

ZAPOTE MAMEY

[*Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn]

DIVERSIDAD Y USOS

pág. 47

Año 9 • Volumen 9 • Número 4 • abril, 2016

RECURSOS GENÉTICOS DE ANONÁCEAS (<i>Annonaceae</i>) EN MÉXICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS	3
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTO DE LA COLECCIÓN <i>ex situ</i> DE <i>Psidium guajava</i> L.	9
CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE VARIANTES SILVESTRES DE XOCONOSTLE (<i>Opuntia</i> spp.) DE ZACATECAS, MÉXICO	19
COLECTA Y CONSERVACIÓN <i>in vitro</i> Y <i>ex situ</i> DE RECURSOS FITOGENÉTICOS DE <i>Carica papaya</i> L.	28
EFFECTO DEL PROCESO DE DESHIDRATACION EN EL COLOR Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	33
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN CINCO VARIEDADES DE <i>Psidium guajava</i> L.	41

y más artículos de interés...

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 *itálicas*.

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, gráficas, diagramas y fotografías. Las fotografías deben ser de preferencia a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW.

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.

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS

CONEXOS, Año 9, Volumen 9, número 4, abril 2016, Agroproductividad 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. 04-2016-022412450500-102. ISSN: 01887394, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Impresa en México por Printing Arts México, S. de R. L. de C. V., Calle 14 no. 2430, Zona Industrial Guadalajara, Jalisco, México. CP 44940. Este número se terminó de imprimir el 30 de abril de 2016 con un tiraje de 3000 ejemplares.



Contenido

3	RECURSOS GENÉTICOS DE ANONÁCEAS (Annonaceae) EN MÉXICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS
9	CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTO DE LA COLECCIÓN <i>ex situ</i> DE <i>Psidium guajava</i> L.
19	CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE VARIANTES SILVESTRES DE XOCONOSTLE (<i>Opuntia</i> spp.) DE ZACATECAS, MÉXICO
28	COLECTA Y CONSERVACIÓN <i>in vitro</i> Y <i>ex situ</i> DE RECURSOS FITOGENÉTICOS DE <i>Carica papaya</i> L.
33	EFFECTO DEL PROCESO DE DESHIDRATACION EN EL COLOR Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)
41	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN CINCO VARIEDADES DE <i>Psidium guajava</i> L.
47	ZAPOTE MAMEY [<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) Moore & Stearn], DIVERSIDAD Y USOS
55	LA CONSERVACIÓN DE LOS ABALES (<i>Spondias purpurea</i> L.) Y SUS PARIENTES SILVESTRES EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN
63	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE <i>Gossypium hirsutum</i> L. EN EL VALLE DE MEXICALI
66	VALOR AGREGADO DEL NANCHE (<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H.B.K.)
72	DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO <i>Persea</i> Mill., EN MÉXICO
78	AJUSTE DE LAS ESCALAS ALFA NUMERICA Y BBCH A LA FENOLOGÍA FLORAL DEL MANGO ATAULFO (<i>Mangifera indica</i> L.)



Master Journal List
THOMSON REUTERS

Corrección de estilo: Hannah Infante Lagarda

Maquetación: 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.

Impreso en México • Printed in México

PRINTING ARTS MEXICO, S. de R. L. de C. V.

Calle 14 no. 2430, Zona Industrial

Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44940

Fax: 3810 5567

www.tegrafik.com

RFC: PAM991118 DGO

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.

Directorio

Said Infante Gil
Editor General del Colegio de Postgraduados

Rafael Rodríguez Montessoro[†]
Director Fundador

Jorge Cadena Iñiguez
Director de Agroproductividad

Comité Técnico-Científico

Colegio de Postgraduados—Montecillo
Ma. de Lourdes de la Isla
Dr. Ing. Agr. Catedrática Aereopollución

Ángel Lagunes T.
Dr. Ing. Agr. Catedrático Entomología

Enrique Palacios V.
Dr. Ing. Agr. Catedrático Hidrociencias

Colegio de Postgraduados—Córdoba
Fernando Carlos Gómez Merino
Dr. Ing. Agr. Biotecnología

Colegio de Postgraduados—San Luis Potosí
Fernando Clemente Sánchez
Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

Luis Antonio Tarango Arámbula
Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

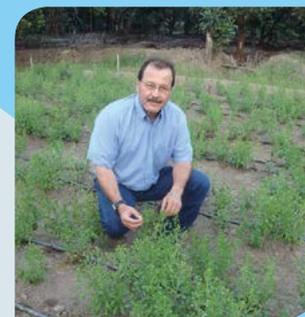
Instituto de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias
Pedro Cadena I.
Dr. Ing. Agr. Transferencia de Tecnología

Carlos Mallen Rivera
M. C. Director de Promoción y Divulgación

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura
Victor Villalobos A.
Dr. Ing. Agr. Biotecnología

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura
(Guatemala)
Manuel David Sánchez Hermosillo
Dr. Ing. Agr. Nutrición Animal y manejo de Pastizales

Servicio Nacional de Inspección y
Certificación de Semillas
(SNICS-SAGARPA)
Manuel R. Villa Issa
Dr. Ing. Agr. Economía Agrícola.
Director General



Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Editorial

Volumen 9 • Número 4 • abril, 2016.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD por sus siglas en inglés) es un instrumento jurídico internacional orientado a crear medidas para la conservación, aprovechamiento sustentable de la biodiversidad (BD), y distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su uso. Reconoce dentro de sus premisas el valor intrínseco de la BD, y valores ecológicos, genéticos, sociales, económicos, científicos, educativos, culturales, recreativos y estéticos de la misma; para ello, ha establecido como su principal objetivo, que la conservación y utilización sostenible de la BD tenga importancia crítica para satisfacer las necesidades alimentarias, de salud y de otra naturaleza de la población mundial en crecimiento, para lo que es esencial el acceso a los recursos genéticos, tecnologías, y participación en esos recursos y tecnologías. A nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar en diversidad biológica y cultural con alrededor de 22,000 especies endémicas y se considera que ha sido centro de origen y domesticación de entre 66 a 102 especies cultivadas y multiplicadas por sus diferentes variedades, con gran cantidad de razas, muchas de ellas semidomesticadas y abundancia de parientes silvestres. **AGRO PRODUCTIVIDAD** presenta en este número resultados de rescate, caracterización y bioprospección principalmente, de diferentes especies neotropicales asociadas a conocimiento tradicional que revisten particular importancia para México, bajo las premisas del Plan de Acción Nacional, derivado del Plan Mundial de la FAO, cuyo objetivo final es que a través de estrategias interdisciplinarias, se promueva la conservación, investigación y desarrollo de estos recursos, y contribuyan al conocimiento científico y desarrollo tecnológico, generando satisfactores para la sociedad, como recursos estratégicos de prioridad nacional. La invitación y reto en México, es construir redes de investigación interdisciplinarias que aborden mayor número de especies endémicas de México, siguiendo los aciertos del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) y las instituciones públicas y privadas que han estructurado en conjunto redes de trabajo científico y tecnológico.

Dr. Jorge Cadena Iñiguez
Director de **AGRO PRODUCTIVIDAD**

RECURSOS GENÉTICOS DE ANONÁCEAS (Annonaceae) EN MÉXICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

GENETIC RESOURCES OF SWEETSOP (Annonaceae) IN MÉXICO: CURRENT SITUATION AND PERSPECTIVES

Hernández-Fuentes, L.M.¹; Andrés-Agustín, J.²; Espíndola-Barquera, M.D. C.³; Castañeda-Vildózola, A.⁴; Ballesteros-Patrón, G.⁵; Vera-Sánchez, K.S.⁶

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Progreso # 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, México, D. F. C. P. 04010. ²Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Occidente. Periférico Paseo de la República No. 1000, Colonia Lomas del Valle, Morelia Michoacán. ³Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S. C. Ignacio Zaragoza, 3, Coatepec Harinas, Edo. De México. C. P. 51700. ⁴Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo Toluca 50200, Estado de México, México. ⁵Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano, Emiliano Hernández Benítez 612, Cd. Altamirano, Gro. ⁶Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Av. Presidente Juárez 13, El Cortijo, Tlalnepantla, Estado de México. C.P. 54000.

Autor de correspondencia: hernandez.luismartin@inifap.gob.mx

RESUMEN

Las anonáceas (Annonaceae) se ubican dentro las plantas más primitivas de las angiospermas, su origen es tropical con distribución en ambos hemisferios. En México se localizan en los estados del Centro, Golfo y Pacífico y se reconocen usos alimenticios, terapéuticos, conservación de agroecosistemas e insecticidas. El género *Annona* L., presenta 15 especies y mayor potencial agronómico en México. A través de la Red Mexicana de Anonáceas, se han recolectado, conservado y caracterizado especies tales como, *A. muricata*, *A. cherimola*, *A. diversifolia*, y *A. squamosa* las cuales se cultivan y conservan en huertos comerciales, traspatio y áreas naturales protegidas. Se tiene una colección de más de 381 accesiones distribuidas en bancos de la Fundación Salvador Sánchez Colín en Coatepec Harinas, Estado de México, el Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano en Guerrero, Campo Experimental Santiago Ixcuintla y Cotaxtla en Nayarit y Veracruz, respectivamente, y Universidad Veracruzana en Actopan, Veracruz. Las anonáceas en México han sido poco exploradas, sin embargo, por su diversidad de usos se ubican como cultivos alternos a frutales que han perdido rentabilidad económica.

Palabras clave: anonas, usos, recursos genéticos.

ABSTRACT

Sweetsops (Annonaceae) are found within the most primitive plants among angiosperms, their origin is tropical with distribution in both hemispheres. In México, they are found in the Central, Gulf and Pacific states, and their uses for food, therapy, agroecosystem conservation and insecticide are recognized. The *Annona* L. genus presents 15 species and greater agronomic potential in México. Through the Annonaceae Mexican Network, certain species have been collected, conserved and characterized, such as *A. muricata*, *A. cherimola*, *A. diversifolia*, and *A. squamosa*, which are cultivated and conserved in commercial and backyard gardens, and protected natural



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016. pp: 3-8.

Recibido: julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.

areas. There is a collection of more than 381 accessions distributed in banks from the Salvador Sánchez Colín Foundation in Coatepec Harinas, Estado de México, the Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano in Guerrero, the Experimental Field in Santiago Ixcuintla and Cotaxtla in Nayarit and Veracruz, respectively, and Universidad Veracruzana in Actopan, Veracruz. Annonaceae in México have been scarcely explored, however, because of their diversity of uses, they are placed as alternative crops to fruit trees that have lost economic profitability.

Key words: sweetsop, uses, genetic resources.

INTRODUCCIÓN

Entre las especies de la familia Annonaceae se incluyen árboles, arbustos y lianas distribuidas ampliamente en bosques tropicales del mundo (Couvreur *et al.*, 2012). Son de origen tropical y subtropical, se distribuyen en ambos hemisferios y se encuentran entre las plantas más primitivas de todas las angiospermas (González *et al.*, 2011). Las flores son protogínicas, polinizadas por escarabajos, trips, abejas, cucarachas y el viento. Desde la mitad del siglo 17, *Annona* spp. ha sido ampliamente distribuida a través del Atlántico a otras partes del mundo (Chatrou *et al.*, 2012). La familia se concentra en los trópicos, con pocas especies que se encuentran en las regiones templadas y subtropicales (*Asimina* y *Annona cherimola* Mill.). Alrededor de 900 especies son Neotropicales, 450 son Afrotropicales y las otras especies de la región Indomalaya. En México, se les puede encontrar en forma silvestre y cultivada, en algunos casos se utilizan como soporte de cercos en la periferia de potreros y huertos de otros frutales tropicales. De las anonáceas en México el género *Annona* L., presenta el mayor número de especies, y en éste sólo en cinco especies se obtienen frutos en huertos comerciales, traspatio o silvestres. Las especies que actualmente se cultivan en forma comercial en México son *A. cherimola* y *A. muricata*, la primera en el Estado de México, Guanajuato, Michoacán y Morelos; y la segunda en Veracruz, Tabasco, Nayarit, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. A nivel local, muchas especies son utilizadas por su pulpa comestible, aroma, propiedades medicinales o en cercos vivos. En áreas naturales protegidas se observa gran diversidad propiciada por muchos años de evolución natural e inducida por la reproducción sexual; diversidad que actualmente por la intervención humana y factores ambientales adversos derivados del cambio climático se encuentra con riesgos de erosión genética y pérdida. El uso de los recursos genéticos de las anonáceas es amplio y variado, abarca desde el consumo de frutos en fresco, extracción de pulpa para jugos, yogures, helados y postres, hasta la extracción de activos con propiedades medicinales y antihelmínticas, la venta de cápsulas con recomendaciones terapéuticas a partir de hojas de guanábana (*Annona muricata* L.) es frecuente en las redes digitales y centros naturistas. Sus características y aplicaciones en la medicina han destacado en los últimos años el potencial biotecnológico y en algunos países como España, Francia, Estados Unidos, Japón, Brasil, Argentina, Colombia y México se han formado grupos de investigación en estas áreas (González *et al.*, 2011). Por la importancia alimentaria, diversidad genética, usos y potencial como cultivo frutícola alternativo, en

México en el año 2002 se constituyó la Red Mexicana de Anonáceas (REMA), formada por investigadores de distintas instituciones y disciplinas. Con apoyos financieros del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) coordinado por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA), se ha trabajado en la recolecta y caracterización de las especies *Annona muricata*, *A. cherimola*, *A. squamosa* y *A. diversifolia*, por ser las más importantes, y por ello, se anota a continuación la situación actual de los recursos genéticos de las anonáceas en México, la importancia y perspectivas para su desarrollo y aprovechamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la información de diversidad y distribución se consultaron las siguientes bases de datos: Red Mundial Sobre Biodiversidad (REMI) de la CONABIO, Integrated Taxonomic Information System (ITIS- <http://www.itis.gov>), Global Biodiversity Information Facility (<http://www.gbif.org/>) y Plants Database del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (<http://plants.usda.gov/checklist.html>); la situación actual de los recursos genéticos se tomó de los informes y avances de la REMA desde el inicio de sus actividades hasta el presente, de igual manera se consultaron resultados de investigación en especies comestibles de *Annona* L., publicados en reuniones nacionales e internacionales de anonáceas. Con base en lo anterior se mencionan las perspectivas de recolecta, caracterización, conservación y usos de las anonáceas con énfasis en las

especies comestibles del genero *Annona* L., en México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Sistema de Información Taxonómica Integrado (ITIS-siglas en inglés) incluye en Norteamérica 14 géneros y 35 especies de anonáceas. http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=18092&print_version=SCR&source=from_print (julio, 2015), de éstas, en México la Red Mundial Sobre Biodiversidad de la CONABIO enlista 12 géneros y 45 especies (http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html (consultado el 07 de julio de 2015), el género *Annona* presenta 13 especies distribuidas principalmente en los estados del Centro, Golfo y Pacífico. Las regiones de la Huasteca, Centro y Península de Yucatán son donde concurren mayor número de especies (Figura 1).

De las especies de *Annona* L., que más se han registrado se encuentra en primer lugar *A. cherimola* con 298 datos (24%), le sigue *A. reticulata* con 196 (16.1%) y *A. glabra* con 162 (13.3%) (Figura 2).

La familia Annonaceae pertenece al orden Magnoliales, cuenta con 108 géneros y 2,400 especies reconocidas en todo el mundo (Chatrou *et al.*, 2012). Chatrou

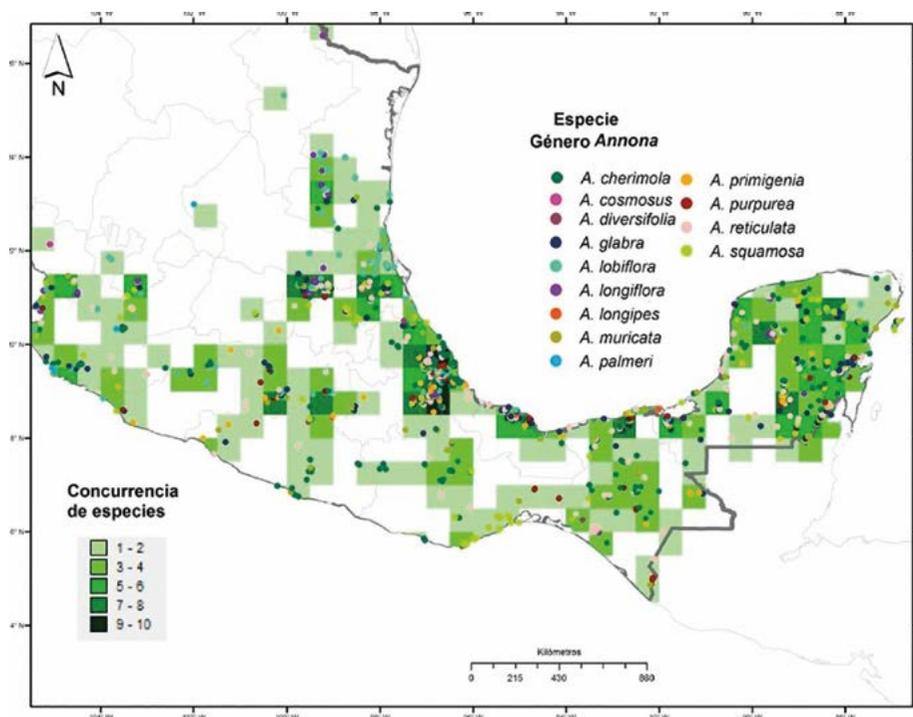


Figura 1. Distribución de *Annona* L., en México.

(1999) indica que África es el continente que contiene el número más bajo de especies, aproximadamente 450, cerca de 900 se encuentran en los Neotrópicos, casi 1200 en las áreas tropicales de Asia y Australia. El mismo autor agrega que sólo los géneros *Annona*, *Rollinia*, *Uvaria* y *Asimina* presentan especies con frutos comestibles. El género *Annona* L., es el que más especies registra con 15 y una variedad originada por la cruce de *A. cherimola* x *A. squamosa*. No obstante, sólo *A. muricata*, *A. cherimola*, *A. squamosa*, *A. reticulata*, *A. purpurea* y *A. diversifolia* se consumen y comercializan en mercados regionales y locales.

Las especies que actualmente se cultivan en forma comercial en México son *A. cherimola*, *A. squamosa* y *A. muricata*, la primera cultivada en los estados del Centro (Estado de México, Guanajuato, Michoacán, Puebla y Morelos), la segunda en el Sureste (Yucatán) y la tercera en los estados del Golfo (Veracruz y Tabasco) y Pacífico (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas). En el 2014 la superficie establecida de estas

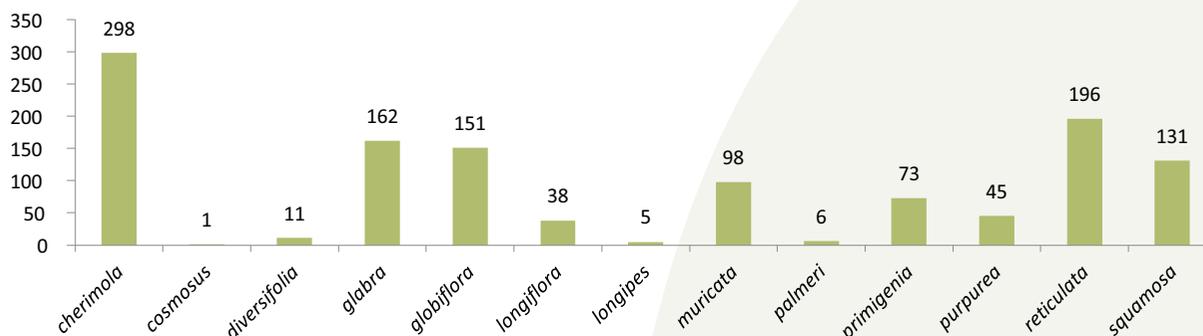


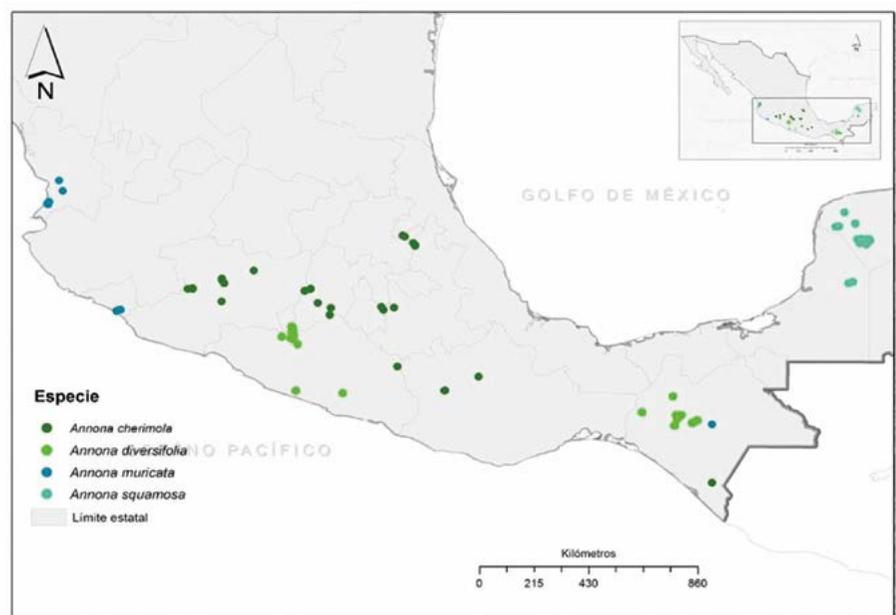
Figura 2. Especies de *Annona* L., en México con datos de herbario georreferenciadas.

especies fue de 2996 hectáreas, con producción de 21,566 toneladas y un valor de 147.73 millones de pesos. La guanábana *A. muricata* es la más cultivada en México, con un crecimiento importante en los últimos diez años, actualmente se tiene una superficie plantada de 2,886 hectáreas, una producción anual de 20,760 toneladas cuyo valor fue de 143.62 millones de pesos (SIAP, 2014) resaltando el estado de Nayarit como principal estado productor y un crecimiento importante en los últimos cinco años, llegando a ubicar a la guanábana como el cuarto frutal más importante en el estado por superficie y rentabilidad. El crecimiento de este cultivo en los últimos diez años ha sido paulatino con altibajos debido a factores, tales como, falta de variedades con características agronómicas sobresalientes, ataque de plagas (insectiles y enfermedades) (Hernández et al., 2013). Lo anterior podría decirse de las otras anonáceas frutícolas. No obstante, se espera que en las estadísticas de los años subsecuentes, ocurra un repunte en la superficie cultivada, debido a que estados como Colima, Estado de México, Morelos, Michoacán y Veracruz han visto en las anonáceas un cultivo potencial con expectativas para reconversión productiva. Otro aspecto poco explorado que sin duda será importante en los próximos años, es la evaluación y uso agronómico de especies como *A. diversifolia* y *A. montana*, además de su uso para la restauración y conservación de suelos con problemas de degradación por deforestación inducida por tala, incendios y pastoreo en zonas de clima tropical subhúmedo. El uso de estas anonáceas con doble propósito abre posibilidades de mayor aprovechamiento. El plan

estratégico de la Red Mexicana de Anonáceas incluye líneas de investigación: de caracterización y conservación *in situ* y *ex situ*, uso y creación de capacidades en recursos genéticos de anonáceas consideradas en el Plan Nacional de Acción para la Conservación de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en México (SAGARPA-SOMEFI, 2006). El plan estratégico actual tiene sus antecedentes en la publicación de Andrés y Andrés (2011). Se presentan resultados sobresalientes en las siguientes líneas de investigación:

Conservación *in situ*: En algunas regiones del sureste de México, el germoplasma de *Annona* spp. se mantiene *in situ* en constante cambio genético por la reproducción sexual realizada por los productores y viveristas. Para este material amenazado por factores que inciden directamente en la destrucción de los ecosistemas es necesario monitorear, caracterizar y conservar para promover su uso y aprovechamiento. En este sentido, se trabaja en la conservación y mejoramiento participativo de *A. cherimola* en Coatepec de Harinas, Estado de México y Tingambato, Michoacán; *A. diversifolia* en Cd. Altamirano, Guerrero y Michoacán; *A. muricata* en Veracruz, Colima, Chiapas y Nayarit y finalmente el Campo Experimental de Mocochoá del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con *A. squamosa* en colecciones locales provenientes de huertos de traspatio.

Conservación *ex situ*: En este sentido la REMA ha recolectado y establecido reservorios de la diversidad genética de *Annona* L., con fines de conservación e investigación, y actualmente se registran 381 genotipos de cuatro especies (Figura 3 y 4). Los bancos de germoplasma se ubican en la Fundación Salvador Sánchez Colín del CICTAMEX S.C., que alberga 139 accesiones de *A. cherimola*; en la Universidad Veracruzana en Actopan, Veracruz y el Campo Experimental de Tecomán, Colima del INIFAP que mantienen



Elaborado con 484 datos de sitios de recolección proporcionados por la Red Mexicana de Anonáceas (REMA) y el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI)

Figura 3. Distribución de cuatro especies de *Annona* L., en México

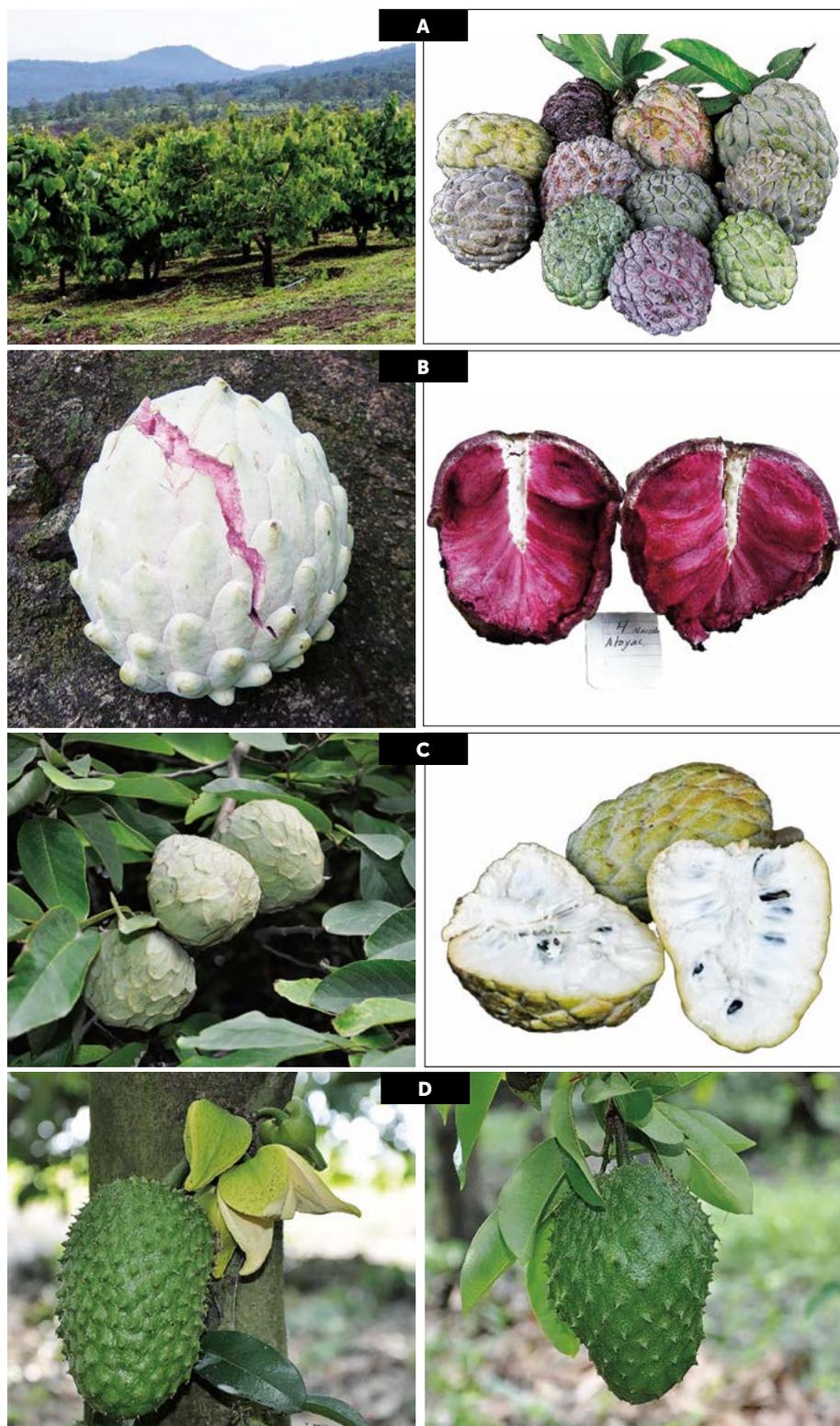


Figura 3. Genotipos de anonáceas: A: *Annona cherimola*; B: *Annona diversifolia*; C: *Annona squamosa*; D: *Annona muricata*.

una colección de *A. muricata* con 30 y 10 accesiones, respectivamente. En el Instituto Tecnológico de Ciudad Altamirano se conservan 156 genotipos de *A. diversifolia* y; en el Campo Experimental de Mococho del INIFAP con al 40 genotipos de *A. squamosa*. Asimismo se tiene un duplicado de 50 accesiones de ilama en el Centro de Conservación de Semillas Recalcitrantes-

Clima Tropical en el Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP que además cuenta con cinco de *A. muricata*; duplicado de 87 genotipos de chirimoya en el Centro de Conservación de Semillas Recalcitrantes-Clima Subtropical y más de 11 mil semillas conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal del Universidad Autónoma Chapingo.

Uso y potenciación. Las actividades se han enfocado en elaborar productos y subproductos como bebidas funcionales, helados, yogures y néctares de guanábana y chirimoya. La exploración de propiedades biológicas tales como, las acetogeninas de *Annona* L., es una línea que en los últimos diez años ha resaltado con investigaciones de López *et al.* (2006), Martínez y Estrada (2013) con *A. cherimola*; Domínguez *et al.* (2011) y Martínez (2008) con *A. muricata*, entre otros principales.

CONCLUSIONES

Las anonáceas en México representan una familia poco explorada, tienen potencial para ampliar sus usos tales como, incluirlas como cultivos alternos a frutales que han perdido rentabilidad. La distribución de especies de anonáceas en México se sitúa principalmente en los estados del Centro, Occidente y Sur, las cuales se pueden localizar en estado silvestre, traspatio o huertos comerciales. Algunas como *A. cherimola*, *A. squamosa* y *A. diversifolia* tiene un mercado local importante. Las actividades en las cuales la REMA ha enfocado sus esfuerzos son recolecta, caracterización y conservación, logrando resultados importantes reflejados en bancos de germoplasma y colecciones de trabajo de

A. muricata, *A. cherimola*, *A. squamosa* y *A. diversifolia*; no obstante, se requiere mayor atención al uso, capacitación de actores rurales, así como, continuar con investigación de propiedades biológicas relacionadas con actividades terapéuticas, insecticidas y medicinales.

AGRADECIMIENTOS

Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS-SINAREFI-SAGAR-PA), además de la Coordinadora de Fundaciones Produce (COFU-PRO) y Fundaciones Produce en los estados por el apoyo financiero a proyectos de investigación en anonáceas. A los productores por el apoyo en la búsqueda y conservación de los recursos genéticos de anonáceas.

LITERATURA CITADA

- Andrés A. J., Andrés L. H. 2011. Biología, Diversidad, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Annonaceae en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 141 p.
- Chatrou L. W., Pirie M. D., Erkens R. H. J., Couvreur T. L. P., Neubig K. M. J., Abbott R., Mols J. B., Maas J. W., Saunders R. M. K., Chase M. W. 2012. A new subfamilial and tribal classification of the pantropical flowering plant family Annonaceae informed by molecular phylogenetics. *Botanical Journal of The Linnean Society* 169: 5-40.
- Chatrou L. W. 1999. The Annonaceae and the Annonaceae Project: A Brief Overview of The State Of Affairs. *Acta Horticulturae* 497: 43-49.
- Couvreur T. L. P., Maas P. J. M., Meinke, D. M. S., Johnson, Kebler P. J. A. 2012. Keys to the genera of Annonaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society* 169: 74-83.
- Dominguez M. V., Domínguez A. A., Trejo H. A., Coria G. N., Martínez V. M. 2012. Las Acetogeninas ¿Más Que Inhibidores Del Transporte Electrónico? Pp: 475-495. *In: A. González E. et al. (Compiladores). Anonáceas: Plantas Antiguas, Estudios Recientes. Ed. Colección Jaguar. UNICAH. Chiapas, México. 555 p.*
- González, E. A. R., Luna C. L. M., Gutiérrez J. J., Schlie G. M. A., Vidal L. D. G. 2012. (Compiladores). *Anonáceas: Plantas Antiguas, Estudios Recientes. Ed. Colección Jaguar. UNICAH. Chiapas, México. 555 p.*
- Hernández, F. L. M., Gómez J. R., Andrés A. J. 2013. Importancia, Plagas Insectiles y Enfermedades Fungosas del Cultivo del Guanábano. Libro Técnico Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 87 p.
- López, R. C., B. Piña M., R. Estrada R. G. Heinze, M. Martínez V. 2006. Anxiolytic-like actions of the hexane extract from leaves of *Annona cherimola* in two anxiety paradigms: possible involvement of the GABA/benzodiazepine receptor complex. *Life Sciences* 78: 730-737.
- Martínez, M. V., Estrada R. R. 2013. Secondary Metabolism in Annonaceae: Potential Source of Drugs. Pp: 21-21. *In: Proceedings of V International Congress and Brazilian meeting about Annonaceae. Botucatu, Sao Paulo, Brasil. 19-23 de Agosto.*
- SIAP. 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aliimentación. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Consultado el 10 de julio de 2015).



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTO DE LA COLECCIÓN *ex situ* DE *Psidium guajava* L.

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF FRUIT FROM THE *ex situ* COLLECTION OF *Psidium guajava* L.

Padilla-Ramírez, J.S.^{1*}; Rodríguez-Moreno, V.M.¹; González-Gaona, E.¹; Cortes-Penagos, C. de J.²; Acosta-Díaz, E.³

¹ Campo Experimental Pabellón (INIFAP). Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. ² Facultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ³ Campo Experimental General Terán (INIFAP). General Terán, Nuevo León, México.

*Autor responsable: padilla.saul@inifap.gob.mx

RESUMEN

El guayabo (*Psidium guajava* L.) es un cultivo importante en diferentes partes del mundo, y su fruto es muy apreciado por sus propiedades nutricionales. Se considera originario de Mesoamérica, y se ha reportado que en México presenta diversidad en forma del fruto. Con el propósito de aprovechar esta diversidad, se recolectaron accesiones de *P. guajava* logrando establecer una colección *ex situ*, para caracterización y conservación. Se analizaron 93 accesiones de guayabo provenientes de 16 estados, así como tres genotipos introducidos, basándose en 24 caracteres morfológicos cuantitativos y cualitativos, mediante componentes principales. Los primeros cinco componentes explicaron 60% de la variabilidad total y las variables de mayor valor descriptivo fueron: las relacionadas con el tamaño del fruto (peso, diámetros, grosor de pulpa); el número y peso de semillas; forma del fruto, color de pulpa y textura. En general, las accesiones mostraron variabilidad en las características evaluadas, lo que revela la amplia base genética del germoplasma, mismo que puede ser aprovechada en el desarrollo de nuevas variedades que satisfagan demandas del consumidor de fruta fresca y la industria.

Palabras clave: Guayaba, Calvillo, Caracterización, Conservación.

ABSTRACT

Guava tree (*Psidium guajava* L.) is an important crop in different parts of the world, and its fruit is much appreciated for its nutritional properties. It is considered to be native of Mesoamerica, and it has been reported that in México it presents diversity in form of the fruit. With the purpose of taking advantage of this diversity, accessions of *P. guajava* were collected and an *ex situ* collection was established, for their characterization and conservation. From 16 states, 93 guava accessions were analyzed, as well as three introduced genotypes, based on 24 quantitative and qualitative morphological traits, through principal components. The first five components explained 60 % of the total variability, and the variables of greatest descriptive value were: those related to the size of the fruit (weight, diameter, pulp thickness); the number and weight of seeds; the shape of the fruit, color of the pulp and texture. In general, the accessions showed variability in the characteristics evaluated, which reveals the broad genetic base of the germplasm, which can be taken advantage of in the development of new varieties that satisfy demands from the consumer and from the industry for fresh fruit.

Keywords: guava, Calvillo, characterization, conservation.



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016, pp: 9-18.

Recibido: julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.

INTRODUCCIÓN

El guayabo (*Psidium guajava* L.) (Myrtaceae) es un cultivo de importancia económica en varios países (India, Brasil, México, Venezuela, Colombia, Cuba, Tailandia, Malasia y Sudáfrica) (Negi y Rajan, 2005). Su área de distribución ecológica se ubica entre la latitud 30° al norte y sur del ecuador y se distribuye en áreas con climas tropicales y subtropicales (Dinesh e Iyer, 2005). Su posible centro de origen es en Mesoamérica (De Candolle, 1967 y Ruehle, 1964, citados por Mata y Rodríguez, 1990; Negi y Rajan, 2005). En México, su cultivo ocupa el doceavo lugar en importancia dentro de los principales frutales, y se producen en promedio 300 mil t año⁻¹ en 22,500 ha (SIAP-SAGARPA, 2013), destinándose más del 80% del volumen al consumo en fresco. Borys y Leszczyńska (2001) mencionan que el guayabo es una especie con potencial frutícola, así como con amplia variabilidad en los caracteres del fruto, y en este sentido, se reporta la diversidad de tipos de guayaba (Padilla *et al.*, 2007; Padilla y González, 2010; Padilla *et al.*, 2014a) que pudieran ampliar la oferta de diferentes variedades, incluyendo aquellas con otro color de pulpa y mejores características nutrimentales atribuidas principalmente a su contenido de ácido ascórbico o vitamina C, además de que estas variantes vegetales tendrían buena aceptación para su consumo en fresco. Por su composición nutrimental la guayaba se considera una excelente fuente de vitamina C, ya que llega a tener entre 200 y 400 mg 100 g⁻¹ de ácido ascórbico de fruto fresco (Padilla *et al.*, 2012b; Sánchez, 2013). Estos valores duplican a los registrados en otras frutas como kiwi y lichi (www.dietaynutricion.net), y de tres a seis veces más que la naranja (*Citrus sinensis*), (www.euroresidentes.com/Alimentos/naranjas/htm). Otro compuesto importante de la fracción de los carotenoides de la guayaba es el licopeno, considerado un antioxidante con propiedades nutraceúticas que contribuye en la disminución de ciertos padecimientos cardiovasculares, y cuya concentración en el fruto fluctúa entre 0.5 a 4.4 mg 100 g⁻¹ (Mondragón *et al.*, 2009; Sánchez, 2013; Padilla *et al.*, 2014b). Aunque existen reportes que señalan guayabas de pulpa rosa con concentraciones de licopeno de 5.5 mg 100 g⁻¹ (Waliszewski y Blasco, 2010) y en frutos mínimamente procesados en estado de maduración verde-amarillo de las variedades brasileñas "Paluma" y "Pedro Sato" de hasta 6 y 8 mg 100 g⁻¹ respectivamente (Andrade *et al.*, 2009). Además, dada la gama de propiedades medicinales atribuidas al guayabo (hojas, frutos y corteza) se le atribuye amplia gama de usos etnobotánicos (Padilla *et al.*, 2007). A nivel internacional, se han realizado colectas, caracterización y aprovechamiento del germoplasma de guayabo en Hawai por Zee (2003), Sither *et al.* (2014), y en la India (Pandey, 2007; Babu *et al.*, 2007), en Brasil (Fernandes-Santos *et al.*, 2010); Venezuela (Valecillos *et al.*, 2010) y Cuba (Díaz-Infante *et al.*, 2010). Con base en lo anterior, se realizó una recolecta de germoplasma de *P. guajava* en varios estados de México, con el fin de caracterizar la biodiversidad y conservar el acervo genético de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos de selección de material sobresaliente de guayabo en México, datan de finales de los años 60s, en la zona de Calvillo, Aguascalientes con

siete grupos biológicos para color de pulpa, frutos de diferente tamaño y peso, árboles con alto potencial de rendimiento (Pérez, 1970). Estudios posteriores han demostrado la existencia de una amplia diversidad fenotípica y genética de guayabo en cuanto a forma, tamaño, color de pulpa, calidad y rendimiento de fruto (Laksminarayana y Moreno, 1978; Perales y Silguero, 1995; Padilla *et al.*, 2002a; Padilla *et al.*, 2007; Padilla y González, 2010; Padilla *et al.*, 2014b). La colección *ex situ* del *P. guajava* está establecida en el Sitio Experimental "Los Cañones" (21° 44.7', 102° 58.0'; 1508 m) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias "INIFAP" ubicado en el municipio de Huanusco, Zacatecas, y comprende la región guayabera conocida como "Los Calvillo-Cañones" que incluye a los municipios de Calvillo, Aguascalientes y Huanusco, Jalpa, Apozol y Juchipila en Zacatecas, México. En total se incluyeron 93 accesiones de guayabo, las cuales se colectaron, propagaron y establecieron en condiciones de campo; y forman parte de la colección *ex situ* del germoplasma (Padilla *et al.*, 2010; Padilla *et al.*, 2014b). El germoplasma bajo estudio se recolectó durante el periodo 2004-2009 en 16 estados del país desde altitudes a nivel del mar en Campeche hasta los 2000 m en el Estado de México, además de otros materiales introducidos de diferentes países. La mayor parte de los genotipos se propagaron a partir de semilla y algunos otros fueron obtenidos por acodo aéreo (Cuadro 1).

Durante el ciclo 2014 se tomó una muestra de cinco frutos de las 93 accesiones para su caracterización morfológica. Los frutos se

Cuadro 1. Origen de las accesiones de *P. guajava* en Huanusco, Zacatecas, México.

