

Efecto de azufre y gallinaza sobre
índices fisiológicos y de rendimiento en
Solanum lycopersicum L.

pág. 107

Año 13 • Volumen 13 • Número 7 • julio, 2020

Bebidas prehispánicas y novohispánicas de cacao y maíz en la Chontalpa, Tabasco	3
Panorama de la producción y comercialización de naranja en México	9
Crecimiento de plantas de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson y <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC. con fertilización sintética y biológica	15
Rendimientos y composición química de biomasa, semilla y aceite de ecotipos de <i>Moringa oleifera</i> Lamarck introducidos en Sinaloa, México	21
Ganadería: Estilo y tendencias en el nuevo sexenio. México 2000-2020	29
Caracterización biofísica para el ordenamiento territorial comunitario con enfoque agroforestal en Xaltepuxtle, Puebla, México	37

y más artículos de interés...

CONTENIDO

3	Prehispanic and novohispanic drinks of cocoa and corn in la Chontalpa, Tabasco / Bebidas prehispánicas y novohispánicas de cacao y maíz en la Chontalpa, Tabasco
9	Panorama of the production and commercialization of orange in Mexico / Panorama de la producción y comercialización de naranja en México
15	Growth of plants of <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) Nicholson, and <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC. with synthetic and bio-based fertilization / Crecimiento de plantas de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson y <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC. con fertilización sintética y biológica
21	Yields and chemical composition of biomass, seed and oil of ecotypes of <i>Moringa oleifera</i> Lamarck introduced in Sinaloa, Mexico / Rendimientos y composición química de biomasa, semilla y aceite de ecotipos de <i>Moringa oleifera</i> Lamarck introducidos en Sinaloa, México
29	Livestock: Style and trends in the new sex. México 2000-2020 / Ganadería: Estilo y tendencias en el nuevo sexenio. México 2000-2020
37	Biophysical characterization for community territorial planning with an agroforestral approach in Xaltepuxtla, Puebla, Mexico / Caracterización biofísica para el ordenamiento territorial comunitario con enfoque agroforestral en Xaltepuxtla, Puebla, México
45	Cost of the calving interval in tropical bovine production in southeastern Mexico / Costo del intervalo interparto en la producción bovina tropical del sureste de México
53	Effect of a grass-legume association on the dry matter yield and protein concentration of the prairie fertilized with phosphorus / Efecto de una asociación pasto-leguminosa en el rendimiento de materia seca y concentración de proteína de la pradera fertilizada con fósforo
61	Morphological characterization and maturation phases of black zapote (<i>Diospyros digyna</i> Jacq.) / Caracterización morfológica y fases de maduración del zapote negro (<i>Diospyros digyna</i> Jacq.)
67	Bromatological and fermentative characteristics <i>in vitro</i> of complements with <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb and <i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber husk / Características bromatológicas y fermentativas <i>in vitro</i> de complementos con <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb y cáscara de <i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber
75	Systemic acquired resistance to manage the Mexican papita viroid in tomato crop (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) / Inductores de resistencia sistémica adquirida para el manejo del viroide de la papita mexicana en el cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)
81	Evaluation of the biological activity of hydrolysates proteins of <i>Vicia faba</i> L. / Estudio de la actividad biológica de hidrolizados proteicos de <i>Vicia faba</i> L.
87	Antihypertensive activity of zein peptides extracted from creole corn (<i>Zea mays</i> L.) (blue and red) from the State of Mexico / Actividad antihipertensiva de péptidos de zeína extraídos de maíz (<i>Zea mays</i> L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México
95	Physicochemical characterization of creole corn (<i>Zea mays</i> L.) (blue and red) from the State of Mexico / Caracterización físico-química de maíz (<i>Zea mays</i> L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México
101	Evaluation of the sensory quality and level of acceptance of formulations of carrot soup microemulsified with inulin and milk whey protein concentrate / Evaluación de la calidad sensorial y nivel de aceptación de formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionada con inulina y concentrado de proteína de suero de leche
107	Effect of sulfur and chicken manure on physiological and performance indices in <i>Solanum lycopersicum</i> L. / Efecto de azufre y gallinaza sobre índices fisiológicos y de rendimiento en <i>Solanum lycopersicum</i> L.

Comité Científico

Dr. Giuseppe Colla
University of Tuscia, Italia
ORCID: 0000-0002-3399-3622

Dra. Magaly Sánchez de Chial
Universidad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-6393-9299

Dra. Maritza Escalona
Universidad de Ciego de Ávila, Cuba
ORCID: 0000-0002-8755-6356

Dr. Kazuo Watanabe
Universidad de Tsukuba, Japón
ORCID: 0000-0003-4350-0139

Dra. Ryoko Machida Hirano
Organización Nacional de Investigación en Agricultura y Alimentación (NARO-Japón)
ORCID: 0000-0002-7978-0235

Dr. Ignacio de los Ríos Carmenado
Universidad Politécnica de Madrid, España
ORCID: 0000-0003-2015-8983

Dra. María de Lourdes Arévalo Galarza
Colegio de Postgraduados, México
ORCID: 0000-0003-1474-2200

