tradición regional que se producen a largo de todo México (Villegas, 2012). Se elabora principalmente en algunas zonas rurales de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Oaxaca; localidades del trópico como Tamaulipas y Nayarit y en poblaciones de zonas áridas como Coahuila, Durango y Chihuahua. Se encuentran semejanzas con otro tipo de alimentos

lácteos fermentados, como el buttermilk, consumido en Estados Unidos y Europa, o el Labne, producto que aporta la comunidad Libanesa en México (García Garibay, 2000). Existe un tipo de producto similar al mencionado, conocido como jocoque árabe, con menor concentración de humedad y textura pastosa, a partir de yogurt natural.

Entre las leches fermentadas que se producen artesanalmente en Durango, se encuentra el jocoque, el cual es un producto nutritivo y sabroso. En la actualidad, el jocoque que se elabora tiene identidad regional y se elabora a nivel artesanal y semi-industrial (cuya clasificación se basa de acuerdo al volumen de producción) en casi todo el estado de Durango, principalmente por pequeños productores a partir de la fermentación de leche fresca (bronca), entera, incubada a temperatura ambiente por un tiempo variable (24 a 48 horas), que le confiere diferentes características (Cuadro 1). El resultado es un producto coagulado de textura cremosa fina y sua-

ve, con una cierta fluidez, de color blanco amarillento dependiendo de la concentración en grasa, con aroma láctico, el cual a veces presenta un exceso de grumosidad y con un sabor ácido (Figura 1). En Durango, no existe un proceso de elaboración estandarizado (con la adición de microorganismos específicos), por lo que las características del producto final, resultan con cierta variabilidad. Los factores que influyen en las mencionadas características del jocoque, son principalmente, las condiciones del proceso y los microorganismos que intervienen en la fermentación. Según estudios realizados en el jocoque de Durango, se encuentran presentes bacterias ácido lácticas de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Reyes-Vázquez et al, 2017).

El consumo de jocoque, cada día se vuelve más popular, merced a sus propiedades nutritivas y sensoriales, además de sus características con potencial saludable, que lo hacen atractivo al consumidor. En el jocoque, como en cualquier tipo de



Figura 1. Apariencia física del jocoque producido en Durango, México.

Cuadro 1. Características del jocoque comercial en Durango, México.

Proceso de Elaboración	Volumen de producción (L día <sup>-1</sup> )	Leche	Fermentación	pH	Proteína g 100 g <sup>-1</sup>	Grasa g 100 g <sup>-1</sup>
Artesanal	10-80	Bronca	Natural	4.08-4.5	2.55-5.15	1.9-3.70
Semi-Industrial	100-200	Bronca	Inóculo semilla*	4.3-5.0	4.21-5.28	2.20-3.30

\*Adición de producto terminado del día anterior. Muestreo de siete productos comerciales.

minando los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Barboza *et al.*, 2004; Ogueke, 2010).

## BENEFICIOS DE LOS ALIMENTOS FERMENTADOS

Los alimentos fermentados, pueden ser considerados como alimentos probióticos, debido a la presencia de bacterias ácido lácticas que les confieren beneficios a los consumidores (Barboza *et al.*, 2004). Los efectos fisiológicos relacionados con bacterias probióticas incluyen: reducción de pH en el intestino, producción de algunas enzimas digestivas y vitaminas, producción de sustancias antibacteriales como por ejemplo ácidos orgánicos, bacteriocinas, peróxido de hidrógeno, diacetilo, acetaldehído, sistema lactoperoxidasa, lactonas y otras sustancias sin definir, reconstrucción y construcción de microflora intestinal normal después de desórdenes causados por diarrea, terapia de antibióticos y radioterapia, reducción de colesterol en la sangre, supresión de infecciones bacteriales, eliminación de carcinogénesis, mejoramiento de la absorción de calcio. Para que el efecto benéfico sea efectivo en la salud del huésped, un cultivo debe ser ingerido en cantidades suficientes, la concentración sugerida de BAL está en el rango de  $10^6$ -  $10^7$  ufc  $g^{-1}$  de producto (Ruiz-Moyano *et al.*, 2008; Humel, 2007).

## CONCLUSIONES

El jocoque es un alimento lácteo fermentado de gran tradición en México. Sin embargo ha sido poco estudiado. En el estado de Durango, el jocoque producido artesanalmente, cuenta con la presencia de bacterias ácido-lácticas que les confieren características de ser un alimento probiótico. Sin embargo, es necesario demostrar este efecto a

leche fermentada ocurre una fermentación acidoláctica debido a la actividad de la microbiota nativa. El consumo de este tipo de alimentos representa algunos efectos benéficos para la salud del organismo, tanto la mejoría del tracto gastrointestinal como por la acción de bacterias probióticas (BAL), grupo bacteriano con características funcionales.

## BACTERIAS ACIDOLÁCTICAS (BAL)

Las bacterias lácticas, son un grupo de microorganismos representados por varios géneros con características morfológicas, fisiológicas y metabólicas en común. En general, las BAL son cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados, no móviles, anaerobios, microaerofílicos, aerotolerantes, oxidasa, catalasa negativas y producen ácido láctico como el único o principal producto de la fermentación de carbohidratos (Frank *et al.*, 2002; Vázquez *et al.*, 2009). Las BAL desempeñan un papel importante en los procesos de fermentación, ellas son utilizadas en la industria alimentaria, no solamente por su habilidad para acidificar y por lo tanto preservar alimentos, sino también su implicación en la textura, sabor, olor y desarrollo del aroma de alimentos fermentados. Las BAL vivas pueden estar contenidas en un grupo de microorganismos llamados cultivos lácticos o iniciadores (Bouzar *et al.*, 1997 y Bertrand-Harb *et al.*, 2003), se emplean en la industria láctea para la elaboración de leches fermentadas, quesos y mantequilla (Blanco *et al.*, 2006) Además del ácido láctico, las bacterias acidificantes, contribuyen al sabor, aroma, textura y el valor nutricional de los alimentos fermentados (Moreno-Arribas y Polo, 2008).

Las principales funciones de las BAL en productos lácteos son: la producción de ácido, la inhibición de microorganismos indeseables, la coagulación de la leche, la sinéresis, la reducción del contenido de azúcares, la formación de aromas como los producidos por el diacetilo y el acetaldehído en la mantequilla, la producción de gas requerida para la formación de orificios en ciertos tipos de quesos y la proteólisis necesaria durante la maduración de los mismos. Además, las BAL disminuyen la lipólisis, lo cual evita la rancidez en los productos lácteos (Shirai *et al.*, 1996; García *et al.*, 1998; Jay, 2000).

## BACTERIAS LÁCTICAS PROBIÓTICAS

Las BAL fueron referidas como probióticos, a finales de los 80; redefiniéndose como suplementos dietarios microbianos, viables, seleccionados que cuando son introducidos en suficientes cantidades, afectan benéficamente el organismo humano a través de sus efectos en el tracto intestinal (Khalil *et al.*, 2007). La definición más completa de acuerdo con la FAO/OMS (Organización Mundial de la Salud (OMS) fue establecida en 2001, y se refiere a "Aquellos cultivos puros, o mezcla de cultivos de microorganismos vivos, que aplicados al hombre y los animales en concentraciones adecuadas aportan efectos benéficos al huésped mejorando las propiedades de la microflora nativa" (Aureli *et al.*, 2011). La flora intestinal humana y de los animales juega un papel muy importante en su estado de salud y presencia de enfermedades. En ambos casos los probióticos se utilizan para mejorar la salud intestinal y para estimular el sistema inmunológico (Fuller, 1989; Torres, 2002). La mayoría de estos microorganismos pertenecen al grupo de las bacterias ácido lácticas y se encuentran presentes en alimentos lácteos fermentados, predomi-

través de ensayos científicos, con el objetivo de difundir su consumo y el beneficio a la salud que presenta. Por otra parte, es de gran importancia recuperar y revalorizar los sabores, aromas y texturas únicas de productos tradicionales con identidad todavía regional. Esto forma parte de nuestra herencia cultural, nos da identidad y podrían ser clasificados con la denominación de origen, al establecer las características de estos alimentos lácteos fermentados.

## LITERATURA CITADA

- Aureli P., Capurso L., Castellazzi A.M., Clerici M., Giovannini M., Morelli L., Poli A., Pregliasco F., Salvini F., Zuccotti G.V. 2011 Probiotics and health: An evidence-based review. *Pharmacological Research* 63: 366-376.
- Barboza J.E., Vázquez H., Salcedo R., Bautista M. 2004. Probióticos y conservadores naturales en alimentos. *Acta Universitaria* 14: 32-38.
- Bertrand-Harb C., Ivanova I.V., Dalgalarondo M., Haertlé T. 2003. Evolution of  $\beta$ -lactoglobulin and  $\alpha$ -lactalbumin content during yoghurt fermentation. *International Dairy Journal* 13: 39-45.
- Blanco S., Delahaye P., Fragenas N. 2006. Evaluación física y nutricional de un yogurt con frutas tropicales bajo en calorías. *Revista Facultad de Agronomía* 32: 131-144.
- Bouzar F., Cerning J., Desmazeaud M. 1997. Exopolysaccharide production and texture-promoting abilities of mixed-strain starter cultures in yogurt. *Production Journal of Dairy Science* 80: 2310-2317.
- Champagne C.P., Gardner N.J., Roy D. 2005. Challenges in the addition of probiotic cultures to foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45: 61-84.
- Chiang S.S., Pan T.M. 2012. Beneficial effects of *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* NTU 101 and its fermented products. *Applied Microbiology Biotechnology* 93: 903-916.
- Carr F.J., Chill D., Maida N. 2002. The lactic acid bacteria. A literature survey. *Critical Reviews in Microbiology* 28: 281-370.
- De Vuyst L., van Kerrebroeck S., Harth H., Huys G., Daniel H.M., Weckx S. 2014 Microbial ecology of sourdough fermentations: diverse or uniform? *Food Microbiology* 37: 11-29.
- Fuller R. 1989. Probiotic in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology* 66: 365-378.
- García M., Revah S., Gómez L. 1998. Productos lácteos. En *Biología Alimentaria*, Limusa Noriega Editores.
- García-Garibay M. 2000. Leches fermentadas como vehículos de probióticos. *Archivos de Investigación Pediátrica de México* 2: 327-341.
- Hummel A. 2007. Antibiotic Resistances of Starter and Probiotic Strains of lactic acid bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 73: 730-739.
- Khalil R., El-Halafawy K., Mahrous H., Kamaly K., Frank J., El Soda M. 2007. Evaluation of the probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from faeces of breastfed infants in Egypt. *African Journal of Biotechnology* 6: 939-949.
- Lamoureaux L.D., Gauthier S.F. 2005. Production of oligosaccharides in yogurt containing bifidobacteria and yogurt cultures. *Journal Dairy Science* 85: 1058-1069.
- Moreno-Arribas M.B., Polo M.C., 2008. Occurrence of lactic acid bacteria and biogenic amines in biologically aged wines. *Food Microbiology* 25: 875-881.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
- Ogueke C.C., Owuamanam C.I., Ihediohanma N.C., Iwouno J.O. 2010. Probiotics and Prebiotics. Unfolding Prospects for Better Human Health. *Pakistan Journal of Nutrition* 9: 833-843.
- Olivares-Ileana V., Wacher-Rodarte C., Le Borgne S., López-Munguía A. 2002. Characterization of a cell-associated inulosucrase from a novel source: a *Leuconostoc citreum* strain isolated from Pozol, a fermented corn beverage of Mayan origin. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 28: 112-117.
- Prado F.C., Parada J.L., Pandey A., Soccol C.R. 2008. Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International* 41: 111-123.
- Reyes-Vázquez Z.C., Rodríguez-Herrera R., González-Herrera S.M., Ochoa-Martínez L.A., Rutiaga-Quiñones O.M. 2017. Estudio de la microbiota presente en el Jocoque: un alimento Fermentado tradicional. IV Simposio Internacional Agroalimentario y biotecnológico SIAB 2017 Oaxaca de Juárez, Oaxaca 6 al 8 de diciembre de 2017.
- Ruiz-Moyano S., Martín A., Benito M.J., Nevado F.P., Guía-Córdoba M. 2008. Screening of lactic acid bacteria and bifidobacteria for potential probiotic use in Iberian dry fermented sausages. *Meat Science* 80: 715-721.
- Shirai K., Guerrero I., Lara P. 1996. Bacterias lácticas en alimentos fermentados. *Ciencia* 47: 125-137.
- Vázquez S.M., Suárez H., Zapata S. 2009. Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias acidolácticas en la conservación de la carne. *Revista Chilena de nutrición*. 36: 64-71.
- Villegas de Gante, A. 2012. Evaluación de la calidad fisicoquímica y sensorial de una leche probiótica fermentada con *Lactobacillus acidophilus*. *Ingeniería Agrícola y de Biosistemas* 69-75.



# EVALUACIÓN SENSORIAL Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE GALLETAS SUPLEMENTADAS CON HARINA DE CAMOTE (*Ipomoea batatas* L.)

## SENSORY EVALUATION AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF COOKIES SUPPLEMENTED WITH SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* L.) FLOUR

Vázquez-Cabral, K.<sup>1</sup>; Quiñones-Rutiaga, O.M.<sup>1</sup>; Trancoso-Reyes, N.<sup>1</sup>; Pensabén-Esquivel, J. M.<sup>1</sup>; Ochoa-Martínez, L.A.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Durango, Departamento de Ingenierías Química y Bioquímica. Boulevard Felipe Pescador 1830 Oriente, Colonia Nueva Vizcaya. Durango, Durango, México.

\*Autor de correspondencia: aochoa@itdurango.edu.mx

### ABSTRACT

The manufacture of flour from sweet potato is an option to preserve it and to use it as an ingredient in different food products. The objective of this work was to evaluate the effect of supplementing sweet potato flour obtained by different processes in cookies. Cookies were prepared substituting wheat flour 25, 50, 75 and 100% by sweet potato flour. At the same time, a cookie made with 100% of wheat flour was used as a control. On the cookies, a sensory evaluation by the quantitative descriptive analysis (QDA) was performed, the attributes evaluated were color, crispness, taste to sweet potato, hardness and sweetness. Physicochemical analyses in the cookies were proximate analysis, water activity, total carotenoids, texture, color and microbiological. From the sensory evaluation, it was found that the substitution of 50% of sweet potato flour gave the higher acceptability; higher percentage provoked more hardness and sweetness. In respect to the physicochemical analysis on the selected cookies, in general, there were significant differences. An important content of total carotenoids was found and the texture was adequate. The partial supplementation of sweet potato flour in the manufacture of cookies is a viable option from the technological and nutrimental point of view.

**Keywords:** Sweet potato flour, cookies, sensory evaluation, total carotenoids.

### RESUMEN

La transformación del camote en harina es una opción para conservarlo y diversificar su empleo como ingrediente en diversos productos alimenticios. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de harina de camote obtenida mediante diferentes procesos en la elaboración de galletas. Se elaboraron galletas sustituyendo el 25, 50, 75 y 100% de harina de trigo integral por harina de camote. Se elaboró una galleta con 100% de harina de trigo integral, la cual fue usada como control. Sobre las galletas se realizó una evaluación sensorial mediante el método analítico descriptivo cuantitativo (QDA), donde se evaluaron atributos como: color, crujibilidad, sabor a camote, dureza y dulzura. Igualmente se evaluó el análisis proximal, actividad de agua, carotenoides totales, textura, color y análisis microbiológicos. De la evaluación sensorial, se encontró que la sustitución de hasta 50% por harina de camote obtuvo la mayor aceptabilidad, ya que, al usar mayor porcentaje de harina de camote, las muestras presentaron más dureza y dulzura. Respecto a los resultados de los análisis fisicoquímicos en las galletas seleccionadas, en general, se encontraron diferencias significativas. Se obtuvo un contenido importante de carotenoides totales y la textura fue adecuada. La utilización parcial de harina de camote en la elaboración de galletas es una opción viable desde el punto de vista tecnológico y nutricional.

**Palabras clave:** Harina de camote, galleta, análisis sensorial, carotenoides totales.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 113-119.

**Recibido:** enero, 2018. **Aceptado:** mayo, 2018.

## MATERIALES Y METODOS

### Harina de camote naranja

En la formulación de la galleta se utilizaron harinas obtenidas bajo el procedimiento establecido por Trancoso-Reyes *et al.* (2016), el cual consistió en el escaldado del camote con vapor o microondas y una muestra sin escaldar y finalmente un secado en charolas.

### Formulación de la galleta

La formulación de la galleta se realizó en base a 100 g de harina, utilizando diferentes proporciones de harina de camote y harina integral de trigo (Cuadro 1). Se utilizaron como ingredientes: manteca vegetal (INCA) 50 g; huevo (San Juan) 18 g; leche pasteurizada (LALA) 25 mL; agua purificada 5 mL; azúcar morena (Mascabado) 25 g; y sal yodada (Hada) 0.05 g. Con la finalidad de facilitar el manejo de datos para la realización del análisis estadístico, se codificaron las muestras tal como se presenta en el Cuadro 1.