Colecta	Municipio	Estado	Latitud	Longitud	Altitud (m)
CAM-517	Carmen	Cam.	18°37'56"	91°00'30"	19
129 d	Tamuín	S.L.P.	22°00'18"	98°46'03"	36
95	Atenguillo	Jal.	20°24'51"	104°29'32"	1317
67	Zinapécuaro	Mich.	19°49'50"	100°49'18"	1878
129 a	Tamuín	S.L.P.	22°00'18"	98°46'03"	36
1	Zacatlán	Pue.	20°01'51"	97°54'07"	1684
113 h	Calvillo	Ags.	21°55'55"	102°43'06"	1788
77 acodo	Yuriria	Gto.	20°05'54"	101°24'01"	1916
49	Zitácuaro	Mich.	19°24'58"	100°23'39"	1748
114	Aguascalientes	Ags.	21°54'39"	102°15'15"	1942
24	Huachinango	Pue.	20°11'50"	98°02'10"	1416
75	Zinapécuaro	Mich.	19°51'42"	100°49'57"	1881
120	Ruíz	Nay.	21°57'03"	105°09'36"	38
59	Zitácuaro	Mich.	19°24'57"	100°23'39"	1753
CAM 503 B	Tikinmul	Cam.	19°45'44"	90°13'35"	22
76	Cerano	Gto.	20°05'26"	101°26'39"	1974
129 c	Tamuín	S.L.P.	22°00'18"	98°46'03"	36
El Charro-1	Ahome	Sin.	25°56'21"	109°08'00"	16
Juana Glez	Ruiz	Nay.	21°57'03"	105°09'36"	38
106	Huanusco	Zac.	21°45'32"	102°52'25"	1545
111 F	Apozol	Zac.	21°26'38"	103°05'50"	1269
Roja Col Fres	Guadalajara	Jal.	20°39'30"	103°22'30"	1586
51	Zitácuaro	Mich.	19°24'52"	100°23'39"	1741
129 b	Tamuín	S.L.P.	22°00'18"	98°46'03"	36
131 b	Ahuacatlan	S.L.P.	21°18'57"	99°03'29"	1201
77	Yuriria	Gto.	20°05'54"	101°24'01"	1916
Pilcaya Pulpa N	Pilcaya	Gro.	18°40'56"	99°33'53"	1493
90	Mixtlan	Jal.	20°26'25"	104°24'44"	1546
54	Benito Juárez	Mich.	19°17'54"	100°26'38"	1314
87	Mixtlan	Jal.	20°26'25"	104°24'44"	1546
Fuentes Acodo	Jalpa	Zac.	21°33'28"	102°54'50"	1893
83	Yuriria	Gto.	20°07'02"	101°22'49"	1871
118	Calvillo	Ags.	21°52'06"	102°41'46"	1708
143	Comala	Col.	19°25'06"	103°47'44"	832
89	Mixtlan	Jal.	20°26'25"	104°24'44"	1546
132 Jalpan	Jalpan	Qro.	21°09'48"	99°29'24"	1193
132 hijuelo	Jalpan	Qro.	21°09'48"	99°29'24"	1193
Doña Chuy-acodo	Mascota	Jal.	20°31'39"	104°47'52"	1243
Seve Acodo	Santiago lxc.	Nay.	21°48'56"	105°12'22"	17
113 J Acodo	Calvillo	Ags.	21°55'55"	102°43'06"	1788
147 hijuelo	Tecomán	Col.	18°49'33"	103°49'00"	21
123 D Semilla	Tepic	Nay.	21°30'52"	104°59'38"	1163
138	Colima	Col.	19°07'46"	103°46'45"	319
Mirna-Petra	Ruíz	Nay.	21°57'03"	105°09'36"	38
Roble y Paraíso	Guadalajara	Jal.	20°39'38"	103°22'04"	1562
Nogal y Paraíso	Guadalajara	Jal.	20°39'39"	103°22'07"	1579
India-semilla		India	Introducida		
SJN	San Juan Nvo.	Mich.	ND		

Cuadro 1. Continuación.

Colecta	Municipio	Estado	Latitud	Longitud	Altitud (m)
SJN	San Juan Nvo.	Mich.	ND		
Mirna-1	Ruiz	Nay.	21°57'03"	105°09'36"	38
Berna 3	Ruiz	Nay.	21°56'49"	105°08'10"	24
81	Yuriria	Gto.	20°07'06"	101°22'46"	1868
F-7 Bahía B	Bahía Band.	Nay.	20°45'28"	105°15'54"	27
56x46	Jalpa	Zac.	21°44'42"	102°58'00"	1508
56x46	Jalpa	Zac.	21°44'42"	102°58'00"	1508
51x12	Jalpa	Zac.	21°44'42"	102°58'00"	1508
54x57	Jalpa	Zac.	21°44'42"	102°58'00"	1508
10x51	Jalpa	Zac.	21°44'42"	102°58'00"	1508
La Mezquitera	Jalpa	Zac.	21°28'50'	102°58'18"	1380
101	Sn. Sebastián	Jal.	20°45'03"	104°58'37"	751
Teq. Herradura	Amatitan	Jal.	20°50'19"	103°43'33"	1243
Valle Bravo 2	Valle de Bravo	Méx.	19°11'23"	100°07'52"	1788
Ten-2	Tenancingo	Méx.	18°57'39"	99°35'26"	2000
El Charro-2	Ahome	Sin.	25°56'21"	109°08'00"	16
La Palma-Acodo	Zitácuaro	Mich.	19°24'02"	100°22'54"	1740
Tlajomulco	Tlajomulco	Jal.	20°28'37"	103°27'10"	1600
Ciprés Col Fres	Guadalajara	Jal.	20°39'32"	103°22'08"	1570
Ten-1	Tenancingo	Méx.	18°57'39"	99°35'26"	2000
Villahermosa		Tab.	ND		
10x56	Jalpa	Zac.	21°44'42"	102°58'00"	1508
Sn Is.-4	Ocuilan	Méx.	18°54'53"	99°27'14"	1540
Pant. Tej-2	Tejupilco	Méx.	18°52'19"	100°00'48"	1718
P. Meyuca 1	Coatepec H.	Méx.	18°51'57"	99°46'57"	1892
Sn Is. Mal2-2	Malinalco	Méx.	18°53'17"	99°27'47"	1431
CAM-516 C	Escárcega	Cam.	18°36'50"	90°44'35"	89
ERC-semilla		Cuba	Introducida		
ERC-semilla		Cuba	Introducida		
Vivero Guasave		Sin.	ND		
El Guayabo		Sin.	ND		
CHIS-525	Chilon	Chis.	17°08'20"	92°07'46"	850
CHIS-522 B	Salto de Agua	Chis.	17°23'14"	91°59'17"	272
CHIS-526 B	Chilon	Chis.	17°03'44"	92°08'55"	900
TAB-543 B	Teapa	Tab.	17°27'06"	93°02'28"	451
CAM-517 B	Carmen	Cam.	18°37'55"	91°00'30"	19
CAM-511	Champotón	Cam.	18°28'41"	90°42'13"	0
CAM-516 B	Escárcega	Cam.	18°36'50"	90°44'35"	89
CHIS-527	Chilon	Chis.	15°58'29"	92°06'10"	1163
CHIS-530	Chiapa de Corzo	Chis.	16°44'12"	92°58'32"	531
CHIS-529 B	Zinacantan	Chis.	16°43'13"	92°49'39"	1863
CHIS-532	Chiapa de Corzo	Chis.	16°41'56"	93°01'37"	407
TAB-546 B	Cárdenas	Tab.	17°00'01"	93°17'58"	33
Bahía Band F-11	Bahía Band.	Nay.	20°45'58"	105°15'54"	27
Bahía Band F-14	Bahía Band.	Nay.	20°45'28"	105°15'54"	27

ND=No determinado.

cosecharon en madurez fisiológica (entre las etapas 2 y 3) de acuerdo con la escala de colores de maduración para guayaba (Padilla, 2002b) y se registraron 24 características morfológicas con variables continuas y categóricas. Las características de fruto registradas, con ligeras modificaciones, son parte de los descriptores para *P. guajava* de acuerdo con la Unión para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV, 1987) y se utilizan para las pruebas de distinción, homogeneidad y estabilidad entre los genotipos (Cuadro 2).

Los diámetros (polar y ecuatorial) se midieron con un vernier digital MITUTOYO^{MR}, con aproximación a 0.00 de milímetro, mientras que los pesos se registraron en una báscula OHAUSMR con aproximación a 0.000 de g. Una vez registrados el peso, los diámetros y demás caracteres externos, los frutos se cortaron transversalmente para medir el grosor de pulpa (mesocarpio) y registrar su color. Posteriormente se extrajeron las semillas de cada fruto, separándolas del mesocarpio bajo constante flujo de agua utilizando un cedazo para retener las

semillas, las cuales se secaron a la sombra y temperatura ambiente ($22.0\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2.0$) por 72 h para contar y pesarlas. El contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$) se registró con refractómetro manual ATA-GO^{MR} modelo N-1EBX (0-32 $^{\circ}\text{Brix}$). Se obtuvieron los valores estadísticos descriptivos (valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de las características registradas en las accesiones caracterizadas; y con se construyó una matriz (24x93) para analizar mediante Componentes Principales (Numerical Taxonomy System

Cuadro 2. Características morfológicas registradas en 93 accesiones de la colección *ex situ* de *P. guajava* L. Huanusco, Zacatecas, México.

Característica	Abreviatura	Unidades	Categorías
Peso de fruto	PF	g	
Peso de cascos	PCas	g	
Cascos/semilla	C/S	%	
Diámetro polar	DP	cm	
Diámetro ecuatorial	DE	cm	
Relación DP/DE	DP/DE	Adimensional	
Forma de fruto	F	Cualitativo	Aperado=1; Ovoide=2; Redondo=3; Truncado=4
Diámetro de cuello	DCue	cm (solo aperadas)	
Color externo	CExt	Cualitativo	Amarillo=1; Verde-amarillo=2; Verde=3; Amarillo-chapeado=4
Textura	Tex	Cualitativo	Lisa=1; Semirugosa=2; Rugosa=3; Muy rugosa=4)
Presencia de costillas	PCost	Cualitativo	Ausente=0; Presente=1
Prominencia de costillas	Prom	Cualitativo	Débil=1.00-1.50; Medio=1.51-2.50; Fuerte=2.51-3.50
Ranuras longitudinales	RLong	Cualitativo	Ausente=0; Presente=1
Tamaño de sépalo	TSep	Mm	
Diámetro de la cavidad de cáliz	DCal	mm	
Borde alrededor del cáliz	BCal	Cualitativo	Ausente=0; Presente=1
Color de pulpa	CPulp	Cualitativo	Blanca=1; Crema=2; Crema-Amarilla=3; Crema-Amarilla-Salmón=4; Crema-Blanca=5; Crema-Naranja=6; Crema-Rosa=7; Crema-Rosa pálido=8; Crema Salón=9; Rosa=10; Rosa-Blanco=11; Rosa Pálido=12; Rosa Fuerte=13; Salmón=14
Uniformidad del color de pulpa	UCol	Cualitativo	Uniforme=1; Desuniforme=2
Grosor de casco	GCas	mm	
Jugosidad	Jug	Cualitativo	Baja=1.00-1.50; Media=1.51-2.00; Alta=2.01-2.51; Muy alta=2.51-3.00
Grados Brix (Dulzor)	Brix	$^{\circ}\text{Brix}$	
Número de semillas	NSem	Semillas/fruto	
Peso de semillas	PSem	g	
Peso promedio por semilla	PPS	mg	

(NTSYSpc 2.2) (Rohlf, 2005), y el coeficiente de correlación simple (r) para estimar el grado de asociación entre las características medidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registró variación en el peso y tamaño de fruto en la mayoría de las 93 accesiones, observando pesos desde 25.2 g⁻¹ hasta 280 g⁻¹. El diámetro polar y ecuatorial mostraron valores de 3.4 cm a 9.2 cm y de 3.3 cm a 7.8.9 cm respectivamente. La Norma Mexicana NMX-FF-040-SCFI-2002 para el diámetro ecuatorial del fruto especifica las categorías: A=>5.0 cm; B=4.0-4.9 cm; C=3.0-3.9 cm y D=<2.9 cm. En cuanto al peso, González *et al.* (2002) mencionan que los frutos de guayaba se clasifican en extra (>90 g), primera (60-90 g) y segunda (<60 g), correspondiendo un mayor precio de venta para los frutos clasificados como extra y primera. El rango para la relación entre los diámetros fue de 0.88 a 1.53. Los frutos con valores cercanos a uno fueron más redondeados, los ubicados entre 1.1 y 1.2 de forma ovoide; mientras que mayores de 1.3 fueron piriformes. El número de semillas por fruto mostró amplia variación, desde 42.5 hasta 370 semillas, resaltando que en programas de mejoramiento genético es deseable seleccionar genotipos con bajo número de semillas (<200). El peso de semillas fruto⁻¹ y su peso medio registraron rangos de 0.3g a 5.7 g; y de 1 g a 28.2 mg respectivamente; esto valores son similares a los reportados por Padilla y González (2011) para un amplio número de accesiones de guayabo. El grosor de la pulpa mostró valores de 3.7 mm a 15.6 mm. Frutos de guayaba con mayor grosor de pulpa, bajo número de semillas y pequeñas serían una buena combinación tanto para el consumo en fresco como para la industria or su relación positiva de mayor pulpa/ semilla. En una encuesta, aproximadamente el 60% de los consumidores de guayaba mencionó que prefieren frutos con pocas semillas. En los genotipos evaluados el diámetro de la cavidad del cáliz fluctuó entre 4.3 mma 16 mm; esta característica

puede ayudar a distinguir genotipos, ya que presenta poca variación entre los frutos del mismo árbol.

Los sólidos solubles totales (°Brix) variaron de 5.6 a 16.8, y su mayor contenido es una característica importante en la calidad de la guayaba para su aceptación y el consumidor prefiere frutos con 11 y 12 °Brix. Padilla *et al.*, (2012b) reportaron valores similares para frutos de guayaba de la región Calvillo-Cañones. Por otra parte, se ha mencionado que esta característica puede ser influenciada por el clima, especialmente por la temperatura del aire y la humedad del suelo que prevalecen en la última etapa de maduración del fruto (Padilla *et al.*, 2010). Resultados similares se reportaron para características químicas de frutos de guayaba, dentro de los que fueron cosechados en época de lluvias mostraron valores bajos (Rathore, 1976; Thaipong y Boonprakob, 2006). Entre las variables cualitativas se observó que las características más comunes (moda) fueron: los frutos de forma ovoide, color externo

Cuadro 3. Valores estadísticos de variables de fruto de 93 accesiones de la colección *ex situ* de *P. guajava* L. en Huanusco, Zacatecas, México.

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. estándar
PF (g)	25.200	280.375	66.336	41.432
PCas (g)	16.200	223.500	47.561	32.085
C/S (%)	56.464	85.534	71.127	6.390
DP (cm)	3.428	9.209	5.384	1.146
DE (cm)	3.360	7.798	4.622	0.813
DP/DE	0.884	1.534	1.164	0.132
F	1.000	4.000	2.000*	0.751
DCue (cm)	0.000	3.902	0.476	1.078
CExt	1.000	4.000	2.000*	0.641
Tex	1.000	4.000	2.000*	0.702
PCost	0.000	1.000	1.000*	0.282
Prom	1.000	2.800	1.000*	0.535
RLong	0.000	1.000	0.000*	0.227
TSep (mm)	4.760	12.380	8.523	1.545
DCal (mm)	4.320	16.02	8.049	2.073
BCal	0.000	1.000	0.000*	0.178
CPulp	1.000	14.000	2.000*	4.282
UCol	1.000	2.000	1.000*	0.360
GCas (mm)	3.660	15.600	7.951	1.723
Jug	1.000	3.000	2.000*	0.588
Brix	5.640	16.800	10.730	1.805
NSem	42.500	372.200	167.069	76.256
PSem (g)	0.301	5.732	1.929	0.976
PPS (mg)	0.988	28.282	12.193	4.715

verde-amarillo, con textura semirugosa, presencia de costillas de prominencia débil, con ausencia del borde alrededor del cáliz, color de pulpa crema uniforme y jugosidad media (Cuadro 3).

El análisis de correlación mostró la matriz de correlaciones simples (r) para las 24 características del fruto, donde el PF mostró alta correlación positiva y significativa ($p \leq 0.01$) con PCas, DP, DE, GC y DCC ($r=0.51$ a 0.96), mientras que con DCue, NSem y PSem, la correlación fue significativa pero moderada ($r=0.38$ a 0.46). La correlación con el resto de las variables no fue significativa. La correlación de Brix con la mayoría de las variables resultó negativa y no significativa. La forma del fruto se correlacionó significativamente con DP y la relación de los diámetros DP/DE, cuya relación indica la forma de este. El resto de las variables cualitativas mostró valores bajos del coeficiente de correlación. Thaipong y Boonprakob (2006) reportaron valores similares para algunas variables del fruto de guayaba, además señalan que PF se puede utilizar como criterio de selección para incrementar tamaño de fruto y GCas, lo cual daría mayor rendimiento de pulpa (PCas) y probablemente menor NSem y PSem. Respecto al análisis de componentes principales (Cuadro 4), fue interpretado a partir de los eigenvalores (valores propios) y eigenvectores, donde los primeros mostraron la varianza individual y acumulada en cada uno de los componentes principales del análisis.

Los valores mostrados indican la variabilidad que está asociada a cada uno de los componentes principales, y se reduce en medida que se incrementa el número de componente, mostrando en forma acumulada que

los cinco primeros componentes explicaron cerca del 60% de la variabilidad, el resto concentró 40%. Resultados similares fueron reportados en la caracterización de tejocote (López-Santiago *et al.*, 2008) y nopal (Mondragón 2002), aunque en este último estudio, los tres primeros componentes principales explicaron un 71% de variabilidad. De acuerdo con Pla (1986) se sugiere que los componentes que expliquen al menos 70% de la varianza, son los que deben considerarse para una mejor interpretación y toma de decisiones. No obstante, en este estudio esta condición se cumplió con siete (70.04%), sin embargo, la selección del número de componentes principales no debe ser muy alto, dado que el análisis genera tantos componentes como variables, y lo que se pretende con esta técnica de análisis es reducir el número de variables. Los resultados de la aportación de cada variable dentro de cada componente, considerando solo los primeros cinco. Para el componente 1 las variables de mayor contribución descriptiva fueron las relacionadas con el tamaño y peso del fruto (PF, PCas, DP, DE Y GCcas). Para el componente 2, las variables con el mayor valor descriptivo fueron C/S, PSem y NSem. Para el componente 3, las variables de mayor peso fueron las relacionadas con la forma del fruto (F, DP/DE y DCue). Para el componente 4, las variables de mayor valor descriptivo fueron el color de pulpa y el peso por semilla, finalmente en el componente 5, la textura externa del fruto y la jugosidad fueron las que tuvieron el mayor valor descriptivo. Al considerar los tres primeros componentes principales, 11 de las 24 variables se puede explicar cerca de la mitad de la variabilidad acumulada en las accesiones (Figuras 1 y 2).

La Figura 1, muestra que las accesiones con mayor peso y diámetros del fruto se ubican a la derecha de los cuadrantes (60, 69 y 77), estas accesiones tienen en promedio un peso de superior a 200 g fruto^{-1} , mientras que los de menor tamaño se ubicaron a la izquierda con valores menores de 30 g fruto^{-1} (6, 13, 32). Respecto al número y peso de semillas (CP-2), las accesiones con alto número y mayor peso de semillas se ubicaron en la parte superior, mientras que aquellas con menor número y peso en la parte inferior, por ejemplo, la accesión 47 con 300 semillas por fruto y peso de 3 g^{-1} , com-

Cuadro 4. Valores propios de las características del fruto y proporción de la variabilidad fenotípica observada en 93 accesiones de la colección *ex situ* de *P. guajava* L. en Huanusco, Zacatecas, México.

Componente Principal	Eigenvalor	Varianza explicada (%)	Variabilidad acumulada (%)
1	5.704	23.766	23.766
2	3.015	12.564	36.330
3	2.251	9.377	45.707
4	1.652	6.885	52.592
5	1.601	6.672	59.263
6	1.411	5.880	65.143
7	1.177	4.905	70.048
8	1.025	4.272	74.320

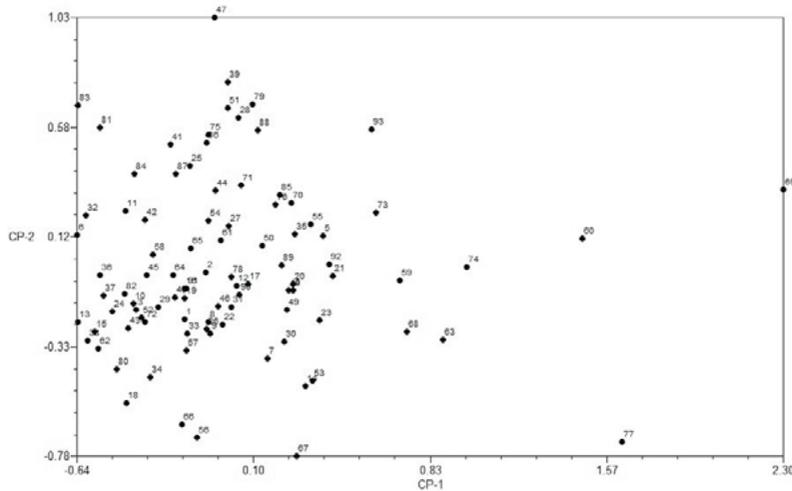


Figura 1. Dispersión de las 93 accesiones de *Psidium guajava* L., en componentes principales 1 y 2 del análisis morfológico de fruto.

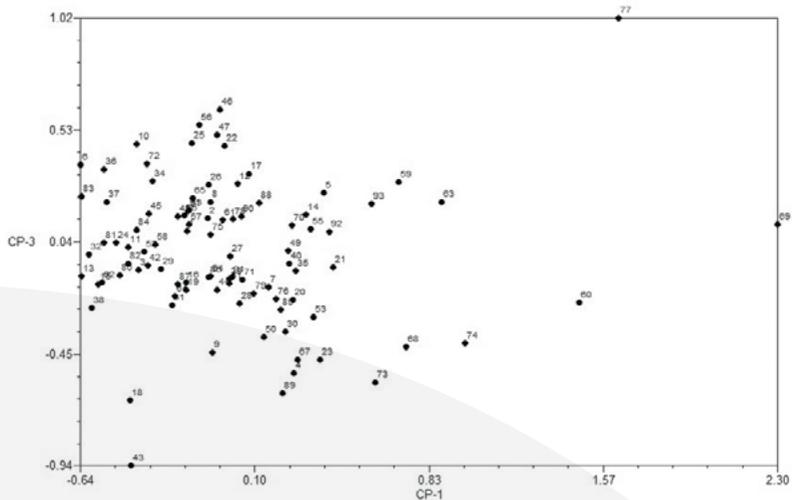


Figura 2. Dispersión de las 93 accesiones de *Psidium guajava* L., en componentes principales 1 y 3 del análisis morfológico de fruto.

parada con la accesión 58 que tiene solo 100 semillas por fruto y pesan 1.45 g^{-1} . Estas dos características influyeron directamente en la relación C/S, dado que un mayor número y peso de semillas la relación C/S es menor.

La Figura 2, muestra que las accesiones con fruto de mayor tamaño ubicadas a la derecha y las menor tamaño a la izquierda, sin embargo, accesiones de forma piriforme y relación DP/DE mayor de 1.4 se ubicaron en la parte inferior (accesión 43), mientras que las de forma truncada y relación de 1.1 a 1.2 se ubicaron en la parte superior (accesión 10), y en el caso de las accesiones 60 y 77 con valores similares de peso y tamaño, difirieron forma piriforme y truncada respectivamente. En general la relación de los componentes

en mención, permiten identificar un grupo de accesiones que destacan por tamaño y forma, lo cual es de interés para programas de mejoramiento genético (Figura 2).

CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización del fruto de 93 accesiones de la colección *ex situ* de *P. guajava*, que representan el germoplasma de 16 estados del país. Cinco componentes principales explicaron el 60% de la variabilidad acumulada con solo 15 de las 24 variables consideradas. Las accesiones mostraron gran variabilidad en las características del fruto, lo que revela la amplia base genética del germoplasma de guayabo, la cual puede ser aprovechada en el desarrollo de nuevas variedades que satisfagan las demandas del consumidor de fruta fresca o para la industria.

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución es producto de las actividades de la Red de Guayaba. Agradecemos el apoyo financiero al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y Agricultura (SINAREFI), a través del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la Secretaría de Agricultura, Gadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y al personal del Sitio Experimental "Los Cañones" del INIFAP por su valiosa ayuda en las actividades de campo de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Andrade C.A., Pinto P.M., Caron V.C., Koga F.A., Kluge R.A., Jacomino A.P. 2009. Influência do processamento mínimo no teor de licopeno de goiabas "Paluma" e "Pedro Sato". In: 17 Simposio Internacional de Iniciação Científica USP, Pirassununga, Sao Pablo. Brasil. pp: 1-4.
- Babu K.D., Patel R.K., Yadav D.S. 2007. Comparative evaluation of guava selections under North Eastern region of India. Acta Hort. 735: 99-103.
- Borys M.W. y Leszczyńska B.H. 2001. El potencial genético frutícola de la República Mexicana. Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, México. 99 p.
- Díaz-Infante J., Rodríguez N.N., Velásquez B., Rivero D., Martínez F., Espinosa G., Risterucci A.M., Billotte N., Becker D., Ritter E., Rohde W. 2010. Simple sequence repeats (SSRs) for diversity characterization of guava (*Psidium guajava* L.). Acta Hort. 849: 155-162.

- Dinesh M.R., Iyer, C.P.A. 2005. Significant research achievements in guava – Improvement and future needs. *In: Souvenir 1st International Guava Symposium*. Lucknow, India. p. 7-16.
- Fernandes-Santos C.A., Cunha C.J.M., De Franco S.F., Alcántara V.A., Do Ferreira F.R., Gomes P.J., Estigarribia B.R.M., Barbieri R.L. Claret de S. A. de G. and Amorim R.M. 2010. Prospecting and morphological characterization of Brazilian *Psidium* germplasm. *Acta Hort.* 849: 63-68.
- González E., Padilla R.J.S., Reyes M.L., Perales de la C.M.Á. y Esquivel, F. 2002. Guayaba su cultivo en México. México: Libro Técnico No.1. INIFAP-CIRNOC-CEPAB. 182 p.
- Lakshminarayana S., Moreno M.A. 1978. Estudio preliminar para determinar la existencia de las variaciones en guayaba mexicana. *Revista Chapingo*. 10: 37-47.
- López-Santiago J., Nieto-Ángel R., Barrientos-Priego A.F., Rodríguez-Pérez E., Colinas-León M.T., Borys M.W., González-Andrés F. 2008. Selección de variables morfológicas para la caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.). *Rev. Chapingo Serie Horticultura*. 14: 97-111.
- Mata B.I., Rodríguez M.A. 1990. Cultivo y producción del guayabo. Editorial Trillas-UAAAN. (reimp. 2000). México. 160 p.
- Mondragón J.C. 2002. Caracterización genética de una colección de nopal (*Opuntia* spp.) de la región centro de México. *Agric. Téc. en Méx.* 28: 14.
- Mondragón J.C., Toriz L.M., Guzmán S.H. 2009. Caracterización de selecciones de guayaba para El Bajío de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*, 35: 315-322.
- Negi S.S., Rajan S. 2005. Improvement of guava through breeding. *In: Souvenir 1st International Guava Symposium*. Lucknow, India. p: 1-6.
- Padilla R.J.S., González G.E., Esquivel V.F., Mercado S.E., Hernández D.S., Mayek P.N. 2002a. Caracterización de germoplasma sobresaliente de guayabo de la región Calvillo-Cañones, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25: 393-399.
- Padilla R.J.S. 2002b. Cosecha y postcosecha. *In: Guayaba. Su cultivo en México*. *In: González G.E., Padilla R.J.S., Reyes M.L., Perales de la C.M.A. y Esquivel V.F. (eds). Libro Técnico No.1. INIFAP-CIRNOC-CEPAB*. pp: 134-144.
- Padilla R.J.S., González G.E., Perales de la C. M.A., Reyes P. H.R., Osuna C.E.S. 2007. Variabilidad del fruto de la guayaba (*Psidium guajava* L.) mexicana. *Publicación Especial No. 31. INIFAP-SAGARPA-SNICS. Campo Experimental Pabellón*. 61 p.
- Padilla R.J.S., González G.E. 2010. Collection and characterization of Mexican guava (*Psidium guajava* L.) germplasm. *Acta Hort.* 849: 49-54.
- Padilla R.J.S., González G.E., Osuna G.J.A., Pérez B.M.H., Sánchez L.R. 2010. Influencia de la temperatura y precipitación sobre los sólidos solubles de la guayaba (*Psidium guajava* L.). *In: Memoria de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola*. Campeche, Cam. 251 p.
- Padilla R.J.S., González G.E. 2011. Relación entre peso y número de semillas con el tamaño de fruto de guayaba. *In: Memoria del XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas*, A.C. Culiacán, Sin. p. 81.
- Padilla R.J.S., González G.E., Pérez B.M.H., Osuna G.J.A., Espindola B.M.C., Reyes A.J.C. 2012a. Phenological behavior of guava trees (*Psidium guajava* L.) under different climatic conditions of México. *Acta Hort.* 959: 97-102.
- Padilla R.J.S., Cortés P.C. de J., Maldonado S.N.E., Sánchez R.T. 2012b. Comparative analysis for °Brix and ascorbic acid concentration of guava fruits under two fertilization treatments in Zacatecas, México. *Acta Hort.* 959: 111-115.
- Padilla R.J.S., González G.E., Rodríguez M.V.M., Reyes M.L, Osuna C.E.S., Acosta D.E. 2014a. Varianza entre y dentro e índice de repetitividad de características cuantitativas de fruto de guayaba. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:1423-1432.
- Padilla R.J.S., González G.E., Rodríguez M.V.M., Cortés P.C. de J., Sánchez R.T. 2014b. Caracterización morfológica y bioquímica de frutos de guayaba. *Folleto Técnico No. 58. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Pabellón*. 32 pp.
- Pandey D., Shukla S.K., Yadav R.C., Nagar A.K. 2007. Promising guava (*Psidium guajava* L.) cultivars for North India conditions. *Acta Hort.* 735:91-94.
- Perales de la C.M.A., Silguero J.F. 1995. Caracterización de colectas de guayaba *Psidium guajava* L. de la región Calvillo-Cañones por forma y componentes del fruto. *Agric. Téc. Méx.* 21: 195-203.
- Pérez Ch.V.R. 1970. Selección preliminar de guayabo en la zona de Calvillo, Ags. *In: Memoria del Primer Congreso Nacional de Fruticultura*. Aguascalientes, Ags. Agosto 1970. pp. 606-608.
- Pla L.E. 1986. Análisis multivariado. Método de Componentes Principales. Departamento de producción vegetal. Área de ciencias del agro y mar. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro. Falcón, Venezuela. 79 pp.
- Rathore D.S. 1976. Effect of season on the growth and chemical composition of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. *J. Hort. Sci.* 51: 41-47.
- Rohlf F.J. 2005. NTSYSpc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system (version 2.2). Exeter software Publisher Ptd. Setauket, N.Y. 42 p.
- Sánchez R.T. 2013. Caracterización fisicoquímica y nutricional del germoplasma de guayaba de pulpa rosa. Tesis de Maestría. Facultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. 131 p.
- SIAP-SAGARPA. 2013. Sistema de Información Agropecuario. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consultada 16 de marzo de 2013).
- Sitther V., Zhang D., Harris D.L., Yadav A.K., Zee F.T., Meinhardt L.W., Dhekney. 2014. Genetic characterization of guava (*Psidium guajava* L.) germplasm in the United States using microsatellite markers. *Gent. Resour. Crop Evol.* 61: 829-839.
- Thaipong K., Boonprakob U. 2006. Repeatability, optimal sample size of measurement and phenotypic correlations of quantitative traits in guava. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. 40: 11-19.

- UPOV 1987. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability: Guava (*Psidium guajava* L.). Geneva, Switzerland. 27 p.
- Valecillos C., Aranguren Y., Fermin G. 2010. Natural resources conservation: Guava and other *Myrtaceae* germplasm *ex situ* conservation in Mérida, Venezuela. Acta Hort. 849: 95-101.
- Waliszewski K.N., Blasco G. 2010. Propiedades nutraceuticas del licopeno. Salud Pública de México. 52: 254-265.
- Zee F.T. 2003. Guava, *Psidium guajava*, one of the fourteen germplasm collections at the USDA/ARS, national plant germplasm program. Hilo, Hawaii. In: Memoria del Primer Simposio Internacional de la Guayaba. Padilla RJS, Reyes ML., González G.E. y Perales de la C.M.A. (eds). Aguascalientes, Ags. pp: 50-53.



CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE VARIANTES SILVESTRES DE XOCONOSTLE (*Opuntia* spp.) DE ZACATECAS, MÉXICO

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF WILD CULTIVARS OF XOCONOSTLE (*Opuntia* spp.) FROM ZACATECAS, MÉXICO

de Luna-Valadez, J.M.¹; Gallegos-Vázquez, C.^{2*}; Scheinvar, L.³; Valdez-Cepeda, R.D.²

¹Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural Regional Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Zacatecas, Zac., México. ²Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Zacatecas, Zac., México. 98085. ³Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

*Autor de correspondencia: cgallegosvazquez@gmail.com

RESUMEN

Treinta y seis variantes de nopales productores de xoconostles, localizadas y colectadas en territorio del Estado de Zacatecas se caracterizaron al usar 31 atributos cuantitativos. Dichos atributos corresponden a cladodios, flores y fruto de acuerdo a la Guía para Pruebas de Distinción, Uniformidad y Estabilidad de Tuna y Xoconostle de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, por sus siglas en inglés). La información se analizó con técnicas de análisis multivariado. Los dos primeros componentes principales (CP's) explicaron el 99% de la variación total de la base de datos; el CP1 explicó el 98.81%, mientras que el CP2 el 0.22%. La estructura del CP1 fue definida principalmente por longitud y ancho de los cladodios. Los valores propios de ambos CP's se usaron para agrupar a las variantes mediante un análisis de conglomerados. Así fueron identificados seis grupos o clases de xoconostles en función de la morfometría de cladodios, flores y fruto. Los resultados confirman que en Zacatecas existe una riqueza genética de xoconostles, digna de ser conservada y aprovechada.

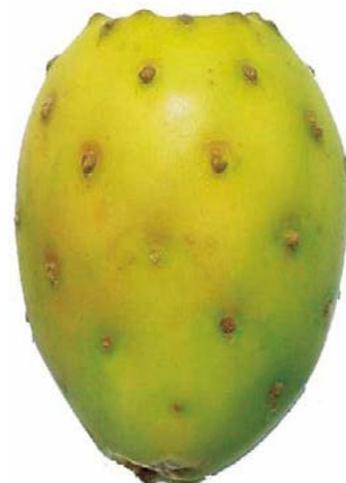


Palabras clave: Tuna, xoconostle, UPOV, conglomerados, componentes principales.

ABSTRACT

Thirty-six cultivars of prickly pear plants that produce xoconostles were characterized, located and collected in the territory of the state of Zacatecas by using 31 quantitative traits. These traits correspond to cladodes, flowers and fruits according to the Guide for Distinction, Uniformity and Stability Tests for Prickly Pear and Xoconostle of the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). The information was analyzed with multivariate analysis techniques. The two first principal components (PCs) explained 99 % of the total variation of the data base; the PC1 explained 98.81 %, while the PC2, 0.22 %. The structure of PC1 was defined primarily by the length and width of the cladodes. The values of both PCs were used to group the cultivars through a conglomerate analysis. Thus, six groups or classes of xoconostles were identified in function of the morphometry of cladodes, flowers and the fruit. The results confirm that in Zacatecas there is a genetic wealth of xoconostles worthy of being conserved and used.

Keywords: prickly pear, xoconostle, UPOV, conglomerates, principal components.



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016. pp: 19-27.

Recibido: julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.

INTRODUCCIÓN

Opuntia Mill, es un género complejo que incluyen especies usadas para el consumo de cladodios tiernos, conocidos en México como nopalitos, obtenidos principalmente de *O. ficus-indica*, o por sus frutos (muchas especies silvestres y domesticadas), llamadas tunas y xoconostles (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2011). En México se designa xoconostle (del náhuatl: xoco=ácido; noxtle=tuna) a las tunas ácidas (Bravo-Hollis, 1978), cuyas paredes gruesas se utilizan en la alimentación humana y en la medicina tradicional (Sánchez-Venegas y Ortega-Delgado, 1996; García-Pedraza *et al.*, 2005; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010; Scheinvar *et al.*, 2009). Las especies de *Opuntia* Mill, productoras de xoconostles se distinguen por presentar paredes interiores anchas, comestibles, pared exterior delgada (Figura 1). Presentan semillas dispuestas en el centro del fruto con funículos secos (Scheinvar *et al.*, 2009) o semisecos, con la característica particular de que sus frutos permanecen sobre los cladodios durante todo el año o más, probablemente por las reducidas tasas de producción de etileno al madurar, tal y como lo reportaron Ávalos-Andrade *et al.* (2006). En xoconostle, a pesar de ser una planta con grandes potencialidades, existen pocos trabajos que permitan conocer su diversidad, puesto que solo se tienen 600 ha con plantaciones comerciales de xoconostle cuaresmeño (*Opuntia matudae*) en los estados de México e Hidalgo (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2009), pero se desconoce la extensión de nopaleras silvestres con xoconostles en el país (García-Pedraza *et al.*, 2005); además las descripciones de las especies de xoconostles que se encuentran en literatura se refieren a variables morfológicas de fruto. Con base en lo anterior, se caracterizaron grupos (clases) de xoconostle recolectadas para identificar relaciones morfológicas entre 31

atributos cuantitativos de cladodio, flor y fruto, con base a directrices de UPOV (2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Variantes de xoconostle

Se exploraron nopaleras silvestres del estado de Zacatecas, México, durante los meses de febrero a noviembre de 2010, con énfasis en variantes de nopal productores de xoconostle, mediante el cual se obtuvieron y documentaron 36 recolectas de xoconostle (Cuadro 1). Las variables evaluadas fueron 31 morfológicas, de las cuales, ocho describían el cladodio; cinco a la flor y 18 al fruto, de acuerdo con las pautas de la prueba para la tuna y xoconostles de UPOV (2004). Diez plantas de cada variante se usaron como repeticiones y en cada planta se midieron 10 cladodios, 20 flores y 20 frutos. Los atributos de peso y longitud se cuantificaron con balanza 'Digital Scout' con capacidad 400×0.1 y un vernier digital 'Performance Tool W m80150', según el caso. El pH y los sólidos solubles totales (°Brix) se midieron con potenciómetro digital 'HANNA®' y refractómetro digital portátil 'PR-101ATAGO PALETTE', respectivamente.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis multivariados de Componentes Principales (CP's) y Conglomerados con base en una matriz de datos conformada por 36 variantes biológicas y 31 atributos de xoconostle. En el primer caso, las variables se estandarizaron (media cero y varianza uno) y la matriz de correlaciones se usó para extraer los componentes principales que explicaran la varianza asociada a una variable (Gutiérrez-Acosta *et al.*, 2002). En el segundo caso, al considerar los valores propios de los dos primeros CP's y la distancia euclidiana y el método de grupos apareados no ponderados como índice de similitud y técnica de agrupamiento respectivamente, y se identificaron los grupos de variantes (Johnson, 1998). Ambos análisis se hicieron con el programa 'Multi-Variate Statistical Package Version 3.13r' (Kovach Computing Services, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer componente principal (CP1) explicó el 98.81% de la variación total de las 36 variantes y los 31 atributos o características cuantitativas; mientras que el CP2 explicó el 0.22% (Cuadro 2). En forma conjunta, los dos primeros

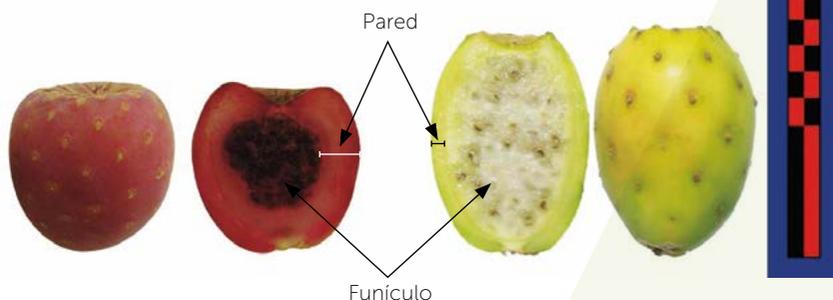


Figura 1. Características distintivas entre frutos de nopales productores de tuna (derecha) y xoconostle (izquierda).

Cuadro 1. Datos de pasaporte de las variantes silvestres de Xoconostle (*Opuntia* spp.).

Variante	Especie	Coordenadas		Altitud (m)
		Latitud	Longitud	
Chocho	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 32' 10"	103° 14' 3.2"	2171
Cuaresmeño Zacatecano	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 33' 7.28"	103° 12' 3.33"	2125
Apastillado	<i>O. oligacantha</i> Förster	23° 33' 37.8"	103° 12' 17"	2104
Arroyo Hondo	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 57"	103° 11' 52"	2120
Café	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 37.8"	103° 12' 17"	2014
Chaveñito	<i>O. sainaltense</i> sp. Nov.	23° 33' 39.9"	103° 12' 11.1"	2105
Ranchito	<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber	23° 33' 37.8"	103° 12' 17.3"	2104
Cuerón	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 32' 07"	103° 13' 03"	2173
Cenizo	<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber	23° 33' 01"	103° 12' 01"	2118
Cambray	<i>O. duranguensis</i> B&R	23° 32' 16.2"	103° 14' 55"	2174
Guerito	<i>O. oligacantha</i> Förster	23° 33' 55"	103° 11' 56"	2125
Sainero	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 33' 7.26"	103° 12' 3.18"	2125
Rosita	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 7.26"	103° 12' 3.18"	2125
sardo	<i>O. galleguiana</i> Scheinvar & Olalde	23° 33' 55"	103° 11' 56"	2125
CV-5	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 37.8"	103° 12' 17"	2104
La Virgen	<i>O. duranguensis</i> Briton & Rose	23° 33' 45.8"	103° 12' 52.3"	2147
Turbinado	<i>Opuntia</i> sp.	23° 32' 12"	103° 14' 01"	2178
Jaspeado	<i>O. duranguensis</i> × <i>O. joconostle</i>	23° 32' 04"	103° 14' 03"	2171
E-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 29' 33.6"	101° 59' 26.9"	2115
G-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 26' 7.8"	101° 51' 0.1"	2227
J-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 16"	101° 51' 8.6"	2223
J-2	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 13.7"	101° 51' 6.7"	2229
J-3	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 15.5"	101° 51' 4.9"	2223
J-4	<i>Opuntia</i> sp.	22° 26' 50.6"	101° 50' 57.7"	2220
T-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 5.9"	101° 51' 31.5"	2239
T-2	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 3.3"	101° 51' 33.7"	2245
T-3	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 4.3"	101° 51' 30.5"	2239
T-4	<i>O. matudae</i> Scheinvar	22° 27' 04"	101° 51' 30.6"	2238
T-6	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 4.2"	101° 51' 33.6"	2245
S-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 25' 39.6"	101° 51' 45.9"	2254
SP1	<i>O. matudae</i> Scheinvar	21° 57' 16.6"	101° 35' 7.1"	2198
SPC1	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 40"	101° 35' 33.3"	2227
SPC2	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 39.5"	101° 35' 33.6"	2229
SPC3	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 38.2"	101° 35' 32.3"	2232
SPC4	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 39.5"	101° 35' 30.4"	2237
SPC5	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 4.1"	101° 35' 38.8"	2238

Dada la complejidad de la taxonomía de *Opuntia* Mill, 21 variantes recolectadas no fueron identificadas en el marco del presente estudio. Todas están resguardadas en el Depositario Nacional de *Opuntia*, donde son objeto de estudio y documentación, incluyendo su identificación taxonómica.