Dra. Libia Iris Trejo Téllez
Colegio de Postgraduados, México
ORCID: 0000-0001-8496-2095

Comité Editorial

Dr. Rafael Rodríguez Montessoro[†] — *Director Fundador*
Dr. Jorge Cadena Iñiguez — *Editor en Jefe*
Dr. Fernando Carlos Gómez Merino — *Editor de sección*
Dr. Ángel Bravo Vinaja — *Curador de metadatos*
M.A. Ana Luisa Mejía Sandoval — *Asistente*
M.C. María Isabel Iñiguez Luna — *Asistente*
M.C. Valeria Abigail Martínez Sias — *Diagramador*
Lic. Hannah Infante Lagarda — *Filólogo*
Biól. Valeria J. Gama Ríos — *Traductor*
Téc. Mario Alejandro Rojas Sánchez — *Diseñador*

Directrices para Autores/as

Naturaleza de los trabajos: Las contribuciones que se reciban para su eventual publicación deben ser resultados originales derivados de un trabajo académico de alto nivel sobre los tópicos presentados en la sección de temática y alcance de la revista.

Extensión y formato: Los artículos deberán estar escritos en procesador de textos, con una extensión de 15 cuartillas, tamaño carta con márgenes de 2.5 centímetros, Arial de 12 puntos, interlineado doble, sin espacio entre párrafos. Las páginas deberán estar foliadas desde la primera hasta la última en el margen inferior derecho. La extensión total incluye abordaje textual, bibliografía, gráficas, figuras, imágenes y todo material adicional. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las secciones principales del artículo deberán escribirse en mayúsculas, negritas y alineadas a la izquierda. Los subtítulos de las secciones se escribirán con mayúsculas sólo la primera letra, negritas y alineadas a la izquierda.

Exclusividad: Los trabajos enviados a Agro Productividad deberán ser inéditos y sus autores se comprometen a no someterlos simultáneamente a la consideración de otras publicaciones; por lo que es necesario adjuntar este documento: Carta de originalidad.

Frecuencia de publicación: Cuando un autor ha publicado en la revista como autor principal o de correspondencia, deberá esperar tres números de ésta para publicar nuevamente como autor principal o de correspondencia.

Idiomas de publicación: Se recibirán textos en español con títulos, resúmenes y palabras clave en español e inglés.

ID Autores: El nombre de los autores se escribirán comenzando con el apellido o apellidos unidos por guion, sólo las iniciales del nombre, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Es indispensable que todos y cada uno de los autores proporcionen su número de identificador normalizado ORCID, para mayor información ingresar a (<https://orcid.org>).

Institución de adscripción: Es indispensable señalar la institución de adscripción y país de todos y cada uno de los autores, indicando exclusivamente la institución de primer nivel, sin recurrir al uso de siglas o acrónimos. Se sugiere recurrir al uso de la herramienta wayta (<http://wayta.scielo.org/>) de Scielo para evitar el uso incorrecto de nombres de instituciones.



ZOOLOGICAL RECORD®



Año 13, Volumen 13, Número 7, julio 2020, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203. ISSN: 2594-0252, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, M.C. Valeria Abigail Martínez Sias. Fecha de última modificación, 31 de julio de 2020.

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

Contacto principal

8 Jorge Cadena Iñiguez
📍 Guerrero 9, esquina avenida Hidalgo, C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.
✉ agroproductividadesitor@gmail.com

Contacto de soporte

8 Soporte
☎ 01(595) 928 4703
✉ agroproductividadesoporte@gmail.com

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.

Anonimato en la identidad de los autores: Los artículos no deberán incluir en ni en cuerpo del artículo, ni en las notas a pie de página ninguna información que revele su identidad, esto con el fin de asegurar una evaluación anónima por parte de los pares académicos que realizarán el dictamen. Si es preciso, dicha información podrá agregarse una vez que se acredite el proceso de revisión por pares.

Estructura de los artículos: Los artículos incluirán los siguientes elementos: Título, title, autores y adscripción, abstract, keywords, resumen, palabras clave, introducción, objetivos, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones y literatura citada en formato APA.

Título: Debe ser breve y reflejar claramente el contenido, deberá estar escrito en español e inglés. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en itálicas. No deberá contener abreviaturas ni exceder de 20 palabras, se usará solo letras mayúsculas, en negritas, centrado y no llevará punto final.

Resumen y Abstract: Deberá integrarse un resumen en inglés y español (siguiendo ese orden), de máximo 250 palabras, donde se destaque obligatoriamente y en este orden: a) objetivo; b) diseño / metodología / aproximación; c) resultados; d) limitaciones / implicaciones; e) hallazgos/ conclusiones. El resumen no deberá incluir citas, referencias bibliográficas, gráficas ni figuras.

Palabras clave y Keywords: Se deberá incluir una lista de 3 a 5 palabras clave en español e inglés que permitan identificar el ámbito temático que aborda el artículo.

Introducción: Se asentará con claridad el estado actual del conocimiento sobre el tema investigado, su justificación e importancia, así como los objetivos del trabajo. No deberá ser mayor a dos cuartillas.