### Preparación de la masa y obtención de las galletas

Para la preparación de la masa para las galletas, se mezclaron los ingredientes en una batidora (UNIWORLD modelo UPM-20E; Bell, CA EEUU) hasta obtener la consistencia adecuada de la masa para la etapa posterior. Se prosiguió con el proceso de moldeado para formar las galletas en forma de círculo con un espesor de 0.5 cm aproximadamente y 4 cm de diámetro. Posteriormente se llevó a cabo el proceso de horneado en una estufa (POLIN modelo Roto-8095 Classic; Barcelona, España) a 200 °C durante 16 min. Finalmente se dejaron enfriar durante 1 h a temperatura ambiente y se empaquetaron en bolsas de polipropileno biorientado para posteriormente

## INTRODUCCIÓN

**El camote** (*Ipomoea batatas* L.) es uno de los cultivos principales del mundo, siendo China el principal productor de este tubérculo. En México, se cultiva en 22 estados, con Michoacán, Guanajuato y Puebla como los principales productores nacionales, con su producción destinada al mercado nacional (SIAP, 2015). En el país existe una gran variedad de camotes, incluyendo naranja, morado, blanco y rosado, cuyo uso es principalmente como golosina o como alimento complementario. Los carbohidratos presentes en el camote, se encuentran de 25 a 30%, además contiene vitamina C, vitamina B, niacina, vitamina B2 y pequeñas fracciones de vitamina B5, ácido fólico y vitamina E. También posee minerales y oligoelementos con significativas cantidades de hierro, potasio y calcio (Martínez-Cázares, 2016). El camote de pulpa naranja posee actividad pro vitamínica A, y esta se define como la capacidad que poseen algunos carotenoides para convertirse en retinol; si existe deficiencia esto provocará fallos en la visión, la sugerencia de ingesta diaria es de 5 mg según algunos expertos, aunque no se tiene conocimiento de cuanto es la ingesta ideal para este tipo de compuestos (Hiranvarachat *et al.*, 2012). Uno de los principales productos obtenidos a partir del camote es la harina, la cual es apropiada para elaborar pasteles, galletas y botanas, alcanzando una tasa de sustitución del 80 a 100%, pero es inadecuada para productos con base de levadura, ya que por su carencia de gluten solo alcanza sustitución de 25% a 30% (Van-de-Fliert y Braun, 2001). Trancoso-Reyes *et al.* (2016) reportaron la obtención de harina de camote naranja, determinando un contenido de  $\beta$ -caroteno de  $13,749 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ , y encontraron que se incrementó la biodisponibilidad del  $\beta$ -caroteno en un 20.8% cuando el camote se escaldó con vapor durante 4 minutos, en cambio cuando se escaldó con microondas por 6 min, el incremento solo fue de 5%, ambas muestras comparadas con el testigo (camote sin ningún tratamiento). Srivastava *et al.* (2012), evaluaron la calidad de galletas elaboradas a partir de harina de camote. Ellos sustituyeron de 10 a 50% la harina de trigo por harina de camote. Concluyeron que al sustituir harina de camote en un 40% obtuvieron galletas con una textura y un valor nutricional similar a las galletas de harina de trigo. Igualmente, las propiedades funcionales se mejoraron con la adición de harina de camote. Al realizar el desarrollo de un producto es importante realizar estudios de evaluación sensorial que es considerado un conjunto de técnicas que permiten evaluar determinadas propiedades de los alimentos, empleando uno o más órganos de los sentidos, obteniendo datos de manera subjetiva de personas y no mediante la medida objetiva de un instrumento (Bello-Gutiérrez, 2000). Singh *et al.* (2008) realizaron una evaluación sensorial en galletas elaboradas a partir de harina de camote encontrando que al aumentar la adición hasta el 60% de harina de camote la aceptabilidad disminuyó debido al sabor que se desarrollaba durante el horneado. De igual manera lograron incrementar su valor nutrimental y de textura cuando hicieron la sustitución de hasta el 40% de harina de camote. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución de harina de camote obtenida mediante diferentes procesos en una galleta de trigo integral sobre sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas.

**Cuadro 1.** Niveles de sustitución de harina de trigo por harina de camote y su respectiva identificación.

Tratamiento del camote	Harina de camote naranja (HC) / Harina de trigo integral (HTI)	Identificación
Control (Sin harina de camote)	0 - 100	A
Escaldado con microondas	25 - 75	B
	50 - 50	C
	75 - 25	D
	100 - 0	E
	25 - 75	F
Escaldado con vapor	50 - 50	G
	75 - 25	H
	100 - 0	I
Sin escaldado	25 - 75	J
	50 - 50	K
	75 - 25	L
	100 - 0	M

llevar a cabo el análisis sensorial y la caracterización físico-química de las galletas.

### Evaluación sensorial

Para la integración del grupo de panelistas (15 personas), se les preguntó sobre su gusto por el producto a evaluar, su disponibilidad y su interés por participar. La evaluación del análisis sensorial se llevó a cabo sobre las galletas recién elaboradas. Se aplicó un método analítico descriptivo-cuantitativo (QDA) (Stone y Sidel, 1993). Se evaluaron los atributos de intensidad: color, crujibilidad, sabor a camote, dureza y dulzura utilizando una escala hedónica de 7 puntos (Meilgaard *et al.*, 2006). Las galletas se presentaron en platos desechables, donde se colocaron 4 muestras en las cuales una de ellas fue el control; las muestras se codificaron con tres dígitos al azar, también se entregó servilletas y agua potable a los panelistas.

### Análisis realizados en las galletas

#### Análisis proximal

Estos análisis se determinaron de acuerdo a los métodos oficiales. Se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC (1990), Humedad (método 925.09), proteína (método 968.06), lípidos (método 920.39), cenizas (método 923.03), fibra cruda (método 962.09) y carbohidratos por diferencia.

#### Análisis de textura

Se midió dureza mediante un texturómetro modelo

TA-XT2i (Texture Technology; Scarsdale, NY, EEUU). Se empleó la puntilla de 2 mm Cyl. Stainless part Code p/2. Se utilizó una velocidad de pre-ensayo y ensayo de 1.0 mm/s, y de post-ensayo de 10 mm/s a una fuerza de 0.5 N.

#### Actividad de agua

Se empleó el equipo Rotronic Modelo Aw-DIO de Hygrolab (Rotronic Instrument; Hauppauge, NY, EEUU). Donde la muestra de galleta previamente triturada se depositó dentro de la cubeta de prueba y se obtuvo la lectura.

#### Carotenoides totales

Se utilizó la técnica de Schweiggert *et al.* (2011) modificada. Se utilizó 1 g de la galleta en estudio, se colocó la muestra en un tubo corning. Se agregaron 10 mL de una mezcla de solventes (metanol, acetato de etilo, éter de petróleo, en proporción 1:1:1) y 2 mL de cloruro de sodio al 1% y se agitó en un vortex durante 1 min. La mezcla se centrifugó a 1500 g durante 3 min. La capa superior (fase orgánica) se transfirió a un tubo corning y cubierto con papel aluminio. Se repitió la operación sobre la misma muestra hasta obtener 10 mL de la fase orgánica. El extracto final se transfirió a un matraz aforado de 25 mL previamente etiquetado y recubierto con papel aluminio, el cual se aforó con la mezcla de solventes (metanol, acetato de etilo, éter de petróleo, a una proporción 1:1:1). Finalmente sobre esta mezcla se midió la absorbancia a 450 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific modelo Genesis 6; Madison, WI, EEUU). Previo al análisis de la muestra, se elaboró una curva de calibración utilizando  $\beta$ -caroteno como estándar, donde se obtuvo una  $r^2$  de 0.99.

#### Color

El color se determinó utilizando un colorímetro triestímulo Hunter lab (MiniScan Hunter Lab modelo 45/0L; Hunter Associates Lab., Reston, VI, EEUU). Las mediciones fueron calibradas con un estándar en forma de placa color blanco. Se realizó mediante el sistema  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y se determinó el croma y ángulo HUE (Francis, 1980) de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2.

$$Croma^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad 1$$

$$HUE^* = Tg^{-1}(b^*/a^*) \quad 2$$

### Análisis microbiológico

El análisis microbiológico en las galletas, bacterias aerobias, mohos y levaduras, y coliformes totales y fecales se realizó de acuerdo a las normas oficiales mexicanas, NOM-247-SSA1-2008 (2008).

### Análisis estadístico

Con los datos se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y la diferencia de medias se analizó por el método de Fisher ( $P \leq 0.05$ ). Se utilizó el software Statistic versión 7.0 (Statsoft, Inc. 1984-2008). Los análisis se realizaron por triplicado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación sensorial en las galletas

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos del QDA. En ésta se puede observar que la muestra que presentó la calificación más alta para el color fue la galleta elaborada con 100% de harina de camote (M) sin ningún tratamiento previo. Lo anterior debido a que los carotenoides de la harina de camote le confieren un color agradable al producto alimenticio. Con respecto a la crujibilidad, dureza, dulzura y sabor a camote no se presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ). En base a los resultados obtenidos, se observó que la galleta elaborada a partir de la harina de camote escaldado con microondas por 2 min, y la formulación con una concentración de 50% harina de camote y 50% harina de trigo (C) obtuvo mayor aceptabilidad por parte de los panelistas. Lo anterior debido a que ellos mencionaron que en esta galleta el sabor a camote no era intenso y poseía una dulzura y crujibilidad agradable. En el caso de la galleta elaborada con 100% de harina de camote (E) también se observó buena aceptabilidad, sin embargo, por tratarse de pura harina de camote, se dificultó el manejo de la masa para la elaboración de las galletas cuando se utilizó dicha concentración. Al evaluar los atributos de crujibilidad, dureza, dulzura, color y aceptabilidad general, Singh *et al.* (2008) encontraron que la adición de 40% de harina de camote naranja aumentó el porcentaje de aceptabilidad del producto. A partir de los resultados de la evaluación sensorial y con el fin de establecer la calidad nutrimental de la galleta suplementada con harina de camote, se seleccionaron dos galletas con la formulación de 50% harina de camote y 50% harina de trigo integral, la primera se seleccionó en base al resultado de la aceptabilidad a través del análisis sensorial (galleta elaborada a partir de harina de camote escaldada con microondas durante 2 min) y la otra como medio de comparación (galleta elaborada a partir de harina de camote escaldada con vapor durante 4 min), e igualmente se elaboró una galleta control (100% harina integral).

### Análisis proximal en la galleta

A partir de los resultados observados en el Cuadro 2, se analizaron las propiedades fisicoquímicas tal como humedad, proteína, lípidos, carbohidratos y cenizas para las muestras de galleta obtenidas con harina de camote escaldado con microondas durante 2 min (C), vapor 4 min (G) y para el control (A), los cuales se muestran en el Cuadro 3. En este cuadro se observó que las galletas elaboradas con adición de harina de camote (C y G) prestaron menor contenido de humedad que la galleta elaborada con harina de trigo, encontrándose en un rango de 4.61 a 5.01% respectivamente, aunque sin diferencia

significativa entre ellas, lo cual puede ser indicativo de que la harina de camote tiene menor capacidad de enlazar y retener humedad. El contenido de proteínas, se encontró entre un rango de 5.92 a 8.15%, siendo mayor el contenido en la galleta control, lo cual era de esperarse pues es de harina de trigo integral y este contiene un alto contenido de proteína. Respecto al contenido de carbohidratos se encontró en un rango de 55.51 a 64.62%, observando que las galletas de camote son más ricas en carbohidratos, probablemente debido al contenido de almidón en el camote. Finalmente, el contenido de cenizas fue mayor en el control, igualmente debido a que se trata de una harina integral. Srivastava *et al.* (2012) encontraron que al realizar la incorporación de harina de camote en una galleta, éstas presentaron un contenido de humedad muy bajo (1.329 a 1.369%) comparado con el obtenido en este trabajo.

### Actividad de agua

Respecto a la actividad de agua, se puede observar que las galletas parcialmente sustituidas con harina de camote que fue escaldado con microondas y vapor, no presentaron diferencia significativa en comparación con el control (0.45 y 0.51 respectivamente). De acuerdo con Escobar *et al.* (2000), para conservar las propiedades sensoriales, químicas y evitar el daño por microorganismos en los alimentos es necesario tener valores de actividad de agua entre 0.50 y 0.58. Los valores de actividad de agua se muestran en el Cuadro 4.

### Contenido de carotenoides totales

En cuanto al contenido de carotenoides totales (Cuadro 4), la galleta elaborada a partir de harina de camote escaldado con microondas

**Cuadro 2.** Resultados del análisis sensorial (QDA) en las galletas elaboradas con harina de trigo y harina de camote en diferentes combinaciones.

Muestra	Color	Crujibilidad	Sabor a camote	Dureza	Dulzura	Aceptabilidad general
A	4.23±1.89 <sup>g</sup>	3.76±1.4 <sup>a</sup>	2.67±1.3 <sup>a</sup>	3.62±1.5 <sup>a</sup>	3.88±1.3 <sup>a</sup>	4.76±1.52 <sup>abc</sup>
B	4.40±1.1 <sup>g</sup>	5.03±0.9 <sup>bc</sup>	4.80±1.1 <sup>efg</sup>	5.16±1.2 <sup>e</sup>	4.70±1.0 <sup>abc</sup>	4.43±1.2 <sup>a</sup>
C	3.23±1.5 <sup>bcd</sup>	4.43±1.0 <sup>ab</sup>	3.03±1.4 <sup>ab</sup>	4.06±1.0 <sup>abc</sup>	4.40±1.0 <sup>abc</sup>	5.60±1.2 <sup>e</sup>
D	4.10±1.4 <sup>efg</sup>	4.43±1.0 <sup>ab</sup>	2.90±0.9 <sup>a</sup>	4.13±1.1 <sup>abc</sup>	4.26±1.1 <sup>abc</sup>	4.93±1.0 <sup>abcde</sup>
E	3.53±1.7 <sup>def</sup>	4.96±1.3 <sup>bc</sup>	4.23±1.5 <sup>cde</sup>	4.33±1.2 <sup>c</sup>	4.20±1.0 <sup>ab</sup>	5.50±1.2 <sup>de</sup>
F	2.60±1.1 <sup>abc</sup>	5.23±1.2 <sup>bc</sup>	3.73±1.8 <sup>bc</sup>	4.06±1.3 <sup>abc</sup>	4.33±1.5 <sup>abc</sup>	5.16±1.2 <sup>abcde</sup>
G	4.23±1.9 <sup>fg</sup>	5.60±1.1 <sup>c</sup>	3.00±1.8 <sup>a</sup>	5.13±1.3 <sup>de</sup>	4.43±1.3 <sup>abc</sup>	4.83±1.7 <sup>abcd</sup>
H	2.70±1.5 <sup>abc</sup>	4.33±1.2 <sup>ab</sup>	2.60±1.4 <sup>a</sup>	3.60±1.3 <sup>ab</sup>	4.13±1.2 <sup>ab</sup>	4.96±1.4 <sup>abcde</sup>
I	3.36±1.8 <sup>cde</sup>	5.43±1.6 <sup>bc</sup>	5.33±1.3 <sup>g</sup>	5.50±1.2 <sup>e</sup>	4.73±1.2 <sup>bc</sup>	4.80±1.8 <sup>abcd</sup>
J	2.53±1.1 <sup>ab</sup>	5.20±1.3 <sup>bc</sup>	4.50±1.4 <sup>def</sup>	4.30±1.6 <sup>c</sup>	4.23±1.3 <sup>abc</sup>	5.20±1.4 <sup>bcde</sup>
K	4.20±1.6 <sup>fg</sup>	4.93±1.4 <sup>bc</sup>	5.00±1.3 <sup>fg</sup>	4.46±1.5 <sup>cd</sup>	5.30±0.9 <sup>c</sup>	4.73±1.5 <sup>abc</sup>
L	2.20±1.39 <sup>a</sup>	4.36±1.1 <sup>ab</sup>	2.66±1.1 <sup>a</sup>	4.23±1.1 <sup>bc</sup>	4.06±1.0 <sup>ab</sup>	4.46±1.1 <sup>ab</sup>
M	5.70±1.39 <sup>h</sup>	4.86±1.3 <sup>bc</sup>	3.83±1.7 <sup>cd</sup>	4.20±1.1 <sup>bc</sup>	4.06±1.6 <sup>ab</sup>	5.26±1.6 <sup>cde</sup>

Valores con diferente letra en la misma columna presentan diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3.** Valores del análisis proximal que presentaron las muestras de las galletas elaboradas con harina de trigo y harina de camote en diferentes combinaciones.

Tipo de galleta	Humedad %	Proteína %	Lípidos %	Carbohidratos %	Cenizas %
Galleta (A)	5.01±0.0 <sup>a</sup>	8.15±0.1 <sup>c</sup>	30.33±0.0 <sup>a</sup>	55.51±0.1 <sup>a</sup>	0.99±0.0 <sup>b</sup>
Galleta (C)	4.61±0.2 <sup>a</sup>	6.40±0.0 <sup>b</sup>	29.50±0.2 <sup>a</sup>	59.45±0.3 <sup>b</sup>	0.02±0.0 <sup>a</sup>
Galleta (G)	4.61±0.5 <sup>a</sup>	5.92±0.7 <sup>a</sup>	29.81±0.0 <sup>a</sup>	64.62±1.0 <sup>c</sup>	0.02±0.0 <sup>a</sup>

Valores con diferente letra en la misma columna presentan diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

reportó el valor más alto (5.02 mg 100 g<sup>-1</sup>), posteriormente la galleta de harina de camote escaldada con vapor 4.28 mg 100 g<sup>-1</sup> y finalmente la galleta control 0.93 mg 100 g<sup>-1</sup>. De los resultados se observa que el rango de carotenoides totales en las galletas adicionales con harina de camote es alto, ya que de acuerdo a los datos reportados por Bellur-Nagarajiah y Prakash (2015) para galletas adicionales con harina de zanahoria fue de 1.55 mg 100 g<sup>-1</sup>. Sihi et al. (2009) encontraron mayor pérdida de  $\beta$ -caroteno en camote naranja cuando realizaron secado con aire caliente y extrusión que cuando liofilizaron, resaltando así el impacto del tipo de tratamiento, al igual que en este caso con las microondas y el vapor.