CP's explicaron poco más del 99% de la variación total, de manera que la variación de su estructura puede proveer conocimiento básico sobre las relaciones entre variables y entre éstas y componentes principales. El CP1 fue definido estructuralmente por longitud y

ancho del cladodio, la relación entre ambas, grosor del cladodio, número de hileras de areolas, número de areolas en la hilera central, número de espinas en la areola central, longitud de la espina central, longitud de la flor, longitud del pericarpelo, ancho del pericarpelo,

Cuadro 2. Matriz de correlaciones entre las variables y los Componentes Principales.

Clave	Significado	CP1	CP2
%	Porcentaje de varianza explicado	98.811	0.222
Lc	Longitud del cladodio	0.206	0.058
Rc	Anchura del cladodio	0.208	0.056
RL/A	Relación Longitud/Anchura	0.295	0.139
GC	Grosor del cladodio	0.106	0.114
Nha	Número de hileras de Areolas	0.124	0.193
Nhac	Número de areolas en la hilera central	0.146	0.298
Nea	Número de espinas en la areola central	0.105	0.247
Lec	Longitud de la espina central (mm)	0.118	0.020
Nf	Número de flores	0.066	0.056
Lf	Longitud de la flor (mm)	0.231	0.042
Lp	Longitud del pericarpelo (mm)	0.219	0.024
Ap	Ancho del pericarpelo (mm)	0.307	0.063
Nle	Número de lóbulos del estigma	0.197	0.192
Lfr	Longitud del fruto (mm)	0.158	-0.156
Dmf	Diámetro máximo del fruto (mm)	0.237	-0.200
RL/Dm	Relación Longitud/Diámetro Máximo del fruto	0.250	-0.072
Daf	Densidad de las areolas del fruto	0.118	0.199
Lpf	Longitud del pedúnculo del fruto (mm)	0.030	0.122
Dcr	Depresión de la cicatriz del receptáculo (mm)	0.077	0.194
Dicr	Diámetro de la cicatriz del receptáculo (mm)	0.206	-0.165
Ec	Espesor de la cáscara (mm)	0.125	-0.211
Pt	Peso total (g)	0.084	-0.273
Pcf	Peso de la cáscara del fruto (g)	0.083	-0.325
Pp	Peso de la pulpa (g)	0.058	-0.222
RPp/C	Relación peso de la pulpa/cáscara	0.069	0.058
Nsd	Número de semillas completamente desarrolladas	0.054	-0.298
Nsa	Número de semillas abortivas	0.022	-0.176
Nts	Número total de semillas	0.054	-0.354
Ts	Tamaño de la semilla (mm)	0.301	-0.109
°Bx	Total de sólidos solubles	0.212	-0.061
pH	Acidez del fruto	0.361	0.010
Eigen- values	Valores propios	2113.58	4.747

número de lóbulos del estigma, longitud del fruto, diámetro máximo del fruto, relación longitud y diámetro máximo de fruto, densidad de las areolas del fruto, diámetro de la cicatriz del receptáculo, espesor de la cáscara, tamaño de la semilla, total de sólidos solubles de la pulpa y acidez de la cáscara. Todos estos atributos se correlacionaron positivamente entre sí. En este componente se observó que los atributos longitud de fruto y diámetro máximo del fruto se correlacionaron de manera positiva con espesor de cáscara, diámetro

de la cicatriz del receptáculo, tamaño de semilla, total de sólidos solubles de la pulpa y pH de la cáscara; es decir, a mayor longitud y diámetro del fruto, también se incrementaron estos atributos.

La estructura del CP2 fue definida por la relación longitud y anchura del cladodio, grosor del cladodio, número de hileras de areolas, número de areolas en la hilera central, número de espinas en la areola central, número de lóbulos del estigma, longitud del fruto,

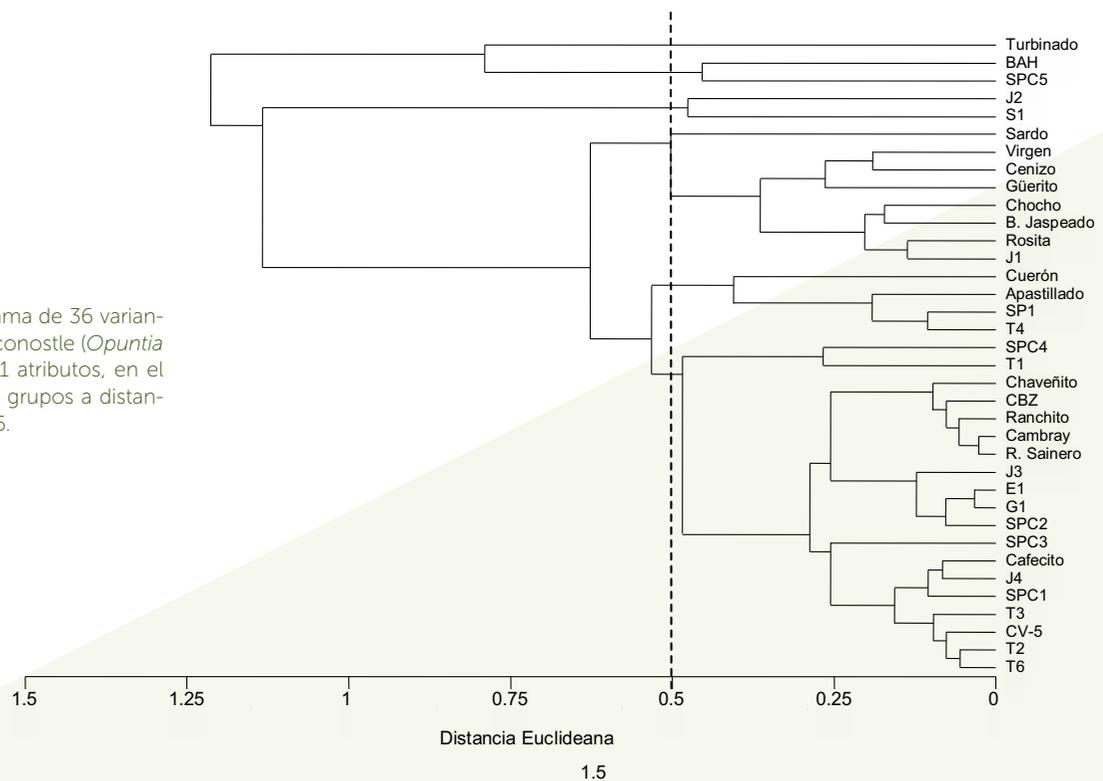
diámetro máximo del fruto, densidad de las areolas del fruto, longitud del pedúnculo del fruto, depresión de la cicatriz del receptáculo, espesor de la cáscara, peso total del fruto, peso de la cáscara del fruto, peso de pulpa, número de semillas completamente desarrolladas, número de semillas abortivas, número total de semillas y tamaño de la semilla. Estos atributos formaron dos grupos; uno integrado por atributos con signo positivo y otro por atributos con signo negativo. De esta forma, los integrantes de cada grupo se correlacionaron de manera positiva entre sí, pero negativamente con los del otro grupo. El grupo con valores positivos se conformó por los atributos relación longitud y anchura del fruto, grosor del cladodio, número de hileras de areolas, número de areolas en la hilera central, número de espinas en la areola central, número de lóbulos del estigma, densidad de las areolas del fruto, longitud del pedúnculo del fruto y depresión de la cicatriz del receptáculo. El grupo con los signos negativos estuvo integrado por longitud del fruto, diámetro máximo del fruto, depresión de la cicatriz del receptáculo, espesor de la cáscara, peso total del fruto, peso de la cáscara del fruto, peso de la pulpa, número de semillas completamente desarrolladas, número de semillas abortivas, número total de semillas y tamaño de la semilla (Cuadro 2). Los resultados del análisis de componentes principales, aun cuando es una técnica de ordenamiento, permitieron evidenciar visualmente seis posibles clases de variantes de

xoconostle (Figura 2). Sin embargo, la diferenciación entre grupos no se soportó estadísticamente. Por consiguiente, las estructuras de los dos primeros componentes principales se usaron para realizar el análisis de conglomerados. Este procedimiento fue usado de manera similar por Gutiérrez-Acosta *et al.* (2002) para generar clases de nopal tunero con base en atributos de fruto, así como, por Gallegos-Vázquez *et al.* (2012) en el caso de xoconostles al considerar atributos de cladodio, flor y fruto.

Análisis de Conglomerados

Este análisis se realizó al considerar la estructura de los dos primeros CP's ya que explicaron el 99% de la varianza y pudo facilitar el proceso de identificación de clases o grupos de variantes de xoconostle sin omitir mucha información (1%) de la base de datos original. Los resultados permitieron evidenciar que, a una distancia euclídeana de 0.5, seis grandes grupos o clases de xoconostles son apreciables (Figura 3). El primer grupo con una sola variante, los grupos segundo y tercero con dos variantes cada uno, el cuarto grupo con ocho, el quinto con cuatro y el sexto con diecinueve (Figuras 2 y 3). La coincidencia de grupos evidenciados con las dos técnicas multivariadas usadas se soporta en el hecho de que el análisis de varianza mostró que a los dos primeros CP's se asocian efectos significativos ($p < 0.01$) con respecto a la conformación de grupos o clases de variantes (Cuadro 3). En otras palabras, los seis grupos

Figura 2. Dendrograma de 36 variantes biológicas de xoconostle (*Opuntia* spp.) con base en 31 atributos, en el que se aprecian seis grupos a distancia euclídeana de 0.5.



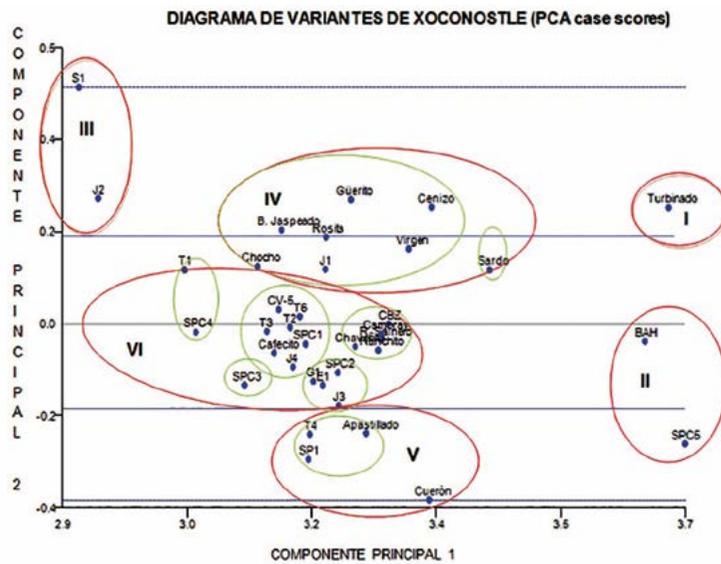


Figura 3. Distribución de grupos y subgrupos de variantes de xoconostle (*Opuntia* spp.) en el espacio bidimensional definido por los dos primeros Componentes Principales.

de variantes poseen, entre sí, diferencias importantes con sus estimadores estadísticos (Cuadro 3).

El grupo I se conformó por la variante Turbinado, ya que se diferenció por el tamaño del cladodio y gran número de hileras de areolas; además, el peso del fruto fue mucho mayor en comparación con otros grupos, aunque su tamaño fue de pequeño a medio. Cerca del grupo I se encuentra el grupo II con dos variantes; Blanco Arroyo Hondo (BAH) y SPC5, cuyas características o atributos son sobresalientes en cuanto al tamaño del cladodio; los frutos de estas variantes fueron los

Cuadro 3. Análisis de varianza para los seis grupos al considerar los coeficientes de los dos primeros CP's extraídos de 36 variantes biológicas y 31 atributos de xoconostle (*Opuntia* spp.), así como, estadísticos básicos de los grupos conformados al usar la distancia euclidéana y método de agrupamiento por promedios apareados no ponderados.

	Entre Grupos		Dentro de Grupos		F	p
	SC	GL	SC	GL		
CP1	0.879161	5	0.121486	30	43.42040	0.000001
CP2	0.762522	5	0.237895	30	19.23177	0.000001
Estadísticos Básicos						
	Media	Desviación Estándar	Varianza			
Grupo I						
CP1	3.615500	0.0	0.0			
CP2	-0.2667	0.0	0.0			
Grupo II						
CP1	3.668667	0.026160	0.000684			
CP2	-0.014667	0.231172	0.053440			
Grupo III						
CP1	2.914500	0.017678	0.000313			
CP2	0.353500	0.153442	0.023544			
Grupo IV						
CP1	3.243000	0.082434	0.006795			
CP2	0.169429	0.052886	0.002797			
Grupo V						
CP1	3.256400	0.065190	0.004250			
CP2	-0.240600	0.069378	0.004813			
Grupo VI						
CP1	3.161000	0.059828	0.003579			
CP2	-0.040538	0.067457	0.004550			



más pesados, de tamaño medio con un valor grande de número de hileras de areolas. El grupo **III** se conformó por las variantes S1 y J2, caracterizadas por tener frutos muy pequeños con poca cantidad de semillas y poco peso, un gran número de hileras de areolas en el cladodio y la longitud de las espina fue considerablemente grande. El grupo **IV** se formó por las variantes Chocho, Blanco Jaspeado, Rosita, J1, Güerito, De la Virgen, Cenizo y Sardo.

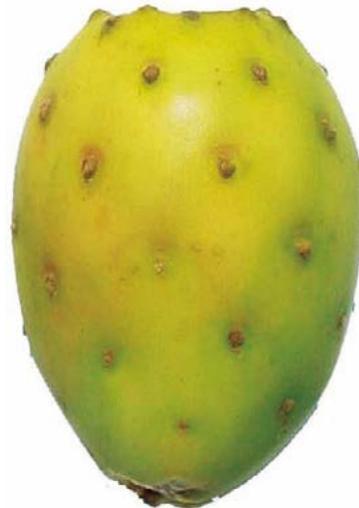
El grupo **V** compuesto por las variantes T4, SP1, Apastillado y Cuerón, ésta última se separa de las otras tres formando un subgrupo; Apastillado pertenece a la especie *O. oligacantha*, las otras tres variantes son de *O. matudae*; Cuerón se separa de las otras tres porque presenta algunos atributos como número total de semillas, número de semillas completamente desarrolladas, cantidad de sólidos solubles, grosor del cladodio, peso total del fruto, peso de cáscara y pulpa con valores relativamente mayores.

El Grupo **VI** se conformó por 19 variantes, las cuales formaron cinco subgrupos bien definidos. T1 y SPC4 formaron el primero por sus atributos longitud del fruto, la distancia entre areolas, el peso total del fruto, el peso de la cáscara, el número total de semillas y el grado de acidez. Las variantes CV-5, T6, T3, T2, SPC1, Cafecito y J4 al segundo, agrupados por características afines como la longitud y ancho del cladodio, diámetro máximo del fruto y longitud del fruto. Cuaresmeño Blanco Zacatecano (CBZ), Cambray, Rojo Sainero, Chaveñito y Del Ranchito conformaron el tercero; la agrupación se debió a valores similares de las características longitud del cladodio, longitud del fruto y peso total del fruto. Al cuarto subgrupo lo integraron SPC2, G1, E1 y J3 ya que presentaron similitud en longitud y ancho del cladodio, longitud de la espina más larga, diámetro máximo del fruto, tamaño de la semilla y pH. La variante SPC3 fue el quinto grupo diferenciado por el reducido número de cladodios con flor y la poca densidad de areolas del fruto.

Es notorio que los grupos reconocidos en el dendograma no se ajustan a la clasificación botánica actual (Scheinvar *et al.*, 2009), ya que en todos figuran dos o más de las especies reconocidas (Cuadro 1). Esto es común en *Opuntia* Mill, y la subfamilia *Opuntioideae* (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012). Tal apreciación está probablemente relacionada con el alto nivel de plasticidad fenotípica, poliploidía e hibridación interespecífica (Wallace y Gibson, 2002) y también a que el grupo se encuentra en un proceso activo de diferenciación, lo cual hace difícil la delimitación de las especies (Bravo-Hollis, 1978; González-Durán *et al.*, 2001). Este es el primer informe, hasta donde se sabe, en el que los resultados acotan la complejidad de la taxonomía del género *Opuntia* Mill; de hecho, 16 de las 36 variantes biológicas carecen de un reconocimiento taxonómico formal. En este contexto, se propone

que la variante Turbinado (única integrante del Grupo **I**) sea considerada como nueva especie por sus atributos morfológicos distintivos asociados a microestructuras de las espinas, glóquidas, epidermis, granos de polen, cera cuticular y semilla y otras evidencias complementarias (no presentadas en este escrito); pues en opinión de Scheinvar *et al.* (2009) son distintivas y características de cada especie. La filogenia de las 36 variantes debe definirse al considerar las de especies domesticadas y silvestres afines de nopal, e.g. *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha*, *O. ficus-indica*, *O. megacantha* y *O. Albicarpa*, y de xoconostle, e.g. *O. Matudae*, *O. Joconostle* y *O. Oligacantha*.

Las variantes S1 y J2 (Grupo **III**), caracterizadas por frutos muy pequeños con poca cantidad de semillas y peso reducido, gran número de hileras de areolas en el cladodio y longitud grande de las espina, quieren importancia limitada para ser consideradas en programas hortofrutícolas, debido al tamaño del fruto y parte comestible (en el caso de los xoconostles es la pared –mesocarpo–) influyen sobre la calidad de la fruta (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012) y son dos de los principales criterios, junto con la productividad, que se han seguido dentro del proceso de domesticación de otras especies frutícolas; según Pimienta-Barrios y Muñoz-Urías (1999), la selección de tunas y xoconostles ha sido dirigida a frutos grandes y atractivos. En este contexto, las variantes del grupo **V**, tres de *O. matudae* (T4,



SP1 y Cuerón) y una de *O. oligacantha* (Apastillado), pueden ser de gran interés frutícola; en especial, Cuerón se distingue por valores grandes de algunos atributos como número total de semillas, número de semillas completamente desarrolladas, la cantidad de sólidos solubles, el grosor del cladodio, además sobresale por el peso total del fruto, peso de cáscara y pulpa.

El Grupo **VI**, integrado por 19 variantes que forman cinco subgrupos, posee también perspectivas interesantes. Los subgrupos 1 (T1 y SPC4) y 5 (SPC3) se conformaron por variantes con valores grandes de atributos como densidad y número de areolas, número de frutos y número de cladodios con flores. Dado que las areolas son estructuras homólogas a las yemas axilares (González-Duran *et al.*, 2001) pueden dar origen a hojas, espinas, glóquidas, flores y tallos si se ubican en las partes aéreas, o desarrollar raíces si se encuentran en contacto con el suelo (Bravo-Hollis, 1978). Además, la densidad de areolas, número de hileras de areolas y el número de areolas en la hilera central definen al número de areolas de la corona de la penca y, por lo tanto, se pueden relacionar con la emisión potencial de brotes florales; es decir, son variantes con atributos deseables para posibles fines de propagación y producción de frutos.

Durante los siglos de la selección informal de los nopales productores de xoconostle por agricultores mexicanos, el interés se centró en el sabor ácido de las paredes de su fruto, frutos grandes y plantas productivas (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012). En este estudio se evidenció que las 36 variantes de xoconostle presentaron niveles de acidez (pH 2.85 a 3.98) similares o inferiores que la variedad Cuaresmeño (pH=3.03; *O. matudae*), el de mayor importancia comercial por su demanda (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2009) y producido en huertas comerciales del Estados de México e Hidalgo. Aún en la actualidad, los consumidores otorgan atención especial al valor nutrimental de los productos hortícolas. Ello ha generado la tendencia a producir alimentos con calidad nutritiva y funcional, como tuna y xoconostle (Cevallos-Cassals y Cisneros-Zeballos, 2004). Sin embargo, el consumo de xoconostles en México sigue la tendencia de las especias y condimentos; la adición de xoconostle fresco y picado en salsas y platos salados modifica gratamente el sabor y atrae aún más al consumidor. En las zonas semiáridas de México, el xocostle representa un complemento y añade interés a las dietas cotidianas con base en maíz y frijol (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012).

Por consiguiente, la diversidad evidenciada, con respecto al pH del extracto de la cáscara, debe seguir siendo preservada. Los resultados indican que en trabajos futuros se puede evidenciar la diversidad de posibles atributos nutritivos y funcionales de las 36 variantes, así como, la identificación de ingredientes activos y sus efectos sobre enfermedades degenerativas como diabetes mellitus, un problema de salud pública en aumento. Asimismo, pueden dar lugar a la identificación de posibles propiedades anticancerígenas, hipoglucémicas, de control del colesterol y reductoras de peso corporal (Cassiana-Paiz *et al.*, 2010; Pimienta-Barrios *et al.*, 2008; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010). También, es recomendable tomar como base a la diversidad de xoconostle para desarrollar nuevos productos procesados.

CONCLUSIONES

Los dos primeros componentes principales (CP's) explicaron el 99% de la variación total de las 36 variantes de nopales productores de xoconostle y los 31 atributos cuantitativos evaluados. Las estructuras de esos CP's proveen conocimiento básico sobre las relaciones entre variables. A una distancia euclidiana (índice de similitud) de 0.5 se definieron seis grupos con base en características de cladodio, flor y fruto. El grupo **V** permitió agrupar a las variantes SP1, T4, Cuerón y Apastillado; las tres primeras corresponden a *O. matudae* y la última a *O. oligacantha*. Esas variantes poseen características de interés hortícola, en especial, peso de fruto, pulpa y cáscara (pared). Esta información puede ser útil para la selección de variantes de xoconostles con fines hortícolas. Es notorio que los grupos (o clases) reconocidos en el dendrograma no se ajustan a la clasificación botánica actual. Por lo tanto, se sugiere generar la clasificación de xoconostles con base en atributos morfométricos y genéticos que los distinguen.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento al Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI-SNICS-SAGARPA); a través de la Red de Nopal (FRU-NOP-09-5) y al Programa de Fruticultura de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (09230204).

LITERATURA CITADA

Ávalos-Andrade A., Ramírez-Cordova Y., Goytia-Jimenez M.A., Barrientos-Priego A.F., Saucedo-Veloz C. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. Revista Chapingo, Serie Horticultura 12: 117-123.

- Bravo-Hollis H. 1978. Las cactáceas de México. Vol I Universidad Nacional Autónoma de México. 2ª Edición. México, D.F. 743 p.
- Cassiana-Paiz R., Juárez-Flores B.I., Aguirre Rivera J.R., Cárdenas Ortega N.C.; Reyes-Agüero J.A. 2010. Glucose-lowering effect of xoconostle (*Opuntia joconostle* A. Web., Cactaceae) in diabetic rats. *J. of Medicinal Plants Research* 4(22): 2326-2333.
- Cevallos-Casals B., Cisneros-Zevallos L. 2004. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chem.* 86: 69.
- Gallegos-Vázquez C., Mondragón-Jacobo C., Reyes-Agüero J.A. 2009. An update on the evolution of the cactus pear industry in Mexico. *Acta Horticulturae* 811: 69-76.
- Gallegos-Vázquez C., Barrientos-Priego A.F., Reyes-Agüero J.A., Núñez-Colín C.A., Mondragón-Jacobo C. 2011. Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. *J. PACD* 13: 10-23.
- Gallegos-Vázquez C., Scheinvar L., Núñez-Colín C.A., Mondragón-Jacobo C. 2012. Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia* spp.) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. *Fruits* 67(2): 4-20.
- García-Pedraza L.G., Reyes-Agüero J.A., Aguirre-Rivera J.R., Pinos-Rodríguez J.M. 2005. Preliminary nutritional and organoleptic assessment of xoconostle fruit (*Opuntia* spp.) as a condiment or appetizer. *Ital. J. Food Sci.* 17(3): 333-340.
- González-Duran A., Riojas-López M.E., Arreola-Nava H.J. 2001. El Género *Opuntia* en Jalisco, Guía de Campo. Universidad de Guadalajara, CONABIO. Guadalajara, México. 135 p.
- Gutiérrez-Acosta F., Valdez-Cepeda R.D., Blanco-Macías F. 2002. Multivariate analysis of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits from a germplasm collection. *Acta Horticulturae* 581: 111-118.
- Guzmán-Maldonado S.H., Morales-Montelongo A.L., Mondragón-Jacobo C., Herrera-Hernández M.G., Guevara-Lara F., Reynoso-Camacho R. 2010. Physicochemical, nutritional and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from central-Mexico region. *J. Food Sci.* 75: 485-491.
- Johnson D.E. 1998. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. D.F., México: International Thompson Editores.
- Kovach Computing Services. 2009. Multi-Variate Statistical Package Version 3.13r. <http://www.kovcomp.com>
- Pimienta-Barrios E., Méndez-Morán L., Ramírez-Hernández B.C., García De Alba-García J.E., Domínguez-Arias R.M. 2008. Efecto de la Ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia* 42: 645-653.
- Pimienta-Barrios E., Muñoz-Urías A. 1999. Domesticación de nopales tuneros (*Opuntia* spp.) y descripción de las principales variedades cultivadas, in: Barbera G., Inglese P., Pimienta-Barrios E. (Eds.), *Agroecología, cultivo y usos del nopal*, Estud. FAO, Ser. Prod. Prot. Veg. 132. Rome, Italy. pp. 61-67.
- Sánchez-Vanegas G., Ortega-Delgado M.L. 1996. Componentes químicos durante la maduración del fruto de *Opuntia joconostle* Weber forma cuaresmeño. *Agrociencia* 30: 541-548.
- Scheinvar L., Filardo-Kerstupp S., Olalde-Parra G., Zavaleta-Beckler P. 2009. Diez especies mexicanas productoras de xoconostles: *Opuntia* spp. y *Cylindropuntia imbricata* (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F. 179 p.
- UPOV. 2004. Cactus Pear and Xoconostles (*Opuntia*, Groups 1 & 2), Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability. TG/217/1. Geneva: International Union for the Protection of New Varieties of Plants.
- Wallace R.S., Gibson A.C. 2002. Evolution and systematic, in: Nobel P.S. (Ed.), *Cacti: biology and uses*, Univ. Calif. Press, Berkeley, U.S.A. pp. 1-22.



COLECTA Y CONSERVACIÓN *in vitro* Y *ex situ* DE RECURSOS FITOGENÉTICOS DE *Carica papaya* L.

In vitro AND *ex situ* COLLECTION AND CONSERVATION OF *Carica papaya* L. PHYTOGENETIC RESOURCES

Soriano-Melgar, L.L.A.¹; Alcaraz-Meléndez, L.^{1*}; Rodríguez-Álvarez, M.; Real-Cosío, S.¹

Programa de Agricultura en Zonas Áridas, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur. C.P. 23096. México. Teléfono: +52 (612) 123-8439. Fax: +52 (612) 125-3625.

*Autor de correspondencia: lalcaraz04@cibnor.mx

RESUMEN

Se recolectaron frutos brotes de papaya (*Carica papaya* L.) criolla en el centro y sur de Estado de Baja California Sur, México, en las localidades de El Pescadero, Ejido en Comondú Ley Federal de Aguas #2, La Paz, La Purísima, La Ribera, San Bartolo, San Javier, San Miguel de Comondú y Todos Santos, con el fin de conservación y multiplicación. Se multiplicaron los brotes en condiciones asépticas, en frascos de vidrio conteniendo 20 ml de medio Murashige-Skoog (MS) (1962) con 3% de sacarosa y 0.8% de agar para su cultivo *in vitro*. Se realizaron tratamientos para la propagación y enraizamiento *in vitro* de los brotes, los resultados obtenidos muestran que 2 mg L⁻¹ de ácido naftalen acético incrementa la producción de brotes. El ácido indol butírico a concentraciones de 3 μM genera el enraizamiento de los brotes, los cuales una vez establecidos, se desarrollan rápidamente. Parte de este material fue transferido a condiciones de invernadero para su aclimatación y posterior siembra a campo. Por lo que actualmente se conserva germoplasma de semillas y plantas de papaya criolla *in vitro* y *ex situ*.

Palabras claves: Conservación, germoplasma, papaya criolla, propagación.

ABSTRACT

Fruit buds from Creole papaya (*Carica papaya* L.) were collected in the center and south of the state of Baja California Sur, México, in the localities of El Pescadero, Ejido en Comondú Ley Federal de Aguas #2, La Paz, La Purísima, La Ribera, San Bartolo, San Javier, San Miguel de Comondú and Todos Santos, with the aim of conservation and multiplication. The buds were multiplied under aseptic conditions, in glass containers with 20 ml of Murashige-Skoog (MS) (1962) medium, with 3 % sucrose and 0.8 % agar for its *in vitro* cultivation. Treatments were used for the *in vitro* propagation and rooting of the buds; the results obtained show that 2 mg L⁻¹ of naphthalene acetic acid increase the production of buds. The indole-butyrac acid at a concentration of 3 μM generates the rooting of the buds, which once established develop quickly. Part of this material was transferred to greenhouse conditions for its acclimation and later planting into the field. Therefore, germplasm from Creole papaya seeds and plants is conserved *in vitro* and *ex situ*.

Keywords: conservation, germplasm, Creole papaya, propagation.

Abreviaturas: Baja California Sur (BCS), Medio de cultivo Murashigue-Skoog (MS), MS con ácido Naftalen acético (2 mg/l) y adenina (5 mg/l) (MNA), MS con ácido indolbutírico (IBA, 1×10⁻⁵ M) y kinetina (5 mg/l) (MIK).

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016, pp: 28-32.

Recibido: julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2015.



INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta herbácea de rápido crecimiento, originaria de Mesoamérica y América central (Singh *et al.*, 2010). Se desarrolla en clima tropical o subtropical, desde el cálido más seco hasta el clima subhúmedo; fue clasificada taxonómicamente como *Carica papaya* L. (1753). (Caricaceae) en Species Plantarum 2: 1036. 1753. Existen muchas variedades registradas, de las cuales sobresalen por su valor comercial 'Solo', 'RedLady' y 'Maradol', y cuyo origen se registra a partir de variantes criollas de su amplia variabilidad genética atribuida a la polinización cruzada de la especie (Singh *et al.*, 2010; Terán y Rasmussen, 1995). Como en muchas especies exitosas, las variedades mejoradas están desplazando poblaciones endémicas, silvestres y criollas, principalmente por la dispersión de germoplasma élite, comercial, y por la modificación o destrucción de los centros de origen en todo el mundo (Jaramillo y Baena, 2000). A partir de los años noventa, la papaya criolla en México, ha reducido sus poblaciones de cultivo por la inclusión de cultivares tales como, 'Maradol', propiciando que en diferentes países se implementen estrategias para la conservación de los recursos genéticos de la especie que disminuyan la erosión genética (Dantas *et al.*, 2002 citado en Rodríguez-Cabello *et al.*, 2014). Es importante enfatizar que todavía se desconoce gran parte de la diversidad y erosión genética de las especies nativas y domesticadas de cada región (Da Fonseca *et al.*, 2006); y aunque la *C. papaya* no se encuentra en la lista de la Norma Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 (especies en riesgo de extinción), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica, señala que la *C. papaya* se

encuentra entre las especies con erosión genética tipo bajo (Da Fonseca *et al.*, 2006). Con base en lo anterior, en México a través del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) se diseñó el Plan Nacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la recolecta, conservación y empleo sustentable de material vegetativo de importancia agronómica (Molina y Córdova, 2006). La semilla de *C. papaya* se clasifica como medianamente recalcitrantes, es decir, que pierde su capacidad de germinación entre 6 meses a 6 años (Ellis *et al.*, 1991), y por ello, se usan técnicas para el cultivo de tejidos para mantener germoplasma vivo, considerando además que la multiplicación *in vitro*, reduce la erosión genética (Castellen *et al.*, 2007). Con esta finalidad, en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. (CIBNOR) se están llevando a cabo estrategias para la conservación de germoplasma de papaya criolla que se desarrolla en ambientes extremos de Baja California Sur (BCS). Con base en lo anterior, se recolectaron poblaciones de *C. papaya* mediante muestras de brotes y frutos para propagarlos *in vitro*, con el fin de desarrollar vitro plantas de papaya criolla provenientes de localidades del estado de BCS para su conservación *ex situ*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se exploraron once localidades de la región norte, centro y sur del estado de Baja California Sur (BCS), México, para recolectar frutos y brotes de papaya (*Carica papaya* L.) criolla, ya que bajo las condiciones climáticas de la región de estudio no hay registro de plantas silvestres (Cuadro 1, Figura 1). Los brotes obtenidos fueron introducidos *in vitro* en solución de hipoclorito de sodio al 30% durante 15 min y se enjuagaron con agua desti-

Cuadro 1. Características geográficas principales de los sitios de recolecta de accesiones de *Carica papaya* L. en Baja California Sur, México.

Sitio de colecta	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)	Número de accesiones
Ejido Ley Federal de aguas #2	25° 15' 32.2"	111° 37' 45.2"	74	9
El Comitán CIBNOR	24° 08' 08.0"	110° 25' 36.2"	8	11
El Pescadero	23° 35' 17.3"	110° 16' 09.1"	36	4
La Paz	24° 06' 54.9"	110° 19' 20.5"		5
La Purísima	26° 17' 01.0"	112° 06' 49.9"	28	1
La Ribera	23° 58' 03.2"	109° 59' 01.5"	21	3
Santiago	23° 28' 24.5"	109° 42' 31.2"	145	3
San Bartolo	23° 44' 17.2"	109° 50' 3.3"	326	19
San Javier	25° 51' 21.9"	111° 33' 11.5"	404	10
San Miguel de Comondú	26° 02' 7.6"	111° 50' 6.3"	41	10
Todos Santos	23° 27' 45.6"	110° 13' 28"	48	6



Figura 1. Frutos recolectados de *Carica papaya* L., procedentes del Ejido #2 de Baja California Sur, México.

lada estéril, se colocaron en medio Murashige-Skoog (MS) con sacarosa al 3% y agar 0.8%. Se mantuvieron en condiciones controladas a 25 ± 2 °C de temperatura y fotoperiodo de 16 horas de luz por ocho horas de oscuridad. De los frutos maduros se extrajeron semillas, eliminando el arilo y mucilago (Pohlan *et al.*, 2001). Se secaron a la sombra por 48 horas a temperatura ambiente sobre papel absorbente y posteriormente se almacenaron en sobres de papel (Hernández-Salinas *et al.*, 2012). Para la introducción *in vitro* se tomaron semillas de 1 a 2 meses de recolecta, desinfectándolas con hipoclorito de sodio comercial al 30% y se sembraron en frascos de vidrio de 120 ml conteniendo agar al 0.8% bajo condiciones asépticas, incubándolas a 30 ± 2 °C. A partir de las plántulas desarrolladas *in vitro*, se tomaron los brotes y se transfirieron a medio MS con ácido nafaleno acético (2 mg L^{-1}) y adenina (5 mg L^{-1}) (MNA), así como, MS con ácido indolbutírico (IBA, 1×10^{-5} M) y kinetina (5 mg L^{-1}) (MIK), y para la inducción del enraizamiento se evaluaron $3 \mu\text{M}$ de IBA. Se realizaron pruebas de trasplante y acondicionamiento de las plántulas *in vitro* a maceta en invernadero durante dos meses con riego dos veces por semana. Se mantuvieron a temperatura de 25 ± 5 °C e iluminación solar. El trasplante definitivo fue en suelo arenoso y condiciones con temperatura media anual de 24 °C y precipitación media anual de 267 mm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las accesiones mostraron variación en dimensión de fruto (diámetros y masa), incluso en frutos recolectados en la misma localidad (Figura 1), registrando frutos grandes, principalmente los procedentes del Ejido #2, con valores de hasta $1.6 \text{ kg fruto}^{-1}$.

La variación morfológica observada genera la posibilidad de ser utilizada para programas de mejoramiento a través de la hibridación y selección, tal como lo sugieren Rodríguez-Cabello *et al.* (2014), y como ejemplo de lo anterior, se registra el híbrido MSXJ, obtenido por Mirafuentes-Hernández y Santamaría-Basulto (2014) a partir de plantas criollas y 'Maradol' en el Campo Experimental del INIFAP en Huimanguillo, Tabasco, México. Se obtuvieron 81 accesiones en diferentes localidades (Cuadro 1, Figuras 2, 3), de las cuales se regeneraron 53 accesiones *in vitro* a partir de semilla germinadas y 28 accesiones de plantas *in vitro* a partir de brotes, en algunos casos fue posible obtener brotes y frutos de la misma accesión. La introducción de brotes disminuyó debido a contaminación. Al respecto, Roque y Ardisana (2006) reportan que la contaminación bacteriana en cultivo de tejidos de papaya es limitante, ya que las bacterias son endófitas y se encuentran en las células lactíferas internas y por lo tanto son difíciles de erradicar mediante descontaminación externa. Los brotes que se lograron introducir exitosamente *in vitro*, se desarrollaron muy lentamente y fue difícil su multiplicación. En los casos de éxito, los brotes enraizaron después de seis meses de introducción *in vitro* (Figura 4).

El Cuadro 2, muestra los valores de germinación de semillas registrando que aunque se tomaron semillas recientemente recolectadas, el porcentaje de enraizamiento fue bajo. Aunque fue baja la germinación, se obtuvo suficiente material para iniciar la propagación mediante cultivo de tejidos, y no germinaron las semillas de todos los frutos muestreados.

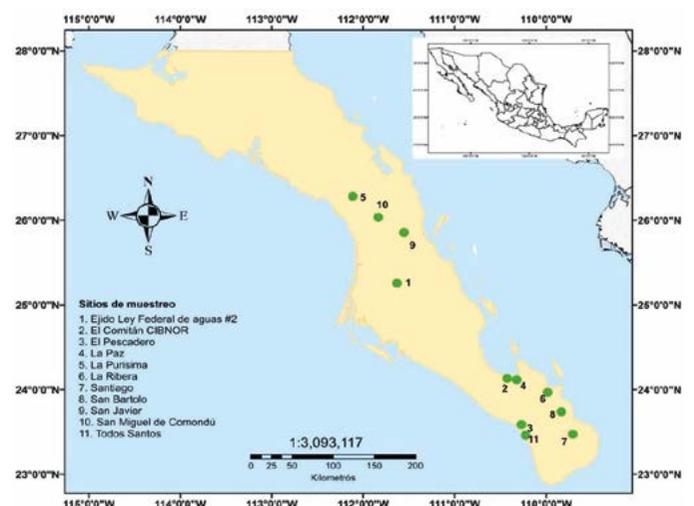


Figura 2. Distribución de *Carica papaya* L. criolla en Baja California Sur, México.



Figura 3. Sitios de recolecta en Baja California Sur: A: San Javier, B: La Paz, C: El Comitán, D: San Bartolo, E: Ejido #2, F: San Miguel de Comondú.



Figura 4. Inducción de brotes de *Carica papaya* L., a medio Murashige-Skoog (MS) con hormonas para el enraizamiento. A: brote recolectado (apical), B: brote en MS una vez desinfectado, C: callo, D: enraizamiento en brote.

Cuadro 2. Resultados de germinación de semillas de *Carica papaya* L., de accesiones obtenidas.

Sitio	1	2	4	8	9	10	11
% germinación	34	47	40	32	25	14	10

Propagación y enraizamiento *in vitro*

El mayor valor de enraizamiento (36%) se obtuvo en medio MS con naftalen acético (2 mg L^{-1}) y adenina (5 mg L^{-1}) (MNA) en comparación en el medio MS con ácido indolbutírico (IBA, $1 \times 10^{-5} \text{ M}$) y kinetina (5 mg L^{-1}) (MIK) donde se obtuvo el 4.5% de enraizamiento. Los brotes introducidos en medio MNA generaron pocos brotes laterales, en comparación con MIK. Los brotes introducidos en medio MNA enraizaron a partir de las dos semanas siguientes a su introducción. El problema principal con los medios MNA y MIK probados fue la formación de callos. Por lo que se evaluó una concentración de IBA en medio MS para lograr el enraizamiento con una disminución de formación de callos, registrando que la concentración $3 \mu\text{M}$ de IBA genera el enraizamiento de los brotes de papaya sin la formación de callo con porcentaje de enraizamiento de 73% (Figura 5 A), mientras que las pruebas de trasplante de plántulas *in vitro* a maceta, registraron 58% de sobrevivencia, y de éstas, 57% fueron sembradas en campo. (Figuras 5 B, C).

CONCLUSIÓN

La multiplicación de brotes de papaya obtenidos en campo es muy lenta. Sin embargo, es la mejor manera de garantizar la



Figura 5. A: Generación de raíces de *Carica papaya* L., aplicando IBA 3 μ M. B: adaptación en invernadero. C: Germoplasma *ex situ* trasplantadas a campo a partir de plántulas *in vitro*.

identidad y éxito de las accesiones y preservar las características deseables, registrando que una vez establecidas la plantas, el desarrollo fue rápido, logrando propagar el germoplasma de papaya criolla en condiciones *in vitro*, así como, llevar a cabo su multiplicación en cultivo de tejidos y el desarrollo y mantenimiento *ex situ*. La colección de germoplasma permite, la reducción de la pérdida de recursos fitogenéticos o erosión genética.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es resultado de actividades de la Red de Papaya, y se agradece al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SAGARPA-SNICS-SINAREFI) por el financiamiento de la presente investigación. Al CIBNOR por el apoyo recibido, a Diana Dorantes-Salas por edición en inglés y Elvia Pérez Rosales por elaboración del mapa.