#### Análisis de textura (dureza)

Los resultados del análisis de textura realizado en la galleta, se muestran en el Cuadro 4. Se puede observar que se obtuvieron valores significativamente diferentes, infiriendo que el tipo de escaldado impactó en la dureza

del producto final. Cuando el camote fue escaldado con microondas (C) se encontró un valor de textura de 28.8 N, cuando se escaldó con vapor fue de 34.6 N, mientras que para la galleta control fue muy bajo. Singh et al. (2008) encontraron valores similares a lo reportado en este trabajo (29.55 N) cuando sustituyeron 60% de harina de camote en la elaboración de galletas. Según lo reportado por Zoulias et al. (2000), mencionaron que la textura del producto final depende estrictamente de la cantidad de grasa y su contenido en las formulaciones.

**Cuadro 4.** Resultados para  $a_w$ , carotenoides totales y dureza en las galletas.

Muestra	$a_w$	CT (mg Eq $\beta$ -caroteno 100 g <sup>-1</sup> )	Dureza (N)
Galleta (A)	0.51 <sup>b</sup>	0.93 <sup>a</sup>	8.20±0.6 <sup>a</sup>
Galleta (C)	0.45 <sup>a</sup>	5.02 <sup>c</sup>	28.8±2.5 <sup>b</sup>
Galleta (G)	0.45 <sup>a</sup>	4.28 <sup>b</sup>	34.6±1.6 <sup>c</sup>

Valores con diferente letra presentan diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

## Determinación de color

Los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  son usados para describir los cambios de color que ocurren en un producto por efecto del procesamiento. Un bajo valor en el parámetro de luminosidad ( $L^*$ ) indica un alto grado de oscurecimiento. En el Cuadro 5 se muestran los valores obtenidos para las galletas de harina de camote, distinguiendo que la luminosidad disminuye con las condiciones de escaldado. Respecto a croma se puede observar que las galletas elaboradas a partir de harina de camote presentan una tonalidad amarilla y finalmente el control tiende hacia el color rojo. La misma tendencia fue reportada por Singh *et al.* (2008) cuando sustituyeron 60% de harina de camote en una galleta (ángulo hue 54.8 y  $L^*$  54.14). Adicionalmente se puede decir que el color también fue afectado por la cantidad de harina en la formulación de la galleta. Según Hagenimana *et al.* (1992) encontraron que el oscurecimiento se debe a las reacciones enzimáticas de la polifenoloxidasas o reacciones de Maillard en el camote.

## Análisis microbiológico en la galleta

De acuerdo a los datos obtenidos del análisis microbiológico se encontró que las galletas elaboradas a partir de harina de camote escaldadas con microondas y vapor durante 2 min y 4 min respectivamente, cumplen con los parámetros de inocuidad.

## CONCLUSIONES

El tiempo y tipo de escaldado sobre el camote naranja, así como la concentración de su harina en la formulación de la galleta, impactó sobre la aceptabilidad del producto. La galleta mejor aceptada fue la elaborada con camote escaldado con microondas y en la formulación de 50% de harina de trigo integral y 50% de harina de camote. Los resultados obtenidos pueden ser de gran valor para tomar en cuenta las ventajas que ofrece la harina de camote naranja y utilizarla como un suplemento en la elaboración de galletas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por el Tecnológico Nacional de México para la realización de este proyecto, a través del convenio No. 5743.16-P.

## LITERATURA CITADA

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC International (15th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

**Cuadro 5.** Valores de los parámetros de color que presentaron las galletas.

Muestra	$L^*$	Croma	Ángulo hue
Galleta (A)	58.72±0.6 <sup>c</sup>	30.67±0.2 <sup>b</sup>	70.11±0.3 <sup>c</sup>
Galleta (C)	55.20±0.2 <sup>a</sup>	41.21±0.2 <sup>a</sup>	72.61±0.1 <sup>a</sup>
Galleta (G)	51.21±0.2 <sup>b</sup>	41.66±0.1 <sup>a</sup>	71.34±0.1 <sup>b</sup>

Valores con diferente letra en la misma columna presentan diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

- Bello-Gutierrez J. 2000. Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos. Ediciones Díaz de Santos S.A. 264 p.
- Bellur Nagarajaiah S., Prakash J. 2015. Nutritional composition, acceptability, and shelf stability of carrot pomace-incorporated cookies with special reference to total and  $\beta$ -carotene retention. Cogent Food and Agriculture 1: 1039886. Doi: 10.1080/23311932.2015.1039886
- Escobar B., Estévez A., Guíñez M. 2000. Almacenamiento de barras de cereales elaboradas con cotiledones de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50: 152-156.
- Francis F. 1980. Color quality evaluation of horticultural crops. HortScience 15:14-16.
- Hiranvarachat B., Devahastin S., Chiewchan N. 2012. *In vitro* bioaccessibility of  $\beta$ -carotene in dried carrots pretreated by different methods. International Journal of Food Science and Technology 47: 535-541.
- Martínez-Cázarez N.A. 2016. Evaluación de una bebida instantánea a base de harina de camote naranja. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Durango. Durango, México.
- Meilgaard M.C., Carr B.T., Civille, G.V. 2006. Sensory evaluation techniques. Boca Raton, FL: CRC Press.
- NOM-247-SSA1-2008. 2008. Norma Oficial Mexicana. Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- Trancoso-Reyes N., Ochoa-Martínez L.A., Bello-Pérez L.A., Morales-Castro J., Estévez-Santiago R., Olmedilla-Alonso B. 2016. Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties, and the bioaccessibility of  $\beta$ -carotene in sweet potato flour. Food Chemistry 200: 199-205.
- Schweiggert R.M., Steingass C.B., Mora E., Esquivel P., Carle R. 2011. Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.). Food Research International 44: 1373-1380.
- Shih M.C., Kuo C.C., Chiang W. 2009. Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition and antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. Food Chemistry 117: 114-121.
- SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 5. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea]. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Fecha de consulta: 16 de agosto de 2016.
- Singh S., Riar C.S., Saxena D.C. 2008. Effect of incorporating sweetpotato flour to wheat flour on the quality characteristics of cookies. African Journal of Food Science 2: 065-072.

- Srivastava S., Genitha T.R., Yadav V. 2012. Preparation and Quality Evaluation of Flour and Biscuit from Sweet Potato. *Journal of Food Process and Technology* 3: 1-5.
- Stone H., Sidel J. L. 1993. *Sensory Evaluation Practices*. San Diego: Academic Press. 338 p.
- Van-de-Fliert E. Braun A. R. 2001. *Escuela de campo de agricultores para el manejo integrado del cultivo de camote: Guía de campo y manual técnico*. International Potato Center (CIP).





# PAN VEGANO ADICIONADO CON *Lactobacillus plantarum* BAL-03-ITTG Y HARINA DE *Crotalaria longirostrata*, *Cnidisculus aconitifolius* Y *Moringa oleifera*

## VEGAN BREAD ADDED WITH *Lactobacillus plantarum* BAL-03-ITTG AND FLOUR OF *Crotalaria longirostrata*, *Cnidisculus aconitifolius* AND *Moringa oleifera*

Ek-Chulim, A.R.<sup>1</sup>; Ventura-Canseco, L.M.C.<sup>1\*</sup>; Álvarez-Gutiérrez, P.E.<sup>1</sup>; Gutiérrez-Miceli, F.A.<sup>1</sup>; Abud-Archila, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Carretera Panamericana km 1080, Col. Plan de Ayala, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: mventura@ittg.edu.mx

### ABSTRACT

Bread constitutes a food that is highly consumed by the vegetarian and vegan community. This culture of food is often deficient in nutrients which can be added by incorporating ingredients such as vegetable flours, in addition to the addition of probiotics in order to obtain symbiotic products. Therefore, the objective of this project was to evaluate the functional characteristics of vegan bread supplemented with leaf flours of *Crotalaria longirostrata*, *Cnidisculus aconitifolius* and *Moringa oleifera*, as well as *Lactobacillus plantarum* (BAL-03-ITTG) microencapsulated. Vegan bread was formulated by replacing wheat flour with *Crotalaria longirostrata* flour, *Cnidisculus aconitifolius* and *Moringa oleifera* (3 and 5%). Bread without the addition of these vegetable flours was used as a control. In addition, 10% of *Lactobacillus plantarum* microencapsulated was added. The results showed that with the substitution of wheat flour the nutritional properties were improved in terms of phenols and flavonoids content, antioxidant activity and protein content, being the best flours those of *Crotalaria longirostrata* and *Moringa oleifera*. However, the baking process caused the death of microencapsulated *Lactobacillus plantarum*.

**Keywords:** Nutraceutical, vegans, bread, vegetable flours.

### RESUMEN

El pan constituye un alimento que es altamente consumido por la comunidad vegetariana y vegana. Esta cultura de alimentación, es muchas veces deficiente en nutrientes, mismos que pueden ser adicionados mediante la incorporación de ingredientes como las harinas vegetales, además de la adición de probióticos con la finalidad de obtener productos simbióticos. Por lo anterior el objetivo del presente proyecto fue de evaluar las características funcionales de pan vegano suplementado con harinas de hojas de *Crotalaria longirostrata*, *Cnidisculus aconitifolius* y *Moringa oleifera*, así como *Lactobacillus plantarum* microencapsulado. Se formuló pan vegano sustituyendo harina de trigo por harina de *Crotalaria longirostrata*, *Cnidisculus aconitifolius* y *Moringa oleifera* (3 y 5%). Se utilizó como testigo pan sin la adición de estas harinas vegetales. Al pan se le adicionó, además, 10% de *Lactobacillus plantarum* BAL-03-ITTG microencapsulado. Los resultados mostraron que con la sustitución de harina de trigo se mejoraron las propiedades nutrimentales en términos del contenido de fenoles, flavonoides, actividad antioxidante y contenido de proteínas, siendo las mejores harinas las de *Crotalaria longirostrata* y *Moringa oleifera*. Sin embargo, el proceso de horneado provocó la muerte del *Lactobacillus plantarum* microencapsulado.

**Palabras clave:** Nutracéutica, veganos, pan, harinas vegetales.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo de alimentos funcionales ha incrementado, mismos que son definidos como "alimentos modificados o que contienen ingredientes que demuestren acciones que incrementan el bienestar del individuo o que disminuyen los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los ingredientes que contienen" (Valenzuela, 2014). Particularmente las tendencias del consumo de pan se encaminan en dos sentidos: alimentos muy sofisticados de compleja elaboración y productos naturales y saludables, además la importancia de una alimentación rica en fibras se ha acentuado lo que ha ampliado el consumo de panes integrales. Investigaciones encaminadas a la adición de principios biológicos con reconocido beneficio a la salud, a productos de panificación han sido reportadas. Bautista-Justo *et al.* (2007) desarrollaron 6 diferentes panes integrales empleando harina de trigo integral, chía, linaza y ácido fólico, formulados especialmente para la mujer. Los resultados mostraron una buena aceptación de los productos elaborados, además revelaron más altos niveles de proteína respecto al pan testigo. En relación con la adición de fuentes naturales de antioxidantes, Chlopicka *et al.* (2012) evaluaron la adición de 15 y 30% de harina de trigo sarraceno (alforfón), amaranto y quinoa sobre propiedades antioxidantes y sensoriales. La adición de 30% de trigo sarraceno tuvo 3.64 veces mayor actividad antioxidante que la adición de amaranto y quinoa (1.79 y 1.71 veces respectivamente más que el pan sin adición). En cuanto a incrementar el contenido de antocianinas y fenoles totales al pan, Ceballos *et al.* (2016) utilizaron la cáscara de la uva (*Vitis labrusca* L.) y la semilla (orujo) para elaborar harina (HCUS), empleándola como ingrediente funcional. Se encontró que la actividad antioxidante que aporta la HCUS al pan es de 7.98%, antocianinas totales de 1.85 mg g<sup>-1</sup> de pan y fenoles totales de 0.4076 mg EqAG g<sup>-1</sup>. Relacionado con la adición de fenoles con actividad antioxidante a los panes, Meral y Sait Dogan (2013) determinaron los efectos de la semilla de uva (GS) en las propiedades reológicas y panificables, la actividad antioxidante y la composición fenólica del pan. La harina de trigo fue reemplazada por GS a niveles de 2.5, 5.0 y 7.5%. Las actividades antioxidantes del pan aumentaron significativamente con la sustitución de GS. Los resultados de este estudio indican que GS se puede utilizar con éxito en fórmulas de pan para mejorar las propiedades reológicas de la masa y aumentar la actividad antioxidante del pan.

A pesar de los intentos por desarrollar panes funcionales que contienen microorganismos viables, esto aún no se ha logrado debido a la alta temperatura durante la cocción. Seyedain-Ardabili *et al.* (2016) realizaron un estudio para obtener pan simbiótico, por lo que se seleccionaron pan de hamburguesa y pan blanco al cual se le adicionaron *Lactobacillus acidophilus* LA-5 y *L. casei* 431 encapsulados. Se observó un aumento significativo ( $P \leq 0.05$ ) en la supervivencia probiótica cuando se utilizó quitosano además de la primera capa de alginato de calcio y almidón resistente.

En cuanto a la adición de harinas de hojas se han realizado diversos estudios. Chinma *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la semilla de *Cyperus esculentus* (chufa) germinada y la adición de moringa en las características de calidad del pan de trigo. La adición de hasta un 15% de chufa germinada y moringa a la harina de trigo aumentó la proteína, la fibra cruda y el contenido de ceniza del pan sin modificar las propiedades sensoriales con respecto al pan de trigo. Por su parte Dachana *et al.* (2010) estudiaron el efecto de la sustitución de la harina de trigo con 5, 10 y 15 % de hojas secas de moringa sobre las características reológicas, microestructurales, nutricionales y de calidad de las galletas. Ellos reportaron aumento de la dureza y la disminución de la cohesión de masa además de que la evaluación sensorial mostró que las galletas incorporados con un 10% de polvo de DML fueron aceptables.

La chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) y chipilín (*Crotalaria longirostrata*) son nativas de México y América Central. Se consumen en las zonas rurales y urbanas como alimentos o en medicina tradicional. Actualmente, hay información limitada sobre su composición nutricional y fitoquímica. Sin embargo, existen reportes en los cuales se ha demostrado el nivel nutricio de ambas hojas (Jiménez-Aguilar y Grusak, 2015).

Por lo anterior el objetivo del presente fue de evaluar las características funcionales de pan vegano suplementado con harinas de hojas de chipilín (*Crotalaria longirostrata*), chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) y moringa (*Moringa oleifera*) y *Lactobacillus plantarum* (BAL-03-ITTG) microencapsulado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de las materias primas vegetales

Las harinas fueron elaboradas empleando hojas de chipilín (*Crotalaria longirostrata*), chaya (*Cnidoscolus*

*aconitifolius*), y moringa (*Moringa oleifera*) adquiridas en el mercado de Terán en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Las hojas fueron lavadas mediante inmersión en agua clorada (5 ppm) durante 5 minutos y enjuagadas posteriormente con agua potable. Las hojas de chaya fueron escaldadas durante 1.5 min en agua a 100 °C (López, 2003). Las hojas fueron después secadas a la sombra, molidas en licuadora doméstica hasta un tamaño de partícula de 0.149 mm (malla N° 100). Finalmente, las harinas vegetales se almacenaron en frascos color ámbar herméticamente en refrigeración hasta su empleo.

### Obtención de microcápsulas de *L. plantarum* mediante secado por aspersión

Para la siembra y cosecha de *Lactobacillus plantarum* se utilizó la metodología reportada por Gutiérrez-Sarmiento (2016).

La microencapsulación de *L. plantarum* se realizó mediante secado por aspersión según la metodología reportada por Robles-Flores (2015). Las microcápsulas obtenidas se conservaron en bolsas metálicas herméticas selladas al vacío a 4°C hasta su uso. La sobrevivencia de *Lactobacillus plantarum* (BAL-03-ITTG) después del secado fue determinado mediante la técnica de siembra en placa. La sobrevivencia fue calculada con la ayuda del número de unidades formadoras de colonia alimentadas y el número de microorganismos viables después del secado por aspersión.

### Elaboración de los panes

Los productos de panificación fueron elaborados con los siguientes ingredientes: 50 mL de aceite de oliva marca Selecto Choice, 30 g de levadura marca Nevada, 15 g de sal marca La fina, 20 g de harina de malta marca Brillapan La Florida, 125 mL de agua marca Santorini, 165 mL de leche de almendra marca Silk almond Vainilla, 20 g de salvado de trigo marca Cerepack, 20 g de mejorante para panificación marca Magnopro, 500 g de harina de trigo marca Medalla de oro. Los ingredientes son de grado alimenticio, adquiridos en comercios locales. El polvo de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado fue adicionado en 10 g 100 g<sup>-1</sup> de harina de trigo y las harinas vegetales fueron agregadas en proporciones de 3 g 100 g<sup>-1</sup> y 5 g 100 g<sup>-1</sup> de harina de trigo. Los ingredientes se mezclaron en una batidora marca Hamilton Beach, modelo 64655 (HAMILTON, Carolina del Norte, USA). La masa obtenida se distribuyó equitativamente en moldes metálicos y se dejó reposar durante 30 minutos a temperatura ambiente (28-30 °C). Finalmente la masa

fue horneada a 180 °C durante 20 min, en horno marca IEM-E13030 (IEM, SLP, México). Al término del horneado se dejaron enfriar y se empacaron individualmente en bolsas de plástico, los cuales se almacenaron en un lugar fresco y seco. La preparación del pan se llevó a cabo con buenas prácticas de higiene de acuerdo a la norma NOM-120-SSA1-1996.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones para cada harina. Los factores a estudiar fueron el porcentaje de sustitución de la harina en la mezcla (3 y 5%). El testigo fue pan sin la sustitución de harina de trigo. Todos los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza con un nivel de confianza del 0.05 y las medias fueron comparadas mediante el análisis de la diferencia mínima significativa. El monitoreo se realizó al terminó del horneado y a los 3 y 5 días de almacenamiento.