LITERATURA CITADA

- Castellen S.M., da Silva C.A., Oliverira E.J., Monteiro L.S., Loyola J.L. 2007. Caracterizaçõ de acessos do banco activo de germoplasma de mamao por meio de análise multivariada. *Magistra*, Cruz das Almas-BA 19: 299-303.
- Da Fonseca M.A.J., da Silva-Wetzel M.M.V., Celso-Candeira A. 2006. El estado del arte de los recursos genéticos en las Ámericas: Conservación, caracterización y utilización. Embrapa. Brasilia, Brasil. 1-61 p.
- Dantas J., Dantas A., Lima F. 2002. Mamoeiro. *In*: Bruckner, C.H (Eds). *Melhoramento de fruteiras tropicais*, Viçosa: UFV. pp. 309-349.
- Dantas J.L., de Souza R.M., Firmino J., Ferreira F. R. 2000. Catálogo de germoplasma de mamao (*Carica papaya* L.). Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, Bahía, Brasil. 40 p.
- Ellis R.H., Hong T.D., Roberts E.H. 1991. Effect of storage temperature and moisture on the germination of papaya seeds. *Seed Science Research* 1, 69-72.
- Hernández-Salinas G., C Ávila-Reséndiz, Soto-Estrada A., García-Pérez E., Pérez-Vázquez A., Córdova-Téllez L. 2012. Mantenimiento de las colectas de semilla de *Carica papaya* L. Resúmenes Ejecutivos Ejercicio Fiscal 2010. SAGARPA-SNICS-SINAREFI. México. 121-122 pp
- Jaramillo S., Baena M. 2000. Material de apoyo a la capacitación en conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. 122 p.
- Mirafuentes-Hernández F., Santamaria-Basulto F. 2014. MSXJ, híbrido de papaya sin carpeloidía para el sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7:1297-1301.
- Molina-Moreno J.C., Córdova-Téllez L. 2006. Recursos fitogenéticos de México para la alimentación y la agricultura: Informe Nacional 2006. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación y sciedad mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 172 p.
- Murashige T., Skoog F. 1962. A revised médium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*. 15: 473-497.
- Pohlan J., Collazos M.E., Coss R.M. 2001. El cultivo orgánico de la papaya (*Carica papaya* L.). I: Polhan, J. (ed). *La Fruticultura Orgánica en el Cauca*, Colombia. Ed. Shaker Verlag Aachon. Alemani 175-189 p.
- Rodríguez-Cabello J., Díaz-Hernández Y., Pérez-González A., Natali-Cruz Z., Rodríguez-Hernández P. 2014. Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya silvestre (*Carica papaya* L.) de Cuba. *Cultivos Tropicales*. 35(3):36-44.
- Roque L.A.Y., Ardisana E.H. 2006. Obtención de posturas de papaya (*Carica papaya* L.) cv. maradol roja por cultivo *in vitro* de segmentos nodales de plantas jóvenes. Tesis. Centro Universitario de las Tunas "Vladimir I. Lenin" Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Biología. Las Tunas, Cuba. 38 p
- Singh A.K., Bajpai A., Singh A. 2010. Classification f morphoagronomic variability in papaya for developing elite cultivar. *Acta Horticulturae*, 851: 137-144.
- Terán S., Rasmussen C.H. 1995. Genetic diversity and agricultural strategy in 16th century and present day Yucatecan Milpa agriculture. *Biodivers. Conserv.* 4: 363-381.

EFECTO DEL PROCESO DE DESHIDRATACION EN EL COLOR Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

EFFECT OF THE DEHYDRATION PROCESS ON COLOR AND BIOACTIVE COMPOUNDS OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.)

González-Sánchez, T.¹; Delgado-Alvarado, A.^{1*}; Herrera-Cabrera, B. E.¹; Pérez-Luna, G.²

¹Programa de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. *Campus* Puebla. Colegio de Postgraduados. Boulevard Forjadores de Puebla No. 25, Santiago Momoxpan, Municipio San Pedro Cholula, Estado de Puebla. 72760 Puebla, Puebla, México. ²Facultad Ciencias de la Electrónica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Av. 14 sur y Av. San Claudio, Ciudad Universitaria Edif. 109F. 72560 Puebla, Puebla, México.

***Autora de correspondencia:** adah@colpos.mx

RESUMEN

La ingesta del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en la dieta diaria se asocia estrechamente con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, por lo que actualmente tiene importancia por su valor biológico y actividad antioxidante. La preservación y potenciación de estos compuestos permiten desarrollar diferentes formas de conservación tales como, la deshidratación, teniendo en cuenta mantener los atributos físico-químicos del fruto. Se analizó el efecto de tres procesos de deshidratación (solar, liofilización y descompresión instantánea controlada, DIC) en el color y compuestos bioactivos (vitamina C, licopeno, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante) de los frutos de jitomate deshidratados. Los resultados mostraron que la deshidratación solar conservo mejor el color, licopeno y vitamina C; el procesamiento por DIC preservó mejor los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante (Cl₅₀); mientras que la liofilización no mostró ventaja en conservar el color y los componentes bioactivos, respecto a la deshidratación solar y proceso DIC.

Palabras clave: antioxidantes, fruto deshidratado, licopeno, jitomate, vitamina C.

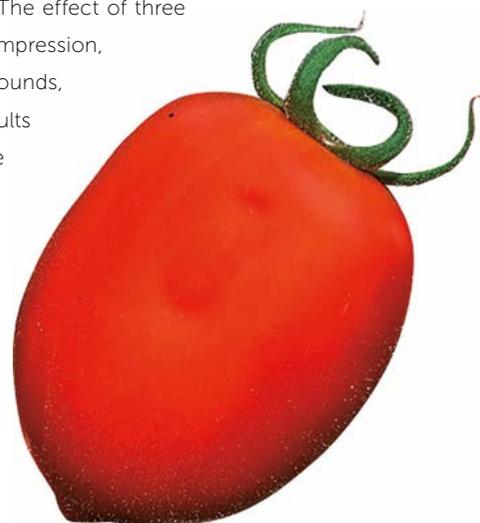
ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) intake in the daily diet is closely associated to the reduction of risk of chronic diseases, so it is currently important because of its biological value and antioxidant activity. The preservation and potentiation of these compounds allow developing different ways of conservation, such as dehydration, taking into account the need to maintain the physical-chemical attributes of the fruit. The effect of three dehydration processes (solar, freeze drying, and controlled instantaneous decompression, CID) on color and bioactive compounds (vitamin C, lycopene, total phenolic compounds, and antioxidant activity) of dehydrated tomato fruits were analyzed. The results showed that solar dehydration retain a better color, lycopene and vitamin C; the CID process had a good preservation phenolic compounds and antioxidant (Cl₅₀) capacity; while freeze drying did not show an advantage in conserving the color and bioactive components, compared to solar dehydration and the CID process.

Keywords: antioxidants, dehydrated fruit, lycopene, tomato, vitamin C.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016, pp: 33-40.

Recibido: noviembre, 2015. **Aceptado:** marzo, 2016.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de jitomate procedentes de la región del Municipio de Tetela de Ocampo, Puebla, México, cuyo principal producto es el jitomate en invernadero. El sistema de cultivo fue con fertirriego. Los frutos fueron tipo saladette, variedad "Rafaello", cosechados en madurez fisiológica. Se realizó un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra de 16 frutos de jitomate por cada tratamiento (fresco, liofilización, deshidratación solar y DIC).

Los frutos provenientes del invernadero se lavaron y desinfectaron durante un minuto en agua potable con una solución yodada. En los tratamientos de deshidratación solar y DIC, el corte de los frutos se realizó en rodajas de un centímetro de espesor para obtener un deshidratado uniforme.

Deshidratación Solar: las rodajas de los frutos de jitomate se colocaron dentro de la charola del secador solar SSB-2008 (Figura 1), registrando la temperatura y la humedad relativa del ambiente con un dataloger HOBO Mod. H08-004-002.

Deshidratación por liofilización: los frutos se congelaron a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en bolsas Ziploc®; y después de ello, se trocearon y liofilizaron en un equipo LABCONCO Mod. 75034. El proceso se realizó bajo las siguientes condiciones: -0.40 bar de presión, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura y 400 min de procesamiento.

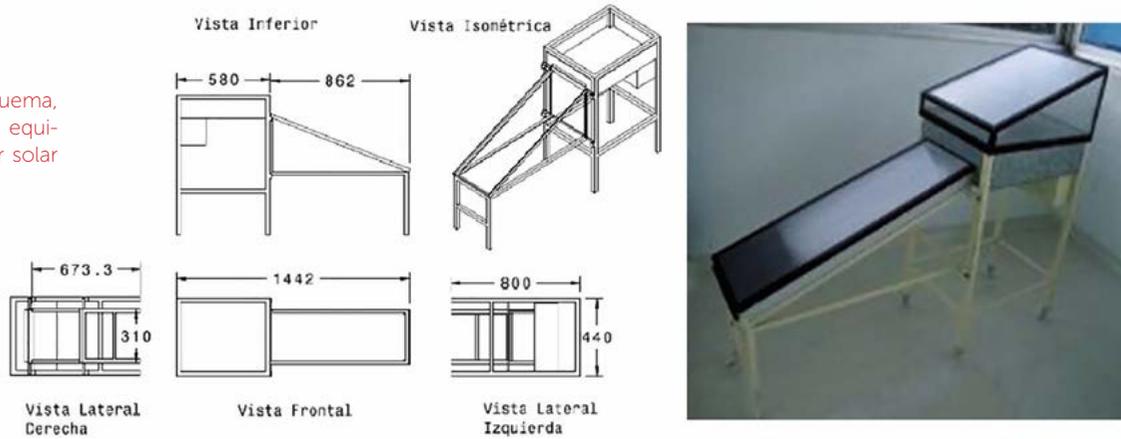
Deshidratación por descompresión instantánea controlada (DIC): las rodajas de jitomate fueron previamente tratadas en el

INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza más consumida y una de las más importantes a nivel mundial. Los frutos generalmente se consumen en estado fresco y en algunos productos como jugos, purés, salsas y enlatados (Akbudak *et al.*, 2009). Como cultivo representa importancia económica y biológica, donde resalta su actividad antioxidante y características funcionales, ya que su ingesta en la dieta diaria se asocia con la reducción de riesgos de enfermedades crónicas (Agarwa y Aai, 2000), algunos tipos de cáncer (Rao *et al.*, 2007) y enfermedades del corazón (Rao *et al.*, 1999), atribuido a las características antioxidantes, determinadas por compuestos bioactivos, tales como, el licopeno, β -caroteno y vitamina C (Leonardi *et al.*, 2000). No obstante, el jitomate es altamente perecedero en estado fresco, lo que trae pérdidas post-cosecha, de ahí que prevenir estas pérdidas resulta de gran interés, particularmente cuando existe fluctuación entre la oferta y la demanda en algunas temporadas del año. Uno de los procesos para preservar alimentos por más tiempo es la deshidratación, dentro de la cual hay diferentes procesos como liofilización, secado osmótico, secado al vacío, por aire forzado o por deshidratación solar; el común denominador de estos procedimientos es la eliminación de agua del alimento a procesar (Fito *et al.*, 2001). El deshidratado de jitomate, ocasiona cambios de color en el producto final por una combinación del oscurecimiento no enzimático, reacciones de Maillard, y por degradación de licopeno (Kerkhofs *et al.*, 2005). Además de existir colapso de las estructuras que causa textura rugosa (Ratti *et al.*, 2008). En el aspecto nutrimental, los vegetales frescos se pueden ver afectados por el procesamiento de deshidratación o por factores de cosecha y post-cosecha, donde la causa principal del deterioro es la oxidación en los carotenoides, lo cual se debe principalmente al alto grado de instauración que poseen estos compuestos, que son especialmente sensibles a la luz, calor y oxígeno (Mínguez, 1997). Otros factores físicos y químicos, que también degradan a los carotenoides, son temperaturas elevadas, exposición a la luz, oxígeno y pH extremo (Nguyen y Schwartz, 1999). Específicamente la degradación del licopeno no sólo afecta el atractivo color de los frutos deshidratados, sino también su valor nutritivo (Ré *et al.*, 2002). Además de que el manejo del fruto durante la cosecha y post-cosecha puede influir en el deterioro de su actividad antioxidante (García *et al.*, 2007).

En la actualidad la innovación de tecnologías para llevar a cabo la deshidratación abre nuevas puertas para disminuir el daño físico y fitoquímico, como es el caso de la deshidratación solar (González, 2010) y la tecnología por descompresión instantánea controlada (DIC, por sus siglas en francés *Détente Instantanée Contrôlée*) (Kamal *et al.*, 2008), que genera una estructura porosa y mejora la textura y el color. Por lo que este trabajo tuvo como objetivo analizar el efecto de los procesos de deshidratación (solar, liofilización y tecnología DIC) en el color y los compuestos bioactivos (vitamina C, licopeno, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante) en frutos de jitomate deshidratados.

Figura 1. Esquema, dimensiones y equipo del secador solar SSB-2008.



deshidratador solar, hasta que tenían 12% de humedad. Posteriormente se realizó el deshidratado con un equipo de tecnología DIC (Figura 2), monitoreando las condiciones del proceso, presión y tiempo.

Los tratamientos seleccionados del DIC, se establecieron bajo pruebas previas con dicho equipo y tomando diversos rangos de tiempo y presión tanto bajos como

muy altos. Visualmente se determinó que el tratamiento de 2.5 bar y 25 s de tiempo dio la mejor respuesta, con esto se determinaron los 13 tratamientos para esta tecnología (Cuadro 1).

El color se evaluó con un colorímetro *colorflex* Mod. 6405 y adicionalmente se tomaron fotografías de cada uno de los tratamientos de deshidratación. En jitomate

fresco, el color se cuantificó en la superficie alrededor de la zona ecuatorial en el fruto entero, girando el fruto para tomar lecturas en tres partes diferentes, considerando las coordenadas cromáticas. En jitomate deshidratado la medición se hizo en un 1 g de fruto molido y tamizado en una malla de 1 micra y en tamiz número 8 para homogenizar la muestra. En cada tratamiento de la muestra molido se registraron las variables "L", "a" y "b", con base en la escala CIELAB de color, y se calculó el índice de color (IC) de acuerdo con Vignoni et al. (2006) mediante la ecuación:

$$IC = \frac{1000 \times a}{b \times L}$$

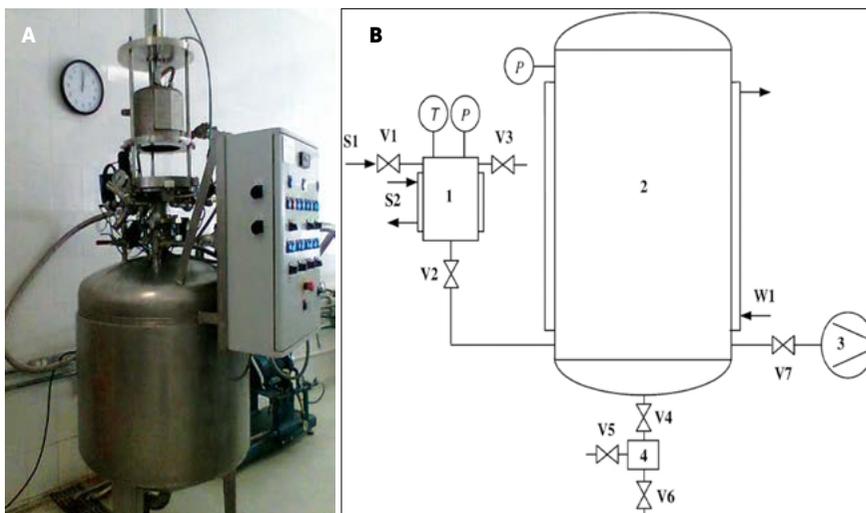


Figura 2. Deshidratador por descompresión instantánea controlada (DIC): a) Prototipo utilizado en este trabajo. b) Partes que componen el deshidratador DIC: 1- autoclave, 2- tanque de vacío, 3- bomba de vacío, 4-trampa, V1-V7 - válvulas, S1, S2 - vapor saturado W1 - agua fría P - manómetro T - termopar.

Cuadro 1. Técnicas para deshidratación de jitomate (*Solanum lycopersicum*): descompresión instantánea controlada (DIC), deshidratación solar (DS), liofilización (LIOF).

	DIC													DS	LIOF
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Presión (bar)	2.5	4	2.5	2.5	3.6	3.6	2.5	1.4	1.4	2.5	1	2.5	2.5	1	0.4
Tiempo (min)	0.41	0.41	0.66	0.41	0.6	0.23	0.41	0.2	0.6	0.41	0.41	0.16	0.41	633	400

Compuestos bioactivos

Vitamina C (ácido ascórbico): se determinó con base en el método enzimático de ascorbato oxidasa descrito por Foyer *et al.* (1983).

Licopeno: se realizó espectrofotométricamente de acuerdo al método de Sadler *et al.* (1990) con modificaciones descritas por Wayne *et al.* (2002).

Compuestos fenólicos totales (CFT): se utilizó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999) y se expresó como equivalentes de ácido gálico. Una alícuota de extracto metanólico (50 μL) se mezcló con 450 μL de agua destilada y 250 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 50 %. La mezcla se dejó reposar 8 min. A continuación a cada tubo con el tratamiento se le añadió 1.25 mL de Na_2CO_3 al 5 % y se agitó en vortex. Después de reposar por 30 min a temperatura ambiente y en oscuridad, se determinó la absorbancia a 725 nm. Se obtuvo una curva patrón ($y=0.001x-0.0054$; $R^2=0.9938$), utilizando ácido gálico como estándar. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en porcentaje en base seca.

Actividad Antioxidante: se evaluó la capacidad que tiene un posible antioxidante para neutralizar un radical (Antolovich *et al.*, 2002), mediante el cálculo de la concentración inhibitoria media (CI_{50}), para lo cual se estableció una curva de regresión lineal con el fin de determinar la CI_{50} (mg mL^{-1}), que representa la cantidad de muestra necesaria para disminuir en 50% la absorbancia del DPPH. Los valores de CI_{50} indican la concentración de la muestra que se requiere para atrapar 50% de los radicales libres de DPPH. La baja absorbancia de la mezcla de reacción indica alta actividad antioxidante. El porcentaje de inhibición se determinó de la siguiente manera:

$$\%DPPH = \frac{(A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}})}{A_{\text{blanco}}} \times 100$$

En donde A_{blanco} = absorbancia del testigo (DPPH 0.1mM); A_{muestra} = absorbancia obtenida de cada muestra después de 30 min con DPPH 0.1 mM. El porcentaje de inhibición del DPPH de la muestra fue graficado versus la concentración ($r=0.995$).

Los datos cuantitativos con una distribución normal y varianzas homogéneas obtenidos por los tres tipos de deshidratación en jitomate se organizaron en hojas de cálculo Excel (Microsoft Excel 2010) y procesaron con Statistiscal Analysis System (SAS) versión 9.1 (SAS Institute, 2002), además se les realizó análisis de varianza (ANAVA) y pruebas de diferencia significativa honesta (prueba de medias Tukey).

RESULTADOS Y DISCUSION

Aun cuando los procesos de deshidratación en fruto de jitomate no son complejos, el propósito de este trabajo fue el de cuidar que la apariencia, valor nutritivo y valor funcional del producto final fuera lo menos afectado por la deshidratación, a fin de que sea lo más semejante al producto fresco

para que tenga buena aceptación por el consumidor.

Color: la apariencia del color por fotografías y los parámetros determinados en el colorímetro se muestran en la Figura 3, en estas imágenes se detectan visualmente diferencias entre tratamientos de deshidratación.

Se observó que el procesamiento de liofilización tuvo un valor de tonalidad más roja, debido al valor de "a" que indica un rango de color de rojo a verde (valores positivos son rojos, negativos verdes y cero da un valor neutro) (Hunter Lab, 2001). Se sabe que durante la deshidratación, el incremento en el tiempo de secado y temperatura provoca oscurecimiento en los tejidos (Olorunda *et al.*, 1990), así como, incremento en la luminosidad (L) y disminución en el color rojo (a/b) después del secado con aire. Lo cual fue similar en los resultados de este trabajo, ya que la proporción a/b disminuyó en la mayoría de los tratamientos, excepto en el tratamiento del DIC I11 que registró un valor de 1.19, que fue 26% mayor al del fruto fresco, y en el DS que evidenció la proporción de a/b más cercana (0.98) al del fruto fresco (0.94) (Figura 3). Dentro de los frutos procesados por la tecnología DIC el I8 fue el tratamiento que tuvo el color y valor de a/b (0.87) más cercano al del fruto fresco. Al respecto Arias *et al.* (2000) mencionan que la concentración de licopeno tiene una correlación directa con el color del fruto y en términos de parámetros de color, existe una asociación directa entre los valores de a, a/b y $(a/b)^2$ con el contenido de licopeno. Por lo que en frutos procesados por deshidratación es conveniente que conserven el color, lo más cercano posible

	FRUTO FRESCO	DESHIDRATADO SOLAR	LIOFILIZADO	
	 L=38.33 a=26.44 b=28.08 a/b=0.94	 L=26.65 a=16.02 b=16.31 a/b=0.98	 L=46.44 a=20.15 b=27.09 a/b=0.74	
DIC				
1. 2.5 bar/0.41 min.	2. 4.0 bar/0.41 min.	3. 2.5 bar/0.66 min.	4. 2.5 bar/0.41 min.	5. 3.6 bar/0.60 min.
 L=34.91 a=17.01 b=22.96 a/b=0.74	 L=26.96 a=13.43 b=16.55 a/b=0.81	 L=34.92 a=17.39 b=23.74 a/b=0.73	 L=35.04 a=18.11 b=23.87 a/b=0.76	 L=27.43 a=12.74 b=15.79 a/b=0.81
6. 3.6 bar/0.23 min.	7. 2.5 bar/0.41 min.	8. 1.4 bar/0.23 min.	9. 1.4 bar/0.60 min.	10. 2.5 bar/0.41 min.
 L=37.78 a=18.42 b=28.14 a/b=0.65	 L=49.99 a=19.77 b=29.49 a/b=0.67	 L=29.93 a=16.60 b=19.12 a/b=0.87	 L=31.87 a=16.50 b=21.22 a/b=0.78	 L=28.12 a=15.12 b=18.44 a/b=0.82
	11. 1 bar/0.41 min.	12. 2.5 bar/0.16 min.	13. 2.5 bar/0.41 min.	
	 L=26.23 a=18.15 b=15.15 a/b=1.20	 L=38.24 a=20.26 b=27.71 a/b=0.73	 L=28.77 a=15.67 b=19.98 a/b=0.78	

Figura 3. Apariencia y parámetros de color en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) fresco después de tratamientos de deshidratado solar, liofilizado y descompresión instantánea controlada (DIC 1-13).

a los frutos frescos, como una indicación de conservación del contenido de licopeno.

El índice de color (IC), por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad organoléptica de alimentos. Si el IC es positivo entre valores de 20 a 40, la relación de color va desde el naranja intenso al rojo profundo, así que en los tratamientos por tecnología DIC, particularmente en I2, I5, I8, I9, I10 y I13 tuvieron valores en un rango de 24.4 a 30, que fueron cercanos al del fruto fresco (24.6) y tuvieron tonalidades rojo intenso. Mientras que los frutos de la deshidratación solar tuvieron un IC de 36.8, 50% mayor que el del fruto fresco y la deshidratación por liofilización tuvo una reducción de 35% en relación al fruto fresco (Figura 4).

Compuestos bioactivos

Los componentes bioactivos obtenidos del jitomate presentan características antioxidantes, determinadas por los compuestos como licopeno, β -caroteno, vitamina C (Leonardi *et al.*, 2000). De los productos derivados de esta especie, los frutos deshidratados son de particular interés, debido a que algunos compuestos bioactivos como ácido ascórbico y compuestos fenólicos encontrados

en su composición se encuentran en altas cantidades (Giovanelli *et al.*, 1999). En este trabajo se detectó un efecto altamente significativo ($P < 0.0001$) por los diferentes tipos de tratamientos de deshidratación para contenido de licopeno, ácido ascórbico y Cl_{50} . En el tratamiento DIC, las diferentes presiones que se utiliza-

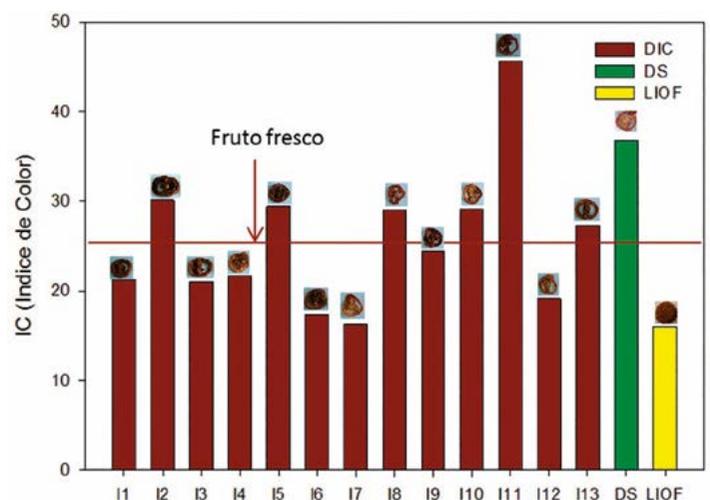


Figura 4. Índice de color de jitomates (*Solanum lycopersicum* L.) deshidratados. Tratamientos DIC: I1=2.5 bar/0.41 min; I2=4.0 bar/0.41 min; I3=2.5 bar/0.66 min; I4=2.5 bar/0.41 min; I5=3.6 bar/0.60 min; I6=3.6 bar/0.23 min; I7=2.5 bar/0.41 min; I8=1.4 bar/0.23 min; I9=1.4 bar/0.60 min; I10=2.5 bar/0.41 min; I11=1 bar/0.41 min; I12=2.5 bar/0.16 min; I13=2.5 bar/0.41 min; DS=Deshidratación solar. LIOF=Liofilización.

ron en los procesos de deshidratación tuvieron alta significancia para todas las respuestas excepto en ácido ascórbico. En DIC, el tiempo de duración de los procesamientos también mostro alta significancia en compuestos fenólicos totales y Cl₅₀. El coeficiente de variación para ácido ascórbico tuvo un porcentaje alto (CV=56.16%), debido a que los procesos con presiones altas (tratamientos de DIC) no muestran presencia de ácido ascórbico por lo que las diferencias entre estos valores son muy grandes. En la concentración de compuestos fenólicos totales hubo una amplia variación para los distintos tratamientos que se realizaron. En el Cuadro 2 se indican valores promedio de los compuestos bioactivos y antioxidantes con las diferentes presiones utilizadas en los frutos de jitomate deshidratado.

Las diferencias entre presiones resultaron altamente significativas para todas las variables. Respecto a licopeno, la deshidratación solar y el DIC a 4 bar, tuvieron los valores estadísticamente mayores, a pesar de que el tratamiento de des-

hidratación solar requirió el mayor tiempo para la deshidratación (633 min) (Cuadro 1). En los compuestos fenólicos totales y el Cl₅₀, el DIC a 4 bar, mostro los valores más altos. Mientras que de Vitamina C no se detectó su presencia en ninguno de los tratamientos. La capacidad antioxidante, Vitamina C y contenido de licopeno se mantuvieron con el valor más alto en los frutos tratados con deshidratación solar.

Contenido de licopeno

El proceso térmico para muchos compuestos bioactivos se refleja negativamente, pero algunos carotenoides (licopeno, α -y β -caroteno) son muy termoestables (Hadley *et al.*, 2002). Los tratamientos a los que se sometieron los frutos de jitomate presentaron diferentes contenidos de licopeno, registrando la mayor concentración (0.018 g 100 g⁻¹ MS) los frutos procesados en el deshidratador solar (Figura 5). Lo que sugiere que es un buen tratamiento para preservar el contenido de este compuesto, además que en deshidratación por convección el contenido de licopeno puede aumentar a diferentes temperatu-

ras de secado (40, 80 y 120 °C) (Palomo *et al.*, 2010).

Dentro de los frutos procesados por la tecnología DIC, los tratamientos que tuvieron los valores más altos de color con base al IC, fueron el I2 (IC=30) y I11 (IC=44), los cuales también obtuvieron los valores mayores de licopeno (0.015 y 0.013 g 100 g⁻¹ MS, respectivamente); aunque son valores menores a los descritos en frutos de jitomate deshidratado en un horno de secado, donde se reporta una concentración de licopeno de 0.025 g 100 g⁻¹ MS (Gómez, 2009).

Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y capacidad inhibitoria (Cl₅₀)

En el contenido de compuestos fenólicos totales, la deshidratación por DIC fue el que mejor conservo estos compuestos. Destaco el tratamiento I2 (4 bar/ 0.41 min) con 0.200 g 100 g⁻¹ MS (Cuadro 4), incluso los tratamientos I1, I3 y I5 con esta misma tecnología fueron superiores a los valores obtenidos en los procesamientos de deshidratación solar (0.043 g 100 g⁻¹ MS) y

Cuadro 2. Valores promedio de las variables bajo estudio en tratamientos con diferentes presiones utilizadas en la deshidratación de jitomates.

Presión (bar)	Licopeno (g:100 g ⁻¹)	Compuestos Fenólicos Totales (g:100 g ⁻¹)	Vitamina C (g:100 g ⁻¹)	Actividad Antioxidante (% inhibición del radical DPPH)	Cl ₅₀ (mg·mL ⁻¹)
DIC					
4.0	0.015 a	0.200 a	ND	79.53 e	12.25 a
3.6	0.009 cd	0.062 b	ND	87.86 b	17.72 b
2.5	0.005 d	0.049 b	ND	73.12 d	30.49 e
1.4	0.005 d	0.012 e	ND	45.07 f	45.11d
1.0	0.012 b	0.032 be	ND	21.96 g	55.18 e
Solar					
1.0	0.018 a	0.043 b	0.00019 a	94.0 a	64 f
Liofilizado					
0.40	0.013 b	0.056 b	0.0000123 b	54.63 e	55.76 e
DMS	0.0026	0.0329	0.000000515	8.43	4.77

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey (P≤0.05). ND=no detectado.

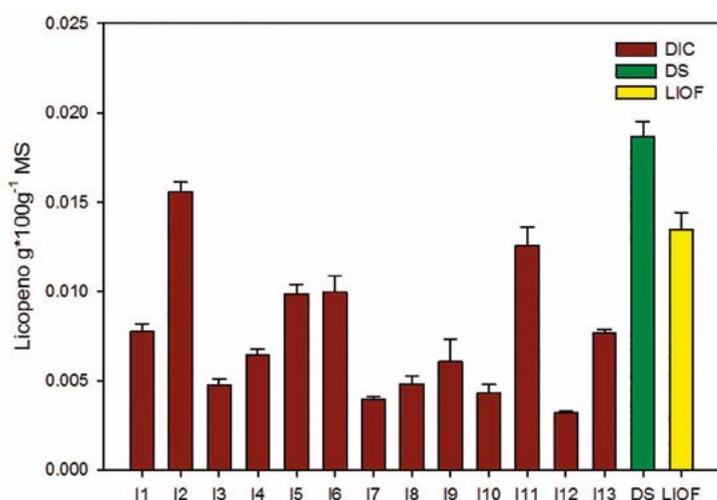


Figura 5. Concentración de licopeno para frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) deshidratados. DS=Deshidratación solar; I1 al I13=tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 4). LIOF=Liofilización. DMS<0.001.

mientras que la deshidratación por liofilización tuvo el valor más alto (54.83 mg mL⁻¹) (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

El análisis de frutos de jitomate deshidratados mostró cambios diferentes en color y compuestos bioactivos en función de las condiciones de procesamiento de deshidratación. La deshidratación solar favoreció la conservación del color, licopeno y vitamina C. La descompresión instantánea controlada (DIC) conservó mejor los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Los tratamientos I9 y I13 del proceso DIC, conservaron el color de los frutos deshidratados, con índices de color (IC) semejantes al del fruto fresco. Los frutos de jitomate deshidratados por liofilización no mostraron ventajas en conservar el color y los componentes bioactivos, respecto a la deshidratación solar y a la descompresión instantánea controlada. La deshidratación de jitomate puede realizarse sin perder considerablemente color y compuestos bioactivos, si se diseña una estrategia de deshidratado mediante la combinación del uso de la técnica solar, e incluso como pre-tratamiento, aunado a la descompresión instantánea controlada, con los cuales se puede llegar a disminuir la pérdida de compuestos bioactivos característicos del jitomate fresco.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro y a la Dra. Carmen Téllez Pérez. Por permitirnos realizar las pruebas y asesoramiento en la deshidratación con el equipo de Descompresión Instantánea Controlada (DIC).

LITERATURA CITADA

Akbudak B., Bolkan H., Cohen, N. 2009. Determination of physicochemical

por liofilización (0.056 g 100 g⁻¹ MS). No obstante, la deshidratación solar mostró los frutos con la actividad antioxidante más alta (94.88%), seguidos por los frutos procesados por DIC, ya que aún bajo diferentes condiciones en la mayoría de los tratamientos la inhibición llegó a 90% (Cuadro 3). Excepto los tratamientos I8, I10, I11 y I12 en los cuales la inhibición no llegó a 50%. La capacidad inhibitoria al 50% (CI₅₀) mide la efectividad de un compuesto para inhibir una actividad biológica y/o bioquímica (Joshi *et al.*, 2010); de tal forma que un CI₅₀ bajo está asociado con actividad antioxidante alta (Zhu *et al.*, 2011). En este trabajo el tratamiento DIC I2 (4 bar/0.41min) fue el que tuvo la mayor concentración media inhibitoria (11.01 mg mL⁻¹),

Cuadro 3. Concentración de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante y CI₅₀ de frutos deshidratados de jitomate.

Tratamiento	Compuestos fenólicos totales (g·100 g ⁻¹ MS)	Actividad antioxidante (%)	CI ₅₀ (mg·mL ⁻¹)	
DIC	I1	0.0783	90.57	30.40
	I2	0.2003	79.53	11.01
	I3	0.1494	89.55	16.38
	I4	0.0371	84.82	30.01
	I5	0.0801	85.63	12.60
	I6	0.0452	90.08	18.37
	I7	0.0221	84.31	29.65
	I8	0.0097	25.70	43.94
	I9	0.0151	64.44	41.70
	I10	0.0262	38.42	25.05
	I11	0.0326	21.96	49.38
	I12	0.0236	40.47	34.25
	I13	0.0128	83.67	30.73
Deshidratación solar	0.0438	94.88	30.04	
Liofilización	0.0562	54.63	54.83	

- characteristics in different products of tomato varieties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60:126-138.
- Agarwa A., Aai R.V. 2000. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal* 163:739-744.
- Antolovich M., Prenzler P.D., Patsalides E., McDonald S., Robards K. 2002. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst* 127:183-198.
- Arias R., Lee T. C., Logendra L., Janes H. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:1697-1702.
- FAOSTAT. 2010. Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor_fao_2010_producci3n_mundial_tomate_estadisticas
- Fito M. P., Andrés A.M., Barat J.M., Albors S.A.M. 2001. *Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente*; Editorial Universidad Politécnica de Valencia <http://books.google.com.mx/books?id=cUEt038sq90C&pg=PA1&dq=tipos+de+deshidratacion+de+alimentos#v=onepage&q=&f=false>. Febrero 2010
- Foyer C.H., Rowell J., Walker D. 1983. Measurements of the ascorbate content of spinach leaf protoplasts and chloroplasts during illumination. *Planta* 157:239-244.
- García A.J., Jacob K., Iniesta M.D., Martínez M.C., Ros G., Periago J.M., 2007. Evaluación de compuestos bioactivos durante la maduración del tomate. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
- Giovanelli G., Lavelli V., Peri C., Nobili S. 1999. Variation in antioxidant compounds of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79:1583-1588.
- Gómez G.M.S. 2009. *Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias*. Tesis de Licenciatura de Ingeniero en Alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca Oaxaca. Huajuapán de León, Oaxaca, México
- González S.T. 2010. *Estudio de la actividad antioxidante y contenido de licopeno en jitomate fresco y deshidratado*. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad Ingeniería Química. Colegio de Ingeniería en Alimentos. Puebla, Puebla.
- Hadley C.W., Clinton S.K., Schwartz S.J. 2002. The consumption of processed tomato products enhances plasma lycopene concentrations in association with a reduced lipoprotein sensitivity to oxidative damage. *Human Nutrition and Metabolism* 133:727-732.
- Hunter Lab e Izasa. 2001. Principios básicos de medida y percepción de color. www.hunterlab.com
- INEGI. 2008. Instituto Nacional de Estadística y Geografía <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/nav/cer/2008/cer/c11.xls#11.3!A1>
- Joshi S., Verma A., Mathela C. 2010. Antioxidant and antibacterial activities of the leaf essential oils of Himalayan Lauraceae species. *Food and Chemical Toxicology* 48:37-40.
- Kamal M., Sobolik V., Kristiawan M., Mounir S. M., Allaf K. 2008. Structure expansion of green coffee beans using instantaneous controlled pressure drop process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9:534-541.
- Kerkhofs N.S., Lister C.E., Savage G.P. 2005. Change in Colour and Antioxidant Content of Tomato Cultivars Following Forced-Air Drying. *Plant Foods Human Nutrition* 60:117-121.
- Leonardi C.A.P., Esposito F., Fogliano V. 2000. Antioxidant activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh 'consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:4723-4727.
- Mínguez M.M.I. 1997. *Clorofilas y carotenoides en tecnología de alimentos*. Sevilla Ediciones Universidad de Sevilla, Capítulo VI p. 103-107; VII p. 111-148
- Nguyen C., Carlin F. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 34:371-401.
- Olorunda A.O., Aworh O.C., Onuoha C.N. 1990. Upgrading quality of dried tomato. Effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 52:447-454.
- Palomo I., Moore C.R., Carrasco G., Villalobos P., Guzmán L. 2010. El consumo de Tomates Previene el Desarrollo de Enfermedades Cardiovasculares y Cáncer: Antecedentes Epidemiológicos y Mecanismos de Acción. *IDESIA Arica* 28(3):121-129.
- Rao L.G., Mackinnon E.S., Josse R.G., Murray T.M., Strauss A., Rao A.V. 2007. Lycopene consumption decreases oxidative stress and bone resorption markers in postmenopausal women. *Osteoporosis International* 18:109-115.
- Rao A.V., Agarwal S. 1999. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. *Nutrition Research* 19:305-323.
- Ratti C. 2009. *Advances in food dehydration*. Boca Raton, FL. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Re R., Bramley P.M., Rice E.C. 2002. Effects of food processing on Flavonoids and Lycopene status in a Mediterranean tomato variety. *Free Radical Research* 36 (7):803-810.
- Reina C., Guzmán C., Sánchez J. 1998. Manejo postcosecha y evaluación de la calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Programa de ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana: Neiva
- Sadler G., Davis J., Dezman D. 1990. Rapid extraction of lycopene and β -carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. *Journal of Food Science* 55(5), 1460-1461.
- SAS Institute. 2002. *Statistical Analysis System (SAS), version 6*
- SIAP. 2011. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Agropecuario. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ventana.php?idLiga=1740&tipo=1> Avance de Siembras y Cosechas Año Agrícola 2010
- Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela 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.
- Vignoni L., Ricardo M.C., Forte M., Mirábile M.L. 2006. Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica* 17(6): 63-67.
- Wayne W.F., Perkins P.V., Collins J.K. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis* 15(3): 309-317.
- Zhu K-X., Lian C-X., Guo X-N., Peng W., Zhou H-M. 2011. Antioxidant activities and total phenolic contents of various extracts from defatted wheat germ. *Food Chemistry* 126:122-1126.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN CINCO VARIEDADES DE *Psidium guajava* L.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF FIVE CULTIVARS OF *Psidium guajava* L.

Cortes-Penagos, C. J.¹, Cazares-Romero, A.¹, Flores-Álvarez, L. J.¹, Yahuaca-Juárez, B.¹, Padilla-Ramírez, J. S.²

¹Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. ²Campo Experimental Pabellón (INIFAP), Aguascalientes, Aguascalientes, México.

*Autor responsable: ccpenagos@yahoo.com

RESUMEN

En los últimos años se incrementó el interés por el consumo de guayaba (*Psidium guajava* L.), por su alto contenido nutricional. México es el tercer productor más importante a nivel mundial y Michoacán ocupa el primer lugar como productor de este fruto. Sin embargo se registra baja productividad y desuniformidad en la calidad de la fruta. Se evaluó la capacidad antioxidante de cinco variedades de guayaba (Hidrozac, Caxcana, Merita, Calvillo Siglo XXI y Huejucar) adaptadas a la región productora de Zitácuaro, Michoacán, México. Los compuestos analizados fueron: ácido ascórbico, determinación de polifenoles y actividad de radicales ABTS (ácido 2, 2'-Azinobis-(3-etibenzotiazolin-6-sulfónico) y DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo). Las cinco variedades registraron valores favorable que las hacen valiosas para la region de estudio.

Palabras clave: guayaba, variedad, capacidad antioxidante.

ABSTRACT

In recent years, interest over guava (*Psidium guajava* L.) consumption has increased, due to tis high nutritional content. México is the third most important producer in the world, and Michoacán occupies the first place as the producer of this fruit. However, there is low productivity and lack of uniformity in the quality of the fruit. The antioxidant capacity of five guava cultivars (Hidrozac, Caxcana, Merita, Calvillo Siglo XXI and Huejucar) was evaluated, which are adapted to the producing region of Zitácuaro, Michoacán, México. The compounds analyzed were: ascorbic acid, determination of polyphenoles, and activity of ABTS radicals (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid), and DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). The five cultivars showed favorable values that make them valuable for the study region.

Keywords: guava, cultivar, antioxidant capacity.



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016, pp: 41-46.

Recibido: julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.

INTRODUCCION

La guayaba *Psidium guajava* L. ha sido cultivada y distribuida principalmente por el hombre, pájaros y animales, por lo que su lugar de origen es incierto, pero se cree que se extiende desde el sur de México hasta los límites de Centroamérica (Mendoza *et al.*, 2005). La producción de fruto de guayaba en México por muchas décadas se disputó del material genéricamente conocido como "Media China" y "China" cultivada en un 90% de las superficies (Sánchez, 2013). Recientemente, se incrementó el interés por el consumo de guayaba, ya que es considerada como una fruta tropical y subtropical más valiosa, por su alto contenido de compuestos bioactivos. México el tercer productor más importante a nivel mundial, y su cultivo, está incluido dentro de los doce frutales de mayor importancia, sin embargo la problemática filogenética (no existe control de variedad) es una limitante debido a la heterogeneidad de los árboles que resulta en baja productividad y uniformidad en la calidad de la fruta. Esta variabilidad puede ser aprovechada mediante la selección y evaluación de materiales que presenten ventajas comparativas (Padilla *et al.*, 2010). En la región de Calvillo-Cañones del municipio de Huanusco, Zacatecas, México, se encuentra el Banco de Germoplasma, que resguarda materiales recolectados y propagados por acodo aéreo. De trabajos agronómicos desarrollados durante 20 años sobre rendimiento y calidad de selecciones de guayaba (*Psidium guajava* L.), se culminó en el registro de cinco variedades denominadas Calvillo Siglo XXI, variedad de pulpa crema; Caxcana, variedad de pulpa blanca; Hidrozac, variedad de pulpa rosa; Huejucar, variedad de pulpa rosa pálido y Merita, variedad de pulpa crema; adaptadas a la región de Zitácuaro, Michoacán. Con base en lo anterior, se evaluó la capacidad antioxidante de cinco nuevas variedades de guayaba, en proceso de adaptación a la zona de Zitácuaro, Michoacán, México.

MATERIALES Y METODOS

El Huerto experimental que alberga los materiales estudiados se localiza en "Zitácuaro Michoacán en la Localidad "La Garita" (19° 25.014'; 100° 23.937'; 1,744 m). Las variedades evaluadas fueron Huejucar, Calvillo S-XXI, Hidrozac, Merita y Caxcana. Los frutos fueron recolectados en madurez fisiológica según la Norma Mexicana para el consumo de productos en fresco (NMX-FF-040-SCFI-2002) hasta presentar madurez de consumo en el laboratorio (85%±5 HR; 20 °C±2°C).

Determinación de Ácido Ascórbico: Se utilizó la metodología aprobada por la (AOAC, 1988; Método, 43.056), la cual consistió en homogenizar 5 g de muestra con solución de extracción, posteriormente se centrifugó a 5000 rpm por 15 min. El punto final de la titulación se consideró cuando la solución viró a rosa pálido persistente por 15 segundos.

Extracción de compuestos con actividad antioxidante: De acuerdo al método descrito por Perez-Jimenez *et al.* (2008) con modificaciones, el cual consistió en dos extracciones, la primera con metanol/agua (50:50) acidificado (pH 2), posteriormente se agitó y centrifugó a 5000 rpm, la segunda extracción se llevó a cabo con acetona/agua (70:30), ambos sobrenadantes fueron juntados y aforados a 100 mL y almacenó a 20 °C hasta su utilización.

Determinación de Polifenoles extraíbles: De la solución de extracción, se tomaron 100 μ L y se adicionaron 2000 μ L de agua destilada, 500 μ L de reactivo Folin-Ciocateau, 2000 μ L de carbonato de sodio al 20% y posteriormente se aforó a 10 ml y se dejó reposar por 2 horas en la oscuridad. La absorbancia se leyó a 765 nm en un espectrofotómetro UV/Vis Smartec Plus marca Bio-Rad. La curva de calibración se realizó con ácido gálico. Los resultados fueron reportados como mg EAG/100 partes comestibles (Singleton y Rossi, 1965).

Determinación de Capacidad antioxidante

Actividad antirradicalaria ABTS^{•+}: Fue preparada una solución del ácido 2,2'-Azinobis(3-etilbenzotiazolin-6⁻ sulfónico) (ABTS) al 7 mmol para posteriormente formar el ion ABTS^{•+}, para ello se agregó persulfato de potasio a una concentración 2.45 mmol (solución Stock). Se dejó reposar la mezcla a 4 °C por 12 horas. La solución Stock fue diluida con etanol hasta obtener una absorbancia de 0.700 (±0.02) a una longitud de onda de 734 nm a 30 °C, equilibrada. Se tomaron 30 μ L de la solución de extracción y se mezcló con 970 μ L del ion ABTS^{•+}. Las lecturas fueron tomadas cada minuto hasta el minuto 6. Se realizó en oscuridad. Las muestras se procesaron tres veces y por triplicado. Para la curva de calibración se utilizó una concentración de 0 a 1500 μ mol de Trolox como estándar. Los resultados se reportaron en μ mol equivalentes a Trolox 100 g⁻¹ y en porcentaje de inhibición, para este último se utilizó la ecuación 1.

$$\% \text{inhibición} = \frac{\text{Abs}_{\text{inicial}} - \text{Abs}_{\text{final}}}{\text{Abs}_{\text{inicial}}} \times 100$$

Actividad antirradicalaria DPPH[•]: Se utilizó la metodología según Brand-Williams *et al.* (1995), consistente en tomar 3.8 ml de reactivo DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo) a una concentración de 100 μmol (Abs aprox. 1.100) y agregar 200 μL del extracto de la muestra. La lectura de la absorbancia fue tomada cada minuto hasta el minuto seis y después a los 30 y 60 minutos. Para la curva de calibración se utilizó como estándar Trolox de 0-1500 μmol . Los resultados fueron reportados como $\mu\text{mol ET } 100 \text{ g}^{-1}$ muestra y porcentaje de inhibición utilizando la Ecuación 1.

RESULTADOS Y DISCUSION

La relevancia de los compuestos antioxidantes presentes en los alimentos, radica en su capacidad de preservación del fruto que los contienen y en el aporte benéfico a la salud humana de antioxidantes. El consumo de frutas y verduras está asociado al bajo riesgo de incidencia y mortalidad de cáncer, y a menores índices de mortalidad por enfermedad coronaria (Rojas *et al.*, 2008). El Cuadro 1, muestra los valores registrados por cada variedad en dos principales metabolitos.

La actividad antioxidante del fruto de guayaba como una de sus principales propiedades funcionales se debe a la presencia de los compuestos polifenoles y ácido ascórbico (Espinal, 2010), y a este respecto, las frutas y vegetales son fuente de vitamina C para la dieta humana y actualmente se ha asociado su consumo con la protección contra varias enfermedades de tipo cardiovascular, cerebrovascular y cáncer. La vitamina C es un fuerte agente reductor, que actúa como el mayor antioxidante soluble en agua. (Solarte *et al.*, 2010). Sin embargo el contenido de vitamina C en los frutos es muy variable y depende fundamentalmente de la especie y variedad. (Rojas *et al.*, 2008; Sandoval, 2010). El contenido de vitamina C registrado en las variedades analizadas (Cuadro 1), mostró diferencias estadísticas con mayor contenido la variedad Hidrozac ($P < 0.05$), que concuerda con registro en literaturas de que es la variedad de pulpa rosa con mayor contenido de vitamina C, (Azzolini *et al.*, 2004; Contreras *et al.*, 2010; Brunini *et al.*, 2003; Rojas y Narváez, 2009). Para guayabas de pulpa blanca, Solarte *et al.*, 2010, presenta reportes de contenido de vitamina C en peso fresco: guayaba Regional Blanca: 78.59 mg 100 g^{-1} , Ráquira Blanca en Barbosa: 123.3 mg 100 g^{-1} y en Puente Nacional:

99.40 mg 100 g^{-1} mientras que la Regional Roja: 11 mg-72 mg 100 g^{-1} y para la Guavatá Victoria en Vélez: 112.36 mg 100 g^{-1} . De estos valores solo la guayaba Regional Blanca y Guatava Victoria tienen similitud con las cinco variedades estudiadas ya que el resto registró valores muy bajos de Ácido Ascórbico. Por otra parte se indica los siguientes valores de vitamina C para guayabas del estado de Zulia de tres municipios diferentes de 74.77 mg 100 g^{-1} , 66.54 mg 100 g^{-1} y 11.86 mg 100 g^{-1} . (Quijada *et al.*, 2007), que de igual forma son valores con poco contenido de vitamina C destacando con mayor Ácido Ascórbico (A.A) las cinco variedades Mexicanas analizadas. La (NOM-086-SSA1-1994), indica que el requerimiento de AA para adultos es de 60 mg día^{-1} , aportación que cumplen las cinco variedades.

Los polifenoles son antioxidantes que se encuentran presentes en productos de origen vegetal y su concentración puede verse influenciada por diferentes factores como el tiempo de cosecha y grado de madurez entre otros (Aguilar *et al.*, 2008). Se sintetizan como metabolitos secundarios con funciones de defensa, y son en gran medida responsables de las propiedades de color, astringencia y flavor (sabor y aroma). Su estructura química es propicia para secuestrar radicales libres (Rojas *et al.*, 2008). Entre los antioxidantes presentes en las frutas con más frecuencia encontrados son los compuestos fenólicos (Oliveira *et al.*, 2011), aunque se ha encontrado alta correlación positiva entre la cantidad de vitamina C y actividad antioxidantes de las frutas demostrando que la actividad antioxidante no solo es atribuible a esta vitamina, sino a otros fitoqui-

Cuadro 1. Compuestos Antioxidantes presentes en las cinco variedades evaluadas.

Variedad	Ácido Ascórbico mg 100 g^{-1} fruto	Polifenoles mg 100 g^{-1} fruto
Calvillo S-XXI	120.559 \pm 6.5 ^B	22.265 \pm 4.4 ^D
Hidrozac	143.199 \pm 10.9 ^A	102.767 \pm 9.7 ^A
Huejucar	128.522 \pm 7.8 ^B	75.056 \pm 5.3 ^B
Caxcana	118.362 \pm 7.3 ^B	101.432 \pm 6.9 ^A
Merita	124.969 \pm 3.2 ^B	41.419 \pm 5.1 ^C

\pm Desviación Estándar. Literales iguales en las columnas indican que no hay diferencia estadística ($P < 0.05$). *Peso fresco.

micos como fenoles presentes en las frutas (Ramírez y Pacheco, 2011). La cuantificación de Polifenoles en este estudio fue realizada en peso fresco, encontrándose que todos los materiales presentaran concentraciones muy diferentes a excepción de las variedades Hidrozac y Caxcana que son estadísticamente iguales ($P < 0.05$) y con un valor mayor en concentración de polifenoles (Cuadro 1). La variedad con menor contenido de polifenoles fue Calvillo S-XXI, sin embargo, tiene cierta similitud a la variedad pera registrada con 29.8 ± 17.7 mg AG 100 g^{-1} de igual forma reporta valores para la variedad Regional Roja de 50.8 ± 4.7 y 45.6 ± 8.9 mg AG 100 g^{-1} para la Regional Blanca estas tienen similitud con Merita (Cuadro 1) (Rojas et al., 2008). Comparado con otros frutos, tales como Guayaba con 56.93 ± 0.13 mg 100 g^{-1} , Guanábana (*Annona muricata*) de 39.57 ± 0.043 mg 100 g^{-1} y Piña (*Annanas comosus*) con 8.91 ± 0.26 mg 100 g^{-1} (base seca), (Ramírez y Pacheco, 2011) rectificando que el contenido de polifenoles fue mayor en frutos de guayabas.

Diversos componentes presentes en productos vegetales o frutos tiene la propiedad de actuar como anti-radicales o antioxidantes (Rincón et al., 2011). La búsqueda de alimentos funcionales y nutracéuticos, son un reto para la ciencia y tecnología de los alimentos y son las frutas que cumplen con estas características ya que como alimento son fuente potencial de antioxidantes y aporte de nutrientes necesarios en la dieta (Ramírez y Pacheco, 2011). Existen varios métodos para la determinación de la capacidad antioxidante, dentro de los más utilizados son DPPH• y ABTS•+. Los resultados se reportaron en porcentaje de inhibición y $\mu\text{mol ET g}^{-1}$.

La lectura a través del porcentaje de inhibición estableció la capacidad del ion cromógeno que fue reducido por los compuestos antioxidantes (Cuadro 2).

El porcentaje de inhibición utilizando DPPH• osciló entre $24.5 \pm 0.7\%$ a $48.82 \pm 1\%$, y en el caso ABTS•+ el rango fue de $20.9 \pm 0.6\%$ a $49.74 \pm 1.4\%$. Ambos iones tienen coincidencia parcialmente. La mayor inhibición fue registrada por la variedad Hidrozac de igual forma (Sánchez, 2013) reporta valores semejante para ésta de $46.89 \pm 4.4\%$.

La literatura indica que la actividad anti-radicalaria puede depender del tipo concentración de polifenoles y la presencia de metales de transición (Jiménez et al., 2012). Cuando la so-

lución de DPPH reacciona con el sustrato antioxidante que puede donar un átomo de hidrogeno el color violeta se desvanece. El cambio de color es monitoreado espectrofotométricamente a 517 nm y es utilizado para la determinación de los parámetros para las propiedades antioxidantes (Tovar, 2013). La variedad Hidrozac presentó mayor capacidad antirradicalaria estadísticamente diferente a las demás mientras que Caxcana presentó la menor capacidad (Cuadro 3).

Estadísticamente no existió similitud entre ellas ($P < 0.05$).

Estudios realizados en Colombia, trabajando con cuatro materiales de guayaba diferentes: Regional Roja, Regional Blanca, Guatavá Victoria y Palmira ICA-1 reportan en un rango de 15.88 ± 0.3077 $\mu\text{mol trolox g}^{-1}$ a 20.2 ± 0.6877 $\mu\text{mol trolox g}^{-1}$ concentración en DPPH en estado maduro y de 3.77 ± 0.377 $\mu\text{mol trolox g}^{-1}$

a 19.83 ± 0.4677 $\mu\text{mol trolox g}^{-1}$ en guayabas en estado pinto (Espinal, 2010), lo cual comparado con los valores de las cinco variedades evaluadas, las mexicanas

Cuadro 2. Porcentaje de inhibición de cinco variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.).

Variedad	Inhibición (%)	
	DPPH•	ABTS•+
Calvillo S-XXI	27.17 ± 2.3^D	20.90 ± 0.6^D
Hidrozac	48.82 ± 1.0^A	38.40 ± 2.3^B
Huejucar	42.87 ± 1.8^B	27.27 ± 1.3^C
Caxcana	24.50 ± 0.7^E	49.74 ± 1.4^A
Merita	32.90 ± 1.6^C	22.77 ± 2.2^D

± Desviación Estándar. Literales en las columnas indican que no hay diferencia estadística ($P < 0.05$).

Cuadro 3. Capacidad antirradicalaria en las cinco variedades de guayaba.

Variedad	mmol ET g^{-1}	
	DPPH•	ABTS•+
Calvillo S-XXI	60.54 ± 6.2^D	43.86 ± 2.8^D
Hidrozac	113.94 ± 13.9^A	107.62 ± 8.0^B
Huejucar	97.14 ± 5.5^B	68.01 ± 5.6^C
Caxcana	54.26 ± 1.6^E	148.75 ± 5.4^A
Merita	71.91 ± 5.8^C	51.60 ± 8.7^D

± Desviación Estándar. Literales en las columnas indican que no hay diferencia estadística ($P < 0.05$).

resultaron con mayor concentración del ion. La capacidad antirradicalaria medida a través del radical, ABTS presenta mayores concentraciones para las variedades Caxcana seguida de Hidrozac (Cuadro 3) (Figura 1). Reportes de valores que oscilan entre los $15.77 \pm 0.29 \mu\text{mol trolox g}^{-1}$ a $48.57 \pm 4.77 \mu\text{mol trolox g}^{-1}$ en estado maduro de Espinal (2010) de cuatro variedades de guayaba presentaron menor concentración del ión ABTS a las cinco variedades evaluadas. Según lo reportado por Gutiérrez *et al.* (2007), en un estudio de diferentes frutas y vegetales de Chiapas, México, registraron la capacidad antioxidante de: Guayaba ($28.5 \pm 0.25 \mu\text{mol trolox g}^{-1}$) Naranja $20.1 \pm 0.25 \mu\text{mol trolox g}^{-1}$, Manzana $27.1 \pm 0.32 \mu\text{mol trolox g}^{-1}$, limón $6.7 \pm 0.15 \mu\text{mol trolox g}^{-1}$. Lo anterior sugiere que la guayaba en comparación con otros frutos tiene mayor capacidad Antirradicalaria.

CONCLUSIONES

Es pertinente incluir métodos para determinar la Capacidad Antioxidante en los alimentos de consumo en fresco. Los resultados registrados en éste trabajo, indican que la CA en guayabas de pulpa rosa y blanca se encuentra equivalentes y superiores a los valores reportados por variedades establecidas en el mercado internacional de pulpa crema. Las cinco nuevas variedades estudiadas presentan potencial nutrimental y nutracéutico, y pueden ser explotadas en la región de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución es producto de las actividades de la Red de Guayaba. Agradecemos el apoyo financiero al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y Agricultura (SINAREFI), a través del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y al personal del Sitio Experimental "Los Cañones" del INIFAP por su valiosa ayuda en las actividades de campo de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ortiz M., Reza-Vargas M.C., Barre-Bichir K.A.Y., Ramírez-Baca P. 2008. Capacidad antioxidante de polifenoles en Higo (*Ficus carica*) variedad Mission. Facultad de Ciencias Químicas-UJED. Pág. 1
- AOAC. 1988. Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (14th ed.). Washington, DC.: Association of Analytical Chemists
- Azzolini M., Jacomino A.P., Urbino I. 2004. Índices para avaliar qualidades pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol. 39, No. 2, p. 139-145.



Figura 1. Variedades de *Psidium guajava* L.

- Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Brunini M.A., De oliveira A.L., Barbosa D. 2003. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba 'paluma' armazenada a -20°C. *rev. Bras. Frutic., Jaboticabal*. V. 25 No.3, p. 394-396.
- Contreras-Calderon J., Calderón-Jaimes I., Guerra-Hernández E., García-Villanova B. 2010. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*. Vol. 44, p. 2047-2053.
- Espinal-Ruiz M. 2010. Capacidad antioxidante y ablandamiento de guayabas Palmar ICA 1 (*Psidium guajava*). Tesis para título de Magister en Ciencias Químicas. Universidad nacional de Colombia. Bogotá D.C. Pág. 6
- Gutiérrez-Zavala Á., Ledesma-Rivero L., García-García I., Grajales-Castillejos O. 2007. Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. *Rev. Cubana Salud Pública*; 33(1). Pág. 4
- Jiménez-Monreal A.M., Sánchez-Manzanera M., Martínez-Tomé M. 2012. Optimización del método captación del radical 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para evaluar actividad antioxidante en bebida de café. Universidad d Murcia, España y CIBER. Pág. 69
- Mendoza-López M.R., Luis-Aguilar A., Castillo-Orta S.F., Vidales-Fernández I. 2005. Diagnóstico del manejo actual del cultivo de guayaba en la región oriente de Michoacán. *Inifap. Publicación especial Núm.1 Uruapan, Michoacán*. Pág. 1.
- Oliveira D.S., Peixoto-Aquino P., Rocha-Ribeiro S.M., Pacheco R., Phinheiro-Sant'Ana H.M. 2011. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e actividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes de Ceasa do Estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum. Health Sciences. Maringá*, v. 33, n. 1. Pág. 90.
- Padilla-Ramírez J.S., González-Gaona E., Perales M.A. 2010. Nuevas Variedades de Guayaba (*Psidium guajava* L.). *Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap)*. Pág. 5, 7,
- Quijada O., Ramírez R., Castellano G., Camacho R., Sayago E., Burgos M.E. 2007. Calidad fisicoquímica de frutos de guayaba en el estado de Zulia. *INIA. Centro de Investigación Agrícolas*. Pág. 7 y 8
- Ramírez A., Pacheco E. 2011. Composición química y compuestos bioactivos presentes en las pulpas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*. pág. 71-74.
- Rincón A.M., Pérez M.N., Romero A., Bucarito L.C., Padilla F. 2011. Métodos para la determinación de la actividad antioxidante de vegetales. *Revista Facultad de Farmacia*. Vol 74. No.1. Pág. 24
- Rojas-Barquera D., Narváez-Cuenca C.E. 2009. Determinación de vitamina C, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de frutas de guayaba (*Psidium guajava* L.) cultivadas en Colombia. *Química Nova*. Vol.32, No.9, p. 2336-2340.
- Rojas-Barquera D.R., Narvaez-Cuenca E.C., Restrepo-Sánchez L.P. 2008. Evaluación del contenido de vitamina C, fenoles totales y actividad antioxidante en pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) de las variedades pera, regional roja y regional blanca. Departamento de Química, Facultad de Ciencia. Bogotá. D, C., Colombia. Pág. 49, 50, 56
- Sánchez-Rico T. 2013. Caracterización Físicoquímica y nutricional del germoplasma de guayaba de pulpa rosa. Tesis para el grado de Maestro en Ciencias Biológicas. Facultad de químico Farmacobiología (UMSNH). Morelia Mich.
- Sandoval-Hernández S.D. 2010. Cuantificación de Ácido Ascórbico (Vitamina C) en néctares de melocotón y manzana comercializados en supermercados de la Ciudad Capital. Tesis para optar al título de Química Farmacéutica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Pág. 8
- Singleton V.L., Rossi J.A. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Solarte M.E., Hernández M.S., Morales A.L., Fernández J.P., Melgarejo L.M. 2010. Caracterización Fisiológica y Bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración. Universidad nacional de Colombia. Pág. 89, 96, 98
- Tovar-Del Rio J. 2013. Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera. Universidad tecnológica de Pereira, Colombia. Trabajo de grado para optar al título de Químico Industrial, Facultad de Tecnología, Escuela de Tecnología Química. Pág. 13 – 16.



ZAPOTE MAMEY [*Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn], DIVERSIDAD Y USOS

ZAPOTE MAMEY [*Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn], DIVERSITY AND USES

Villegas-Monter, A.^{1*}, Escobar-Sandoval, C.M.²; Arrieta-Ramos, G.³; Berdeja-Arbeu, R.⁴

¹Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. ²Red de Recursos Genéticos de México, REDGENMEX, A.C. ³Universidad Autónoma de Nayarit. ⁴Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

*Autor de correspondencia: villema53@hotmail.com

RESUMEN

En México, el zapote mamey (*Pouteria sapota*) se cultiva en sistemas de producción, plantaciones comerciales con genotipos seleccionados localmente, plantaciones agroforestales asociado a frutales, y en traspatio. Su consumo es en fresco y pulpa congelada. Presenta de dos a cuatro floraciones por año, y la cosecha puede darse todo el año dependiendo de la zona, pero la mayor producción es de abril a julio, el tamaño de fruto es de 230 hasta 850 g, y tienen de 60 hasta 82% de pulpa, el índice de forma es de 1.2 (esféricos), que tienen de 2 a 4 semillas, hasta 2.5 (alargados) con una semilla, que son los preferidos por los consumidores. La mayor variabilidad se encuentra en plantaciones agroforestales porque no hay preselección.

Palabras clave: Sapotáceas, biodiversidad, sistemas de producción.

ABSTRACT

In México, zapote mamey (*Pouteria sapota*) is cultivated in production systems, commercial plantations with genotypes selected locally, agroforestry plantations associated to fruit trees, and in the backyard. Its consumption is fresh and in frozen pulp. It presents two to four flowering events per year, and the harvest can take place throughout the year depending on the zone, but the highest production is from April to July; the size of the fruit is 230 to 850 g, and they have 60 to 82 % of pulp; the shape index is 1.2 (spherical), which have 2 to 4 seeds, to 2.5 (elongated) with one seed, which are the ones preferred by consumers. The highest variability is found in agroforestry plantations because there is no preselection.

Keywords: Sapotaceae, biodiversity, production systems.

INTRODUCCIÓN

La familia Sapotaceae está constituida por árboles y arbustos del bosque pantropical, formada por 540 especies aproximadamente, distribuidas desde el sur de Estados Unidos, México, Centro América, hasta Paraguay, Chile y Uruguay (Pennington, 1990). Una característica básica de estas especies es la exudación de látex blanco y pegajoso que, en el chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) es empleado para la elaboración de chicle (Samson, 1991). Pennington (1990), indica que se reconocen 11 géneros, los más importantes porque producen frutos comestibles son: *Pouteria* (188 especies) donde se ubican *P. sapota* (zapote mamey), *P. campechiana* (canistel), *P. viridis* (injerto), *P. lucuma* (lúcuma), *Chrysopyllum* (43 especies), donde encontramos a *Ch. cainito* (caimito) y *Manilkara* con 30 especies, donde se ubica *M. zapota* (chicozapote), frutal con amplio potencial que también es utilizado para la extracción de látex y como madera para la construcción; debido a su dureza, es de las preferidas para cercos y "troncos" de casas lo que ocasionó que la mayoría de los árboles de la selva tropical fueran eliminados, limitando su existencia a potreros y traspatio. En México, de acuerdo con el número de registros que existen en siete herbarios, UNAM-MEXU, INECOL-Xalapa, Preparatoria UACHapingo, BANGEV-UACHapingo, COLPOS, UAYucatán, Colegio de la Frontera Sur, se encontraron 1324 ejemplares de sapotáceas que incluyen siete géneros y 42 especies. De las cuáles, 101 registros corresponden a *P. sapota*, pero sólo 33 tienen coordenadas y se distribuyen en Chiapas, Guerrero, Michoacán, Veracruz y Yucatán,

en zonas de clima cálido subhúmedo, semicálido húmedo y subhúmedo (Villegas y Granados, 2010), cabe indicar que se han observado plantas de *Pouteria*, en San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Morelos, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Oaxaca, Nayarit, Jalisco, Colima, y Estado de México. Un problema que se tiene en México es que se denominan zapotes a frutos de otras familias y especies que no son sapotáceas, lo anterior puede estar relacionado con el hecho de que en náhuatl se denominaba "tzapotl" a las frutas esféricas, dulces con semilla grande, probablemente por esta razón también se conocen como zapote a *Mammea americana* (zapote dominico), perteneciente a la familia Clusiaceae (Guttiferae), *Dyospyrus dygina* (zapote negro), perteneciente a la familia Ebenaceae (Almeyda y Martín, 1976; León, 2000) y *Casimiroa edulis* (zapote blanco) perteneciente a la familia Rutaceae. En este caso sólo nos referiremos a *Pouteria sapota* (Zapote mamey), se describen los principales sistemas de producción, etapas fenológicas, desarrollo de fruto, épocas de cosecha, y variabilidad (forma, tamaño, contenido de pulpa y tamaño de semilla).

MATERIALES Y MÉTODOS

La Red de investigación de Sapotáceas realiza actividades de recolección y caracterización en Yucatán, Chiapas, Veracruz, Puebla, Guerrero, Nayarit, recientemente en Jalisco y Oaxaca, en 28 municipios se han referenciado más de 1000 árboles y caracterizado más de 180 genotipos de zapote mamey. Para seleccionar los materiales se establece contacto con autoridades ejidales y líderes locales, quienes después de conocer los objetivos de la visita, señalan nombre de productores o lugares donde se ubican las plantas, se toman datos geográficos de ubicación y si están en producción se recolectan de 30 a 40 frutos, que son trasladados al laboratorio, donde se pesan en madurez fisiológica y posteriormente en madurez de consumo. Debido a que el epicarpio (cáscara) no cambia de color para saber cuándo los frutos están en madurez fisiológica, en esta especie los productores lo determinan eliminando parte de la cáscara, si la pulpa ha cambiado de color de verde a rosa o rojo en la base y ápice, el fruto se cosecha. El número de frutos evaluados de cada árbol en estudio es de 20, se cosechan en madurez fisiológica, se trasladan en cajas de plástico al laboratorio, los frutos se numeran, mide largo y diámetro de fruto (cm) y pesan (g) en balanza granataria digital (Adventurer OHAUS®), con capacidad de 1500 g y aproximación de 0.1 g, cuando los frutos maduran, se pesan nuevamente y con cuchillo se corta la cáscara y pulpa en forma longitudinal, se extrae la semilla, lava perfectamente con agua y jabón para eliminar residuos, elimina exceso de agua, y mide con vernier digital (Truper®), longitud y diámetro (mm), y se pesa (g). Con cuchara se retira la pulpa del epicarpio, se pesa (g) y determina el peso de pulpa con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso de pulpa (g)} = \text{peso total de fruto maduro} - (\text{peso de semilla} + \text{peso de epicarpio})$$

También se determina la fenología del árbol por medio de visitas cada cuatro semanas, para conocer las etapas de floración, caída de hojas, desarrollo de fruto, época de cosecha y se analizan por comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05\%$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo presentamos sistemas de producción, fenología de floración, época de cosecha, tamaño de fruto, largo de fruto, relación largo/ancho de fruto, peso de pulpa, peso de semilla.

Sistemas de producción: Aun cuando en México, se cultivan 1655 ha con zapote mamey (SIACON, 2013), en Yucatán, hay más de 800 ha de mamey en producción comercial con plantas injertadas, esta información no coincide con la publicada por SIACON (2013), quien señala que son 499 ha. También hay pequeñas plantaciones con el mismo tipo de plantas en Campeche, Chiapas, Guerrero y Veracruz, pero es una especie en proceso de domesticación, ya que la mayor cantidad de plantas se encuentran en plantaciones agroforestales y traspatio.

Plantaciones comerciales: Debido a que las plantas injertadas de mamey producen fruto a partir de los cinco años y la producción es rentable después de ocho años, en Huertas Magaña, Akil, Yucatán, las plantaciones se hacen a 10×10 m, intercaladas con lima persa, colocando las plantas como se muestra en la Figura 1, a los 8 años se eliminan los árboles de lima persa que se están entre planta y planta de mamey y a los 10 años, la hilera completa. Cabe indicar que el esquema ha sido utilizado con aguacate, maracuyá, siguiendo el mismo procedimiento. La densidad es de 100 plantas de mamey y 270 de lima persa. Las plantas de mamey son uniformes porque se injertan, fertilizan, controlan plagas y durante los primeros años tienen riego por mi-

croaspersión. Este sistema de plantación ha permitido a Huertas Magaña, crecer constantemente los últimos 30 años.

Plantaciones agroforestales asociado con diversos frutales: los árboles de mamey provienen de semilla, no son establecidos por los productores, crecen de manera natural (silvestre) y en pocas ocasiones se eliminan árboles que pudieran competir entre ellos. Con el propósito de aprovechar la sombra que generan los árboles de mamey, en la parte baja se planta, banano, plátano, cacao, plantas de follaje, entre otras. Debido a que no hay marco de plantación, la distancia entre plantas es variable, así como el tamaño, normalmente, del árbol más viejo se originan otros de menor edad y tamaño. En la mayoría de los casos, el cultivo de interés es él que aprovecha la sombra y mamey es alternativo. Este esquema tiene la ventaja de que mantiene el equilibrio de estratos; porque mamey, cedro y otras plantas utilizan el estrato superior, café o cacao el medio y las plantas de sombra el bajo, mientras que las arvenses el inferior, debido a la diversidad, las plagas y enfermedades no son problema o es mínimo, así como la degradación de la flora y fauna. En este esquema, no hay selección de fruto por parte del productor, y la producción de mamey no es el objetivo principal de este sistema. La densidad de plantación de mamey no es superior a 20 plantas por ha y la calidad de frutos no es uniforme (Figura 2).

Plantaciones de traspatio: en este esquema de producción, los árboles provienen de semilla y pueden ser

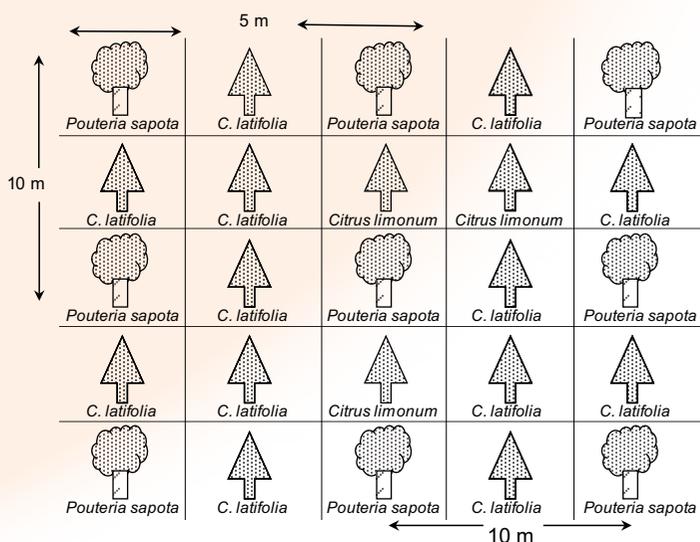
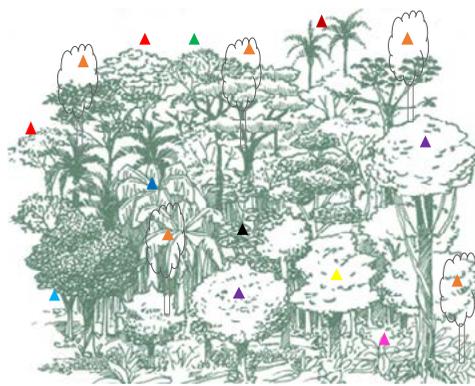


Figura 1. Sistema de Producción de *Pouteria sapota* en México: Plantación Comercial.



Pouteria sapota ▲
Roseodendron donnell-smithii ▲
Schizolobium parahybum ▲
Anacardium occidentale ▲
Strelitzia reginae ▲
Aspidosperma megalocarpum ●
Cedrela odorata ▲
Acrocomia mexicana ▲
Musa acuminata ▲
Coffea arabica ▲

Figura 2. Sistema de Producción de *Pouteria sapota* en México: Agroforestal asociado con frutales.

plantados por el dueño o bien crecen de manera natural a partir de semillas que tiran al suelo después de consumir la pulpa, no hay marco y distancia de plantación, pero si selección de fruta, en general, después de la segunda o tercera cosecha, los productores seleccionan los frutos por sabor, color, y época de producción, por lo que hay selección dirigida. Debido a que crecen con otros frutales, cítricos, mango, aguacate, banano, plátano, los árboles son de porte alto, motivo por el cual no se hacen aplicaciones para controlar plagas, no hay poda, en algunos casos riegan y fertilizan, pero no es una práctica común. El objetivo del sistema de producción es consumo de fruta fresca para venta a pequeña escala en el mismo lugar. La densidad de plantación es de 8 hasta 30 árboles por ha, la calidad de fruta no es uniforme.

Árboles silvestres: en Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, Chiapas y sur de Veracruz, donde hay pequeños relictos de selva se encuentran árboles de mamey que crecen de forma silvestre y no tienen proceso de selección. Cuando se hace recolecta, en las plantacio-

nes agroforestales y en la selva se identifica mayor variabilidad porque no hay proceso de selección, mientras que en plantaciones de traspatio, los árboles tienen selección llevada a cabo por el dueño del predio.

Fenología de la floración: Conocer las etapas fenológicas de la planta en estudio es importante porque permite programar actividades de recolecta. En mamey, el desarrollo de fruto requiere de 14 hasta 20 meses, por este motivo, se encuentran frutos en desarrollo y otros que están próximos a la cosecha (Domínguez, 2009). El zapote mamey puede presentar de dos a cuatro floraciones por año, depen-

diendo de la zona donde se desarrolle (Figura 3). En Alpoyecá, Guerrero se presentan dos floraciones (Antesis), la más importante y de mayor intensidad es de julio-agosto-septiembre, y la menos importante noviembre-diciembre-enero, donde no hay amarre de fruto (Cid *et al.*, 2015). Las inflorescencias de mamey, tienen de 12 hasta 20 flores y el sitio donde se desarrollan es la cicatriz axilar de la hoja, y un punto floral (yema), puede producir flores durante cinco años, cabe indicar que, en ocasiones las flores se forman en las axilas de las hojas, del crecimiento del año, pero lo común es que sea en ramas sin hojas de más de un año (Domínguez, 2009), y en la primera sección de la rama sin hojas (segundo año), no hay "amarre de fruto", regularmente, ocurre en partes de la rama de tres, cuatro y cinco años.

Desarrollo de fruto. Las Figuras 4 y 5 muestran el desarrollo a partir de fruto de 4 a 9 mm de longitud, cuatro meses aproximadamente a partir de plena floración, se muestra que el proceso requiere de 14 a 17 meses, hasta cosecha, pero desde inicio de floración (aparición de botón floral) son de 18 hasta 21 meses, este periodo se modifica en función del sitio donde desarrollen

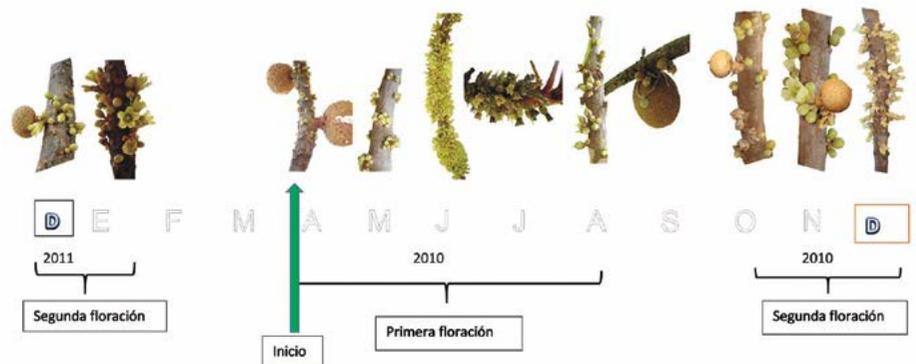


Figura 3. Fenológica de la floración en *Pouteria sapota*. Las flores de desarrollan en la cicatriz axilar de las hojas, inicia con aparición de botón floral en marzo-abril, y concluye con apertura de flor en julio-septiembre.

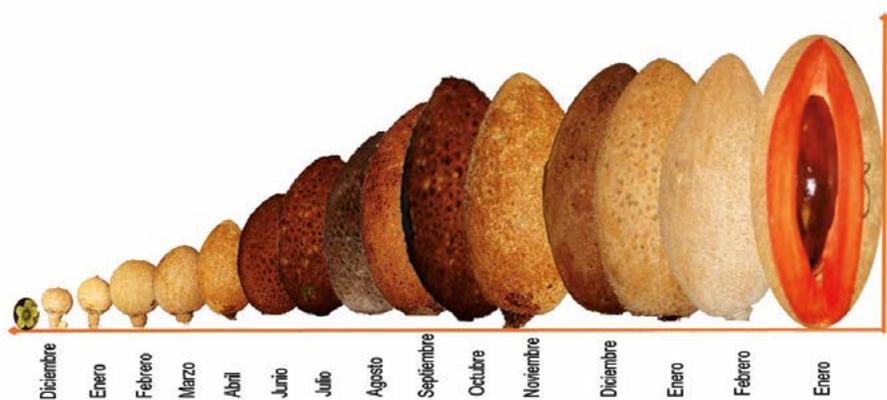


Figura 4. Dinámica de crecimiento común, desarrollo y maduración de frutos de *Pouteria sapota* en México.

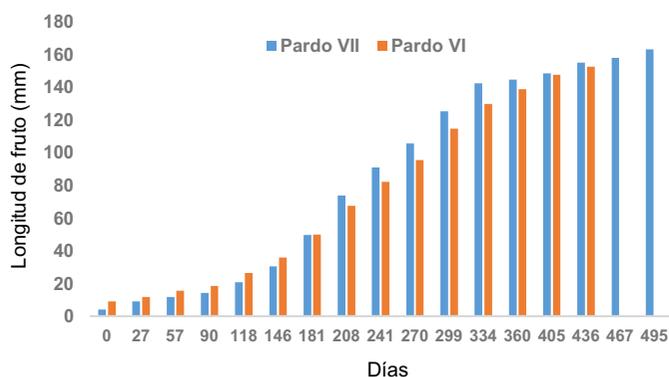


Figura 5. Dinámica de crecimiento de fruto (a partir de frutos de 4 y 9 mm), de dos selecciones de *Pouteria sapota*, Pardo VI y VII, en Alpoyecá, Guerrero, México.

los frutos. Aun cuando la floración ocurre al mismo tiempo en los dos genotipos, el tiempo desarrollo de flor a fruto es que el que modifica la época de cosecha. Este aspecto lo hemos observado en más de 20 genotipos en Guerrero. La dinámica de crecimiento del fruto es simple sigmoide, coincidiendo con lo señalado por

Alia-Tejacal et al. (2004), y Arenas et al. (2003). Cabe indicar que el mayor crecimiento de fruto se tiene entre 180 y 360 días, después se hace lento hasta cosecha. Otro aspecto importante a considerar es que en la primera etapa, el diámetro de fruto es mayor que la longitud hasta los 146 días, después de 186 días es mayor la longitud (Domínguez, 2009).

Periodos de cosecha: Debido a la falta de información, la mayoría de las personas considera que

sólo hay producción de zapote mamey en marzo, abril, mayo, junio y julio; sin embargo, tenemos frutos todo el año como se muestra en la Figura 6, con periodos de producción mínima en los cuáles el abastecimiento de fruta fresca en las centrales de abasto es limitado. Se ha determinado que los meses con mayor disponibilidad de fruta inician de la segunda quincena de marzo a finales de julio. Siendo este el periodo en el que los estados de Yucatán, Guerrero y Chiapas, principales productores de mamey, además de Veracruz y Puebla, tienen la mayor producción. Mientras que los genotipos precoces y tardíos abastecen los mercados en las épocas de menor abundancia, cuando el precio llega a ser el doble o triple que en los meses de alta producción, este aspecto se debe considerar cuando se hace selección de genotipos, en cada una de las zonas productoras.

El mercado de frutas en México se concentra principalmente en el Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey y Puebla, en zapote mamey al igual que otras frutas

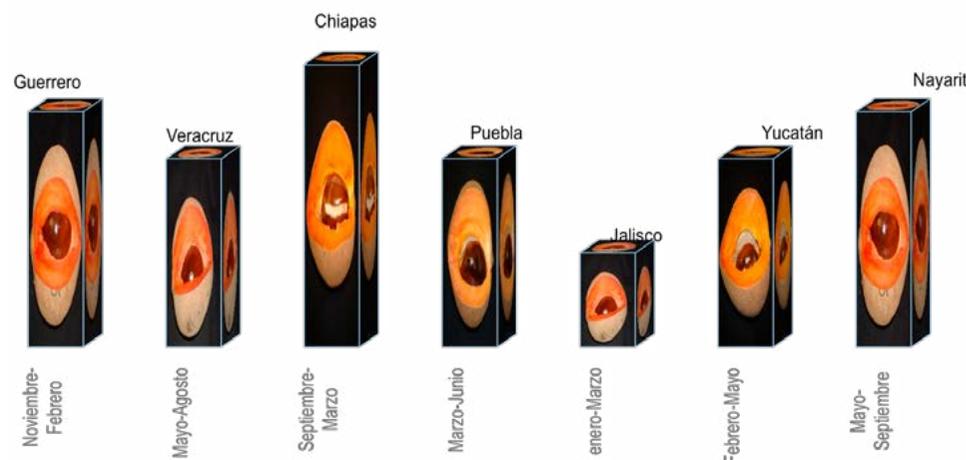


Figura 6. Periodos de producción y cosecha de *Pouteria sapota* en siete estados de México.

nativas tienen mayor distribución y consumo en mercados locales, próximos a las zonas productoras por lo que en muchos casos, las frutas tropicales no son conocidas en los grandes centros comerciales. En México, de acuerdo a las regiones donde se ha recolectado y caracterizado frutos de mamey, los periodos de cosecha son en Jalisco, de Enero a Marzo, Veracruz, de Mayo a Agosto, Puebla, de Marzo a Junio,

Yucatán, de Febrero a Mayo, en Guerrero, de Diciembre a Mayo, en Nayarit, de Mayo a Septiembre y Chiapas, de Septiembre a Marzo, en este último se puede encontrar frutos en los mercados locales en casi todo el año debido a la presencia de materiales tardíos. De acuerdo con esta información existe la posibilidad de producir mamey todo el año, pero es necesario tener genotipos injertados para mantener las características deseables, en este caso época de producción, tamaño de fruto, color de pulpa, etcétera, y es importante considerar que en Yucatán se están evaluando genotipos seleccionados en Chiapas, Guerrero y Yucatán. Con la producción de dos años, observando que la época de producción es modificada por las condiciones ambientales, por tal motivo, es importante utilizar genotipos locales, si queremos producir mamey en épocas de mayor demanda y precio de la fruta.