### Caracterización de los productos de panificación

#### Análisis proximales y microbiológicos

Los productos de panificación formulados con harina de trigo adicionados con *L. plantarum* BAL-03-ITTG y suplementados con harina de chipilín, chaya y moringa se analizaron en base a los métodos establecidos por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1999). Los análisis microbiológicos se realizaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana para productos de panificación (NOM-092-SSA1-1996).

#### Evaluación de antioxidantes, fenoles totales y flavonoides en los productos de panificación

Después del horneado y una vez a temperatura ambiente, se tomaron muestras de los panes a t<sub>0</sub> (tiempo cero), t<sub>3</sub> (3 días después de almacenamiento) y t<sub>5</sub> (5 días después de almacenamiento). Las muestras fueron sometidas a extracción empleando la metodología de Chlopicka et al. (2012).

Los fenoles totales se determinaron en los extractos de cada unidad experimental, de acuerdo al método de Folin-Ciocalteau (Singleton, 1999). El estándar empleado fue ácido gálico (SIGMA) y los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de harina vegetal o pan (mg EqAG g<sup>-1</sup> de harina o mg EqAG g<sup>-1</sup> de pan).

Los flavonoides se cuantificaron en los extractos de cada unidad experimental, con el método colorimétrico de cloruro de aluminio (Chang et al., 2002). Los resultados



se expresaron como miligramos equivalentes de quercetina por gramo de harina vegetal o pan ( $\text{mg EqQ g}^{-1}$  de harina o  $\text{mg EqQ g}^{-1}$  de pan).

La capacidad antioxidante en los extractos de cada unidad experimental se determinó con el método de DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate) de acuerdo con lo reportado por Mensor (2001). Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido ascórbico por gramo de harina vegetal o pan ( $\text{mg EqAA g}^{-1}$  de harina o  $\text{mg EqAA g}^{-1}$  de pan).

**Sobrevivencia de *Lactobacillus plantarum* en los productos de panificación**

Para evaluar la sobrevivencia del *L. plantarum* en los productos de panificación, se tomó 1 g de cada pan y se agregó en 9 mL de agua peptonada estéril ( $15 \text{ g L}^{-1}$ ). La muestra se agitó vigorosamente hasta obtener una suspensión homogénea y de ésta se realizaron diluciones seriadas y siembra en placa con agar MRS. El porcentaje de sobrevivencia se determinó mediante la relación del número de microorganismos adicionados a la masa y el número de microorganismos viables después del horneado.

**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

**Caracterización de las harinas**

Los rendimientos promedio de obtención de las harinas a partir de hojas secas fueron de 18.2% para chipilín, 25% para chaya y 24% para moringa. El contenido de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante en las harinas de chipilín, chaya y moringa se muestran en el Cuadro 1. La concentración de flavonoides en nuestras harinas de chipilín y chaya fueron 9.4 y 9.7 ( $\text{mg EqQ g}^{-1}$  harina). Estos valores son superiores a los reportados por Jiménez-Aguilar y Grusak (2015), 0.658 y 1.83 ( $\text{mg EqCat g}^{-1}$ ) respectivamente. La diferencia podría deberse a la metodología utilizada. Por otra parte, la harina de moringa contiene 11.064  $\text{mg EqQ g}^{-1}$  harina, mientras que Verma *et al.* (2009) reportaron 0.807  $\text{mg EqQ g}^{-1}$ .

En cuanto al contenido de fenoles, Jiménez-Aguilar y Grusak (2015) reportaron 22.64 y 13.52 ( $\text{mg EqAG g}^{-1}$  peso seco) para la hoja de chaya y chipilín respectivamente. Estos valores son superiores a 19.9 y 14.9 ( $\text{mg EqAG g}^{-1}$  harina). Por otra parte, la moringa tiene un contenido de fenoles

de 16.7  $\text{mg AG g}^{-1}$ , valor superior a lo reportado por Verma *et al.* (2009) de 0.5344  $\text{mg AG g}^{-1}$ .

Estas diferencias podrían ser debido a las condiciones de cultivo de cada planta, al clima, tipo de suelo, estación del año, así como también a la especie, parte de la planta usada para realizar el extracto vegetal y las condiciones de la extracción (Pinelo *et al.*, 2004).

La baja actividad antioxidante de la chaya (0.7  $\text{mg EqAA g}^{-1}$ ) se puede relacionar al método térmico (escaldado). Mendoza-Corvis *et al.* (2015) reportaron la degradación del ácido ascórbico con respecto a la temperatura y tiempo de escaldado, disminuyendo un promedio de 1.2  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  (pulpa de mango) por cada minuto de escaldado a 85 °C. Los autores citan que la degradación térmica del ácido ascórbico está relacionada con la formación de compuestos aquirales indeseables y/o isomerización; en nuestro caso el escaldado se realizó a 100 °C durante 1.5 min.

**Sobrevivencia de *L. plantarum* en los productos de panificación**

En el Cuadro 2 se observa la sobrevivencia de *L. plantarum* en la masa de pan y después del proceso de horneado de los panes. Es posible observar que antes del horneado el número de unidades formadoras de colonia por gramo de masa de panificación varió en el orden de  $10^9$ , no habiendo diferencia estadística significativa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). Sin embargo, después del horneado, el porcentaje de sobrevivencia del microorganismo en el pan fue de 3% no habiendo diferencia estadística significativa entre los tratamientos ni con el testigo ni con la adición de cualquiera de las harinas vegetales.

La microencapsulación genera un microambiente y protección para que las bacterias soporten las condiciones de secado e incrementen su tiempo de vida durante el almacenamiento. Robles-Flores (2015) reportó 90% de

**Cuadro 1.** Contenido de fenoles, flavonoides y actividad antioxidante en hojas secas de *Crotalaria longirostrata*, *Cnidisculus aconitifolius* y *Moringa oleifera*.

Harina vegetal	Fenoles ( $\text{mg EqAG g}^{-1}$ harina seca)	Flavonoides ( $\text{mg EqQ g}^{-1}$ harina seca)	Actividad antioxidante ( $\text{mg EqAA g}^{-1}$ de harina seca)
<i>Crotalaria longirostrata</i>	19.90±0.014	9.407±0.005	11.030±0.009
<i>Cnidisculus aconitifolius</i>	14.955±0.004	9.714±0.021	0.7±0.001
<i>Moringa oleifera</i>	16.698±0.34	11.064±0.08	17.14±0.11

**Cuadro 2.** Microorganismos viables en la masa de panificación y sobrevivencia de *L. plantarum* en panes adicionados con chipilín, chaya y moringa.

Pan adicionado con harina	Microorganismos viables (UFC g <sup>-1</sup> de masa)	Sobrevivencia de <i>L. plantarum</i> en pan (%)
Pan testigo	1.5×10 <sup>9</sup> a	3.7 a
Pan y chipilín 3%	1.8×10 <sup>9</sup> a	3.1 a
Pan y chipilín 5%	1.7×10 <sup>9</sup> a	2.8 a
Pan y chaya 3%	2.1×10 <sup>9</sup> a	3.0 a
Pan y chaya 5%	2.2×10 <sup>9</sup> a	3.8 a
Pan y moringa 3%	1.5×10 <sup>9</sup> a	3.8 a
Pan y moringa 5%	1.8×10 <sup>9</sup> a	3.1 a
DMS	1×10 <sup>9</sup>	1

Letras iguales en cada columna corresponde a tratamientos iguales estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ).

sobrevivencia para *L. plantarum* durante 8 meses en almacenamiento en condiciones de refrigeración. La leche de soya, goma arábiga y maltodextrina constituyen un buen agente encapsulante. Sin embargo, las microcápsulas al ser adicionadas a la masa conteniendo agua, éstas probablemente se hidrataron, permitiendo la liberación del microorganismo previo al horneado. Estos microorganismos liberados fueron expuestos a la temperatura durante el proceso de horneado provocando su muerte. Jordan-Cogan (1999) y Aryani et al. (2016) reportaron que la inactivación de *Lactobacillus plantarum* ocurre entre 63 a 65 °C y que al exponerlas a temperaturas altas (150 °C) durante menos de 2 min, éstas fueron eliminadas.

### Caracterización de panes adicionados con harinas vegetales

En cuanto al pan testigo se encontró que contiene 7.75% de proteínas, 25% de humedad y 5% de cenizas. Así mis-

mo, el pan testigo demostró tener un contenido promedio de fenoles de 1.74 mg EqAG g<sup>-1</sup>, 0.28 mg EqQ g<sup>-1</sup> y una actividad antioxidante de 1.85 mg EqAA g<sup>-1</sup> (Cuadro 2).

El Cuadro 3 muestra que la mayor aportación de fenoles totales (2.49 mg EqAG g<sup>-1</sup>), se logra con la adición de 5 g 100 g<sup>-1</sup> de harina de hoja de moringa. Chlopicka et al. (2012) evaluaron la adición de 15 g 100 g<sup>-1</sup> y 30 g 100 g<sup>-1</sup> de harina de trigo sarraceno, amaranto y quinoa, reportando que el mayor contenido de fenoles totales en pan (2.65 mg EqAG g<sup>-1</sup>) lo aportó la adición de 30 g 100 g<sup>-1</sup> de trigo sarraceno; aportación 6.04% superior, pero con sustitución de la harina de trigo 6 veces superior a la nuestra.

Nuestros resultados reportan que la adición de 3 g 100 g<sup>-1</sup> de harina de hoja de moringa genera un contenido de fenoles totales semejante a los aportados por 5 g 100 g<sup>-1</sup> de harinas de hojas de chaya y chipilín, contenidos superiores a los presentes en pan con 15 g 100 g<sup>-1</sup> de amaranto y 15 g 100 g<sup>-1</sup> de quinoa, de 1.73 y 1.88 (mg EqAG g<sup>-1</sup>) respectivamente. Por su parte, Ceballos et al. (2016) utilizaron la cáscara de la uva (*Vitis labrusca* L.) y la semilla (orujito) para elaborar harina (HCUS), empleándola como ingrediente funcional. Ellos reportaron 0.4076 mg EqAG g<sup>-1</sup>, contenido inferior a cualquiera de nuestros tratamientos. Semejante efecto es el reportado por Meral y Sait Dogan (2013), quienes reemplazaron harina de trigo por polvo de semilla de uva (GS) a niveles de 2.5%, 5.0% y 7.5%, lo cual generó valores de fenoles totales en el pan desde 0.37 a 10.9 mg EqAG 100 g<sup>-1</sup>, valores también inferiores a los nuestros. En cuanto al contenido de flavonoides en nuestros panes, el mayor fue de 1.01, seguido

**Cuadro 3.** Fenoles, flavonoides, actividad antioxidante y contenido de proteínas de pan adicionado con diferentes harinas vegetales.

Tratamiento	Fenoles (mg EqAG g <sup>-1</sup> )		Flavonoides (mg EqQ g <sup>-1</sup> )		Actividad Antioxidante (mg EqAA g <sup>-1</sup> )		Proteína (%)	
	Tiempo de almacenamiento		Tiempo de almacenamiento		Tiempo de almacenamiento		Tiempo de almacenamiento	
	0 días	5 días	0 días	5 días	0 días	5 días	0 días	5 días
Pan testigo	1.74±0.02	1.43±0.03	0.28±0.08	0.25±0.03	1.85±0.02	1.42±0.04	7.75±0.04	7.50±0.06
Pan con chipilín (3%)	1.97±0.02	1.62±0.01	0.73±0.041	0.66±0.03	2.08±0.02	1.58±0.01	8.37±0.23	8.39±0.24
Pan con chipilín (5%)	2.13±0.03	1.8±0.03	1.01±0.06	1.00±0.08	2.28±0.04	1.8±0.04	9.19±0.34	9.17±0.26
Pan con chaya (3%)	1.91±0.01	1.59 ±0.01	0.59±0.03	0.56±0.03	1.87±0.00	1.44±0.00	8.39±0.06	8.33±0.02
Pan con chaya (5%)	2.07±0.02	1.73±0.03	0.84±0.04	0.84±0.05	1.88±0.00	1.45±0.00	9.28±0.12	9.26±0.08
Pan con moringa (3%)	2.19±0.05	1.8±0.04	0.53±0.02	0.43±0.01	2.2±0.04	1.83±0.04	8.56±0.32	8.51±0.1
Pan con moringa (5%)	2.49±0.07	2.09±0.06	0.83±0.06	0.72±0.03	2.64±0.08	2.18±0.06	9.69±0.5	9.68±0.4



por 0.84 y 0.83 mg EqQ g<sup>-1</sup> en los panes adicionados con 5 g 100 g<sup>-1</sup> de chipilín, chaya y moringa respectivamente, todos ellos superiores al contenido más elevado reportado por Chlopicka *et al.* (2012) de 34.9 μg EqCatequina g<sup>-1</sup> al adicionar 30 g/100 g<sup>-1</sup> de harina de amaranto. Las diferencias probablemente se deben al origen de las plantas, condiciones de extracción y de elaboración del pan. Respecto a la actividad antioxidante, Dziki *et al.* (2014) mencionan que la adición de extractos verdes o harinas, permite incrementar la actividad antioxidante del pan sin embargo, concluyen que es importante encontrar el equilibrio entre incrementar el valor nutricional y mantener la calidad sensorial. En nuestro caso la mayor aportación de actividad antioxidante fue generada por la adición de 5 g 100 g<sup>-1</sup> de harina de hoja de moringa, seguida por la adición de 5g 100 g<sup>-1</sup> de chipilín y 5 g 100 g<sup>-1</sup> de chaya. La mayor aportación representa un incremento del 42.7% comparada con la actividad antioxidante del pan testigo. El porcentaje anterior es mayor al reportado por Ceballos *et al.* (2016), quienes utilizaron la cáscara de la uva (*Vitis labrusca* L.) y la semilla (orujito) para elaborar harina (HCUS), empleándola como ingrediente funcional e incorporándola en un 4% a la harina de trigo. Ellos encontraron que la actividad antioxidante que aporta la HCUS al pan es de 7.98%.

La aportación en el contenido de proteínas en los panes es también una propiedad importante que puede ser incrementada por la adición de pseudocereales, harinas, especias, semillas, partes de plantas e incluso subproductos de la industria de alimentos. En cuanto al aporte de proteínas Chinma *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la adición de chufa germinada y moringa en las características de calidad del pan de trigo. La adición de 15% de chufa germinada y moringa a la harina de trigo aumentó la proteína del pan de 1.21 a 2.63%. En nuestro caso, la adición de 5 g 100 g<sup>-1</sup> de harina de hojas de moringa provocó un aumento de 7.75 a 9.69%, incrementos ligeramente menores fueron los generados por la adición de 5 g 100 g<sup>-1</sup> de chipilín y chaya. Incrementos semejantes a los nuestros fueron reportados por Bautista-Justo *et al.* (2007), quienes reportaron incrementos de entre 2.23 a 9.24% en los niveles de proteína respecto al pan testigo.

La estabilidad de las moléculas bioactivas durante el horneado y almacenamiento es muy importante. Sin embargo, las interacciones de los compuestos fenólicos durante la preparación tienen múltiples efectos sobre la calidad del pan; esto afecta la eficacia antioxidante de flavonoides (Dziki *et al.*, 2014). En nuestro caso, después

de 5 días de almacenamiento todos los panes, incluyendo el testigo, perdieron entre 15.4 y 17.8 % de su contenido de fenoles totales, en cuanto a los flavonoides su disminución osciló entre 0 a 18.8 %. La disminución mayor en la actividad antioxidante se observó para todos los tratamientos cuyos valores variaron entre 16.8 a 24% (Cuadro 3). En los panes adicionados con 3 g 100 g<sup>-1</sup> y 5 g 100 g<sup>-1</sup> de chaya, chipilín y moringa, el contenido de proteínas fue estable, ya que disminuyeron entre 0 y 0.7% durante los 5 días de almacenamiento, a diferencia del pan testigo cuyo contenido de proteínas disminuyó 3.23%; lo anterior indica que la adición de harinas de hojas de chipilín, chaya y moringa aportan proteínas cuyo contenido es estable durante el almacenamiento.

En cuanto a la calidad microbiana, los panes elaborados cumplen con la Norma Oficial Mexicana (NOM-092-SSA1-1996), hubo ausencia de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y mohos, después del horneado y a los 5 días de almacenamiento.

## CONCLUSIONES

La adición de harinas de hojas de moringa, chipilín y chaya mejoran la calidad antioxidante y el contenido de proteínas del pan vegano. La adición de 5 g 100 g<sup>-1</sup> de moringa proporcionó el mayor incremento de actividad antioxidante y contenido de proteínas. *Lactobacillus plantarum* BAL-03-ITTG no sobrevivió el proceso de horneado del pan vegano, por lo que se sugiere utilizar otros agentes encapsulantes que den mayor protección al microorganismo durante el horneado.

## AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento al proyecto 5907.16-P y al CONACyT por la beca otorgada.

## LITERATURA CITADA

- AOAC. 1999. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- Aryani D.C., den Besten H.M.W, Zwietering M.H. 2016. Quantifying variability in growth and thermal inactivation kinetics of *Lactobacillus plantarum*. Applied Environmental Microbiology 82: 4896-4908.
- Bautista-Justo M., Castro-Alfaro A.D., Camarena-Aguilar E., Wrobel K., Wrobel K., Guzmán-Guadalupe A., Gamiño-Sierra Z., Da Mota Z.V. 2007. Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 57: 78-84.
- Ceballos P.Y., Figueroa M.A., Giraldo G.D., Gómez M.A., Montañón D.L., Velasco M., Mazo R., Martínez-Correa C., Vanegas M.P. 2016. Elaboración de pan con adición de harina orujito de uva Isabella

- (*Vitis labrusca* L.) como componente funcional. *Agronomía Colombiana* 34: S1046-S1049.
- Chang C.C., Yang M.H., Wen H.M., Chern J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10: 178-182.
- Chinma C.E., Abu J.O., Akoma S.N. 2014. Effect of germinated tigernut and moringa flour blends on the quality of wheat-based bread. *Journal of Food Processing and Preservation* 38: 721-727.
- Chlopicka J., Pasko P., Gorinstein S., Jedryas A., Zagrodzki P. 2012. Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. *LWT-Food Science and Technology* 46: 548-555.
- Dachana K.B., Rajiv J., Indrani D., Prakash J. 2010. Effect of dried moringa (*Moringa oleifera* Lam) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality* 33: 660-677.
- Dziki D., Rózyło R., Gawlik-Dziki U., Świeca M. 2014. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science and Technology* 40: 48-61.
- Gutiérrez-Sarmiento W. 2016. Optimización de la agitación, aireación y concentración de Tween 80 en el cultivo de *Lactobacillus plantarum* BAL-03-ITTG para su uso como probiótico. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México.
- Jiménez-Aguilar D.M., Grusak M. A. 2015. Evaluation of Minerals, Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity of Mexican, Central American, and African Green Leafy Vegetables. *Plant Foods Human Nutrition* 70: 357-364.
- Jordan K.N., Cogan T.M. 1999. Heat resistance of *Lactobacillus* spp. isolated from Cheddar cheese. *Letters in Applied Microbiology* 29: 136-140.
- López Camelo A.F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO.151.
- Mendoza-Corvis F.A., Hernández E.J., Ruiz L.E. 2015. Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha (*Mangifera indica* var Magdalena River). *Información Tecnológica* 26: 54-60.
- Mensor L.L., Boylan F., Leitao G., Guimaraes-Leitão, S. 2001. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy research* 15: 127-30.
- Meral R., Sait Dog I. 2013. Grape seed as a functional food ingredient in bread-making. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 64: 372-379.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-092-SSA1-1996, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Diario Oficial de la Federación Gobierno constitucional de los estados unidos mexicanos. México D.F.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-120-SSA1-1996: Bienes y servicios, prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas. Diario Oficial de la Federación. Gobierno constitucional de los estados unidos mexicanos. México D.F.
- Pinelo M., Rubilar M., Sineiro J., Núñez M. 2004. Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). *Food Chemistry* 85: 267-273.
- Robles-Flores G.C. 2015. Secado por aspersión de leche de soya adicionada con *Lactobacillus plantarum* e inulina. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México.
- Seyedain-Ardabili M., Sharifan A., Ghiassi Tarzi B. 2016. The Production of Synbiotic Bread by Microencapsulation. *Food Technology and Biotechnology* 54: 52-59.
- Singleton V., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. 1999. Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in enzymology* 299C: 152-178.
- Valenzuela, A. 2014. Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación?. *Nutrición chilena*. *Revista Chilena de Nutrición* 41: 198-204.
- Verma A.R., Vijayakumar M., Mathela C.S., Rao C.V. 2009. *In vitro* and *in vivo* antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food Chemistry and Toxicology* 47: 2196-2201.





# RESPUESTA DE *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. EN LAS FASES DE ESTABLECIMIENTO Y MULTIPLICACIÓN *in vitro*

## RESPONSE OF *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. IN THE PHASES OF *in vitro* ESTABLISHMENT AND MULTIPLICATION

González-Jiménez, B.<sup>1</sup>; Jasso-Mata, J.<sup>1</sup>; Castillo-Martínez, C.R.<sup>2\*</sup>; Jiménez-Casas, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-COMEF. Av. Progreso No. 5, Colonia Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, Ciudad de México.

\*Autor de correspondencia: castillo.carlos@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

Explants of over 28 years old *Pinus leiophylla* trees from a sexual seed orchard obtained to establish and multiply *in vitro*. In the establishment phase branch bud and epicormic shoot explants (ES) tested in a MS medium, both from mature sources. In the multiplication phase, three concentrations of a cytokinin-auxin mixture in 10:1 ratio, as well ES explants from mature trees contrasting their response with same explant type but juvenile sources (2 years old). At 30 days, the 43% *in vitro* establishment from ES shoots was achieved. In the multiplication phase, both explant sources (juvenile and mature) induced 20% adventitious shoots, however, the best response of explant length growth, number and length variables of adventitious shoots was from explants of juvenile explants with 1.4 cm, 4 and 4.4 mm, respectively. Media with PGR induced 15-35% development of adventitious shoots while the medium without PGR did not induce these structures.

**Keywords:** Epicormic shoots, explants, auxins, cytokinins, adventitious shoots.

### RESUMEN

Explantos de árboles de más de 28 años de edad de *Pinus leiophylla* de un huerto semillero sexual fueron colectados para establecerse y multiplicar *in vitro*. En la fase de establecimiento se probaron explantes de yemas de ramas y brotes epicórmicos (BE) en un medio MS, ambos de fuentes maduras. En la fase de multiplicación se probaron tres concentraciones de una mezcla de citocinina-auxina (BA-ANA) en proporción 10:1, así como explantes de BE de árboles maduros, contrastando su respuesta con el mismo tipo de explantes, pero de fuentes juveniles (2 años). A los 30 días, se obtuvo el 43% de establecimiento *in vitro* a partir de BE. En la fase de multiplicación ambas fuentes de explantes (maduro y juvenil), indujeron el 20% de brotes adventicios, sin embargo, la mejor respuesta en las variables de crecimiento en longitud del explante, número y longitud de brotes adventicios fue a partir de explantes de árboles juveniles con 1.4 cm, 4 y 4.4 mm, respectivamente. Los medios con reguladores de crecimiento vegetal (RCV) indujeron el desarrollo de brotes adventicios de 15-35%, mientras que el medio sin RCV no indujo estas estructuras.

**Palabras clave:** Brotes epicórmicos, explantes, auxinas, citocininas, brotes adventicios.

## INTRODUCCIÓN

**En coníferas** el cultivo de tejidos *in vitro* es una alternativa para la propagación de genotipos seleccionados que poseen alguna característica de alto valor económico o ecológico, al capturar de forma efectiva su ganancia genética (Cortizo *et al.*, 2009). En los últimos años una gran cantidad de especies de coníferas ha sido micropropagada, pero en la mayoría de estas investigaciones que han tenido éxito se utilizaron explantes de fuentes juveniles (Parasharami *et al.*, 2003). Sin embargo, muchas de las características de interés no pueden ser evaluadas hasta que los árboles llegan a la fase de madurez, reduciendo el potencial de propagación del árbol (Greenwood, 1995).

A pesar de los considerables esfuerzos en la investigación, la mayoría de las gimnospermas todavía son consideradas como extremadamente difícil de micropropagar en individuos de más de un año de edad (Selby *et al.*, 2005). El establecimiento y la inducción de brotes adventicios son las primeras etapas en la micropropagación. Sin embargo, para árboles maduros de coníferas han sido pocos los trabajos que han tenido éxito (Cortizo *et al.*, 2009; De-Diego *et al.*, 2008; Parasharami *et al.*, 2003; Selby *et al.*, 2005). De acuerdo con Boniga (1981), la micropropagación en árboles maduros es posible solo cuando tienen rebrotes en el tocón u otras fuentes de tejido juvenil disponibles; por lo tanto, los brotes epicórmicos (BE) proporcionan material vegetal con características juveniles, para establecer un cultivo aséptico de árboles adultos (López *et al.*, 2003). Existen algunas especies de pino que producen BE, como es el caso de *Pinus leiophylla* (Jiménez y Zwiazek, 2014).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es el establecimiento y multiplicación *in vitro* de explantes de árboles maduros de *P. leiophylla* de un huerto semillero sexual (HSS).

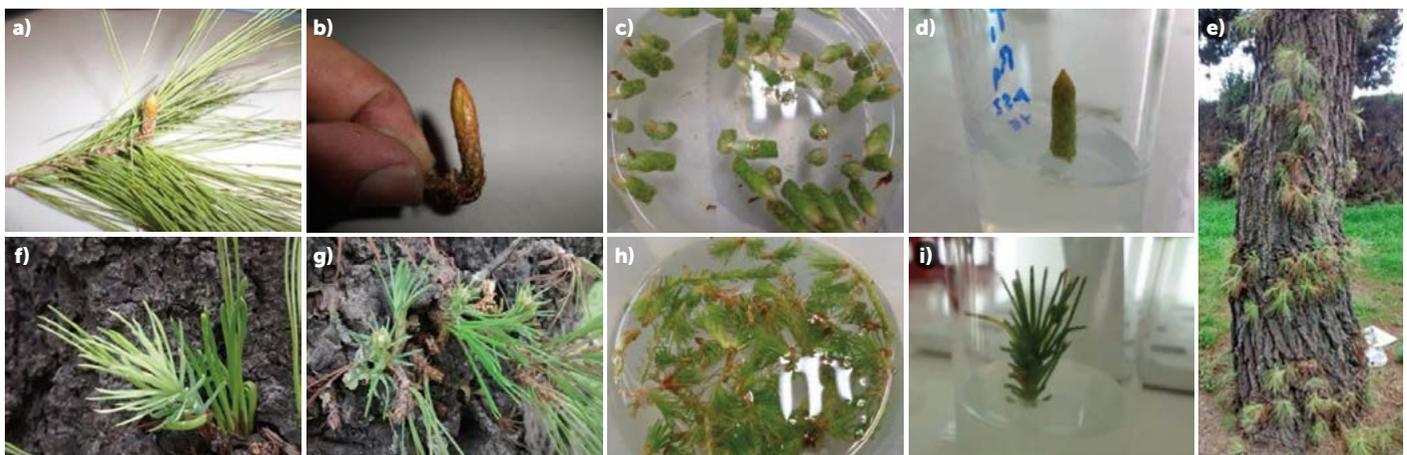
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fase de establecimiento

Se probaron 2 tipos de explantes: yemas terminales (YT) y brotes epicórmicos (BE). Los árboles donantes, de más de 28 años de edad, se seleccionaron en el HSS de *P. leiophylla* que se estableció en 1991 en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Montecillo, Texcoco, Estado de México para generar germoplasma tolerante a factores adversos (Jasso *et al.*, 1993). Las YT se colectaron en marzo, del primer tercio de la copa; presentaron 4 cm de longitud y 5 mm de diámetro en promedio, con las escamas cerradas y sin acículas (Figura 1a y b). Los BE se colectaron de los tallos de los árboles seleccionados, en los primeros 2 m respecto a la base. Estos brotes presentaron 1.5 cm de longitud y 1.3 mm de diámetro, en promedio y con hojas primarias; tallo succulento, sin aparente lignificación y con yema primaria funcional (Figura 1e-g). El cultivo *in vitro* se realizó en el laboratorio de biotecnología del CENID-COMEF del INIFAP, en la Ciudad de México.

En las YT, las escamas se removieron manualmente para evitar daños en el tejido (Figura 1c) y en los BE, las hojas primarias cercanas al tallo principal se recortaron (Figura 1h).

El material vegetal se lavó cuatro veces, tallando con agua y jabón líquido comercial y se enjuagaron con agua corriente; se colocaron en una solución con



**Figura 1.** Explantes de árboles adultos de *P. leiophylla*. a) y b) explantes de yema, c) yemas sin escamas, d) yema cultivada *in vitro*, e) árbol donador, f) y g) Brotes epicórmicos, h) preparación de explantes, i) Brote epicórmico cultivado *in vitro*.

Captan® (3 g L<sup>-1</sup>) durante 90 min y se enjuagaron 2 veces con agua destilada; se trataron con etanol al 70 % durante 1.5 min y se enjuagaron 3 veces con agua destilada estéril; en seguida, se sumergieron durante 10 min en hipoclorito de sodio comercial al 30 %, adicionándole 200 µl L<sup>-1</sup> de Tween® 20 de SIGMA®. En la campana de flujo laminar se enjuagaron 5 veces con agua destilada estéril.

El medio base para los explantes fue: 4.43 g L<sup>-1</sup> MS (Murashige y Skoog, 1962) con vitaminas (MS), adicionado con 30 g L<sup>-1</sup> de sacarosa (D-SUCROSE®) y 8 g de agar (Agar Plant®) de Phyto Technology Laboratories®, con pH de 5.7 y esterilizado en autoclave, en tubo de ensayo de 25×100 mm.

Se hizo un corte en la base del explante, tanto para YT como para BE, para ajustar la longitud a 1.5 cm y se colocó en el medio de cultivo; el tubo de ensayo se selló con vitafilm y se etiquetó para llevar el control del experimento. Los cortes se hicieron con instrumentos de disección (bisturí no. 21 y pinzas) sobre cajas Petri.

Los cultivos se incubaron en ambiente controlado, con temperatura de 24±2 °C y fotoperiodo de 16 horas luz, producidas por lámparas de alógeno con una intensidad lumínica de 56.1 µmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> y 8 horas de oscuridad. Durante un mes se realizaron evaluaciones, una vez por semana, para determinar el porcentaje de establecimiento *in vitro* (vivos y muertos) y porcentaje de contaminación (hongo o bacteria) y oxidación.

### Fase de multiplicación

Esta fase se realizó con BE de árboles del huerto de *P. leiophylla* (árboles maduros) y de árboles de 2 años (juveniles) producidos en vivero. La colecta y desinfección del material vegetal, así como la preparación de los explantes y medios de cultivos se realizaron como se mencionó en la fase anterior. Para la multiplicación se probaron 4 tratamientos: tres medios de cultivo MS con diferentes niveles de citocinina (Benciladenina, BA) y auxina (Ácido naftalenacético, ANA), en proporción 10:1 en volumen y un testigo, sin reguladores de crecimiento vegetal (RCV) (Cuadro 1).

El cultivo de los explantes se realizó con las mismas condiciones de incubación que la fase de establecimiento. Cada semana se evaluó el número

**Cuadro 1.** Medios de cultivo utilizados en la fase de establecimiento *in vitro* de brotes epicórmicos de árboles maduros y juveniles de *P. leiophylla*.

Medio de cultivo	Nombre	Concentración de BA (µM)	Concentración de ANA (µM)
MS1	Testigo	-	-
MS2	Concentración baja	4.44	0.54
MS3	Concentración media	8.88	1.07
MS4	Concentración alta	17.76	2.15

mero de explantes vivos y muertos, para determinar el porcentaje de contaminación; en los explantes vivos se evaluó: número y longitud de los brotes adventicios (Ba) y % de inducción de Ba.

### Diseño experimental

Los experimentos siguieron un diseño completamente al azar. En la fase de establecimiento se utilizaron 120 repeticiones. En la fase de multiplicación el diseño fue factorial 2×4 (dos edades del árbol donador y 4 medios de cultivo), con 10 repeticiones. Se realizó análisis de varianza y comparación múltiple de medias de Tukey (P≤0.05), en el programa (Statistical Analysis System 9.00 [SAS, 2002]). Las variables de porcentaje y los conteos se transformaron de acuerdo con el procedimiento descrito por Sampayo et al. (2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fase de establecimiento

En la última evaluación se encontró que todos los explantes de yemas terminales (YT) murieron por diversos factores de contaminación, mientras que, para los explantes de brotes epicórmicos (BE) se obtuvo 43 % de establecimiento efectivo (Cuadro 2).

**Establecimiento de yemas (YT).** Son pocos los estudios que reportan éxito en el establecimiento *in vitro* de árboles adultos de coníferas utilizando yemas apicales o axilares como explantes: De-Diego et al. (2008) en *Pinus pinaster* con árboles de 20 años, Cortizo et al. (2009) en *Pinus pinea* de 20-25 años, Parasharami et al. (2003) en *Pinus roxburghii* de 30 años y Selby et al. (2005) en *Picea sitchensis* de 2-33 años, lo cual contrasta con lo obtenido en este estudio.

**Cuadro 2.** Respuesta de establecimiento *in vitro* de dos tipos de explantes de árboles maduros de *P. leiophylla* a los 30 días de su cultivo.