Variabilidad en tamaño de fruto: En muestra representativa de frutos de zapote mamey de cinco estados de la República (Yucatán, Chiapas, Guerrero, Puebla y Veracruz), se encontraron frutos que pesan en promedio desde 230 g (Boni 2, Puebla), hasta 850 g (Cruz-B, Chiapas), lo anterior pone en evidencia la variabilidad en tamaño de los frutos de esta especie. De los 29 genotipos evaluados, 60% pesan más de 500 g, lo que pone en evidencia la preferencia de los productores por esta característica (Figura 7). Pero tomando en cuenta que las familias cada vez tienen menos hijos, es necesario poner atención en los frutos de menor tamaño, para consumo en fresco y los de mayor tamaño para la industria, para la obtención de pulpa, considerando el potencial que tiene la pulpa congelada para la elaboración de helados, paletas, agua fresca, entre otros usos.

Forma de fruto: Aun cuando en el mercado regularmente se encuentran frutos alargados, que sería el prototipo de esta especie, para definir la forma y utilizar un parámetro cuantitativo, se utiliza la relación largo/ancho, que da un índice para determinar la forma, y cuando el índice es próximo a 1, refiere a frutos prácticamente redondos y si es mayor de 1.7 son alargados, que es la forma conocida. En la Figura 8, se presenta la forma del fruto de nueve genotipos, observando que N-amor (Alpoyeca, Gro.) con índice 2.5 es el genotipo que tiene los frutos más largos, pero no es el de más peso (mayor tamaño), como se observa en la Figura 7 con 400 g, es de los pequeños; mientras que, Cruz-B (Chiapas), de mayor peso, tiene el menor índice (1.5), cabe indicar que la forma tiene relación con el número de semillas por fruto, así los redondos tienen de 2 a 4 semillas y los alargados una, aspecto deseable para los productores si el objetivo es pulpa. Espinosa *et al.* (2005), en Guerrero encontraron índices de 1.7 a 1.9. Mientras que, Arena *et al.* (2003), Alia-Tejagal *et al.* (2004), Campbell (1997), Azurdia (2006), no

presentan datos en relación a esta variable.

Contenido de pulpa: Cuando el objetivo de producción es consumo en fresco, los factores importantes son: color de pulpa, sabor, contenido de fibra, y pulpa. Entre los genotipos seleccionados, están materiales que tienen 56% de pulpa, pero en la Figura 9, se muestra el porcentaje de nueve genotipos de tres estados de la república que dan un panorama general de la variabilidad existente, Boni 2, de Puebla con 60% es el que menor proporción tiene y Dorza_A, de Chiapas con 82%, es el más alto, para los consumidores es preferible comprar este tipo de genotipos porque tienen mayor cantidad de pulpa, si el objetivo es consumo en fresco, pero para uso

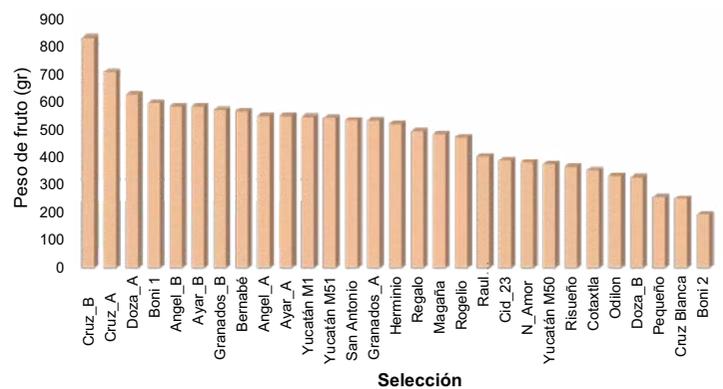


Figura 7. Peso medio de fruto de 29 selecciones de *Poueteria sapota* de siete estados de México.

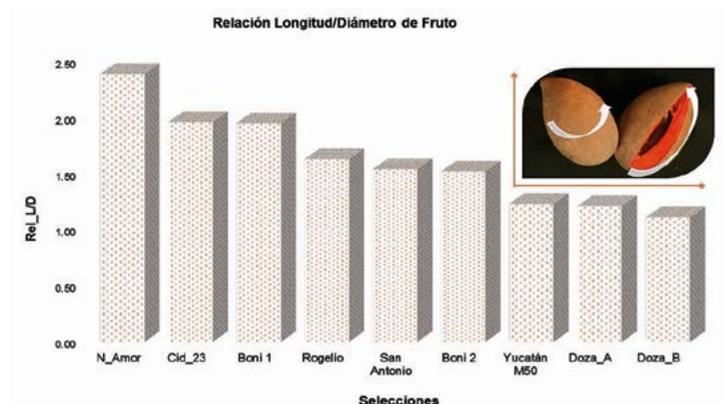


Figura 8. Índice de forma de fruto en nueve selecciones de *Poueteria sapota*.

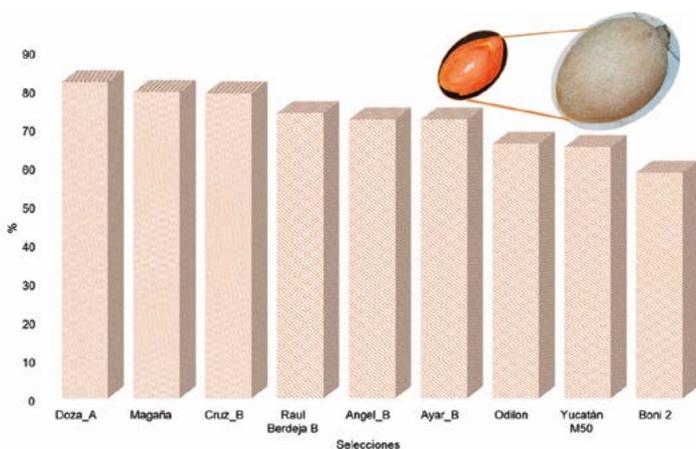


Figura 9. Porcentaje de pulpa en nueve selecciones de *Pouteria sapota*.

industrial de aceite, Boni 2, es mejor opción. Magaña 1, es de los genotipos más cultivados en México, tiene 80% de pulpa, lo que explica porque razón Huertas Magaña lo utiliza. Aun cuando no se muestran los datos de todos los frutos, en Nayarit, Veracruz, y Guerrero, hay genotipos con 80% a 82% de pulpa, esto significa que en cada estado tenemos posibilidades de propagar genotipos para diversos propósitos y no necesita traerlos de otros estados, pero se debe ubicar y caracterizar antes de propagarlos por injerto, aspecto que hasta la fecha no se hace de manera extensiva en todos los estados productores de mamey de México.

Tamaño de semilla: La semilla puede ser utilizada para la obtención de plantas que se usan como portainjertos o para producción de aceite que es utilizada para la elaboración de cosméticos. Villegas y Mora (2008), señalan que para la obtención de portainjertos, se deben utilizar semillas de 40 g o más, de esta forma se logran plantas vigorosas y en seis meses pueden ser injertadas. Partiendo de lo anterior, las semillas de Cruz_A (Chiapas), Regalo (Guerrero), Herminio (Puebla), de mayor peso, producirían las plantas más grandes, Rogelio (Puebla), Granados_A (Chiapas) y Yucatán M51 (Yucatán), también cumplen con ese requisito; mientras que, Berdeja (Veracruz), Pequeño (Guerrero) y Cruz Blanca (Veracruz), no son aptas (Figura 10). Como se indicó anteriormente, hay plantas que tienen de 3 a 5 semillas, en estos casos, debido a que compiten por espacio (Figura 11), las semillas son pequeñas, aun cuando en conjunto pueden pesar más de 100 g, no son aptas para producir plantas, pero si utilizadas para producir aceite.

Porcentaje de epicarpio (Cáscara)

La cáscara es la parte externa que protege al fruto

(pulpa y semilla), de daños mecánicos y plagas, en mamey tiene aspecto diverso es lisa o corchosa, que en algunos casos desprende escamas de diverso tamaño. El grosor puede ser de 1 hasta 2.5 mm, el color es variable dependiendo de la exposición al sol de grisáceo hasta rojizo. El peso puede ser desde 40 hasta 120 g, y representar desde 10% hasta 25% del fruto, y es de mayor la proporción que la semilla (Figura 12). Debido al color

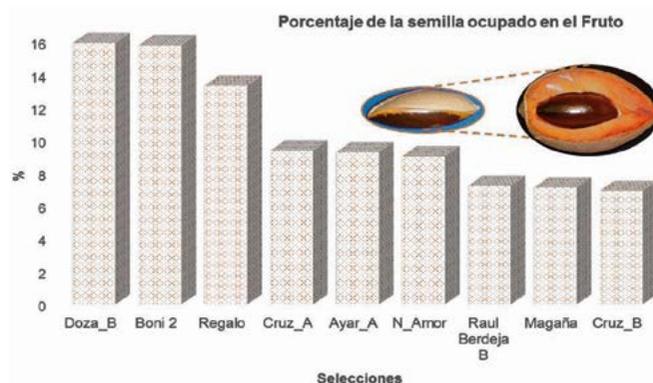


Figura 10. Porcentaje de la semilla en nueve selecciones de *Pouteria sapota*.



Figura 11. Fruto de *Pouteria sapota* con cinco semillas.

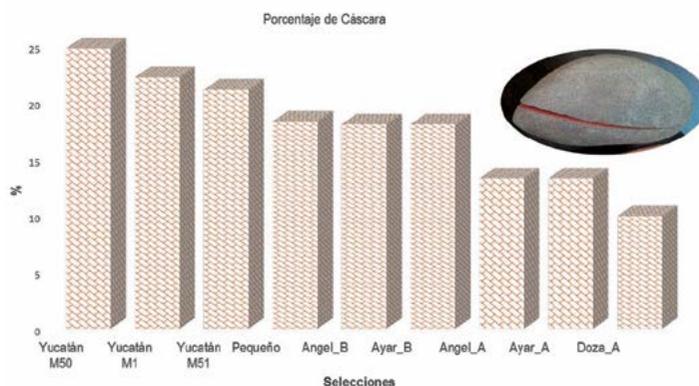


Figura 12. Porcentaje de epicarpio en nueve selecciones de *Pouteria sapota*.

de la cáscara, en este frutal no se observan los golpes y en muchos casos compramos frutos maltratados sin saberlo, el problema se ve al momento de abrir el fruto, esto ha ocasionado que muchos consumidores, no compren mamey porque la mayoría son malos, debido a lo anterior, de manera popular se utiliza el refrán "que los hombres son como los mameyes, es difícil encontrar uno bueno"

CONCLUSIONES

La mayor diversidad de zapote mamey se registra en plantaciones agroforestales, de traspatio y árboles silvestres. Presenta de dos a cuatro floraciones al año, pero en todos los casos una es la principal y el fruto requiere de 18 a 21 meses desde botón floral a cosecha. El tamaño de fruto es de 230 g hasta 850 g, con 60% a 82% de pulpa, índice de forma 1.2 hasta 2.5, el número de semillas de 1 a 2. El principal uso es para consumo en fresco, pero se puede extraer aceite de la semilla.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es resultado de actividades de la Red de Sapotaceas, y agradece al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SAGARPA-SNICS-SINAREFI) por el financiamiento de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Almeyda, N., y F. W. Martín. 1976. Cultivation of neglected tropical fruits with promise. Part 2. The mamey sapote. U.S. Agr. Serv. Rep. pp: 150-156.
- Domínguez Ordoñez, L. 2009. Fenología de la floración y fructificación en zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn (Sapotaceae)]. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. 163 p.
- Espinosa-Zaragoza, S.; Saucedo-Veloz, C.; Villegas-Monter, A.; Ibarra-Estrada, M. E. 2005. Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq) H. E. Moore & Stearn) en Guerrero, México. Proceedings of Interamerican Society for Tropical Horticulture. 48:135-138.
- Espinosa-Zaragoza, S., J.M. Villareal-Fuentes, A. Villegas-Monter, A. Mora-Aguilera, y C. Ruiz Bello. 2009. El zapote mamey. pp: 321 – 340. In: Frutas del Trópico, Ed. M. E. de Coss-Flores, C. Ruiz-Bello y J.L. Moreno-Martínez. Universidad Autónoma de Chiapas, Cuerpo Académico Protección Vegetal, Facultad de Ciencia Agrícolas, Colina Universitaria, Tuxtla, Gtz, Chis.
- León J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. 2ª Ed. Instituto Iberoamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. 445 p.
- Pennington, T. D.1990. The genera of sapotaceae. Royal Botanic Garden Kew Great Britain. 295 p.
- SIAP (Servicio de Información y estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado 26 de junio de 2015).
- Villegas-Monter A., M.E., Ibarra-Estrada Espinosa-Zaragoza S.. 2005. Expectativas de las sapotáceas en México. XVIII Curso de actualización frutícola. Del 5–7 de octubre de 2005. Coatepec de Harinas, México.
- Villegas-Monter A., Mora-Aguilera A. 2008. Propagación de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). In: ALIA, T. I.; VILLEGAS-MONTER, A.; LÓPEZ, M.V.; ANDRADE, R.M.; ACOSTA, D.C.M.; VILLEGAS, T.O.G.; GUILLEN, S.D. El zapote mamey en México: avances de investigación. Primera edición. Universidad Autónoma del estado de Morelos. pp: 1-18.



LA CONSERVACIÓN DE LOS ABALES (*Spondias purpurea* L.) Y SUS PARIENTES SILVESTRES EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

CONSERVATION OF THE ABAL (*Spondias purpurea* L.) AND ITS WILD RELATIVES IN THE YUCATÁN PENINSULA

Ruenes-Morales, M.R.; Ferrer-Ortega, M.M.; Montañez-Escalante, P.I.; Fortuny-Fernández, N.M.

Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Campus de Ciencias Biológicas y agropecuarias-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Autor de correspondencia: rruenes@correo.uady.mx

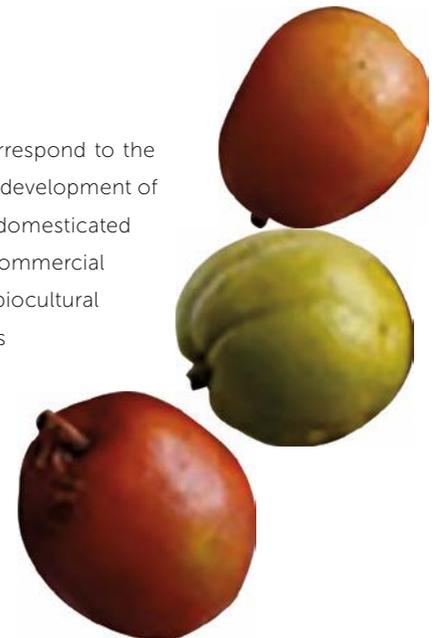
RESUMEN

Abal deriva de la lengua maya y significa árbol de ciruelo, todos los tipos de *abales* corresponden a la especie *Spondias purpurea* L. Como muchas plantas domesticadas, los abales son esenciales en el desarrollo de las familias campesinas y cubren diferentes necesidades biológicas y culturales. Esta especie, en su forma domesticada ha sido conservada por los Mayas de la península de Yucatán en huertos familiares y parcelas comerciales. Los parientes silvestres se encuentran presentes, tanto en acahuales como en selvas que forman parte del patrimonio biocultural de los Mayas Yucatecos. La información sobre la venta de abales fue documentada, los trabajos sobre la diversidad biológica y genética de abales yucatecos evidencian que a pesar de tener dos linajes genéticos presentes en la provincia, la diversidad en la morfología de frutos, hojas, flores y fenología de las formas cultivadas es muy variable, relacionada con la selección de variantes poliploides por los pobladores, quienes propagan a este cultivo clonalmente por medio de estacas. Se concluye que los huertos familiares, son un reservorio de la diversidad genética y de conservación *in circa situm*, donde la selección dirigida ha mantenido variantes fenotípicas únicas que difieren en forma, color, sabor y tamaño de fruta, tiempos de fructificación y nivel de ploidía. Las poblaciones de parientes silvestres están en riesgo y es importante caracterizarlos y evaluarlos. La presencia de la colección de trabajo de la red ciruela SNICS-SINAREFI en la península de Yucatán representa una oportunidad para desarrollar investigaciones que sean base para planificar las estrategias de conservación y fitomejoramiento de *Spondias purpurea*.

Palabras clave: *Spondias* spp., huerto familiar, árbol indígena maya.

ABSTRACT

Abal derives from the Mayan language and means plum tree; all the types of *abales* correspond to the species *Spondias purpurea* L. as many domesticated plants, the abales are essential in the development of peasant families and cover different biological and cultural needs. This species, in their domesticated form, has been conserved by the Mayans in the Yucatán Peninsula in family gardens and commercial plots. The wild relatives are present, both in grasses and in forests that are part of the biocultural heritage of Yucatec Mayas. Information regarding trade of abales was documented; studies about biological and genetic diversity of Yucatec abales show that despite having two genetic lineages present in the province, the diversity in the morphology of fruits, leaves, flowers and phenology of the cultivated forms is quite variable, explained by



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril, 2016. pp: 55-62.

Recibido: julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.

the selection of polyploid cultivars by inhabitants, who propagate this crop clonally through cuttings. It is concluded that family gardens are a reservoir of genetic diversity and of *in circa situm* conservation, where directed selection has conserved unique phenotypical cultivars that differ in shape, color, taste and size of the fruit, time of fructification and level of ploidy. The populations of wild relatives are at risk and it is important to characterize and evaluate them. The presence of the working collection of the SNICS-SINAREFI plum network in the Yucatán Peninsula represents an opportunity to develop studies that are the base for planning the conservation and plant improvement strategies for *Spondias purpurea*.

Keywords: *Spondias* spp., family garden, Mayan indigenous tree.

INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Spondias* L. (Anacardiaceae) son cultivadas en todo México hasta Perú y sur del Brasil (Barford, 1987; Dodson y Gentry, 1978). House *et al.* (1995) y Rzedowski y Rzedowski (1999) consideran que el origen de esta especie es México y América Central, donde actualmente se encuentran poblaciones con tipos silvestres. *Spondias mombin* L. y *S. purpurea* tienen una distribución amplia desde Sinaloa hasta Chiapas por la vertiente del Pacífico de México y desde Tamaulipas hasta la península de Yucatán por la vertiente del Golfo de México (Rzedowski y Rzedowski, 1999). *S. purpurea* es elemento florístico de las selvas bajas caducifolias. Colunga y May (1992), señalan que en la península de Yucatán, *S. purpurea* es una especie cultivada y que su pariente silvestre *S. mombin* también está presente, en menor proporción, en algunos huertos familiares de pueblos aledaños a la selva mediana subcaducifolia y subperennifolia. *S. radlkoferi* J.D.Sm. se ha reportado como elemento florístico de las selvas medianas a altas subperennifolias y perennifolias en los estados de Veracruz y Chiapas, sin que haya reportes para la península de Yucatán. Abal deriva de la lengua maya y significa árbol de ciruelo, todos los tipos de abales corresponden a la especie *S. purpurea*. Es un cultivo con numerosas variantes que poseen mayor grado de variación en los frutos, hojas. Los parientes silvestres se encuentran en la vegetación circundante, esto es, *S. purpurea* es elemento florístico de las selvas bajas y medianas caducifolias, aunque también se puede encontrar *S. mombin* (Huhub, Hobo, Jobo) característico de las selvas bajas y medianas caducifolia a subcaducifolia y *Spondias radlkoferi* (Kilim o Hobo amarillo) de selvas medianas subcaducifolias a altas perennifolias (Figura 1). La ciruela mexicana es un frutal muy prometedor por su aceptación en el mercado, por tratarse de una especie con alta resistencia a la sequía y por producir en suelos pobres y someros donde no se adaptan otros cultivos. En México se conocen numerosas variantes clonales (Avitia *et al.*, 2003), y es el país donde se han registrado el mayor número de variantes que oscilan entre 20 y 32 (Ruenes *et al.*, 2010), sin que de ellas se haya hecho una caracterización biológica formal. El nombre vernáculo generalizado para *S. purpurea* es ciruelo o ciruela mexicana, pero se han registrado diversos nombres dados por los grupos étnicos de México.

Con base en lo anterior, se resumen resultados de investigación sobre la variación biológica de los abales cultivados de *S. purpurea* y de sus parientes silvestres, en la península de Yucatán, México, con base en investigación participativa con los pobladores y el empleo del material de la colección de trabajo de la red de ciruela para caracterizar su diversidad e importancia cultural de los abales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización fenológica de las variantes fue obtenida por Ruenes *et al.* (2010) quienes integraron la información obtenida por medio de entrevistas semi-estructuradas y observaciones directas sobre la variación en las épocas de floración y fructificación de las variantes de abal preferidas por los pobladores de Yucatán. El análisis fenético de diez tipos de abal que las familias campesinas reconocen se realizó como parte del estudio integral de los abales de Yucatán en el municipio de Hocabá conducido por Ruenes *et al.* (2010). Los datos morfológicos y fenológicos se tomaron como caracteres para realizar un análisis de conglomerados y construir un dendrograma con el algoritmo UPGMA, con ayuda del paquete NTSYS-PC versión 2.02 (Rohlf, 1997).

A partir del análisis fenético se eligieron nueve variantes para las que se estimó el complemento cromosómico. Se recolectaron cuatro estacas de 30 cm de largo en dos individuos para las variantes Campech abal, Chiabal, Ek abal, Xhahal abal, Xhuhi abal, Tuspana abal, Xuntura abal; Kinil abal, Abal ak y ciruela de monte o silvestre. Las estacas se mantuvieron en invernadero por aproximadamente cuatro meses, tiempo en el que se recolectaron raíces de cada estaca



Figura 1. Características de izquierda a derecha: porte del árbol, corteza, foliolos, inflorescencias y frutos de las especies del género *Spondias*: A. *S. purpurea* L., B. *S. mombin* L., C. *S. radlkoferi* J.D.Sm

para hacer el conteo cromosómico en observaciones microscópicas (Rivero-Manzanilla, 2012) en contraste de fase de campo claro (microscopios Nikon-Eclipse-2000 y Zeiss-Primo-Star 1000X), en 10 células de meristemas de raíz.

La variación genética a nivel molecular se realizó para 74 plantas de *S. purpurea* que constituyen la colección viva de la Red Ciruela-SNICS-SINAREFI, ubicada en el Centro Regional Universitario de la Península de Yucatán-Universidad Autónoma Chapingo (CRUPY-UACH). El DNA genómico se extrajo del tejido foliar para amplificar el marcador molecular del espacio intergénico *trnS-trnG* de DNA de cloroplasto, con los protocolos descritos por Fortuny (2013). El análisis gráfico de la diver-

sidad de haplotipos se obtuvo con el programa Popart vs 1.0 comparando las secuencias de accesiones silvestres y cultivadas tanto para las recolectadas como para las reportadas por Miller y Schaal (2006). La distribución de 15 tipos de abales en Yucatán se obtuvo analizando la información de huertos familiares de 180 familias de 36 poblados diferentes de la península de Yucatán. Sus usos se identificaron por medio de entrevistas abiertas y observación directa. Las coordenadas geográficas para la ubicación de los tipos de abales se obtuvo a partir del registro con GPS de la casa en la que se cultiva al menos un árbol de abal. En la vegetación natural aledaña a estos poblados se hicieron exploraciones botánicas y en caso de encontrar a la especie o parientes silvestres se

recolectaron ejemplares de herbario y tomaron las coordenadas geográficas con un GPS. Para conocer el potencial de la ciruela en el mercado se realizó un acercamiento con autoridades comunitarias del Camino Real. Se emplearon técnicas de entrevistas semi-estructurada y abiertas (Martin, 2004), a 68 familias de las comunidades con la finalidad de obtener información general sobre los principales usos y técnicas de manejo para el cultivo de la ciruela y sobre la cosecha, producción y comercialización de esta fruta. Todo esto se complementó con la observación participativa y el registro fotográfico en Campeche

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fenología en la mayoría de los tipos de abal cultivados en la

península se considera asincrónica, porque la floración es seguida por fructificación y enseguida por foliación. De acuerdo a la época en que florecen los abales y se cosecha el fruto se han identificado tres patrones fenológicos. El primer y segundo tienen fenología asincrónica; el primero es característico para un grupo de 12 tipos de abal que producen sus flores en el periodo de diciembre a marzo; mientras que el segundo lo es para dos tipos de abal que florecen cuando termina la floración del primer grupo durante la sequía (última quincena de febrero a finales de mayo) (Cuadro 1). El tercer patrón lo constituyen Xuntura abal, *S. mombin* y *S. radlkoferi* los cuales fructifican en la época de lluvias y florecen en la última quincena febrero a finales de mayo, además se caracterizan por producir hojas al mismo tiempo que florecen o cuando inicia la maduración de frutos. Por los patrones de producción de hojas la mayoría de los tipos de abales se consideran caducifolios y solo Xuntura

abal podría considerarse subperennifolio. Aunque no se ha realizado un estudio fenológico formal de *S. mombin* y *S. radlkoferi*, por las observaciones realizadas en campo, suponemos que las fenofases son asincrónicas. Es relevante mencionar que los resultados obtenidos sobre los periodos de floración, fructificación y foliación de *Spondias purpurea* son pioneros para la región, con poca referencia en la literatura como los de Avitia-García (1997) para ciruelas Mexicanas en Morelos, México, Macía (2000) para Ecuador, y Ordext, (1994), Cañizares (1984), Fuentes *et al.* (2001), Cremata (1999), para Cuba.

El análisis de conglomerados, sugiere la existencia de dos grupos bien diferenciados: los conformados por el tipo silvestre y su pariente silvestre (Kinil abal/ Abal ak y *S. mombin*) y los abales cultivados, que difieren básicamente en su sistema reproductivo (dioicos y hermafroditas, respectivamente). Entre los cultivados, Xuntura abal es

Cuadro 1. Caracterización fenológica, morfológica y genética de los tipos de abal (*Spondias purpurea* L.) en Península de Yucatán, México.

Nombre		Características del fruto			Población	Complemento cromosómico	Cosecha fruta
vernáculo	científico	Color	Sabor	Longitud (cm)			
Abal ak= Kinil abal= jocote, ciruela de monte, ciruela Mexicana	<i>Spondias purpurea</i> L.	Anaranjado-amarillo	Agrios	15	Silvestre	Diploide	Abril-mayo
Campech abal		Rojos a anaranjado-amarillentos	Dulces	32	Cultivada	Triploide	
San Juan abal				N/D		N/D	
Chi abal=Chich abal		Rojos a anaranjados	Dulces	30		Diploide, Tetraploide	
Xkusmil abal				30		N/D	
Ek abal				39		Triploide	
Huhi abal				33		Diploide	
Keken abal= Sabacabal=Morada		Morados	Agridulces o ácidos	40		N/D	
Xowen abal=Simin abal		Rojos a anaranjado	N/D	N/D		N/D	
Cubana abal				N/D		N/D	
Xcan abal				29		N/D	
Tuspeña abal o Tuspana de Campeche				N/D		N/D	
Hahal abal o Jajal abal		Rojos a anaranjado	Agridulces	36		Diploide	
Xec abal				N/D		N/D	
Tuspana abal		Amarillos	Agridulces	42		Tetraploide	
Xuntura abal, Juntura, fundura o Tuxilo abal				27		N/D	
Huhub=Jobo, Ciruela de monte	<i>S. mombin</i> L.			Amarillos y / verdes		32	Diploide
Kilim=Jobo=Ciruela de Monte		<i>S. radlkoferi</i> J.D.Sm	Amarillos		Agridulces	N/D	Agosto-Septiembre

N/D=No determinado.

el tipo que se separa de la mayoría por sus características fenológicas. Resalta la presencia de tres grupos por tener frutos de tamaños, gama de colores y contenido de azúcar similares. El primer grupo está constituido por abales de tamaño pequeño, con frutos amarillos a anaranjados y sabor dulce, Campech abal de forma redondeada, y un subgrupo de forma ovalada conformado por Chiabal, Ek abal, Xcan abal y Xkusmil abal. El segundo grupo está constituido por abales de tamaños medianos y grandes, con frutos morados y sabores ácidos, Huhi abal y Keken abal. El tercer grupo integra a los tipos con frutos medianos y grandes de color amarillo con sabor agridulce, Hahal abal y Tuspana abal. Los caracteres con mayor peso demuestran que las estructuras que caracterizan a los tipos de *S. purpurea* que se cultivan en los huertos familiares de la comunidad de Hocabá, Yucatán, son 13, de los cuales, ocho son vegetativos, principalmente de hoja y los cinco caracteres restantes son reproductivos básicamente fruto (largo, ancho y peso). Cabe señalar que se pensó que los caracteres de grosor del epicarpio (cáscara); peso epicarpio; cantidad de mesocarpio (pulpa) y cantidad de azúcar del mesocarpio (grados brix) podían ser importantes y de gran peso para explicar la

selección artificial que los campesinos de la península de Yucatán han realizado y tener como resultado la gama de tipos de abales en esta región del país, sin embargo, lo registrado sugiere que los pobladores seleccionan por fenología, y no tanto por sabor y cantidad de azúcar. A la fecha, se ha registrado variación en el complemento cromosómico de la especie *S. purpurea*, registrando un complemento diploide para el tipo silvestre y algunos cultivados, así como, complementos triploides y tetraploides para tipos cultivados (Cuadro 1 y Figura 2, a b y c). La variación se da tanto entre cultivados, como entre los tipos reconocidos de abales (Cuadro 1 y Figura 2 d y e). Los análisis citogenéticos realizados a la fecha sugieren que varios tipos de abales son poliploides con respecto al tipo silvestre de abal presente en la península (Rivero-Manzanilla, 2012).

Es probable que la selección de individuos que tengan frutos con mayor contenido de azúcar y tamaño o colores particulares sea la que explique la presencia de abales poliploides. Son varios los cultivos en los que existe variación en el complemento cromosómico y en los que la poliploidía está asociada con el gigantismo y sobre-expresión de características seleccionadas (Mc Key

et al., 2010; Meyer et al., 2012); por ejemplo las manzanas en sus formas triploides y tetraploides son de mayor tamaño y dulzura, por lo que constituyen el grueso de los cultivares, mientras que los parientes silvestres son diploides (Matsumoto, 2014). Aunque se sabe que algunas formas poliploides no se reproducen en las poblaciones naturales, la propagación clonal de muchos cultivos ha garantizado la presencia de líneas triploides y pentaploides. En el caso de los abales, toda la variación en niveles de poliploidía se mantiene gracias a que la especie se propaga de manera clonal cuando es cultivada y podemos inclusive encontrar las formas triploides (Cuadro 1, Figura 2 c).

La variación a nivel de poliploidía registrada en los abales de Yucatán no corresponde con la variación que se observa a nivel molecular, esto se debe en parte a que la poliploidía afecta la diversidad del genoma nuclear, y en el presente, se analizó al genoma del cloroplasto. En la primera aproximación para la estimación de la diversidad genética de la especie, se registran 14 haplotipos de *S. purpurea* cultivados, y sólo dos de éstos están presentes en la península de Yucatán (Figura 3). Es claro, también que la diversidad genética que tiene la especie

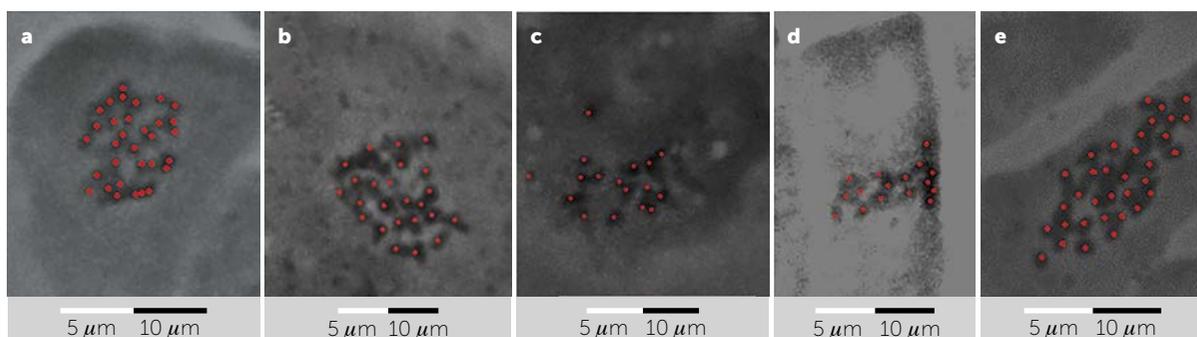


Figura 2. Microfotografías de células de meristemo radicular de los tipos de abales con complementos cromosómicos a) Tuspana abal-tetraploide, b) Ek abal-triploide, y c) Abal ak-diploide, d) Hahal abal-diploide y e) Hahal abal-triploide. Las células de a, b y c se encuentran en metafases; d y e en profase tardía.



Figura 3. Distribución de 14 haplotipos de la región intragénica *trnG-trnS* para ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) cultivada en México y Centroamérica.

en México y Centroamérica difiere en los linajes genéticos que son más representativos (Figura 3). La diversidad genética podría estar relacionada con la diversidad en formas de frutos en otras regiones; por ejemplo, en Morelos, México, se han registrado cuatro haplotipos para ciruelas cultivadas y todas varían en color, tamaño y sabor (Figura 4).

Este resultado sorprende, porque la variación fenológica y morfológica de los frutos de abales (Cuadro 1 y Figura 4), parecen corresponder a dos linajes que fueron introducidos al cultivo en la península, provenientes quizás de tierras altas donde habitan otros grupos mayas (Guatemala). Esto sugiere que la variación fenotípica en los abales; y en términos generales de las formas cultivadas, parten de un acervo genético limitado. Sin embargo, esta conclusión requiere comprobarse con estudios que incluyan más de un marcador de origen citoplasmático y los de origen nuclear.

Los registros de las variantes cultivadas de *S. purpurea*, señalan que la ciruela Chi abal, es la que presenta

amplia distribución en la península de Yucatán seguida por la Xuntura abal y la Xcan abal, en menor proporción están las demás variantes (Figura 5). En cuanto a las poblaciones silvestres, se han registrado las poblaciones de la ciruela mexicana *S. purpurea*, en los estados de Yucatán y Quintana Roo. *S. mombin* o Huhub está en poblaciones silvestres en los estados de Campeche, Quintana Roo y el primer registro para el estado de Yucatán, como elemento florístico de Selva Mediana subperennifolia. Dos poblaciones de *S. radlkoferi* se registraron por primera vez en Quintana Roo, México.

De las 11 comunidades que forman parte de la región del Camino Real en el Estado de Campeche, México, diez de ellas se dedican al manejo y cultivo comercial de la ciruela mexicana *Spondias purpurea*, las cuales son: Hampolol, Xcuncheil, Tenabo, Pomuch, Hecelchakan, Santa Cruz, Poc Boc, Bacabchen, Dzitbalché y Calkiní (Figura 6), y de éstas, las mejor representadas por mayor número de productores de ciruela mexicana son: Pomuch (29.4%), Tenabo (19.1%) y Poc Boc (14.7%).

En el Camino Real se cultivan y manejan 15 variedades de ciruela mexicana: Chí abal, Sabak abal, Tuspeña, Campechana, Uaymi, San Juenera, Junturia, Tuspa, Tuspana, Chabelita, Ciruela morada, Campanita, Cenabo, Czulen y San Juan. Las variedades Cuspeña, Cuspana y Chí abal son las más cultivadas para su comercialización, debido a la calidad de los frutos y duración de la fruta en estado maduro (Canul, 2013).



Figura 4. Diversidad de tipos de ciruelas cultivadas en el estado de Morelos y Yucatán (izquierda y derecha respectivamente).

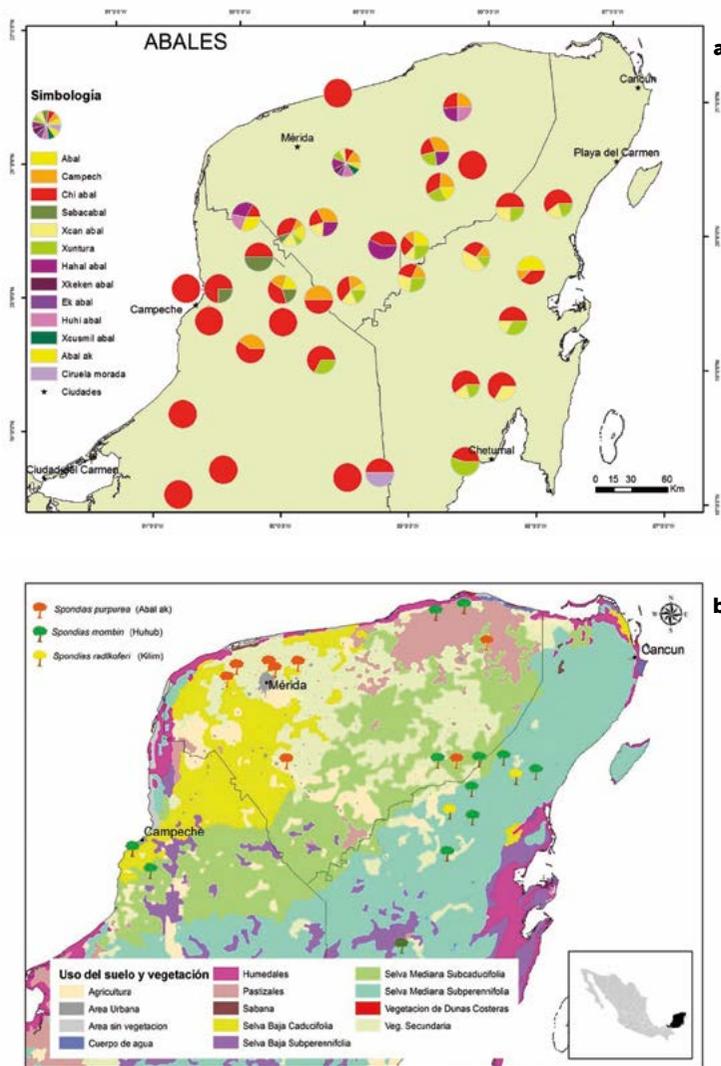


Figura 5. Distribución de a) los tipos de Abales o ciruela mexicana *Spondias purpurea* y b) las poblaciones silvestres de *S. purpurea*, *S. mombin* y *S. radlkoferi* en la península de Yucatán.



Figura 6. Porcentaje de productores por Comunidad donde se cultiva la ciruela mexicana *S. purpurea* (puntos azules).

CONCLUSIONES

En México existe gran diversidad de formas cultivadas de ciruela mexicana albergadas en huertos familiares y que son raras en la selva baja caducifolia, principalmente en la Península de Yucatán. Los tipos de abales reconocidos por los Mayas Yucatecos son patrimonio biocultural, resultado de selección y mantenimiento de tipos polimórficos a partir de dos linajes genéticos. Los tipos de abales conforman cuatro grupos fenotípicamente diferenciados por el tamaño y contenido de azúcar del fruto; así como, por el color. Tanto los tipos de abales como sus parientes silvestres constituyen parte del patrimonio biocultural que se encuentra bajo la custodia del pueblo Maya. La investigación realizada resalta el importante papel de los custodios de este recurso genético y su diversidad biológica.

AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Alfonso Castillo y Dzul y familias de las comunidades que compartieron su sabiduría y plantas de la ciruela mexicana. Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas (SNICS), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

LITERATURA CITADA

POPART. 2015. Population Analysis with Reticulate Trees vs 1.0 <http://popart.otago.ac.nz>

Alia-Tejagal I., Astudillo-Maldonado Y.I., Núñez-Colín C.A., Valdez-Aguilar L.A., Bautista-Baños S., García-Vázquez E., Ariza-Flores R., Rivera-Cabrera F. 2012. Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35, 21-26.

Avitia-García E. 1997. Diocesismo y fenología en ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Hort. Mex.* 5(4): 339-343.

Avitia-González E., Castillo A.M., Pimienta-Barrios E. 2003. Ciruela mexicana y otras especies del género *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 9- 21

Barford A. 1987. Anacardiaceae. En: Harling, G. & Anderson L. (eds.) *Flora of Ecuador*. 3: 9-49.

Canul-Balam C.A. 2013. Manejo de plantaciones de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) en el Camino Real, Campeche, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de Campeche, 51 pags

Cañizares J. 1984. Las frutas anacardiáceas. La Habana. Ed. Científico Técnica. 96.

Colunga P., May F. 1992. El sistema milpero y sus recursos fitogenéticos. En: D.Zizumbo, C.H. Rasmussen, L. Arias y S.Terán (Eds.). *La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad*. CICY-DANIDA. 47-159 pp.

Cremata M. 1999. Plantas melíferas de Cuba. *Rev. Agr. Comercio Trab.* 2(4): 140-152.

Dodson C.H., Gentry A.H. 1978. *Flora of the Rio Palenque Science Center*. Selbyana. 4:1-628.

- Fortuny Fernández N.M. 2013. Centro de origen, domesticación y diversificación de la ciruela mexicana (*Spondias* spp., Anacardiaceae). Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Fuentes F.V.R., Granada M.M., Lemes C.M., Rodríguez C.A. 2001. Estudios fenológicos en plantas medicinales. XII. Est. Exp. Plant. Med. Dr. Juan T. Toig. Rev. Cubana. Plant. Med. (3): 87-92.
- Guerrero R., Manzanilla M., Hernández C., Chacín J., Clamens C. 2011. Caracterización fisicoquímica de frutos ciruelo de huesito (*Spondias purpurea* L.) en el municipio de Mara. Revista Facultad de Agronomía. (LUZ) 27 (Supl. 1):670-676.
- House P.R., Lagos-Witte S., Ochoa L., Torres C., Mejía T., Rivas M. 1995. Plantas medicinales de Honduras. UNAH, CIMN-H. CID/CIIR, and GTZ. Tegucigalpa, Honduras.
- Macía BJM, Barfod AS. 2000. Economic botany of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) in Ecuador. Economic Botany 54(4) pp.449-458.
- Martin G.J. 2004. Ethnobotany. A Methods Manual. Earthscan. Londres.RU. 296 pp.
- Matsumoto S. 2014. Apple pollination biology for stable and novel fruit production: Search system for apple cultivar combination showing incompatibility, semicompatibility, and full-Compatibility based on the S-RNase allele satatabase. International Journal of Agronomy 2014: 138271
- Meyer R.S., DuVal A.e., Jensen H.R. 2012. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. New Phytologist 196: 29–48.
- Miller A.J., Schaal B.A. 2006. Domestication and the distribution of genetic variation in wild and cultivated populations of the Mesoamerican fruit tree *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae). Molecular Ecology 15(6): 1467-1480.
- Pérez-Arias A.G.A., Alia-Tejagal I., Andrade-Rodríguez M., López-Martínez V., Pérez-López A., Ariza-Flores R., Otero-Sánchez M.A., Villarreal-Fuentes J.M. 2008. Características físicas y químicas de ciruelas mexicana (*Spondias purpurea*) en Guerrero. Investigación Agropecuaria 5:141-149.
- Rivero-Manzanilla J.G. 2012. Citogenética de *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae) ciruela mexicana cultivada en Yucatán. Tesis Licenciatura Biología. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. 40 pp
- Rohlf F.J. 1997. NTSYS-PC. Versión 2.02. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System.
- Ruenes M. M. R.; Casas A.; Jiménez O. J. J. y Caballero J. 2010. Etnobotánica de *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae) en la península de Yucatán. Interciencia. 35: pp. 247-254.
- Rzedowski J., Rzedowski G.C. 1999. Familia Anacardiaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 78. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán, México. pp. 40-45.