Tipo de explante	Explantes no establecidos (%)				Explantes establecidos (%)
	Hongo	Bacteria	Oxidación	Total	
YT	8	29	63	100	0
BE	49	5	3	57	43

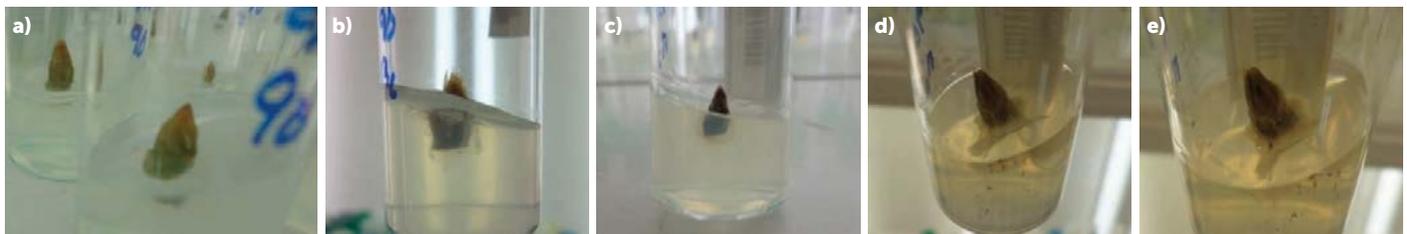
De acuerdo con los resultados, el principal factor de mortalidad de explantes de YT fue la oxidación de tejidos. En el medio de cultivo se formó un "halo", en la base del explante (Figura 2 b y c), ocasionado por la liberación de exudados y en los primeros 5 días de su cultivo, la mayoría de los explantes comenzaron a perder su color verde hasta oscurecerse totalmente. Tang y Newton (2004) indican que la oxidación se debe a la producción de exudados que pueden llegar a ser fitotóxicos para el explante. Aunque su naturaleza no es precisa, se conoce que son una mezcla compleja de sustancias fenólicas. El grado de oxidación depende del contenido de fenoles y estos se presentan en mayor cantidad en leñosas maduras (Pirttilä et al., 2008).

La muerte de YT ocasionada por hongos y bacterias (Figura 2 d y e) se pudo deber a que estos agentes contaminantes se encontraban adheridos al explante a través de la resina, puesto que los árboles donadores crecen directamente en campo y están expuestos a plagas, enfermedades y polvo (Hernández y González, 2010). Las bacterias pueden colonizar el interior del explante, lo que hace difícil detectarlos y eliminarlos, puesto que escapan de la esterilización superficial (Pirttilä et al., 2008).

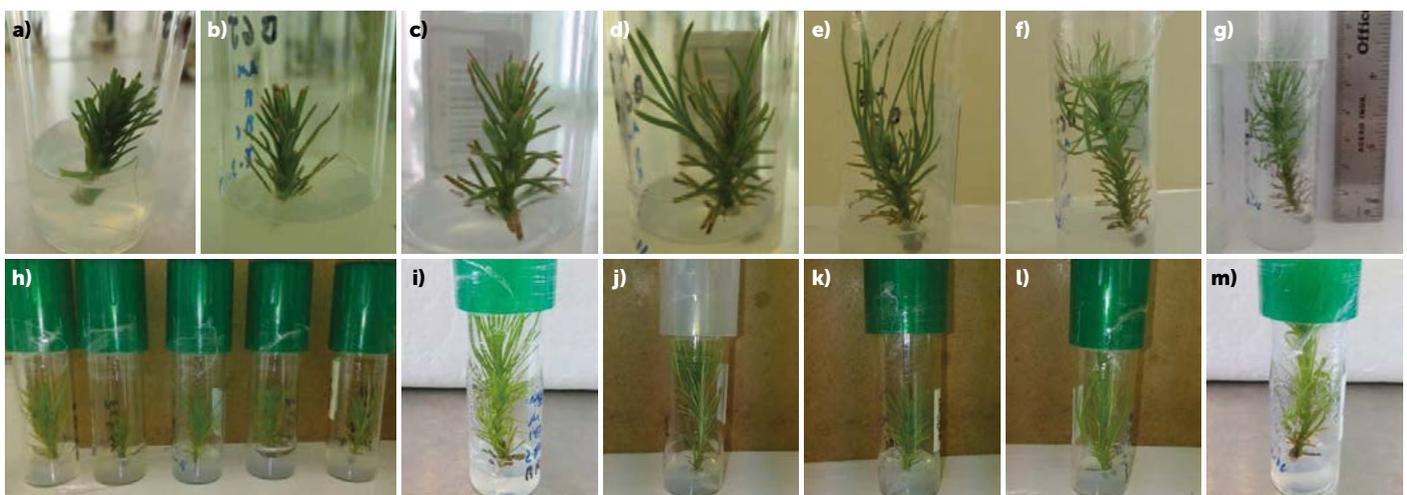
Los hongos se pudieron presentar porque es común que colonicen hojas, madera y corteza de los árboles donantes (Pirttilä et al., 2003).

Establecimiento de brotes epicórmicos (BE). Los explantes de árboles maduros, a los 7 días presentaban las mismas condiciones que al momento de su cultivo; a los 15 días algunos explantes comenzaron a emitir fascículos; a los 23 días iniciaron la brotación de acículas (Figura 3) y a los 30 días algunos ya habían desarrollado acículas nuevas e incrementado en longitud, como se muestra en la Figura 3f (el color amarillo representa el tamaño inicial y el rojo el crecimiento en 30 días).

Las gimnospermas son consideradas extremadamente difíciles de micro-propagar cuando pasan de un desarrollo vegetativo juvenil a uno reproductivo (Day y Greenwood, 2011), puesto que sus características morfológicas, fisiológicas, anatómicas y bioquímicas son distintas y afectan significativamente la propagación de las plantas (Baccarin et al., 2015). Bonga (2016) determinó que el cultivo *in vitro* de árboles maduros es posible cuando se emplea tejido con características juveniles, como son los BE (Hartmann et al., 2011).



**Figura 2.** Establecimiento *in vitro* de yemas apicales de árboles adultos de *P. leiophylla*. a) primer día de cultivo, b) y c) oxidación de yemas, d) y e) contaminación por bacteria.



**Figura 3.** Establecimiento *in vitro* de BE de árboles adultos de *P. leiophylla*. a) Primer día de cultivo, b) 7 días, c) 15 días, d) 23 días, e-m) 30 días.

Son pocas las especies de coníferas que presentan de forma natural BE como *P. leiophylla* (Bonga, 2010; Jiménez y Zwiazek, 2014) y todavía son menos los casos en los que se ha logrado el establecimiento de este tipo de explantes de árboles maduros, tal es el caso de *Araucaria cunninghamii* (Burrows, 1990), *Sequoia sempervirens* (Arnaud et al., 1993), *Picea sitchensis* (Selby et al., 2005).

### Fase de multiplicación

El medio de cultivo tuvo un efecto estadísticamente significativo ( $P \leq 0.05$ ) en la inducción de brotes adventicios, pero no así la edad de la planta donadora del explante (Cuadro 3).

**Factor medio de cultivo.** La presencia de BA y ANA en el medio de cultivo promovió la inducción de brotes adventicios, en contraste con el medio sin estos RCV (MS1). Aunque no hubo diferencias estadísticas entre las concentraciones de RCV, se observa la tendencia de que a mayor concentración de RCV, mayor inducción de brotes adventicios en los explantes de *P. leiophylla* establecidos *in vitro*, esto se debe a que los nutrientes del medio de cultivo son asimilados y empleados en la producción de brotes nuevos (De-Feria et al., 2009). La diferencia entre la concentración media y alta fue menor con respecto a la concentración baja, esto se puede deber a que la BA es el RCV más usado en organogénesis y su concentración juega un rol importante en la respuesta del explante; a este respecto, las concentraciones utilizadas pudieron ser insuficientes para observar diferencias, como en el caso de multiplicación de árboles adultos de *Pinus brutia* y *Pinus radiata* Zhang et al. (2003) aplicaron hasta 25  $\mu\text{M}$  de BA para obtener respuesta or-

ganogénica y en este estudio, para *P. leiophylla* se aplicó máximo 17.76  $\mu\text{M}$  (MS4).

Las citocininas son efectivas en la promoción directa o indirecta de iniciación de brotes, un balance entre citocininas y auxinas normalmente da una mayor respuesta organogénica (Van-Staden et al., 2008), aunque también se debe considerar que los efectos varían de acuerdo a la concentración y tipo de citocinina y a la respuesta de cada especie en particular (De-Feria et al., 2009).

El medio no tuvo efecto en el número y longitud de brotes adventicios. Sin embargo, Selby et al. (2005) obtuvieron 3 brotes en promedio con 10  $\mu\text{M}$  de BA en arboles de *P. sitchensis* de entre 2-33 años, menor a lo obtenido para *P. leiophylla* con 4-5 brotes adventicios por explante para los tres medios probados (MS2, MS3 y MS4) (Cuadro 3). Por su parte, De-Feria et al. (2009) obtuvieron 7 brotes adventicios por explante de *Pinus caribaea* en un medio con 6.6  $\mu\text{M}$  de BA; De-Diego et al. (2008) obtuvieron mejores resultados, 22 brotes adventicios por explante, en *Pinus pinaster* de más de 20 años al probar una concentración de 25  $\mu\text{M}$  de BA y al probar 50  $\mu\text{M}$  de BA solo indujo 17 brotes, lo que indica que también existe un umbral límite superior en el que a cierta concentración de citocinina va reduciendo su potencial de organogénesis.

A pesar de que las diferencias en el crecimiento del explante no fueron significativas, se observó que en el MS1 el explante tuvo mayor longitud, con 1.9 cm y en los medios MS2, MS3 y MS4 se observó una tendencia inversa entre el crecimiento de los explantes y la concentración

**Cuadro 3.** Efecto de los tratamientos probados en el crecimiento del explante, inducción, número y longitud de brotes adventicios y contaminación de *P. leiophylla* a los 30 días de su cultivo *in vitro*.

Factor	CE (cm)	Brotes adventicios			Contaminación (%)		
		Inducción (%)	Núm.	Long. (mm)	H	B	O
<b>Explante</b>							
BEAM	0.5±0.1a	20±2.3a	2±1.3a	2.9±0.5a	7.5±1.4	2.5±0.0	25±1.0
BEAJ	1.4±0.5a	20±1.9a	4±1.0a	4.4±0.4a	0.0±0.0	2.5±0.6	12.5±2.6
<b>Medio</b>							
MS1	1.9±1.1a	00±0.0b	-	-	5.0±2.6	0.0±0.0	15±0.5
MS2	0.7±0.4a	15±0.5a	5±1.1a	3.6±1.6a	0.0±0.0	0.0±0.0	20±0.3
MS3	0.6±0.3a	30±0.0a	4±1.8a	3.8±0.1a	0.0±0.0	10±2.6	10±5.3
MS4	0.5±0.2a	35±0.3a	4±1.4a	3.5±0.6a	10±5.3	0.0±0.0	5.0±2.6

Las letras minúsculas diferentes en columnas, indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ). BEAM=brote epicórmico de árbol maduro; BEAJ=brote epicórmico de árbol juvenil; CE=crecimiento del explante; Núm.=número; Long.=longitud; H=hongo; B=bacteria; O=oxidación; MS1, MS2, MS3 y MS4=Murashige Skoog (1962) sin hormonas, concentración baja, media y alta, respectivamente.

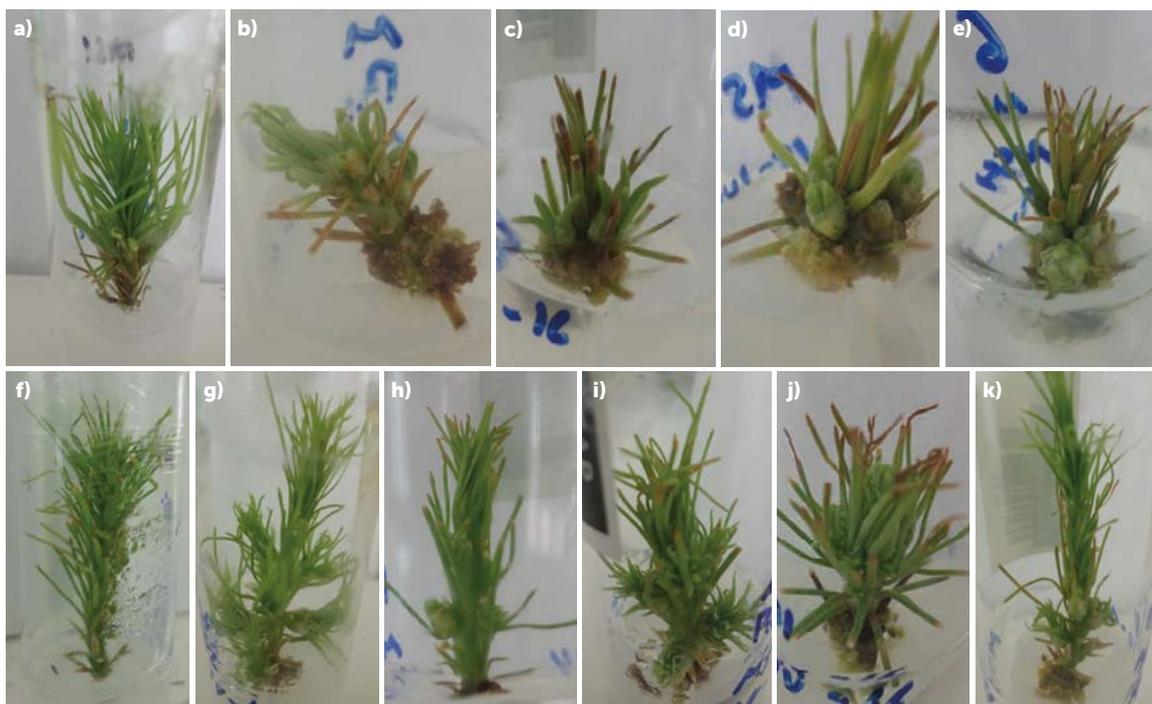
de RCV en el medio (0.7, 0.6 y 0.5 cm, respectivamente). Esta tendencia se observó en explantes de *Pinus caribaea* cultivados *in vitro*, al aumentar la concentración de BA fue disminuyendo la longitud del explante (De-Feria *et al.*, 2009), ya que Van-Staden *et al.* (2008) mencionan que al utilizar altas concentraciones de citocininas, los brotes producidos, reducen el desarrollo en longitud del explante; debido a que los nutrientes asimilados se emplean principalmente en la producción de brotes nuevos De-Feria *et al.* (2009), mientras que cuando están ausentes los RCV, los nutrientes son utilizados para el crecimiento del explante.

**Factor explante.** Aunque el explante no mostró efecto significativo en las variables evaluadas durante la fase de multiplicación, los resultados indican que el crecimiento del explante (longitud) de los BEAJ, presentaron 0.9 cm más que los explantes de BEAM, además tuvieron la capacidad de formar brotes adventicios al igual que los BEAJ. Los resultados de inducción de brotes adventicios en BEAM son similares a lo obtenido con árboles adultos de *Sequoia sempervirens* (Arnaud *et al.*, 1993), *Picea sitchensis* (Selby *et al.*, 2005) y *Quercus robur* (Martínez *et al.*, 2012). Chang *et al.* (2001) obtuvieron en *Taxus mairei*, 52 y 49% de inducción de brotes adventicios para árboles maduros y juveniles, respectivamente; sin embargo, Lapp *et al.* (1996) reportan que la tasa de

producción de brotes adventicios de *Pinus monticola* declinó con la edad del árbol donador y obtuvo 19 a 13% de inducción, un resultado por debajo a lo obtenido para *P. leiophylla*.

Los explantes obtenidos de árboles maduros generan bajo porcentaje de inducción de brotes *in vitro*, en comparación a otros explantes tales como: embriones sigóticos maduros o inmaduros, cotiledones o semillas, con lo que se ha obtenido alta respuesta en la inducción de brotes (Parasharami *et al.*, 2003). Alonso *et al.* (2006) reportan 100% de inducción de brotes en *Pinus pinea* a partir de cotiledones; Zhu *et al.* (2010) obtuvieron 93 % con plántulas de 4 semanas de germinación de *Pinus massoniana*, no obstante, muchas de las características de interés no pueden ser evaluadas hasta que los árboles llegan a la fase de madurez (Greenwood, 1995). Los brotes inducidos en *P. leiophylla* presentaron características externas similares en ambas fuentes (maduros y juveniles), con una yema apical para su crecimiento primario y el desarrollo de la parte aérea de una nueva planta, aunque los brotes adventicios de explantes juveniles mostraron más rápidamente el desarrollo de hojas nuevas (Figura 4).

El número de Ba obtenidos para *P. leiophylla* fue de 4 para BEAJ y 2 para BEAM. El número de brotes en



**Figura 4.** Inducción de brotes adventicios de explantes cultivados *in vitro* de *P. leiophylla*. Las imágenes superiores corresponden a explantes de árboles maduros y las inferiores a juveniles. a) MS1, b) MS2, c) MS3, d) y e) MS4, f) MS1, g) MS2, h) MS3, i-k) MS4.

árboles maduros es similar a lo obtenido por diversos autores: Selby et al. (2005) observó en árboles de *Pinus sitchensis* de 33 años solamente 2 brotes y de 20 años, 5 brotes *in vitro*; Parasharami et al. (2003) en árboles de 30 años de *Pinus roxburghii* obtuvieron 5-6 brotes adventicios. En contraste, Alonso et al. (2006), al utilizar una fuente de explantes ontogénicamente juvenil (cotiledones), obtuvieron 33 brotes de *Pinus pinea* por explante. En cuanto a la longitud de los brotes adventicios, los explantes presentaron mayor longitud cuando se obtuvieron de árboles juveniles (4.4 mm) en comparación con los de árboles maduros (2.9 mm) (Cuadro 3).