EVAPOTRANSPIRACIÓN DE *Gossypium hirsutum* L. EN EL VALLE DE MEXICALI

EVAPOTRANSPIRATION OF *Gossypium hirsutum* L. IN THE MEXICALI VALLEY

**Cárdenas-Salazar, V.A.¹; Escobosa-García, M.I.^{1*}; Ceceña-Durán, C.¹; Román-Calleros, J.A.¹;
Avilés-Marín, S.M.¹; Núñez-Ramírez, F.¹; Escoboza-García, L.F.¹; Soto-Ortiz, R.¹**

¹Profesores-Investigadores del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Avenida Obregón sin número. Colonia Nueva. C. P. 21100 Mexicali, B. C. México. Tel: 01 686 52 3-00-88/79, Fax: 01 686 52 3-02-17.

***Autor de correspondencia:** Isabel.escobosa@uabc.edu.mx

RESUMEN

Las determinaciones físicas pueden ser observaciones sencillas basadas en la experiencia de reconocedores de perfiles de suelo, o requerir instrumental de diverso grado de precisión. Los métodos para determinar propiedades físicas actualmente se encuentran en menor grado de estandarización que los de propiedades químicas. Se determinó la evapotranspiración de *Gossypium hirsutum* L., en el ejido Monterrey, Valle de Mexicali, México, en el ciclo agrícola primavera-verano 2012, mediante el método gravimétrico; se realizaron análisis de suelos en tres estratos (0-30, 30-60 y 60-90 cm) para obtener las constantes de humedad (Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Densidad Aparente) y determinar la humedad aprovechable considerando una profundidad de suelo de 90 cm. Después de cada riego se tomaron muestras de suelo cada día para determinar el consumo de humedad por 24 horas hasta el siguiente riego. Se calculó la lámina del riego de germinación y posteriormente las láminas consumidas antes de cada riego de auxilio, así como la humedad consumida hasta el momento de la cosecha del cultivo. Con la suma de cada una de las láminas consumidas se obtuvo la evapotranspiración real del cultivo de algodón.

Palabras claves: Algodón, evapotranspiración, gravimétrico.

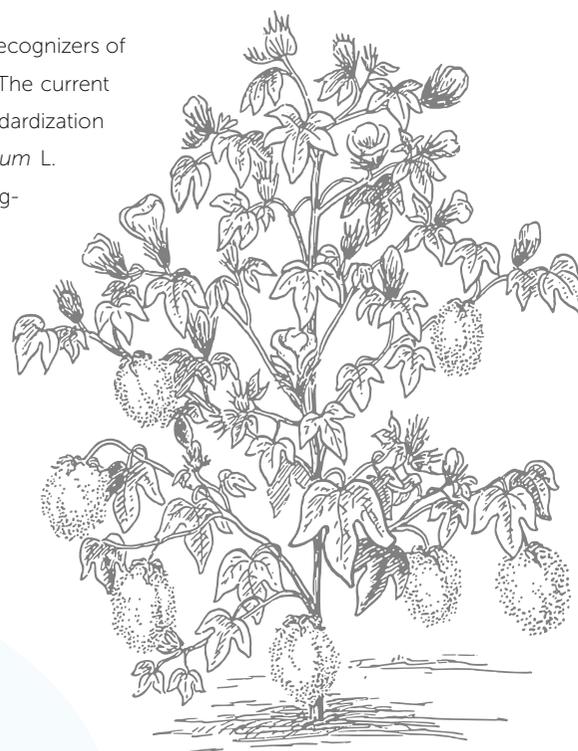
ABSTRACT

Physical determinations can be simple observations based on the experience of recognizers of soil profiles, or they can require equipment with a different degree of precision. The current methods to determine physical properties are found to a lesser degree of standardization than those of chemical properties. The evapotranspiration of *Gossypium hirsutum* L. was determined, in the ejido of Monterrey, Valle de Mexicali, México, in the Spring-Summer 2012 agricultural cycle, through the gravimetric method; soil analysis was performed in three strata (0-30, 30-60 and 60-90 cm) to obtain the moisture constants (Field Capacity, Permanent Withering Point and Apparent Density), and to determine the usable moisture considering a soil depth of 90 cm. After each irrigation event, soil samples were taken each day to determine the consumption of moisture for 24 hours until the next irrigation. The irrigation layer for germination was calculated, and later the layers consumed before each auxiliary irrigation event, as well as the moisture consumed until the moment of the crop harvest. With the addition of each one of the layers consumed, the actual evapotranspiration for cotton cultivation was obtained.

Keywords: cotton, evapotranspiration, gravimetric.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016, pp: 63-65.

Recibido: abril, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.





INTRODUCCIÓN

El riego en el cultivo de algodón se aplica por gravedad principalmente en surcos, se realiza la siembra y posteriormente se aplica el riego de germinación con una lámina mayor a los demás riegos, ya que se aplica cuando el suelo está seco, y se requiere que registre su máxima capacidad de retención de humedad (capacidad de campo). Durante el desarrollo del cultivo se aplican cinco a seis riegos de auxilio, los cuales reponen la humedad ha perdido debido a la evapotranspiración. La cantidad de riegos de auxilio depende principalmente de la textura de los suelos; de tal forma que un arenoso tienen menor capacidad de almacenamiento de humedad aprovechable (HA) y por lo tanto el cultivo expresará déficit de humedad en menor tiempo, comparado con uno de textura arcillosa, dando intervalos de riego cortos en los primeros y por consiguiente mayor número durante el ciclo. Para el caso de los arcillosos se aplican riegos con mayores intervalos entre ellos y de láminas mayores. Independientemente de la textura, el cultivo tiene una tasa de evapotranspiración establecida por sus factores genéticos, condiciones ambientales y humedad disponible en el sustrato. En este trabajo se estableció por medio del método gravimétrico la evapotranspiración del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) bajo condiciones de manejo convencional, con el fin de establecer eficiencias de riego, tasas de evapotranspiración diaria, mensual y productividad marginal del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el valle de Mexicali en un predio de un agricultor cooperante en el ejido Monterrey ubicado en el Municipio de Mexicali, Baja California, México, correspondiente al módulo de riego número 6 en el ciclo Primavera-Verano 2012 del cultivo algodón (*Gossypium hirsutum* L.) ubicado en 32° 32' 30" N y 115° 04' 20" O.

Variables

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Agua y Suelo del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000) y fueron los siguientes: textura, conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH), capacidad de campo (CC), y porcentaje de marchitez (Keller y Håkansson, 2010).

Capacidad de campo (CC): Se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0.05 mm de diámetro, sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0.03 y 1 mm de diámetro.

Punto de Marchitez Permanente (PMP): Se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo, y por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua.

Humedad Aprovechable (HA): Es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la capacidad de campo y el punto permanente de marchitez.

Saturación: Se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.

Evapotranspiración (ETc): se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con excelente manejo y adecuado aporte de agua que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas; requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condición no estándar de cultivo (Allen *et al.*, 2006). En el predio donde se estableció el cultivo se realizó un muestreo compuesto con las siguientes profundidades: 0-30, 30-60 y 60-90 cm y las muestras se llevaron al laboratorio para que se determinaran las constantes de humedad del suelo (Cuadro 1) con los valores obtenidos se estableció la humedad aprovechable correspondiente para calcular la lámina requerida. Posteriormente se aforó el gasto del pozo que fue de 120 L s⁻¹ con dicho gasto y con el tiempo de riego se calculó la lámina aplicada.

Una vez aplicado el riego de germinación, se realizaron muestreos de suelos cada tercer día para establecer el nivel de humedad presente durante el desarrollo del

Cuadro 1. Características físicas del predio donde se estableció el estudio.

Profundidad (cm)	Textura	DAp g cm ⁻³	CC (%)	PMP	HA
0-30	Franco Areno Arcillosa	1.60	20.18	8.40	11.78
30-60	Franco Areno Arcillosa	1.57	20.46	8.50	11.96
60-90	Franco Areno Arcillosa	1.58	19.05	7.80	11.25

Cuadro 2. Valores de la evapotranspiración del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en cada intervalo de riego.

Riegos de auxilio	Lámina aplicada	Intervalo del ciclo vegetativo	Evapotranspiración
Pre siembra	16.62	0	
1°	11.74	62	11.74
2°	12.68	18	12.68
3°	11.98	15	11.98
4°	9.80	15	9.80
5°	12.76	15	12.76
6°	12.10	16	12.1
Cosecha		31	16.27
Total	88.18 cm	172 días	87.84 cm

cultivo y hasta antes de cada riego de auxilio, una vez realizado el mismo, se muestreó al día siguiente ya que había salido el agua gravitacional del espesor de suelo establecido (Figura 1 A).

El muestreo se realizó en cuatro diferentes sitios del predio y a las tres profundidades señaladas. Después del último riego de auxilio se realizaron muestreos de humedad hasta la cosecha del cultivo para determinar la humedad residual que utilizó el cultivo (Figura 1 B). Cabe mencionar que el último riego se aplicó en el mes de agosto y posteriormente se un producto químico para defoliar las hojas del algodón y realizar la recolección mecánica de la fibra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2, muestran los valores de evapotranspiración del cultivo de algodón a través de todo su ciclo vegetativo, considerando desde el inicio del consumo de humedad al aplicar el riego de germinación y hasta el momento de la cosecha.

Con estos resultados se puede apreciar que los riegos se aplican cuando se ha consumido más de la mitad de la humedad aprovechable, y se espera contribuya como guía técnica para el manejo del riego al cultivo del algodón en el Valle de Mexicali.

CONCLUSIONES

La lámina de evapotranspiración para el cultivo de algodón en el sitio de estudio fue de 87.84 cm, representando el Uso Consuntivo del cultivo de algodón. La lámina bruta dependerá de la eficiencia del riego ya que el requerimiento de agua de riego también incluye agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación de agua.

LITERATURA CITADA

- Allen R. ichard, Pereira Ruiz, Raes Dirck, Smith Martin. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Boletín No. 56. ISSN: 0254-5293. Roma. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2006
- Keller T., Håkansson I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoderma 154: 398-406.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2020. Diario Oficial de la Federación, martes 31 de Diciembre de 2002.



Figura 1. A: Muestreo de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). B: Muestreo durante el desarrollo del cultivo.

VALOR AGREGADO DEL NANCHE (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.)

ADDED VALUE OF NANCHE (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.)

Moreno-Martínez, J.L.¹; Ruiz-Bello, C.¹; Jasso-García, Y.²; Moreno-Ruiz, M.²; Villarreal-Fuentes J.M.¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus IV. Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque carretera costera-pueblo de Huehuetán. Huehuetán, Chiapas. Código Postal 30660. ²Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo. Universidad Autónoma del Estado de México. Piedras Blancas; Toluca, Estado de México. Código Postal 50200.

*Autor de correspondencia: jolumo59@gmail.com

RESUMEN

El fruto del árbol del nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.) es nativo de México. Su producción en su mayoría es de recolección, su comercialización se limita a mercados regionales debido a la poca producción agrícola y a que es un fruto perecedero. Por ello, se presenta una alternativa de valor agregado del nanche, mediante la industrialización de licor de tres ecotipos y tres diferentes soluciones de macerado-jarabe. Los ecotipos recolectados en la región Soconusco, Chiapas, México; fueron de color amarillo, verde y rojo; y las concentraciones de alcohol usadas fueron 200, 250 y 300 ml de macerado de nanche. El licor se elaboró por la técnica de macerado en proporción de alcohol-fruta 1:1. Se evaluó sensorialmente por un panel de 100 jueces no entrenados. Los resultados estadísticos mostraron que para las variables sensoriales medidas, el licor elaborado con el ecotipo amarillo desarrolló los atributos sensoriales con mayor aceptación.

Palabras clave: valor agregado, *Byrsonima crassifolia*, nanche, licor.

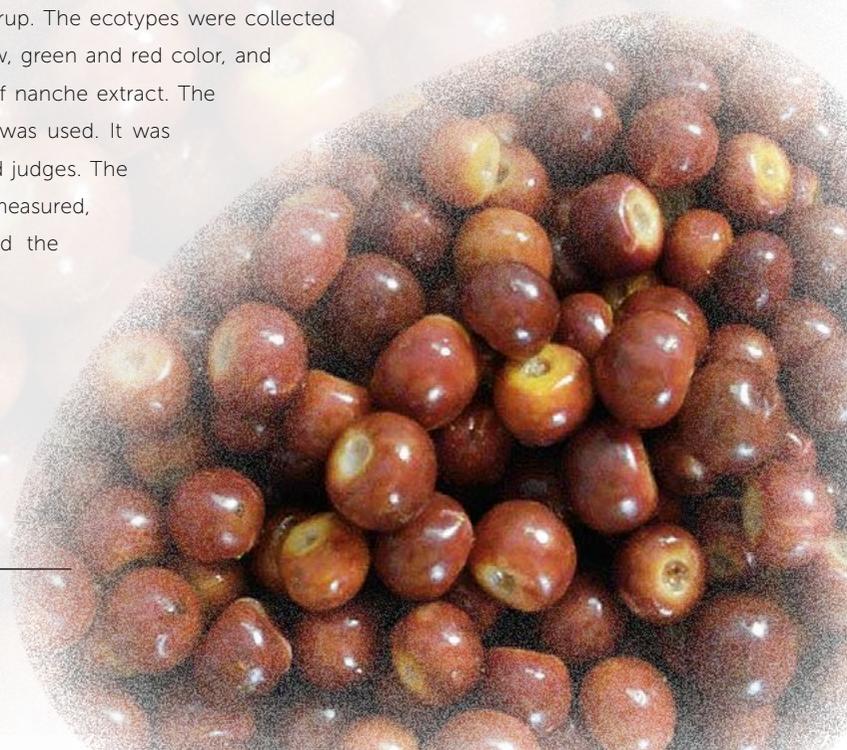
ABSTRACT

The fruit of the nanche tree (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.) is native to México. Its production is mostly from collection, it is traded in regional markets due to the low volume and the perishable condition of the fruit. An alternative of added value for nanche was developed, through the production of liquor from fruits of three ecotypes and three different solutions for macerate-syrup. The ecotypes were collected in the region of Soconusco, Chiapas, México, of yellow, green and red color, and the alcohol concentrations of 200, 250 and 300 mL of nanche extract. The macerate technique in proportion 1:1 of alcohol-fruit was used. It was evaluated in sensory terms by a panel of 100 untrained judges. The statistical results showed that for the sensory variables measured, the liquor made with the yellow ecotype developed the sensorial attributes with highest acceptance.

Keywords: added value, *Byrsonima crassifolia*, nanche, liquor.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016. pp: 66-71.

Recibido: octubre, 2014. **Aceptado:** diciembre, 2015.



INTRODUCCIÓN

El nombre de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.), se deriva del náhuatl nantizincocotl que significa fruto ácido de las madres o ancianas (Figura 1). Contiene valor alimenticio con registro de 369 mg 100 g⁻¹ de fruta de vitamina C, superando en promedio al limón (*Citrus x aurantifolia*), zapote negro (*Diospyros dygiana*), mandarina (*Citrus x tangerina*) y fresa (*Fragaria* sp.), entre otras especies; además un alto contenido en carotenos (Nava y Uscanaga citados por Jaimes, 2009). El nanche se utiliza para fabricar salmueras como si fueran aceitunas, helados, almíbar, cremas y licores, aunque su principal uso es el consumo en fresco; la pulpa representa 64% del peso de la fruta, la semilla 25% y la cáscara 11% (Villachica, 1996). En México, la Región Soconusco del estado de Chiapas, cuenta con ecotipos amarillo, rojo y verde de acuerdo a la coloración del fruto.

La producción de nanche en México; en su mayoría, es de recolección, y se comercializa en mercados locales y máximo regionales debido a bajo volumen (recolección) y a que su fruto es altamente perecedero. La búsqueda de preservación de las cualidades del nanche han sido orientadas a la industrialización facilitando su venta en las regiones donde se produce y con esto su valor agregado. Como una alternativa de a lo anterior, la industrialización del fruto mediante la elaboración de licor, es una alternativa viable. La elaboración de licores, por lo general consiste en realizar mezcla de alcohol, edulcorante y saborizante, sin embargo, las técnicas utilizadas en la preparación de los mismos, son restringidas por los fabricantes. Con base en lo anterior, se diseñó un proceso estandarizado de acceso público para elaborar licor de nanche, partiendo de la evaluación de los ecotipos amarillo,

rojo y verde, y determinar cual de éstos cuenta con propiedades sensoriales óptimas en el licor, además de determinar la mejor concentración de alcohol y azúcar mediante su evaluación sensorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso se llevó a cabo en las etapas de recolección de la fruta, diseño del proceso y evaluación sensorial.

Etapa 1. Recolección de la fruta

Los frutos fueron recolectados (Figura 2) en el Cantón Nexapa, Huehuetán, Chiapas, México. Los frutos se recolectaron en madurez fisiológica, se seleccionaron eliminando frutos dañados y lavaron con agua y jabón para pasar a laboratorio al proceso (Figura 3).

Recepción, lavado y selección de frutos

Se recibieron 4 kg de fruta de cada ecotipo, los cuales se extendieron sobre las mesas de trabajo para ventilar los frutos durante un día. Se seleccionaron los frutos, observando los signos externos y desechando aquellos muy maduros y los que presentarían daños por insectos.

Macerado y filtrado

Los frutos de nanche se presionaron (macerado) en inmersión directa con alcohol de caña para reblandecerlos en frascos de 4 litros de capacidad, proporción 1:1 de fruta y alcohol. Su periodo de reposo fue de 90 días a temperatura ambiente, para obtener el sabor y color de la fruta, conformando así el Macerado A.

Preparación del jarabe y formulación del licor

Transcurridos los 90 días, se filtró el extracto obtenido del macerado A; resultando de ésta operación, el



Figura 1. Frutos de ecotipos de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.); amarillo, rojo y verde.



Figura 2. Recolección, selección y lavado de frutos amarillos, rojos y verdes de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.).

macerado B. El jarabe fue preparado utilizando 700 g^{-1} de azúcar en un litro de agua, adicionando además, 3 g^{-1} de ácido cítrico como regulador de pH. La formulación del licor fue la mezcla de la solución resultante del macerado B y el jarabe en tres mezclas: 200:800 mL, 250:750 mL y 300:700 mL macerado-jarabe. El embotellado se hizo en envases de vidrio de un litro, las cuales se esterilizaron y cerraron perfectamente etiquetadas para reposarlas por 90 días.

Caracterización de los licores

Se determinaron grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) con refractómetro Atago con escala de 32 a 64°Bx . Se colocó una gota de la muestra sobre el cristal de refracción, se tomó la lectura, se limpió el cristal de refracción con agua destilada y se secó con un pañuelo desechable. El pH se realizó con potenciómetro digital Thermo Orion. La lectura se tomó directamente en la solución, calibrando previamente el potenciómetro con soluciones buffer a pH 4 y 10, se tomó 20 ml de muestra, por cada uno de los tratamientos, y colocó en vaso de precipitado. La densidad se realizó del resultado de la masa existente en 100 mL de licor, con base en la fórmula:

$$D=m/v$$

donde D =densidad; m =masa; v =volumen.

Se efectuó un experimento con nueve tratamientos con un arreglo factorial de 3×3 utilizando los tres ecotipos de nanche y tres diferentes concentraciones de macerado-jarabe, bajo un diseño completamente al azar.

Evaluación sensorial

Se utilizó el método de evaluación sensorial cuantitativo por gradiente ("Scaling") por prueba de intervalos ("Category Scaling Test"), con escala no estructurada donde sólo se definieron los extremos de la escala de 0 a 10. Se contó con la participación de 100 jueces no entrenados de edades entre 18 y 55 años (Cuadro 1).

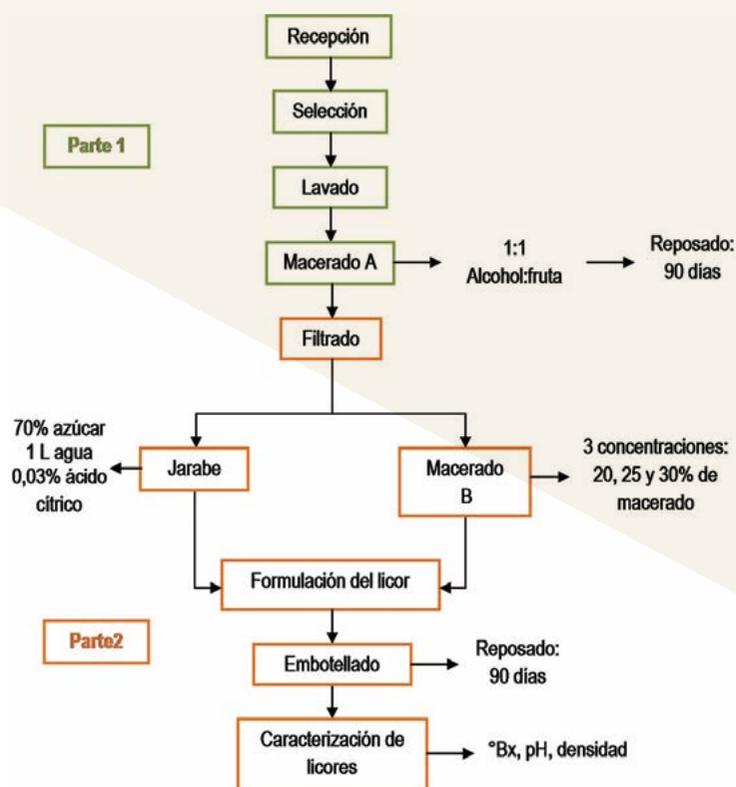


Figura 3. Diseño del proceso de formulación del licor de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.).

Cuadro 1. Variables de evaluación sensorial de licor de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.).

Fase	Variable sensorial	Clave
Visual	Intensidad del color	VISU
Olfativa	Intensidad del olor a nanche	OLFA
Gustativa	Intensidad del alcohol	GUS1
	Intensidad del dulzor	GUS2
	Gusto por el licor	GUS3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 4, muestra los valores registrados de la evaluación fisicoquímica.

Propiedades sensoriales

El Cuadro 2, muestra los valores estadísticos para media, desviación estándar, valor mínimo y máximo (rango) y coeficiente de variación, medidas por 100 jueces no entrenados, quienes evaluaron los tratamientos haciendo un total de n=900 observaciones. El menor coeficiente de variación corresponde a la variable sensorial de la intensidad del dulzor (GUS2).

Complemento de la evaluación sensorial

Con base en uno de los objetivos de la red de investigación en nanche (SINAREFI-SNICS-SAGARPA), se incluyó dentro de la evaluación sensorial, dos preguntas que ayudaran a conocer el estado de reconocimiento del fruto en la región estudiada; dichas preguntas hacen referencia a "si conocían el nanche previo a la evaluación sensorial o no" y "si resulta una fruta de su agrado o no"; se hizo una asociación entre las dos preguntas y sus dos posibles respuestas de los 100 jueces no entrenados (Figura 5).

La industria alimentaria es la parte del sector industrial encargada de la elaboración, transformación, preparación, conservación y envasado de los alimentos de consumo humano y animal. Es una técnica que se basa en la transformación de un producto de tal manera que facilite su manejo y se mantengan los atributos de alimentos durante el mayor tiempo posible. El nanche es un fruto perecedero por lo cual se planteó el aprovechamiento del mismo en la elaboración de licor con la finalidad de obtener un licor con aroma y sabor aceptable, considerando el elevado valor nutritivo de esta fruta reportado por Martínez *et al.* (2008). De acuerdo con Lesur (1999), los licores se distinguen de todas las demás bebidas porque tienen azúcar al menos 25% de su peso, pero la mayoría registra valo-

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las variables estudiadas en la elaboración de licor de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.).

Variable	Número de observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	CV
VISU	900	5.044	2.182	0.0	10.0	43.268
OLFA	900	4.874	2.420	0.0	10.0	49.665
GUS1	900	5.282	2.548	0.2	10.0	48.240
GUS2	900	6.119	2.329	0.3	10.0	38.069
GUS3	900	5.870	2.612	0.1	10.0	44.506

VISU=Intensidad de color, OLFA=Intensidad de olor a nanche, GUS1=Intensidad del alcohol, GUS2=Intensidad del dulzor, GUS3=Gusto por el licor.

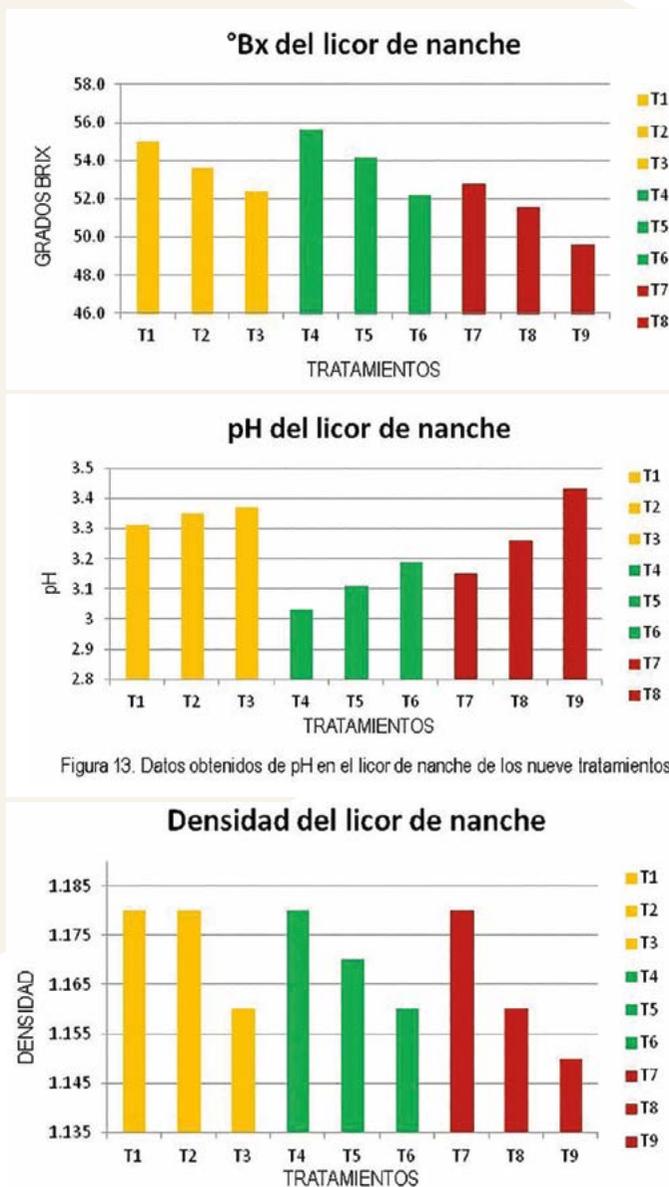


Figura 13. Datos obtenidos de pH en el licor de nanche de los nueve tratamientos.

Figura 4. Valores de grados Brix, pH y densidad del licor de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.).

Cuadro 3. Comparación de medias por Tukey de los tratamientos para variables sensoriales de licor de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.).

Tratamiento	VISU	Tratamiento	OLFA	Tratamiento	GUS1	Tratamiento	GUS2	Tratamiento	GUS3
T9	6.075a	T6	5.397 a	T9	6.797 a	T1	6.606 a	T3	6.358 a
T8	6.028ab	T9	5.242ab	T6	6.624ab	T4	6.254 a	T9	6.262 ab
T2	5.167abc	T3	5.077ab	T3	6.264abc	T6	6.142 a	T8	6.179 ab
T6	5.151bc	T8	4.973ab	T8	5.625bcd	T9	6.091 a	T6	6.163 ab
T3	5.048c	T2	4.959ab	T5	5.425cd	T2	6.067 a	T2	5.929ab
T7	4.996c	T1	4.837ab	T2	5.071de	T5	6.039 a	T1	5.676 ab
T5	4.696cd	T7	4.545ab	T7	4.358ef	T3	6.026 a	T5	5.642 ab
T1	4.265cd	T4	4.502ab	T4	3.819f	T8	5.992 a	T7	5.506 ab
T4	3.97d	T5	4.334 b	T1	3.556f	T7	5.861 a	T4	5.123 b
DMS	0.9186		1.059		1.0116		1.0253		1.1413

VISU=Intensidad de color, OLFA=Intensidad de olor a nanche, GUS1=Intensidad del alcohol, GUS2=Intensidad del dulzor, GUS3=Gusto por el licor.

Cuadro 4. Tratamientos con mayor aceptación de acuerdo a las variables de estudio.

Propiedad sensorial	Tratamiento	Ecotipo	Solución
Intensidad del color	T9	rojo	300ml de Macerado + 700ml de Jarabe
Intensidad del olor a nanche	T6	verde	
Intensidad del alcohol	T9	rojo	
Gusto por el licor	T3	amarillo	

res superiores a 35%, considerados francamente dulces; coincidiendo con esto, Vargas (2001) reporta que los licores superfinos son aquellos que se componen aproximadamente con un kilo o más de azúcar por litro de líquido, señalando que los licores finos son los que se componen de aproximadamente 500 gramos de azúcar por litro de líquido y que los ordinarios, son aquellos que se componen de aproximadamente 250 gramos de azúcar por litro de líquido, con base a lo anterior se puede decir que los tratamientos propuestos son licores finos, ya que se utilizó un jarabe con una concentración de 700 gramos de azúcar en un litro de agua. Independientemente de la variación en los tratamientos de las soluciones de macerado-jarabe, de acuerdo al juicio emitido por la mayoría de los jueces no entrenados que participaron en la evaluación sensorial los tratamientos estudiados fueron considerados dulces. Estadísticamente esto se fundamenta en los resultados obtenidos del análisis de varianza de la variable sensorial de la intensidad de dulzor, donde se demuestra que no hay significancia entre tratamientos. Herbert (1989), considera que la tendencia va cada vez más hacia el aroma, especialmente en los licores de frutas, y cada vez menos hacia el alcohol, por ello el nanche es buena opción para la elaboración de este tipo de productos, ya que es una fruta altamente aromática. Diferenciando en el aspecto de la cantidad del alcohol, ya que los resultados demostraron mayor afinidad por los tratamientos que se elaboraron con las concentraciones de macerado más elevadas, es decir, que sin importar el ecotipo, los licores elaborados con la solución de 300 ml de macerado B (mezcla de alcohol de caña y fruta) más 700 ml de jarabe fueron de mayor agrado para el panel de jueces. Con base en lo reportado por Cáceda y Rodríguez (2003) se encontró asociación entre el aroma y el sabor de los licores, debido a que los resultados expresaron una correlación entre la variable intensidad del alcohol y la variable intensidad del olor a nanche con la variable intensidad del dulzor.

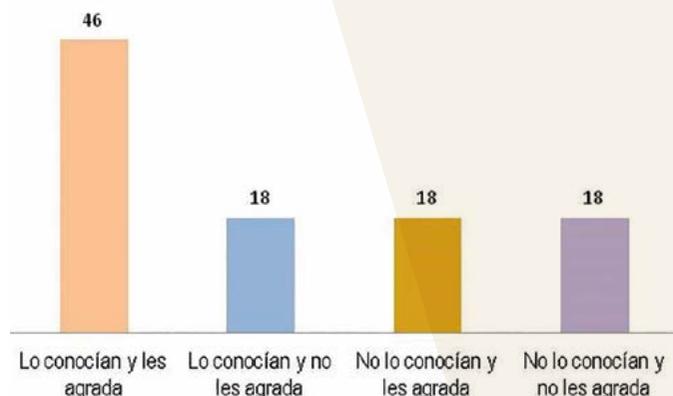


Figura 5. Reconocimiento y agrado del fruto del nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.).

Con relación a la cantidad de azúcar presente en los licores y de acuerdo con Volk (1996), la presión osmótica es la velocidad con la que el agua pasa de una solución a otra, siendo una función de la diferencia de concentración entre las dos soluciones; por lo cual, si se usa una solución concentrada de azúcar, como es el caso de los licores de nanche elaborados, donde aumenta la presión a la que se hace mención, se reduce el crecimiento bacteriano, lo que funciona como un conservador natural y permite una mayor vida de anaquel. La metodología utilizada en la presente investigación, bajo la técnica de macerado resulta muy sencilla para la elaboración de licor en comparación con la que requiere un proceso de fermentación, donde se utilizan levaduras, lo cual resulta desfavorable debido a que las personas las desconocen desde el punto de vista tecnológico.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados de la evaluación sensorial, los licores elaborados a una concentración de macerado B 30% y de jarabe 70% son los más aceptados.

El licor de mayor aceptación por el panel de jueces no entrenados, para la variable del gusto del licor fue el T3, siendo el elaborado con el ecotipo amarillo, de una concentración de 30% de macerado B y 70% de jarabe; es probable que debido a las propiedades sensoriales que presenta, es el de mayor comercialización y consumo.

Todas las variables estudiadas se asociaron de forma significativa, a excepción de la intensidad del dulzor, debido a que los jueces consideraron dulces todos los tratamientos estudiados. Para la variable

intensidad del color y la variable intensidad del alcohol, el tratamiento que presenta las propiedades sensoriales más aceptadas es el T9 (ecotipo rojo); para la variable intensidad del olor a nanche es el T6 (ecotipo verde), ambos tratamientos elaborados a una concentración de macerado B del 30%. Con base en las respuestas obtenidas en la evaluación sensorial sobre el reconocimiento y agrado del fruto, el 46% de la población en estudio, manifestó que lo conoce y es de su agrado, y un 18% no lo conocían pero les agradó; siendo ésta una oportunidad de mercado tanto del fruto, como del licor de nanche.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es resultado de actividades de la Red de nanche, y se agradece al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SAGARPA-SNICS-SINAREFI) por el financiamiento de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Cáceda Q.C., Rodríguez E.Y. 2003. Producción de licor a partir de sacarosa suplementado con cáscara de naranja (*Citrus aurantium*) Maca (*Lepidium melen walp.*) mediante el proceso fermentativo utilizando *Saccharomyces cerevisiae* L51. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Perú. 22 pp.
- Herbert G. 1989. Elaboración artesanal de licores. Editorial Acirbia S.A. España. 117 pp.
- Jaime A.C. 2009. Caracterización morfológica de fruto y semilla de nanche *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth y su relación con la capacidad germinativa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 122 p.
- Lesur L. 1999. Manual de vinos y licores. Editorial Trillas. México. p. 61
- Martínez M.E., Santiaguillo H.J.F., Cuevas J.A.S. 2008. Principales usos del nanche [*Byrsonima crassifolia* L.) H.B.K.]. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 57 pp.
- Vargas C.A. 2001. Elaboración de licor del fruto de pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) y su análisis sensorial descriptivo. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Texcoco, México. 62 p.
- Villachica H. 1996. Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonia. Tratado de cooperación Amazónica. Secretaría Pro Tempore. Lima, Perú. 367 pp.
- Volk A.W. 1996. Microbiología básica. 7ma. Ed. Escuela de Medicina, Universidad de Virginia. p. 176.



DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO *Persea* Mill., EN MÉXICO

DIVERSITY AND DISTRIBUTION OF THE *Persea* Mill. GENUS, IN MÉXICO

**Martínez-Villagomez, M.^{1*}; Campos-Rojas, E.¹; Ayala-Arreola, J.¹;
Barrientos-Priego, A.F.¹; Espíndola-Barquera, M.C.²**

¹Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. MÉXICO. ²Fundación Salvador Sánchez Colín, CICTA-MEX S. C. Ignacio Zaragoza, Col. Centro. Coatepec Harinas, Estado de México. C.P. 51700.

***Autor de correspondencia:** educamro@yahoo.com.mx

RESUMEN

La posible distribución del género *Persea* Mill., en México se desconoce, pero especies de este género han sido reportadas en 28 de los 32 estados de México. Debido al tipo de clima donde se desarrollan pueden encontrarse en diversas áreas del país donde su presencia no se ha reportado. La presente investigación tuvo como objetivo establecer la posible distribución del género *Persea* en México a partir de un análisis de información geográfica (SIG), así como identificar las posibles zonas eco-climáticas donde las especies del género están presentes. Se evaluaron 19 parámetros climáticos y la distribución conocida de las especies obtenida de registros de herbario y colectas. Los grupos de distribución climática fueron tres: el grupo I se desarrolla en los climas cálido húmedo, semicálido húmedo, templado húmedo y semifrío ((A)C a (Cb)); el II en clima semicálido subhúmedo, subhúmedo, templado subhúmedo y semiárido (A)C a (Bs)); y el III, en clima semicálido húmedo, húmedo y templado húmedo (Ac a C(m)). La mayor distribución del género *Persea* en México es en zonas de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Eje Neo Volcánico, Llanura Costera del Golfo, Sierras de Chiapas y Guatemala y Península de Yucatán.

Palabras clave: SIG, zonas eco-climáticas, parámetros climáticos.

ABSTRACT

The possible distribution of the genus *Persea* Mill in México is unknown, although species of this genus have been reported in 28 of the 32 states of México, and because of the climate where they develop, they can be found in various areas of the country where their presence has not been reported. This study had the objective of establishing the possible distribution of the genus *Persea* Mill in México, from an analysis of geographic information (SIG), as well as identifying possible ecoclimate zones where the species of the genus are present. Nineteen climate parameters were evaluated and the known distribution of the species was obtained from herbarium records and accessions. The climate distribution groups were three: group I develops in the climates warm humid, semi-warm humid, temperate humid and semi-cold ((A)C to (Cb)); group II in the climates semi-warm semi-humid, warm sub-humid, temperate sub-humid and semi-arid (A) C to (Bs)); and group III is located in the climates semi-warm humid, warm humid and temperate humid (Ac to C(m)). The greatest distribution of the *Persea* genus in México is in the zones of Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Eje Neo Volcánico, Gulf coastal plain, mountains of Chiapas and Guatemala and Yucatán Peninsula.

Keywords: avocado, SIG, ecoclimate zones, climate parameters.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016. pp: 72-77.

Recibido: julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.

INTRODUCCIÓN

El género *Persea* agrupa aproximadamente a 190 especies en su definición clásica (Van der Werff, 2002). De éstas, 90 se encuentran en el neotrópico, llegando hasta el Este de los Estados Unidos de Norteamérica (*Persea borbonia* (L.) Spreng, *P. humilis* Nash y *P. palustris* Sarg.), Chile (*Persea lingue* (Ruiz y Pav.) Nees) (Kopp, 1966; Barrientos y López, 2001; Van der Werff, 2002), y por el oriente hasta las Antillas con la especie, *Persea indica* (L.) Spreng., que se encuentra en las Islas Canarias y alrededor de 100 especies distribuidas en el Sudeste de Asia (Barrientos y López, 2001; Van der Werff, 2002). No obstante, la evidencia obtenida a partir de estudios recientes indica que buena parte de las especies que se distribuyen en el sudeste de Asia corresponden a otros grupos monofiléticos y, por ende, a otros géneros (Rohwer, 2009). Campos *et al.* (2008) señalan que México es poseedor de 26 especies del género *Persea* Mill., las cuales tienen como principal zona de distribución el sureste del país. Chiapas es el estado con mayor diversidad de especies tanto del subgénero *Persea* como *Eriodaphne*, seguido de Oaxaca y Veracruz. Dada la importancia de este género surge la necesidad de registrar y analizar su distribución mediante Sistemas de Información Geográfica para apoyar la conservación y uso de las especies de *Persea*, identificando áreas de elevada diversidad; para predecir la posibilidad de encontrar una especie en áreas que aún no han sido exploradas; para enfocar recursos genéticos en programas de mejoramiento; y para seleccionar y diseñar sitios con el objeto de realizar conservación *in situ*. Por lo anterior, se estudió la localización y abundancia del género *Persea* Mill., en México mediante Sistemas de Información Geográfica para determinar su distribución actual y potencial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se sistematizó y preparó una matriz de datos pasaporte de recolectas botánicas y recursos fitogenéticos de especies del género *Persea* de la Red Aguacate del (SINAREFI-SNICS-SAGARPA-UACH). Se realizó un análisis mediante Sistemas de Información Geográfica (GIS), utilizando los programas DIVA-GIS versión 7.5 (2012), Maxent versión 3.3.3 y ArcMap versión 10.2 (2013). Se determinó la distribución geográfica actual conocida de las especies de *Persea* de acuerdo con el clima, canícula, elevación, precipitación, régimen de humedad, temperatura, tipos de suelo y zonas prioritarias mediante la

herramienta ArcMap™ del programa ArcGIS®. Los modelos de distribución potencial se elaboraron con el programa Maxent, versión 3.3.3 (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un mapa de distribución geográfica actual, utilizando 1,180 datos de herbario y de colectas de especies de *Persea* recolectadas de 1981 a 2013, registrando que la distribución de los especímenes del género abarcan las regiones fisiográficas: Llanura Costera del Golfo Norte, Llanura Costera del Golfo Sur, Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierras de Chiapas y Guatemala, Península de Yucatán, y la Cordillera Centroamericana (Figura 1). El análisis de Agrupación (AA) se elaboró por el método de varianzas mínimas de Ward para agrupar accesiones que se desarrollan en climas similares, pero sin ser excluidas por un dato no común en el grupo. El AA definió tres grupos climáticos (Cuadro 1) (Figura 2).

La zona del grupo I presentó una precipitación de 1,388 mm, resultando intermedia entre los grupos II (779.6 mm) y III (2,427 mm); temperatura media anual de 20.5 °C, temperaturas cálidas en verano (22.1 °C a 20.8 °C) y templadas en invierno (11.1 °C a 13.6 °C) lo que representa clima semicálido húmedo (A)C a semifrío húmedo (Cb) en la escala de Köppen (1948) (García, 1988). La zona del grupo II fue la de menor precipitación anual (779.6 mm) de las zonas de distribución de *Persea* y presentó una temperatura media anual de 18.3 °C, templadas a frías en invierno (11.1 °C a 18.6 °C)

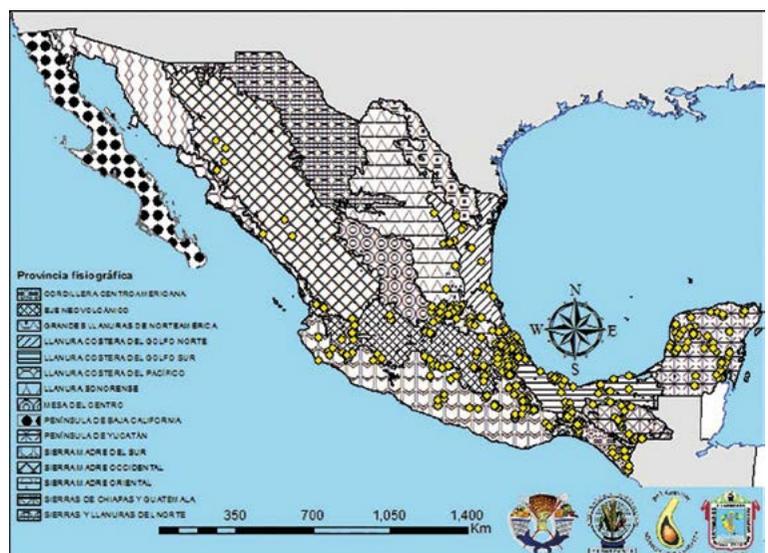


Figura 1. Datos de pasaporte de 1,180 ejemplares, ubicados en México, donde se ha reportado presencia del género *Persea* Mill.

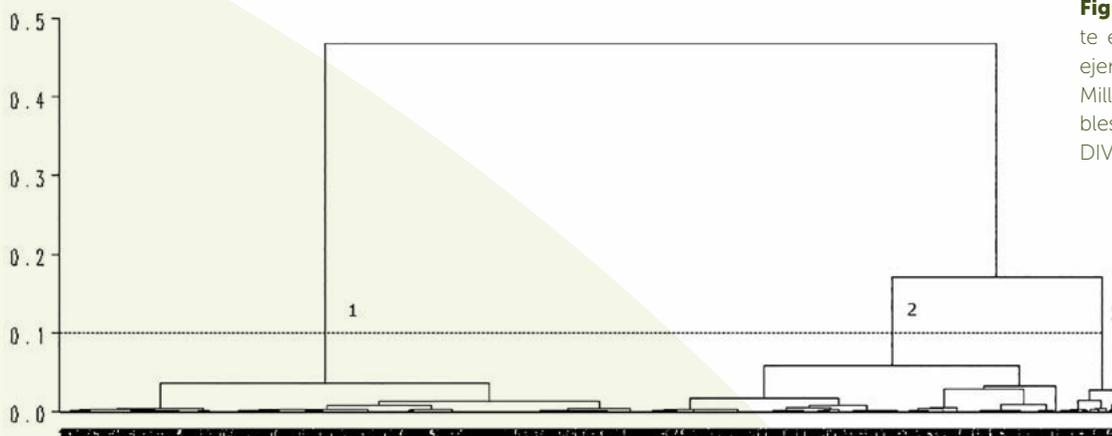


Figura 2. Dendrograma, mediante el método de Ward, de 1,180 ejemplares del género *Persea* Mill., formado por diversas variables climáticas desarrolladas por DIVA-GIS® versión 1.4.

y calientes en verano (19.9 °C a 18.4 °C), asemejándose mucho al de tipo semicálido húmedo (AC) a semiárido cálido (Bs) en la escala de Köppen (1948); (García, 1988). La zona del grupo III presentó precipitación de 2,427 mm, temperatura media anual de 20.4 °C y templadas a calientes todo el año (15.3 °C a 23.3 °C), por lo que puede considerarse clima cálido húmedo Ac a templado húmedo C(m) en la escala de Köppen (1948) (García, 1988). Enero es el mes que registra temperaturas mínimas más bajas del año; en la zona del grupo II la temperatura mínima desciende hasta 6.5 °C, mientras que en I y III llega a los 11.3 °C y 12.2 °C, respec-

tivamente. Mayo es el mes que registra temperaturas máximas más altas en las tres zonas; en los grupos I y II llegan a 29.6 °C y III a 29.3 °C; la temperatura media más baja del año se presenta en enero para las tres zonas, mientras que la media más alta se registró en mayo para los grupos I y III (23.1 °C y 23.3 °C) y en junio para el II (22.7 °C). Enero es el mes con menor precipitación durante el año en la zona de los grupos II y III (8.4 mm y 66.6 mm), y marzo para el grupo I (28.8 mm); septiembre es el más lluvioso para las tres, con 262.8 mm, 148.7 mm y 420.5 mm para los grupos I, II y III, respectivamente, resultando los tres grupos

Cuadro 1. Especies de *Persea* Mill., correspondientes a cada grupo.

Subgénero	Grupo I	Grupo II	Grupo III
Persea	<i>P. americana</i> Mill.+	<i>P. americana</i> Mill.+	<i>P. americana</i> Mill.+
	<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>	<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>	<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>
	<i>P. americana</i> var. <i>guatemalensis</i>	<i>P. americana</i> var. <i>guatemalensis</i>	
	<i>P. schiedeana</i> Nees.		<i>P. schiedeana</i> Nees.
	<i>P. tolimanensis</i> *		<i>P. parvifolia</i> *
Eriodaphne	<i>P. chamissonis</i>	<i>P. chamissonis</i>	<i>P. chamissonis</i>
	<i>P. donnell-smithii</i>		<i>P. donnell-smithii</i>
	<i>P. flavifolia</i>	<i>P. flavifolia</i>	
	<i>P. hintonii</i>	<i>P. hintonii</i>	<i>P. hintonii</i>
	<i>P. liebmannii</i>	<i>P. liebmannii</i>	<i>P. liebmannii</i>
	<i>P. longipes</i>		<i>P. longipes</i>
	<i>P. rufescens</i>		<i>P. rufescens</i>
	<i>P. purpusii</i>	<i>P. purpusii</i>	
	<i>P. sp.</i> [^]	<i>P. sp.</i> [^]	<i>P. sp.</i> [^]
	<i>P. vesticula</i>		<i>P. vesticula</i>
	<i>P. standleyi</i> *	<i>P. pachypoda</i> *	
	<i>P. steyermarkii</i> *	<i>P. palustris</i> *	
		<i>P. podadenia</i> *	

*=Especie presente en un solo grupo; +=No se distinguen ecotipos de *P. americana*; ^=No se distinguen especies de *Persea*.

ecoclimáticos contrastantes en cuanto a la temperatura media y precipitación pluvial. Tales ambientes condicionan la distribución de las especies de *Persea*; de tal forma que las desarrolladas en el grupo I son susceptibles a bajas temperaturas, mientras que las del grupo II toleran temperaturas y precipitaciones bajas, por lo que dentro de este grupo se pueden encontrar genotipos tolerantes al frío y sequía. Las comprendidas en el grupo III se desarrollan en ambientes cálidos con abundante precipitación, por lo que es posible encontrar genotipos que se desarrollen en condiciones de anegamiento (Cuadro 2).

Las especies *P. americana* Mill., *P. chamissonis*, *P. americana* var. *drymifolia*, *P. hintonii* y *P. liebmannii*, presentes en las tres zonas ecoclimatológicas de distribución del género *Persea*, se encuentran en una amplia gama de condiciones climáticas, caso contrario a *P. standleyi*, *P. steyermarkii* y *P. tolimanensis* que limitan su distribución a la zona ecoclimática del grupo I, así como *P. pachypoda*, *P. palustris*, y *P. podadenia* que solo se distribuyen a la zona ecoclimática del grupo II, encontrándose en un ambiente complejo y reducido que al ser alterado podría poner en peligro su presencia en el medio natural, por lo cual es importante priorizar su conservación. Las especies dentro del grupo I se distribuyen en los estados de Chiapas, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán; dentro de las provincias fisiográficas Sierra Madre del Sur, el Eje Neovolcánico, la zona sur de la Sierra Madre Oriental y las Grandes Llanuras de Norteamérica; la Llanura costera del Golfo

Sur, las Sierras de Chiapas y Guatemala, la Cordillera Centroamericana y la Península de Yucatán, mientras que el grupo II se distribuye en los estados de Chiapas, Chihuahua, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán, dentro de las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Grandes Llanuras de Norteamérica, Mesa del Centro, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierras de Chiapas y Guatemala y Península de Yucatán, y el grupo III se localiza en los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Tabasco, y Veracruz, dentro de las provincias fisiográficas Cordillera Centroamericana, Llanura Costera del Golfo Sur, Sierra Madre del Sur y la zona de convergencia del Eje Neovolcánico con la Sierra Madre Oriental (Figura 3).



Figura 3. Distribución geográfica de los grupos de género *Persea* Mill., en México.

Cuadro 2. Parámetros bioclimático para la distribución de los grupos de *Persea* Mill.

Parámetro bioclimático	Grupo I	Grupo II	Grupo III
Precipitación anual (mm)	1411.0	808.8	2319.7
Oscilación anual de la temperatura (°C)	18.5	23.2	17.4
Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	708.4	451.7	1125.3
Estacionalidad de la temperatura (%)	197.6	219.1	192.8
Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	119.3	38.2	260.4
Temperatura máxima promedio del mes más cálido (°C)	29.9	29.8	29.2
Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)	18.2	15.7	18.0
Estacionalidad de la precipitación (%)	80.7	96.9	74.5
Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)	19.4	16.8	19.7
Precipitación del periodo más seco (mm)	26.6	6.9	48.8
Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)	22.1	20.2	21.6

La distribución potencial del grupo I incluye las regiones Occidente, Centro, Sur y Sureste del país, siendo estas dos últimas las más favorables. El valor de probabilidad (0.75 a 0.88) donde se encuentran las condiciones climáticas más favorables para su desarrollo se ubicaron en el Norte de Hidalgo y Querétaro, y en la zona centro de Veracruz donde convergen la Sierra Madre Occidental, la Llanura Costera del Golfo Norte y Eje Neovolcánico; en la región Centro y Este del estado de Oaxaca, correspondientes al Este de la Sierra Madre del Sur y al Norte de la Cordillera Centroamericana, respectivamente, así como en el Centro del estado de Chiapas, que corresponde a las Sierras de Chiapas y Guatemala (Figura 4A).

La distribución potencial del grupo II abarca todas las regiones del país; sin embargo, las áreas con el valor de probabilidad donde se encuentran las condiciones climáticas más favorables se aprecian en la Figura 4B, y se representan en color café, disminuyendo su valor según la escala de color (0.67 a 0.88). Se encuentran en la región donde coinciden la Sierra Madre Occidental y la Llanura Costera del Golfo Norte en los estados de Nuevo León y Tamaulipas; en el Sur de la Sierra Madre Occidental entre los estados de San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo; en la zona centro del Estado de Puebla, que corresponde al Sureste del Eje Neovolcánico; y el Noroeste del estado de Oaxaca, correspondiente al Noreste de la Sierra Madre del Sur. La distribución potencial del grupo III se limita a la región Sur del país. El valor de probabilidad donde se encuentran las condiciones climáticas más favorables para el desarrollo de las especies dentro de este grupo se representa en color café, disminuyendo su valor según la escala de color (0.98 a 0.66), y se ubica entre los límites del Centro de Veracruz y Puebla en el área de unión del Eje Neovolcánico con la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera del Golfo Sur, como se puede apreciar en la Figura 5.

Las variables bioclimáticas que explican y resuelven en conjunto 92.8% de los modelos de distribución geográfica potencial de las especies del género *Persea* Mill., en orden de importancia se presentan en el Cuadro 2.

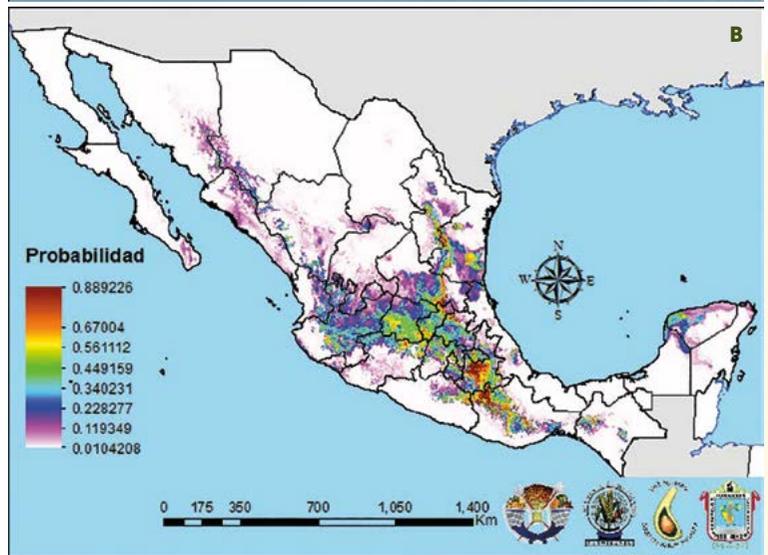
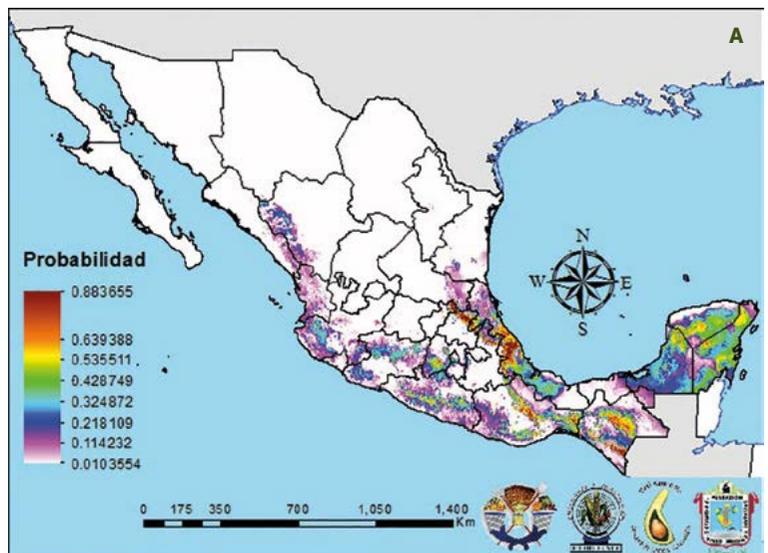


Figura 4. A: Modelo de distribución potencial del Grupo I, B: Grupo II, de *Persea* Mill., en México.



Figura 5. Modelo de distribución potencial del Grupo III de *Persea* Mill., en México.

CONCLUSIONES

La mayor probabilidad de distribución del género *Persea* Mill., en México se ubica en las zonas de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Eje Neo Volcánico, Llanura Costera del Golfo, Sierras de Chiapas y Guatemala, y la Península de Yucatán. Son tres grupos de distribución climática para el género en México, teniendo los siguientes climas, según la escala de Köppen. Grupo uno: clima tipo (A)C a (Cb) (clima semicálido húmedo a semifrío húmedo); grupo dos: clima de tipo(A)C a (Bs) (semicálido húmedo a semiárido cálido); y grupo tres: clima del tipo Ac a C(m) (cálido húmedo a templado húmedo). Con el análisis de distribución en función del clima, precipitación y tipo de suelo es posible detectar genotipos de interés para el mejoramiento genético por características de tolerancia a condiciones estresantes. Las especies presentes en al menos dos grupos tienen mayor rango de adaptabilidad y, por tanto, un área de distribución potencial individual mayor a aquellas que se encuentran de un solo grupo climático. Las especies dentro de un solo grupo climático son más vulnerables a estar amenazadas o en peligro de extinción, debido a cambios en el área donde se distribuyen, producidos por el clima o por la intervención humana.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es resultado de actividades de la Red de Aguacate, y se agradece al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SAGARPA-SNICS-SINAREFI) por el financiamiento de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Barrientos P.A.F., López L.L. 2001. Historia y genética del aguacate. En: Téliz, D. (ed). El aguacate y su manejo integrado. Ediciones Mundi-Prensa. México. pp 19-30.
- Campos R.E., Espindola, B.M.C., Mijares O.P. 2008. Diversidad del género *Persea* y sus usos. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. Coatepec, Harinas. México. 59 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Régimen de Clasificación Climática de Köppen, México.
- KOPP L.E. 1966. A taxonomic revision of the genus *Persea* in the western hemisphere (*Perseae*-*Lauraceae*). *Memories of the New York Botanical Garden* 14: 1-120.
- Rohwer, J. G. 2009 *Lauraceae*. In: K. Kubitzki, J. Rohwer & V. Bittrich (eds.), *The families and genera of vascular plants II*. Springer-Verlag, Berlin. pp: 366-391.
- Van der werff H. 2002. A synopsis of *Persea* (*Lauraceae*) in Central America. *Novon* 12: 575-86.



AJUSTE DE LAS ESCALAS ALFA NUMERICA Y BBCH A LA FENOLOGÍA FLORAL DEL MANGO ATAU LFO (*Mangifera indica* L.)

ADJUSTMENT OF ALPHA-NUMERICAL SCALES AND BBCH TO THE FLORAL PHENOLOGY OF ATAU LFO MANGO (*Mangifera indica* L.)

Alonso-Báez, M.^{1*}; Pérez-Barraza, M.H.²; Sandoval-Esquivel, A.¹

¹Campo Experimental Rosario Izapa-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatan. Tuxtla Chico, Chiapas. C. P. 30870 México. ²Campo Experimental de Santiago Ixcluintla. Carretera Internacional México-Nogales, Kilómetro 6, Centro, C. P. 63300. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

Autor de correspondencia: alonso.moises@inifap.gob.mx

RESUMEN

El estudio de la fenología en el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.), es importante para conocer la influencia del clima sobre su crecimiento, floración y fructificación, y con ello el establecimiento de prácticas para incrementar su productividad. Se realizó una caracterización para ajustar la escala universal BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie) a las series de imágenes de las fenofases de la floración del mango cultivar Ataulfo de El Soconusco, Chiapas., observadas y descritas en campo mediante la escala Alfanumérica de estadios, Ei. De acuerdo con la escala universal, se consignó aceptable ajuste descriptivo de la fenología floral, respecto de su inflorescencia y plena floración, lo cual permitió ampliar la escala Alfanumérica por estadios, Ei, en este cultivar que coadyuvan a describir el comportamiento de este fenómeno.

Palabras clave: floración, estadios, Soconusco, Chiapas.

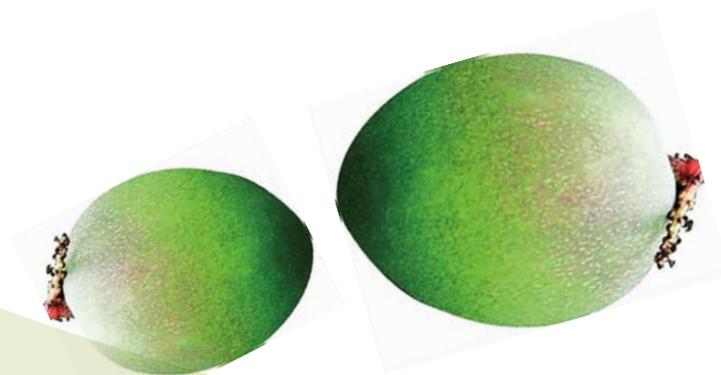
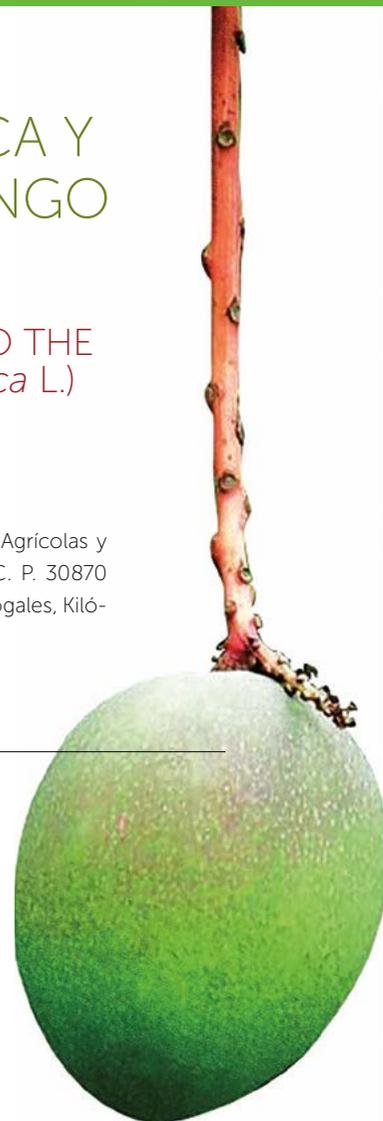
ABSTRACT

The study of phenology in the mango crop (*Mangifera indica* L.) is important to understand the influence of climate on its growth, flowering and fructification, and with it the establishment of practices to increase its productivity. A characterization was performed to adjust the universal BBCH scale (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie) to the series of images of the phenophases of the flowering of the mango cultivar Ataulfo from El Soconusco, Chiapas, observed and described in the field through the Alphanumerical scale for phases, Ei. According to the universal scale, an acceptable descriptive adjustment of the floral phenology was confirmed, with regard to its inflorescence and full flowering, which allowed expanding the Alphanumerical scale per phases, Ei, in this cultivar which contributes to describing the behavior of this phenomenon.

Keywords: flowering, phases, Soconusco, Chiapas.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016, pp: 78-85.

Recibido: febrero, 2016. **Aceptado:** abril, 2016.



INTRODUCCIÓN

La sucesión de eventos fenológicos de la floración en el mango (*Mangifera indica* L.) comprende, la diferenciación floral y el inicio de la floración a partir de las yemas apicales en brotes terminales y emergencia de la panícula (Murti y Upreti, 2000; Ramírez y Davenport, 2010). Estos eventos ocurren regularmente desde octubre a diciembre para condiciones tropicales, donde la inducción floral está estrechamente relacionado con las condiciones ambientales prevalecientes y cese del tiempo de reposo de los árboles. En condiciones subtropicales, una condición fresca es fundamental para la inducción de la floración (Nuñez-Elisea y Davenport, 1992; 1995; Murti y Upreti, 2000). Así, un régimen de temperaturas promedio de 25 °C/15 °C durante el día y la noche son óptimas para inducir la floración (Sukhvilub et al., 1999). Lo anterior sugiere que la temperatura juega un papel importante para inducir la floración del mango, ya que cuando las temperaturas promedio diurnas y nocturnas son superiores (31 °C/25 °C, respectivamente) la floración es escasa o nula (Whiley et al., 1989). El mango Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México, se ubica en un ambiente tropical, donde no ocurren temperaturas bajas considerables que induzcan naturalmente su floración y, ésta es inducida por el periodo seco después del ciclo anual de lluvias que concluye a mediados de octubre. La experiencia en este aspecto, sugiere la inducción forzada mediante prácticas como el estrés hídrico (Davenport, 2003), reguladores del crecimiento para reducir vigor vegetativo, y aspersiones de nitrato de potasio, entre otros (Bondad y Apostol, 1979; Davenport y Nunez-Elisea, 1997). Estos antecedentes revelan heterogeneidad de la inducción floral en mango según las condiciones edafoclimáticas prevalecientes. Dado los escenarios en que se presenta la floración en el mango, se sugiere un análisis de su fenología floral para su mayor comprensión. En este contexto destacan los antecedentes que gestaron la descripción científica de este fenómeno y su estandarización en el ámbito global, tales como, los vocablos comunes que uniformizaron estas ideas para describir el crecimiento de las plantas mediante su fenología. Independientemente de los múltiples objetivos que tiene la fenología, su monitoreo se ha tomado como referencia para evaluar en espacio y tiempo el efecto del cambio climático en la fenología de las plantas entre otros propósitos (Faisal et al., 2008). En relación con el idioma universal mencionado, surgió con este objetivo la escala extendida BBCH (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie), como sistema para la codificación uniforme e identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies de plantas mono y dicotiledóneas (Hack et al., 1992).

Sadoks et al. (1974) destacan entre los pioneros interesados en darle un mayor uso a las claves fenológicas y, después la precisión de la misma por Bleiholder et al. (1989).

Asimismo, Hack et al. (1992) le otorgó el adjetivo de escala "extendida" como se conoce actualmente. Esta escala describe los estadios principales del crecimiento denotados por los dígitos del 0 al 9 en orden ascendente y, para propósitos de descripción de la fenología

floral, se le asignan los números 5 y 6, donde el número 5 se refiere a la inflorescencia y el 6 a plena floración. Asimismo, la combinación de los números de un estadio principal de crecimiento y el número de un estadio secundario condujeron a un código digital de 2 cifras: 5X y 6X. Hernández et al. (2010) utilizaron esta escala para estudiar la fenología del mango y, Pérez et al. (2006) una combinación similar para describir la fenología floral del mango Tommy Atkins, connotada por la letra E, de estadio con un número del 1 al 14 (Ei; $i=1, \dots, 14$). Posteriormente, Rajan et al. (2011) adaptaron la escala original para el mismo propósito e incluyeron un dígito entre 0 y 9, mismos números que relacionaron con los porcentajes de crecimiento de las yemas florales y la panícula para precisar los estadios entre etapas de crecimiento principal y secundario. De este modo, los registros son de tres dígitos: 5XX y 6XX, respectivamente. Sobre esta base, se realizó un estudio para ajustar la escala BBCH a las imágenes de la fenología floral observada en campo mediante la escala por estadios y números (Ei; $i=1, \dots, 14$) en la descripción de la fenología floral del mango Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El monitoreo de la fenología floral del mango cultivar Ataulfo se realizó en tres huertos del Soconusco, Chiapas, México, ubicados en los municipios de Suchiate, Tapachula y Huehuetán, ubicados a 14° 39' y 92° 12'; 14° 45' y 92° 23'; y 15° 04', 92° 27' N y O respectivamente; distantes 45 km aproximadamente un huerto del otro. El clima es cálido subhúmedo, la temperatura promedio registrada en los huertos es isotermal de 27 °C ± 1 °C; precipita-



ción variable: 900 mm, 1200 mm y 2000 mm anuales respectivamente, distribuida de mayo a octubre. El acopio de información para observar y medir las fases de la floración se hizo de noviembre a marzo durante dos ciclos consecutivos de floración (2013-2014 y 2014-2015). En la región de estudio, el mango Ataulfo regularmente presenta tres flujos de floración durante cada ciclo de producción, pero, la primera floración (de octubre a diciembre) es la más importante comercialmente. En cada huerto se seleccionaron 10 árboles y en cada árbol se marcaron en el tercio medio de los árboles 10 brotes terminales con la certeza de aparición de yemas florales, posicionadas en cada uno de los puntos cardinales. En estos brotes se observaron y midieron el inicio de la floración, la sucesión de eventos fenológicos del crecimiento y desarrollo de la panícula hasta que inició el amarre de frutos. Los primeros registros de la fenología floral (fenofases) se hicieron cada tercer día, desde el inicio de los cambios morfológicos en el domo de la yema incipiente ("hinchado"), hasta que inició el desarrollo del racimo floral. Después, los registros se hicieron cada ocho días hasta que el racimo floral (plena floración) alcanzó crecimiento máximo. Durante este periodo se tomaron fotografías de cada evento fenológico de la floración. Se ordenaron las fotografías de cada una de las fases fenológicas, se compararon y ajustaron mediante la escala extendida BBCH de tres dígitos connotados por las series 500 y 600 [5XX y 6XX], correspondientes a la inflorescencia principal y plena floración, de acuerdo con la escala Alfa numérica de referencia por estadios (Ei; $i=1, \dots, 14$) propuesta por Pérez *et al.* (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 25 imágenes de los estadios que revelaron la fenología floral del mango Ataulfo, descritas primero mediante la escala Alfa numérica de referencia y de éstas se determinó aceptable el ajuste mediante la escala BBCH. Al respecto, resultados similares fueron reportados por Hernández *et al.* (2011) quien identificó 10 estadios principales de la fenología en el mango y definió éstos como una relación lineal de eventos. Rajan *et al.* (2011) hizo ligeras modificaciones a esta escala y describió a los estadios como una relación lineal de eventos fenológicos en el mango. Otros reportes señalan que la alta variabilidad del ambiente en el trópico, hace difícil el ajuste de la fenología del mango a una escala particular (Ramírez *et al.*, 2014). Estos antecedentes indican una sucesión de procesos de investigación con el fin de ajustar la fenología del mango a una escala universal. En este estudio el ajuste de imágenes de la fenología floral del mango Ataulfo, definió su ontogenia floral a partir de yemas en los brotes terminales cuando su apreciación apenas fue incipiente. De este modo, las series de imágenes muestran primero, la sucesión de fenofases connotadas por tres dígitos correspondientes a las series 500 y 600 de acuerdo con la escala BBCH (Rajan *et al.*, 2011). Con relación a la serie 500, se determinó buen ajuste respecto de la génesis de la floración (5xx), su emergencia (5xx), crecimiento y desarrollo de la panícula (5xx); y en relación con la serie 600 se determinó buen ajuste de las fenofases inherentes al fenómeno de "plena floración". La sistematización de este ajuste a la fenología floral del mango Ataulfo en Chiapas, quedó agrupado en cuatro etapas: La Etapa I, integrada por las

fenofases "inicio de la floración", cuya connotación de acuerdo con esta escala se muestra en las Figuras 1.1, 1.2 y 1.3, y Figuras 2.1, 2.2, y 2.3.

Nota: las Figuras muestran la fenología mediante la escala Alfanumérica de estadios connotada por Ei, y enseguida ésta ajustada mediante la escala BBCH connotada por las series 500 y 600, ampliadas como función de los porcentajes de las fenofases intermedias (5XX) y (6XX).

La Etapa II, consistió en la "formación de la inflorescencia", cuyas fenofases se presentan en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3; Figuras 4.1, 4.2 y 4.3; y la Figura 5.1.

La Etapa III, o "plena floración" comprendió las fenofases que se muestran en la Figuras 5.2 y 5.3; Figuras 6.1, 6.2 y 6.3; y Figuras 7.1, 7.2 y 7.3.

La Etapa IV, se integró por las fenofases de "Fin de la floración, amarre de fruto e inicio de su crecimiento" mostrados en la Figuras 8.1, 8.2 y 8.3; y las Figuras 9.1 y 9.2., de este modo, quedó establecido el ajuste de la fenología floral del mango cultivar Ataulfo del Soconusco, Chiapas; de acuerdo con esta escala sin pérdida de generalidad en sus conceptos.

En relación con el uso de esta escala, varios investigadores la han utilizado para describir la fenología floral del mango, pero, particularmente en el ambiente subtropical, y han definido este proceso como una serie lineal de eventos fenológicos que ocurren en los árboles de mango (Ramírez *et al.*, 2014) (Cull, 1987, 1991; Whiley, 1993; Hernández *et al.*, 2011; Rajan *et al.*, 2011; Dambreville *et al.*, 2013) y otros como Davenport (2009), quien propuso un



Figura 1.1.
E0. Dilatación del ápice en la ramificación vegetativa.
500. Yema en estado latente e incipiente.

Figura 1.2.
E1. Yema Hinchada
510. Yema cerrada y cubierta con escamas color verde o marrón.

Figura 1.3.
E2. Crecimiento diferencial de la yema floral
511. Inicia la apertura de la yema: las escalas comienzan a separarse



Figura 2.1.
E2. Crecimiento diferencial de la yema floral
512. Apertura poco diferenciada de la yema floral.

Figura 2.2.
E4. Yema abierta: crecimiento del primordio floral
513. Yema abierta: los primordios florales apenas visibles, comienza el desarrollo panícula.

Figura 2.3.
E5. Inicia la formación de la inflorescencia
514. El eje de la panícula empieza a elongarse, las hojas son visibles en panículas mixtas



Figura 3.1.
E6. Inflorescencia con más de dos brácteas diferenciadas.
515. Los ejes secundarios empiezan a elongarse, las flores están separadas y visibles.

Figura 3.2.
E7. Crecimiento del brote floral (inflorescencia) con las brácteas verticales
516. Flores simples, separándose con los sépalos cerrados. Los pétalos florales, alargándose

Figura 3.3.
E8. Inicio de la apertura de brácteas y el eje principal elongado
517. Ejes secundarios alargados, las yemas están hinchadas, de color verde claro a pardo y visibles en algunas flores. En panículas mixtas, las hojas has alcanzado su longitud final

		
<p>Figura 4.1. E9. Prolongación de los ejes secundarios y brácteas del eje principal. 518. Separación de los ejes secundarios.</p>	<p>Figura 4.2. E10. Crecimiento final de la panícula 519. Crecimiento final de la panícula: ejes secundarios totalmente desarrollados, muchas flores con pétalos de color verde a carmesí con las puntas visibles, y algunas flores están abiertas.</p>	<p>Figura 4.3. E11. Brácteas desprendidas del eje basal y ejes secundarios separados totalmente del eje principal. 520. El domo apical de las yemas axilares están cerrados y cubiertos con escamas verde o marrón</p>

		
<p>Figura 5.1. E12. Crecimiento final de ejes secundarios. Yemas hinchadas. 600. Yema floral hinchada</p>	<p>Figura 5.2. E13. Crecimiento final de ejes secundarios. Primeras flores abiertas. 610. Primera flor abierta</p>	<p>Figura 5.3. E14. Inicio de floración: el 10% de flores abiertas en la panícula 611. Inicio de floración: el 10% de flores abiertas en la panícula</p>

		
<p>Figura 6.1. E15. Alrededor del 20 % de las flores, abiertas. 612. Alrededor del 20 % de las flores, abiertas.</p>	<p>Figura 6.2. E16. Floración precoz: 30% de flores en la panícula están abiertas. 613. Floración precoz: 30% de flores en la panícula están abiertas</p>	<p>Figura 6.3. E17. Alrededor del 40 % de las flores, abiertas. 614. Alrededor del 40 % de las flores, abiertas</p>

		
<p>Figura 7.1. E18. Plena floración: más del 50% de flores en la panícula están abiertas. 615. Plena floración: más del 50% de flores en la panícula están abiertas.</p>	<p>Figura 7.2. E19. Fecundación 616. Fecundación.</p>	<p>Figura 7.3. E20. Las flores empiezan a marchitarse: la mayoría de los pétalos caídos o secos 617. E20. Las flores empiezan a marchitarse: la mayoría de los pétalos caídos o secos</p>

		
<p>Figura 8.1. E21. Inicia el desarrollo del óvulo fecundado. 618. Inicia el desarrollo del óvulo fecundado</p>	<p>Figura 8.2. E22. Fin de la floración: todos sus pétalos caídos o secos, e inicia el amarre de frutos. 619. Fin de la floración: todos sus pétalos caídos o secos, e inicia el amarre de frutos</p>	<p>Figura 8.3. E23. Crecimiento y diferenciación de los frutos (en la escala BBCH este estadio se refiere a la serie 700. Desarrollo del fruto.) 620. Fin de la floración principal e inicia la floración secundaria donde aparecen las primeras flores abiertas (en la escala BBCH).</p>

	
<p>Figura 9.1. E24. Panícula seca (serie 700 en la Escala BBCH) 630. Panícula seca (serie 700 en la Escala BBCH)</p>	<p>Figura 9.2. E25. Diferenciación de frutos normales y niños (Serie 700 en la escala BBCH)</p>

modelo para explicar el inicio de la floración del mango tanto en regiones tropicales como subtropicales y, cuyo modelo toma en cuenta la alta variabilidad de los flujos florales al interior del dosel y de las condiciones ambientales prevalecientes.

Aun cuando existen breves diferencias en la interpretación de esta escala, en breve estas diferencias tienden a estandarizarse, a fin de utilizarla de manera práctica. Entre los primeros intentos para su estandarización se cita Auber y Lossois (1972), Hernández *et al.* (2010) y Ramírez *et al.* (2014); quienes hicieron una extensión de la misma para el cultivar Tommy Atkins, donde describen las variantes detectadas para precisar en la fenología floral de este cultivar. Ellos describieron la floración principal (serie 500) y secundaria (serie 600); e indicaron que la floración secundaria consta de seis estadios e inician a partir de la serie 520 y concluyen con la serie 529. Estos sub-estadios (520, 521, 523, 525, 527 y 529) no fueron detectados en esta investigación, pero, se infiere que corresponden a una panícula finalizada, cuyas fenofases se sucedieron de manera similar, tal y como ocurrió con las series 510, 511, 513, 515, 517 y 519, detectadas en esta investigación y ajustadas por esta escala, donde concluye el crecimiento final de la inflorescencia y, a partir de esta sub-fase se inició el fenómeno de plena floración (panícula totalmente desarrollada) de acuerdo con esta escala.

Los mismos autores, de acuerdo con la escala BBCH, encontraron que la floración secundaria dentro de la fenofase de "plena floración" (serie 600), existen ocho sub-estadios connotados por las series 620, 621, 623, 625, 627 y 629. Sin embargo estas sub-series no fueron detectadas en esta investigación, excepto la parte principal de esta fenofase, pero, sobre éstas se infiere que corresponden a una panícula (racimo floral) finalizada, cuyas fenofases se sucedieron de manera similar a como ocurre con las series 610, 611, 613, 615, 617, 619 y 620, detectadas en esta investigación con base en esta escala y, donde concluyó la "plena floración" e inició la manifestación de panículas marchitas a secas, o caídas, connotadas por la series 630 y 631; lo cual se refiere a los casos donde no hubo amarre de frutos de acuerdo con esta escala.

CONCLUSIONES

Se determinó aceptable ajuste de la fenología floral del mango cultivar Ataulfo de El Soconusco, Chiapas, México, mediante la escala universal BBCH, en

relación con las imágenes del desarrollo de este fenómeno por estadios, Ei, y la ampliación más detallada de ésta última escala. Lo anterior, sin duda, servirá de base para precisar en estudios del comportamiento de la fenología floral de este cultivar en relación con factores del ambiente no considerados en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Bleiholder H., van den Boom T., Langeluddeke P., Stauss R. 1989. Einheitliche Codierung der phanologischen Stadien bei Kultur- und Schadpfl anzen, Gesunde Pfl anzen, 41: 381-384.
- Bondad N.D., Apostol C. 1979. Induction of flowering and fruiting in immature mango shoots with KNO₃. Current Science 48: 591-593.
- Cull B.W. 1987. A whole plant approach to productivity research for mango. In: Prinsley, R.T., Tucker G. (Eds.), Mangoes—A Review. The Commonwealth Secretariat, London, pp. 19–28.
- Dambreville A., Normand F., Lauri P.É. 2013. Plant growth coordination in natura: a unique temperature-controlled law among vegetative and reproductive organs in mango. Functional Plant Biology 40, 280–291.
- Davenport T.L., 1994. Potential problems with use of uniconazole on mango (*Mangifera indica*). PGRSA Quart. 22, 143–153.
- Davenport T.L., Núñez-Elisía R. 1997. Reproductive physiology. In: Litz RE (ed), The Mango, Botany, Production and Uses, pp.69-146. CAB International, Wallingford Oxon.
- Davenport T.L. 2003. Management of flowering in three tropical and subtropical fruit tree species.
- Davenport T.L. 2008. Reproductive physiology. In: R. E. Litz (Ed.), The mango, botany, production and uses. 2nd Edition. CAB International, Wallingford.
- Davenport T.L. 2009. Reproductive physiology. p. 97-169. In: R.E. Litz (ed.), The mango. CAB International, Wallingford.
- Faisal A.M., Davy A.J., Sparks T.J. 2008. Analysis of the shifting of phenophases of common British wild plants in response to climate change. Paper presented to the International Conference on "Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate with Emphasis in Forest Health" organized by FAO at Umeå, Sweden from 25-28 August 2008.
- Hack H., Bleiholder H., Buhr L., Meier U., Schnock-Fricke U., Weber E., Witzemberger A. 1992. Einheitliche Codierung der phanologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pfl anzen - Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. Nachrichtenbl. Deut. Pfl anzenschutzd. 44: 265-270.
- Hernández P.M., Agusti M., Aranguren M., Fernandez Galvan D., Galan Saucó V., C. Reig. 2010. Phenological development stages of mango (*Mangifera indica* L.) according to the BBCH scale. In: 9th International Mango Symposium held during 8-12 April, Sanya, Hainan Island, China, 72. Hort. 31: 81-87. HortScience 38: 1331-1335.
- Hernández P.M., Aranguren M., Reig C., Fernández Galván D., Mesejo C., Martínez Fuentes A., Galán Saucó V., Agustí M. 2011. Phenological growth stages of mango (*Mangifera indica* L.) according to the BBCH scale. Sci. Hortic. 130, 536–540.
- Murti G.S.R., Upreti K.K. 1999. Endogenous hormones and polyamines in relation to fruitlet retention in mango cv. Alphonso. J. Plant. Biot. 26: 1.
- Pérez M.H., Vázquez V. & Salazar S. 2006. Defoliación de brotes apicales y su efecto en la diferenciación floral del mango "Tommy Atkins". Rev. Fitotecnia de México 29:313
- Rajan S., Tiwari D., Singh V.K., Saxena P., Singh S., Reddy Y.T.N., Upreti K.K., Burondkar M.M., Bhagwan A., Kennedy R. 2011.

- Application of extended BBCH scale for phenological studies in mango (*Mangifera indica* L.). J. App. Hortic., 13, 108-114.
- Ramírez F., Davenport T.L. 2010. Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. Scientia Horticulturae 126, 65-72.
- Ramírez F., Davenport T.L., Fischer G., Pinzón J.C.A., Ulrichs C. 2014. Mango trees have no distinct phenology: The case of mangoes in the tropics. Scientia Horticulturae 168: 258-266.
- Sadoks J., Chang T.T., Konzack C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res., 14: 415-421.
- Sukhviul N., Whiley A.W., Smith M.K., Hetherington S.E., Vithanage V. 1999. Effect of temperature on inflorescence development and floral biology of mango (*Mangifera indica* L.). Acta Hortic. 509: 601-607.
- Whiley A.W. 1993. Environmental effects on phenology and physiology of mango—A review. Acta Hortic. 341, 168-176.
- Whiley A.W., Rasmussen J.S., Saranah J.B., Wolstenhalme B.N. 1989. Effect of temperature on growth, dry matter production and starch accumulation in ten mango (*Mangifera indica*) cultivars. Journal of Horticultural Science, 64: 753-765.



AP
AGRO
PRODUCTIVIDAD



MAESTRÍA en CIENCIAS INNOVACIÓN en MANEJO de RECURSOS NATURALES

OBJETIVO

Preparar profesionales a nivel postgrado, dentro del ámbito del desarrollo e innovación en el manejo sustentable de recursos naturales para la transformación rural, que se integren dentro de los sectores público y privado y sean coadyuvantes en el desarrollo rural y en el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad.

Innovando con ciencia y visión sustentable



Programa con reconocimiento del Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT

Duración: **2 años**

Becas CONACYT al 100% para los estudiantes aceptados a cursar el programa de Maestría en Ciencias en Innovación en Manejo de Recursos Naturales

Fechas límite para recepción de documentos:

- Último día de Septiembre de cada año para ingreso en enero del siguiente año
- Último día de Mayo de cada año para ingreso en Agosto del mismo año

Los requisitos de ingreso y formato de admisión pueden descargarse en www.colposlp.mx

Informes

Subdirección de Educación. Campus San Luis Potosí.
Colegio de Postgraduados
Tel. 01 (496) 963 0240 y 0448 ext. 4020 y 4008
admisiones.cslp@colpos.mx
Iturbide #73, Salinas de Hidalgo, S.L.P. C.P. 78600