## CONCLUSIONES

**Se logró** el establecimiento *in vitro* de BE de árboles de más de 28 años de edad de *Pinus leiophylla* en un medio MS. Estos explantes también presentaron una respuesta similar a los de una fuente juvenil (2 años) en las variables de longitud del explante, inducción, número y longitud de brotes adventicios; sin embargo, los explantes de árboles juveniles, mostraron los mayores valores promedio en su respuesta organogénica. La aplicación de RCV (BA-ANA) en el medio, indujo el desarrollo de brotes adventicios en comparación con los medios sin RCV. El avance obtenido en esta investigación permitirá continuar dicho procedimiento para después de multiplicar el mismo genotipo *in vitro*, establecer muestras para enraizamiento y posterior aclimatación.

## LITERATURA CITADA

- Alonso P., Moncaleán P., Fernández B., Rodríguez A., Centeno M.L., Ordás R.J. 2006. An improved micropropagation protocol for stone pine (*Pinus pinea* L.). *Annals of Forest Science* 63: 879-885. doi: 10.1051/forest:2006071.
- Arnaud Y., Franclet A., Tranvan H., Jacques M. 1993. Micropropagation and rejuvenation of *Sequoia sempervirens* (Lamb) Endl: A review. *Annales des sciences forestieres* 50: 273-295.
- Baccarin F.J.B., Brondani G.E., de Almeida L.V., Vieira I.G., de Oliveira L.S., De-Almeida M. 2015. Vegetative rescue and cloning of *Eucalyptus benthamii* selected adult trees. *New Forests* 46: 465-483. doi: 10.1007/s11056-015-9472-x.
- Bonga J.M. 1981. Organogenesis *in vitro* of tissues from mature conifers. *In vitro* 17: 511-518. doi: 10.1007/BF02633512.
- Bonga J.M., Klimaszewska K.K., von Aderkas P. 2010. Recalcitrance in clonal propagation, in particular of conifers. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 100: 241-254. doi: 10.1007/s11240-009-9647-2.
- Bonga J.M. 2016. Can explant choice help resolve recalcitrance problems in *in vitro* propagation, a problem still acute especially for adult conifers? *Trees* 1-9. doi: 10.1007/s00468-016-1509-z.
- Burrows G.E. 1990. Anatomical aspects of root bud development in hoop pine (*Araucaria cunninghamii*). *Australian Journal of Botany* 38: 73-78. doi: 10.1071/BT9900073.
- Cortizo M., de Diego N., Moncaleán P., Ordás R.J. 2009. Micropropagation of adult stone pine (*Pinus pinea* L.). *Trees* 23: 835-842. doi: 10.1007/s00468-009-0325-0.
- Chang S.H., Ho C.K., Chen Z.Z., Tsay J.Y. 2001. Micropropagation of *Taxus mairei* from mature trees. *Plant Cell Reports* 20: 496-502. doi: 10.1007/s002990100362.
- Day M.E., Greenwood M.S. 2011. Regulation of ontogeny in temperate conifers. In: Meinzer, F. C., Lachenbruch, B., Dawson T. D. (Eds.), *Size-and age-related changes in tree structure and function* (pp. 91-119). Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-94-007-1242-3\_4.
- De-Diego N., Montalbán I.A., Fernández de Larrinoa E., Moncaleán P. 2008. *In vitro* regeneration of *Pinus pinaster* adult trees. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 2607-2615. doi: 10.1139/X08-102.
- De-Feria M., Chávez M., Barbón R., La M., Pérez M., Jiménez-Terry F., Agramonte D. 2009. Multiplicación *in vitro* de plantas de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. *Biotechnología Vegetal* 9: 217-224.
- Greenwood M.S. 1995. Juvenility and maturation in conifers: current concepts. *Tree Physiology*, 15: 433-438. doi:10.1093/treephys/15.7-8.433.
- Hartmann T.H., Kester E.D., Davies J.T.F. Geneve L.R. 2011. *Plant propagation principles and practices* (18 Ed.). New Jersey: Prentice Hall. 915 p.
- Hernández Y., González M.E. 2010. Efectos de la contaminación microbiana y oxidación fenólica en el establecimiento *in vitro* de frutales perennes. *Cultivos Tropicales* 31: 58-69.
- Jasso M.J., López U.J., Jiménez C.M., Jacob C.V. 1993. Evaluación fenológica vegetativa de *Pinus leiophylla* en un huerto semillero. In: SOMEFI (Ed.). *Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales* (pp. 97-98). Saltillo, Coahuila, México.
- Jiménez C.M., Zwiasek J.J. 2014. Adventitious sprouting of *Pinus leiophylla* in response to salt stress. *Annals of Forest Science* 71: 811-819.
- Lapp M.S., Malinek J., Coffey M. 1996. Microculture of western white pine (*Pinus monticola*) by induction of shoots on bud explants from 1 to 7-year-old trees. *Tree Physiology* 16: 447-451.
- López M.R.G., Sospedra R.S., Suarez S.G., Jiménez A.L.N. 2003. Utilización de brotes epicórmicos para la propagación clonal *in vitro* de *Eucalyptus saligna*. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 24: 239-244.
- Martínez T., Vidal N., Ballester A., Vieitez A.M. 2012. Improved organogenic capacity of shoot cultures from mature pedunculate oak trees through somatic embryogenesis as rejuvenation technique. *Trees* 26: 321-330. doi: 10.1007/s00468-011-0594-2.
- Parasharami V.A., Poonawala I.S., Nadgouda R.S. 2003. Bud break and plantlet regeneration *in vitro* from mature trees of *Pinus roxburghii* Sarg. *Current Science-Bangalore* 84: 203-207.
- Pirttilä A.M., Podolich O., Koskimäki J.J., Hohtola E., Hohtola A. 2008. Role of origin and endophyte infection in browning of bud-derived tissue cultures of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 95: 47-55. doi: 10.1007/s11240-008-9413-x.

- Pirttilä A.M., Pospiech H., Laukkanen H., Myllylä R., Hohtola A. 2003. Two endophytic fungi in different tissues of Scots pine buds (*Pinus sylvestris* L.). *Microbial Ecology* 45: 53-62. doi: 10.1007/s00248-002-1038-8.
- Sampayo M.S., Jasso M.J., Jiménez C.M., López U.J., Castillo M.C., Sánchez M.V. 2016. Efecto del medio de cultivo en la propagación *in vitro* de genotipos de *Cedrela odorata* L. *Agroproductividad* 9: 62-69.
- Selby C., Watson S., Harvey B.M. 2005. Morphogenesis in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) bud cultures—tree maturation and explants from epicormic shoots. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 83: 279-285. doi: 10.1007/s11240-005-7016-3.
- Tang W., Newton R.J. 2004. Increase of polyphenol oxidase and decrease of polyamines correlate with tissue browning in Virginia pine (*Pinus virginiana* Mill.). *Plant Science* 167: 621-628. doi:10.1016/j.plantsci.2004.05.024.
- Van-Staden J., Zazimalova E., George E.F. 2008. Plant growth regulators II: cytokinins, their analogues and antagonists. *In: George E.F., Hall M.A., de Klerk G.J (Eds.). Plant propagation by tissue culture.* Dordrecht: Springer. pp. 205-226.
- Wendling I., Trueman S.J., Xavier A. 2014. Maturation and related aspects in clonal forestry. Part II: Reinvigoration, rejuvenation and juvenility maintenance. *New Forests* 45: 473-486. doi: 10.1007/s11056-014-9421-0.
- Zhang H., Horgan K.J., Reynolds P.H.S., Jameson P.E. 2003. Cytokinins and bud morphology in *Pinus radiata*. *Physiologia Plantarum* 117: 264-269. doi: 10.1034/j.1399-3054.2003.00026.x.



# USOS Y POSIBILIDAD DE CULTIVO DE LA SAYA (*Amoreuxia* spp.) EN EL NOROESTE DE MÉXICO

## USES AND POSSIBILITY OF CULTIVATION OF SAYA (*Amoreuxia* spp.) IN THE NORTHWEST OF MEXICO

Celaya-Michel, H.<sup>1\*</sup>; Valdez-Domínguez, R.D.<sup>1</sup>; Sosa-Castañeda, J.<sup>1</sup>; Morales-Munguía, J.C.<sup>1</sup>; Barrera-Silva, M.A.<sup>1</sup>; Rueda-Puente, E.O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería. Carretera Bahía de Kino km 18.5, Hermosillo, Sonora, México.

\*Autor de correspondencia: hernan.celaya@unison.mx

### ABSTRACT

Saya (*Amoreuxia* spp.) was a plant consumed by ethnic groups in the past and by the first colonizers, but even today, in regions of the northwest of Mexico it is still consumed. Two species of the genus *Amoreuxia* are listed in NOM-O59-SEMARNAT-2010: *A. palmatifida* and *A. wrightii*. Despite the recognition for several decades of its potential as a food, as fodder for fauna or domestic livestock, its importance in the functioning of the ecosystem, its medicinal use and possible ornamental use; Many aspects of propagation, growth and productivity under the agronomic management of the saya are unknown. In this work the results of growth and productivity of *A. palmatifida* are shown under experimental botanical garden soil with drip irrigation. Extrapolating our results to agricultural conditions, we estimate a productivity of 20,000 tuberous saya roots per hectare and 3,100,000 seeds per hectare. With these results we can think that it is viable germination and production strategies in agricultural plots with drip irrigation, previous obtaining of the corresponding permits on the SEMARNAT, which could allow obtaining propagules, both from tuberous roots and saya seeds, to be used in the ecological restoration of degraded lands or for harvesting programs as a new crop.

**Keywords:** Edible wild plant, new crop, species at risk.

### RESUMEN

En el pasado, la saya (*Amoreuxia* spp.) fue una planta consumida por los grupos originarios del noreste de México y por los primeros colonizadores, y aun hoy en día, se sigue consumiendo en esta región. Dos especies del género *Amoreuxia* se encuentran enlistadas en la NOM-O59- SEMARNAT-2010: *A. palmatifida* y *A. wrightii*. A pesar del reconocimiento desde hace varias décadas de su potencial como alimento, como forraje para fauna o ganado doméstico, de su importancia en el funcionamiento del ecosistema, de su uso medicinal y posible uso ornamental, se desconocen muchos aspectos de la propagación, crecimiento y productividad bajo manejo agronómico de la saya. En este trabajo se muestran los resultados de crecimiento y productividad de *A. palmatifida* bajo suelo de jardín botánico experimental con riego por goteo. Extrapolando nuestros resultados a condiciones agrícolas, estimamos una productividad de 20,000 raíces tuberosas de saya por hectárea y 3,100,000 semillas por hectárea. Con estos resultados podemos pensar en que es viable estrategias de germinación y producción en parcelas agrícolas con riego por goteo, previa obtención de los permisos correspondientes ante la SEMARNAT, que podrían permitir la obtención de propágulos, tanto de raíces tuberosas como semillas de saya, para utilizarse en la restauración ecológica de terrenos degradados ó para programas de aprovechamiento como un nuevo cultivo.

**Palabras clave:** Planta silvestre comestible, nuevo cultivo, especie en riesgo.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 137-142.

**Recibido:** abril, 2018. **Aceptado:** julio, 2018.



## INTRODUCCIÓN

La especie *Amoreuxia palmatifida* Moc. y Sessé ex DC. Tiene varios nombres comunes: saya (Schultz, 1998; Felger et al., 2013), saiya, sairya, temaqui (Hodgson, 2001) y zaya (León de la Luz y Coria, 1992), entre otros. Estos nombres comunes en algunos casos son usados indistintamente para otras especies del género como *Amoreuxia wrightii* A. Gray y *Amoreuxia gonzalezii* Sprague & Riley. Las partes de la saya, como son sus raíces tuberosas, hojas, flores frutos y semillas son comestibles (Hodgson, 1989; Hodgson, 1993; Tull, 2013).

La saya es una planta que sirvió de alimento y como planta medicinal a los primeros pobladores de tribus precolombinas de Norteamérica (Palmer, 1878; Felger y Moser, 1976). Relatan que la raíz tuberosa era consumida sola, fresca o cocinada junto a productos de origen animal cazados en tierra firme, como el venado u otros obtenidos del mar, como la tortuga marina, por los Yaquis y Seris, en Sonora, México; y grupos indígenas de Arizona, en Estados Unidos, consumían igualmente saya (Palmer, 1878). Otra forma de consumo era la raíz tuberosa deshidratada, colocada en rodajas en collares, cuando se realizaban caminatas por los miembros de la tribu, y se disponía de ellas para alimentación durante esas travesías en zonas áridas. Incluso sus semillas secas sirvieron de bebida tipo café o té para etnias del noroeste de México (Gentry, 1963).

Cuando los colonizadores españoles llegaron, les sirvió de alimento, incluso cuando se presentaron hambrunas, se ha documentado el consumo de saya en el pasado en los estados Mexicanos de Baja California (Aschmann, 1959; Gentry, 1963), Sonora (Watson, 1889; Beals, 1945; Felger y Moser 1976), Chihuahua y Sinaloa (Palmer, 1878; Havard, 1895).

Como planta medicinal se menciona que fue usada para picaduras de la araña viuda negra, para la diabetes y para el estreñimiento (Poppendieck, 2003; Estrada, 2004; Castro et al., 2012; Van Devender y Reina-Guerrero, 2013).

Además, esta planta al no contar con espinas ni defensas químicas, permite a animales como iguanas, tortugas, jabalíes, venados y ganado doméstico, que la consuman con facilidad (Yetman y Van Devender, 2002; Hodgson, 2001; Cedano y Villaseñor, 2004). Es probable que esta característica, aunada al sobrepastoreo de ecosistemas

naturales y desmontes (Bryant et al., 1990; Búrquez et al., 2002; Velázquez et al., 2002), la haya llevado a ver afectadas sus poblaciones naturales y a justificarse su inclusión en la lista de especies bajo protección. Además, insectos, como las abejas y hormigas que se observaron polinizando y movilizándolo biomasa o semillas de saya (Celaya-Michel et al., 2017). Lo anterior aumenta la importancia de la saya a nivel ecosistema, incluso para la restauración de terrenos degradados.

Desde hace décadas varios autores han sugerido el potencial de uso de esta planta y algunos aspectos sobre germinación y manejo agronómico (Gentry 1959; Hodgson, 2001; Yetman y Van Devender, 2002; Tull, 2013). Hodgson (2001) cita problemas para germinar semillas de esta especie, en tanto que Gentry (1959) plantó semillas y no observó germinación alguna, similar a lo observado por Aschmann (1959).

Castro et al. (2012), documenta el consumo de la saya (*Amoreuxia* spp.) en la región norte de Sinaloa, México, mediante la recolección de sus raíces y la comercialización en mercados tradicionales durante los meses de verano. Se acostumbra como alimento y con fines medicinales, los autores reconocen la importancia del estudio de estas especies para su posterior aprovechamiento con técnicas modernas de agricultura.

Actualmente la saya está dentro de la Norma Oficial Mexicana 059, bajo estatus de "sujeta a protección especial", debido a la disminución de sus poblaciones naturales, al igual que *Amoreuxia wrightii* A. Gray "en peligro de extinción" (SEMARNAT, 2010; Van Devender et al., 2010). A diferencia que en los Estados Unidos, solo *Amoreuxia gonzalezii* Sprague & Riley se encuentra bajo protección (Tull, 2013). La saya crece en 20 estados de la República Mexicana (Cedano y Villaseñor, 2004).

Poco se sabe sobre los impactos ecológicos de las actividades ganaderas, relativo la biodiversidad natural de las plantas, como la saya, y el funcionamiento de ecosistemas (Castellanos-Villegas et al., 2010). Hay evidencias de que el sobrepastoreo del noroeste árido y semiárido de México pone en riesgo la biodiversidad de plantas, donde puede estar incluida la saya (Camou, 1990; Bryant et al., 1990; Manríquez, 2001), además de las prácticas ganaderas de eliminación de la mayor parte de las plantas mediante desmontes para siembra de zacates exóticos (Búrquez et al., 2002; Velázquez et al., 2002).

Hay poca información reciente sobre *Amoreuxia palmatifida*. Destaca sobre la germinación de sus semillas, resultados positivos obtenidos mediante el lijado de las mismas (Celaya-Michel et al., 2017). Esto abre una oportunidad para la obtención de propagulos que complementen posibles programas de recuperación de la especie en ecosistemas naturales, además de su posible estudio como cultivo agronómico.

En 2015 se publicó una revisión de usos y nombres comunes de especies de la familia Cochlospermaceae de México, donde se incluye la saya (Maldonado e Ibarra, 2015). Para *Amoreuxia wrightii*, otra especie también denominada saya, que igualmente se encuentra en estatus de peligro de extinción, de acuerdo a la NOM-059 (SEMARNAT, 2010), se publicó una caracterización de poblaciones naturales, sus preferencias edáficas y de vegetación asociada (Soto-Mata et al., 2018).

Se ha documentado un nuevo registro de *Amoreuxia gonzalezii* en la península de Baja California, aunque esta especie no está sujeta a protección alguna en México, pero si en los Estados Unidos (Pío-León y Ortega-Rubio, 2014).

Además, *Amoreuxia palmatifida* aparece como especie anecdótica en artículos de estudios diversos, donde se hace mención de ella, debido a su estatus de protección, aunque no haya sido la parte central del trabajo en cuestión (Vega-Mares et al., 2014; Ramírez-García et al., 2015; Wurl et al., 2017).

Hoy en día es necesario tramitar permisos especiales ante las autoridades de la SEMARNAT, ante cualquier plan de colecta de semillas, manejo, experimentación, aprovechamiento, etc., que se pretenda realizar con las especies *A. palmatifida* y *A. wrightii* por estar dentro de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010). Otras especies no enlistadas en dicha norma oficial, como es el caso de *A. gonzalezii*, también requieren permisos ante las autoridades, para algunos de estos puntos, como, por ejemplo, para la colecta de semillas. Sin embargo, los requisitos son menores, al no estar catalogadas como especies en riesgo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue el campo experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora, México. El sitio consta de 244 hectáreas de extensión en las coordenadas 29° 00' 55" latitud Norte y 110° 07'59" longitud Oeste. La vegetación original predominante es matorral, pero ha sido transformada a terrenos agrícolas y áreas desmontadas para pastoreo de ganado bovino. Se obtuvo el permiso de colecta de la SEMARNAT con número de oficio SGPA/DGVS/09068/16, emitido en la Ciudad de México en agosto de 2016; se colectaron semillas de saya (*Amoreuxia palmatifida*) dentro del campo experimental. La temperatura media anual es de 25.2 °C. La temperatura máxima se registra en el mes de junio y la mínima se registran en febrero. La precipitación media anual es de 378 mm (INEGI, 2014).



**Figura 1.** Parcela experimental de saya establecida en Jardín Botánico, con riego por goteo, en el Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora, México.

Se llevó a cabo el crecimiento en jardín botánico experimental (Figura 1), mediante la germinación de plantas de saya, previamente lijadas de forma manual con lija fina, durante 30 repeticiones, con riego por goteo. Se utilizó una semilla sembrada cada 50 cm sobre surcos de un total de 40 metros de largo, cada uno, y separados un metro entre sí. La lámina de riego aplicada fue de 1.0 cm por semana.

Las plantas crecieron durante tres meses, de septiembre a noviembre. Se muestrearon 30 plantas al azar para obtener la información de altura de la planta, ancho del dosel foliar, peso de la raíz tuberosa, peso de la semilla, semillas producidas por planta. Las mediciones se realizaron con cinta métrica y los pesajes fueron en una balanza analítica marca Ohaus de 110 gramos de capacidad y en una balanza granataria marca Ohaus 2610 gr de capacidad. Se utilizaron criterios de área y aritmética para extrapolar las mediciones a nivel parcela a hectárea.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el jardín botánico experimental se obtuvo la germinación del 75% de las semillas de saya, previamente lijadas. Los parámetros productivos de crecimiento de saya se pueden apreciar en el Cuadro 1, donde destaca que

en tres meses de las raíces tuberosas pesaron en promedio 128.66 g y cada planta produjo en promedio 155 semillas. Cabe mencionar que aún es necesario más investigación de manejo agronómico de fechas de siembra, densidades de siembra, riegos y fertilización, de la saya como cultivo agrícola. Pero nuestros datos nos permiten hacer extrapolaciones para tener una primera aproximación a la productividad por hectárea de la saya. Estimamos

que podría haber por hectárea 20,000 plantas, 2,573 kg de raíces tuberosas, 3,100,000 semillas, entre otros datos (Cuadro 1).

Se observó que, en noviembre, con cambios marcados en condiciones meteorológicas, la planta de saya entró en latencia estacional, por lo que para futuros trabajos se recomienda germinar las semillas de saya más temprano, por ejemplo, en el mes de mayo, para buscar tener un ciclo más largo de producción y exposición a la radiación solar, como lo visto en otros cultivos en el pasado (Monteith y Moss, 1977), con la expectativa de incrementar el número de semillas producidas, el tamaño de la planta y de sus raíces tuberosas.

Los resultados obtenidos para *Amoreuxia palmatifida*, de germinación y producción de semillas y raíces tuberosas, en suelo de jardín botánico, con riego por goteo, podrían ser estudiados para otras especies del mismo género como *A. wrightii* o *A. gonzalezii*, lo cual abre otras líneas de investigación futuras.

En la Figura 2, se puede apreciar un acercamiento a la planta de saya, la cual, principalmente por la belleza de sus flores, ha sido mencionada que podría tener

**Cuadro 1.** Parámetros de campo obtenidos con el crecimiento de saya, en jardín botánico experimental, y algunos datos extrapolados a nivel de hectárea, en el Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora, México.

Parámetro (unidades)	Valor
Altura de la planta (cm)	32.04
Ancho del dosel foliar (cm)	29.65
Peso de raíces tuberosas (g)	128.66
Peso de la semilla (g)	0.037
Semillas por planta por ciclo (número)	155
Plantas por surco de 100 m de largo (número)	200
Surcos por hectárea (número)	100
Plantas por hectárea (número)	20,000
Producción de raíces tuberosas por ha (kg)	2,573
Semillas por hectárea (número)	3,100,000
Producción de semilla por hectárea (kg)	114.70

la estabilidad de los ecosistemas, aunque a la fecha se desconocen aspectos básicos sobre propagación, crecimiento y productividad. En este artículo se reporta por primera vez el establecimiento de un experimento con *A. palmatifida* en suelo con riego por goteo, que evidencia la posibilidad de producir 20,000 raíces tuberosas por hectárea y 3,100,000 semillas por hectárea.

La saya podría recuperarse en ranchos ganaderos y campos agrícolas abandonados, mediante programas de multiplicación de propágulos, alineados a la normatividad oficial, para ser incorporados a terrenos degradados. La especie podría tener un uso ornamental, dada la belleza de su flor y sus condiciones de tolerancia a las condiciones áridas y semiáridas y ser parte de futuras investigaciones con enfoque agroecológico, por su interacción con insectos, como las abejas u hormigas,

con la fauna como jabalíes, tortugas, etc., y para el ganado doméstico. Es necesario realizar más investigaciones sobre aspectos de manejo agronómico de esta especie. Con la implementación de programas de cultivo de saya y propagación en terrenos degradados, si se lograra su recuperación, existiría la posibilidad de considerar retirarla de la lista de especies bajo protección.



**Figura 2.** Planta de saya en parcela de jardín botánico experimental en el Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora, México.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Agricultura y Ganadería, por el apoyo de los proyectos USO313002719, USO313002741 y USO313003110.

## LITERATURA CITADA

- Aschmann H. 1959. The Central Desert of Baja California: Demography and Ecology. University of California Press, Berkeley.
- Beals R.L. 1945. The contemporary culture of the Cábita Indians. Bureau of American Ethnology. Bulletin 142. US Government Printing Office. Washington.
- Bryant N.A., Johnson L.F., Brazel A.J., Balling R.C., Hutchinson C.F., Beck L.R. 1990. Measuring the effect of overgrazing in the Sonoran Desert. *Climatic Change*, 17, 243-264.
- Búrquez M.A., Miller M.E., Martínez Y.A. 2002. Mexican grasslands, thornscrub and the transformation of the Sonoran desert by invasive exotic buffelgrass (*Pennisetum ciliare*). En B. Tellman (Ed.), *Invasive Species in Sonoran desert Communities*. (pp. 126-146). University of Arizona Press.
- Camou E. 1990. Sonora: una ganadería para la exportación. *Revista de El Colegio de Sonora* 2: 126-132.
- Castellanos-Villegas A.E., Bravo L.C., Koch G.W., Llano J., López D., Méndez R., Rodríguez J.C., Romo R., Sisk T.D., Yanes-Arvalo G. 2010. Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semi-áridos. En F. E. Molina-Freaner, & T. R. Van Devender (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora*. (pp. 157-186). CONABIO-UNAM, México.
- Castro J.A., Zayas R.A., Sainz P., Romero M., Bojórquez F.R., Bojórquez O. 2012. El consumo de la zaya (*Amoreuxia* spp) una tradición cultural de la región del Évora en el estado de Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 30: 898-907.
- Cedano M., Villaseñor L. 2004. Usos y Nombres Comunes de las Especies de Cochlospermaceae en México. *Etnobiología* 4: 73-88.
- Celaya-Michel H., Ochoa-Meza A., López-Eliás J., Barrera-Silva M.Á. 2017. Germinación y crecimiento en vivero y en campo de zaya (*Amoreuxia palmatifida* DC.), una especie nativa amenazada en México. *European Scientific Journal* 13: 66-78.
- Estrada Z. 2004. Diccionario yaqui-español y textos: Obra de preservación lingüística. Plaza y Valdes.
- Felger R.S., Moser M.B. 1976. Seri Indian food plants: desert subsistence without agriculture. *Ecology of Food and Nutrition* 5: 13-27.
- Felger R.S., Wilder B.T., Romero-Morales H. 2013. Plant life of a Desert Archipelago: Flora of the Sonoran Islands in the Gulf of California. University of Arizona Press.
- Gentry H.S. 1963. The Warihio Indians of Sonora-Chihuahua: An ethnographic survey. Bureau of American Ethnology. Bulletin 186. U.S. Government Printing Office. Washington.
- Gentry H.S. 1959. Economic crops for arid lands. Unpublished manuscript, copy deposited at Desert Botanical Garden. Phoenix, Arizona.
- Havard V. 1895. Food plants of the North American Indians. *Bulletin of the Torrey Botanical Society* 22: 98-123.
- Hodgson W. 1993. Bixaceae, lipstick tree family. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 27: 188-189.
- Hodgson W.C. 1989. A tale of two saiyas: conserving plant lore and gene pools. *Agave*. 3: 12-14.
- Hodgson W.C. 2001. Food plants of the Sonoran Desert. University of Arizona Press.
- INEGI. 2014. Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Recuperado de [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx).
- León de la Luz J.L., Coria R. 1992. Flora Iconográfica de Baja California Sur. La Paz, BCS, México.
- Maldonado M.C., Ibarra L.V. 2015. Usos y nombres comunes de las especies de Cochlospermaceae en México. *Etnobiología* 4: 73-88.
- Manríquez M. 2001. Ernesto Camou Healy (1998): De rancheros, poquiteros, orejanos y criollos: los productores ganaderos de Sonora y el mercado internacional. *Región y Sociedad* 13: 195-199.
- Monteith J.L., Moss C.J. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B-Biological Sciences* 281: 277-294.
- SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México.
- Palmer E. 1878. Plants used by the Indians of the United States. *The American Naturalist*, 12: 593-606 y 646-655.
- Pío-León J.F., Ortega-Rubio A. 2014. Nuevo registro de *Amoreuxia gonzalezii* (Bixaceae) para la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 1269-1272.
- Poppendieck H.H. 2003. Cochlospermaceae. En K. Kubitzki, C. Bayer (Eds), *Flowering plants, dicotyledons: Malvales, capparales and Non-betain caryophyllales*. Heidelberg: Springer. pp. 71-74.
- Ramírez-García A.G., Sánchez-García P., Cruz-León A. 2015. Diagnóstico participativo para desarrollar un proyecto de turismo alternativo en la comunidad de Agiabampo, Huatabampo, Sonora, México. *Ra Ximhai* 11: 159-182.
- Schultz P. 1998. Gentry's Río Mayo Plants: The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico. University of Arizona Press.
- Soto-Mata B., Alanís-Rodríguez E., Jurado E., Pando-Moreno M., Molina-Guerra V., Alcalá-Rojas A., Marroquín-Castillo J.J. 2018. Caracterización del hábitat de *Amoreuxia wrightii* (Bixaceae), una especie en peligro de extinción en el noreste de México. *Acta Botanica Mexicana* 122:21-31.
- Tull D. 2013. *Edible and Useful Plants of the Southwest: Texas, New Mexico, and Arizona*. University of Texas Press.
- Van Devender T.R., Felger R.S., Fishbein M., Molina-Freaner F.E., Sánchez-Escalante J.J., Reina-Guerrero A.L. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares. En: Molina-Freaner F.E., Van Devender T.R. (Eds.). *Diversidad biológica del estado de Sonora*. (pp. 229-262). UNAM, México.
- Van Devender T.R., Reina-Guerrero A.L. 2013. In: Search of *Amoreuxia* and *Echinocactus* in Sonora. *The Plant Press. The Arizona Native Plant Society* 36: 1-3.
- Vega-Mares J.H., Estrada-Castillón A.E., Villarreal-Quintanilla J.Á., Martínez G.Q. 2014. Flora of the halophytic grasslands in the Valle de Janos, Chihuahua, Mexico. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 8: 151-163.

- Velázquez A., Mas J., Palacio J.L., Díaz J., Mayorga R., Alcántara C., Castro R., Fernández F. 2002. Análisis del cambio de uso del suelo en México. Informe Técnico de Proyecto 312.A-00215. Convenio INE-IGG (UNAM) 2002.
- Watson S. 1889. Upon a collection of plants made by Edward Palmer in 1887 about Guaymas, Mexico, at Mulege and Los Angeles Bay in Lower California, and on the island of San Pedro Martir in the Gulf of California. Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences 24: 36-82.
- Wurl J., Martínez-García C.N., Imaz-Lamadrid M.Á. 2017. Respuesta hidrológica al cambio climático en regiones áridas: caso de estudio en los Comondú, Baja California Sur, México. Hidrobiológica 27: 13-22.
- Yetman D., Van Devender T.R. 2002. Mayo ethnobotany: land, history, and traditional knowledge in northwest Mexico. University of California Press.



# INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

## PROGRAMA DE MAETRÍA EN CIENCIAS

### Objetivo

Formar talento humano con conocimiento de vanguardia en los procesos de producción, transformación y comercialización, que cuenten con habilidades y actitudes pertinentes, que les permitan contribuir al desarrollo e innovación tecnológica, socioeconómica y ambiental de los sistemas agroalimentarios, bajo una perspectiva sustentable.

### Perfil de ingreso

El aspirante a la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable debe tener estudios concluidos de licenciatura o ingeniería en las áreas de agronomía, biología, veterinaria, agroindustria, alimentos, química, maquinaria, estadística, economía, psicología, sociología, administración y carreras afines.



### Lineas del Conocimiento (LGAC)

Las líneas de investigación del programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable se dividen en tres ejes principales:

**1** Eficiencia y sustentabilidad en la producción primaria en sistemas agroalimentarios

**2** Innovación y desarrollo de procesos agroalimentarios para el bienestar social

**3** Comercialización y competitividad agroalimentaria con responsabilidad social y ambiental



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC)

### Becas

Contamos con becas del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) del CONACYT

### Informes

Subdirección de Educación del Campus Córdoba  
☎ 01(271) 716 60 00 / 57 / 55 Ext. 114  
✉ admision\_cordoba@colpos.mx

Los requisitos de ingreso y formatos de admisión pueden ser obtenidos en la página web oficial [www.colpos.mx/posgrado/ias/index.php](http://www.colpos.mx/posgrado/ias/index.php)  
[www.colpos.mx](http://www.colpos.mx)

📍 Colegio de Postgraduados Campus Córdoba  
📘 Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable  
✉ [mcinnovaciones@colpos.mx](mailto:mcinnovaciones@colpos.mx)  
📍 Colegio de Postgraduados / Campus Córdoba  
km 348 / Carr. Federal Córdoba-Veracruz  
Amatlán de Los Reyes, Ver. / CP 94946

# CURSO INTERNACIONAL

## AUTOMATIZACIÓN Y USO DE **BIORREACTORES** PARA LA **MICROPROPAGACIÓN COMERCIAL DE PLANTAS**

*Embriogénesis somática: desafíos y oportunidades*

**DEL 11 AL 14 DE SEPTIEMBRE DE 2018**

**DURACIÓN: 30 horas • TIPO: Teórico-Práctico**

**SEDE:  
Colegio de Postgraduados | Campus Córdoba**

**Costo por participante | Estudiantes**  
**\$ 7,000.00 M.N. | \$3,500.00 M.N.**



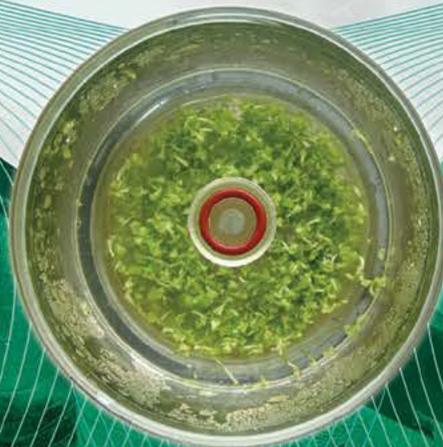
### INFORMES:

**Dr. Fernando C. Gómez Merino • Dr. Jericó J. Bello Bello**

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba  
Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348,  
Amatlán de los Reyes, Veracruz, C.P. 94946, México

Correo: [cursobiorreactores@gmail.com](mailto:cursobiorreactores@gmail.com)

Tel: (+52) 01 271 71 6 60 55 y 00  
Móvil: 271 105 85 06



Laboratorio de Cultivo  
de Tejidos Vegetales

# 1ª. CONFERENCIA NACIONAL SOBRE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE FAUNA SILVESTRE

ANFIBIOS / REPTILES / AVES / MAMÍFEROS  
AMENAZAS Y OPORTUNIDADES PARA LA BIODIVERSIDAD

Encuentro de Profesionistas, Manejadores,  
Estudiantes y Público en General interesados en  
el Manejo y Conservación de la Fauna Silvestre

**13-16  
noviembre  
de 2018**

Centro de Convenciones  
San Luis Potosí

Unidad de Posgrados e  
investigación  
Universidad  
Autónoma de  
San Luis Potosí

## INFORMES:

<http://www.conferenciafaunasilvestre.com>  
[informacion@conferenciafaunasilvestre.com](mailto:informacion@conferenciafaunasilvestre.com)



## COMITÉ EJECUTIVO

Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula - Presidente  
(Colegio de Postgraduados, Campus SLP)

Dr. Raúl Valdez - Vicepresidente  
(New Mexico State University)  
Dr. César Posadas Leal - Secretario  
(Universidad Autónoma de San Luis Potosí)