Materiales y Métodos: Se especificará cómo se llevó a cabo la investigación, incluyendo el tipo de investigación, diseño experimental (cuando se traten de investigaciones experimentales), equipos, substancias y materiales empleados, métodos, técnicas, procedimientos, así como el análisis estadístico de los datos obtenidos.

Resultados y Discusión: Puede presentarse en una sola sección. En caso de presentarse de forma separada, la discusión debe enfocarse a comentar los resultados (sin repetirlos), en términos de sus características mismas, su congruencia con la hipótesis planteada y sus semejanzas o diferencias con resultados de investigaciones similares previamente realizadas.

Conclusiones: Son la generalización de los resultados obtenidos; deben ser puntuales, claras y concisas, y no deben llevar discusión, haciendo hincapié en los aspectos nuevos e importantes de los resultados obtenidos y que establezcan los parámetros finales de lo observado en el estudio.

Agradecimientos: Son opcionales y tendrán un máximo de tres renglones para expresar agradecimientos a personas e instituciones que hayan contribuido a la realización del trabajo.

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. Se recomienda que los cuadros y ecuaciones se preparen con el editor de tablas y ecuaciones del procesador de textos.

Uso de siglas y acrónimos: Para el uso de acrónimos y siglas en el texto, la primera vez que se mencionen, se recomienda escribir el nombre completo al que corresponde y enseguida colocar la sigla entre paréntesis. Ejemplo: Petróleos Mexicanos (Pemex), después sólo Pemex.

Elementos gráficos: Corresponden a dibujos, gráficas, diagramas y fotografías. 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. Las figuras deben numerarse

progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Figura 1. Título), y se colocarán en la parte inferior. Las fotografías deben ser de preferencia a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF O RAW. El autor deberá enviar 2 fotografías adicionales para ilustrar la página inicial de su contribución. Las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS).

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

Citas bibliográficas: deberán insertarse en el texto abriendo un paréntesis con el apellido del autor, el año de la publicación y la página, todo separado por comas. Ejemplo (Zheng *et al.*, 2017). El autor puede introducir dos distintos tipos de citas:

Citas directas de menos de 40 palabras: Cuando se transcriben textualmente menos de 40 palabras, la cita se coloca entre comillas y al final se añade entre paréntesis el autor, el año y la página. Ejemplo:

Alineado al Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, (DOF, 2013), el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018 establece "Construir un nuevo rostro del campo sustentado en un sector agroalimentario productivo, competitivo, rentable, sustentable y justo que garantice la seguridad alimentaria del país" (DOF, 2013).

Citas indirectas o paráfrasis: Cuando se interpretan o se comentan ideas que son tomadas de otro texto, o bien cuando se expresa el mismo contenido pero con diferente estructura sintáctica. En este caso se debe indicar el apellido del autor y el año de la referencia de donde se toman las ideas. Ejemplo:

Los bajos rendimientos del cacao en México, de acuerdo con Avendaño *et al.* (2011) y Hernández-Gómez *et al.* (2015); se debe principalmente a la edad avanzada de las plantaciones.

Las referencias bibliográficas: al final del artículo deberán indicarse todas y cada una de las fuentes citadas en el cuerpo del texto (incluyendo notas, fuentes de los cuadros, gráficas, mapas, tablas, figuras etcétera). El autor(es) debe revisar cuidadosamente que no haya omisiones ni inconsistencias entre las obras citadas y la bibliografía. Se incluirá en la lista de referencias sólo las obras citadas en el cuerpo y notas del artículo. La bibliografía deberá presentarse estandarizada recurriendo a la norma APA, ordenarse alfabéticamente según los apellidos del autor.

De haber dos obras o más del mismo autor, éstas se listan de manera cronológica iniciando con la más antigua. Obras de un mismo autor y año de publicación se les agregará a, b, c... Por ejemplo:

Ogata N. (2003a).
Ogata N. (2003b).

Artículo de revista:

Wang, P., Zhang, Y., Zhao, L., Mo, B., & Luo, T. (2017). Effect of Gamma Rays on *Sophora davidii* and Detection of DNA Polymorphism through ISSR Marker [Research article]. <https://doi.org/10.1155/2017/8576404>

Libro:

Turner J. (1972). Freedom to build, dweller control of the housing process. New York: Macmillan.

Uso de gestores bibliográficos: Se dará prioridad a los artículos enviados con la bibliografía gestionada electrónicamente, y presentada con la norma APA. Los autores podrán recurrir al uso de cualquier gestor disponible en el mercado (Reference Manager, Crossref o Mendeley entre otros), o de código abierto tal como Refworks o Zotero.

Prehispanic and novohispanic drinks of cocoa and corn in la Chontalpa, Tabasco

Bebidas prehispánicas y novohispánicas de cacao y maíz en la Chontalpa, Tabasco

Córdova-Avalos, Víctor¹; Chávez-García, Elsa¹; Hernández-Maldonado, Efrén²;
Córdova-Lázaro, Cristóbal E.¹; Córdova-Avalos, Antonio³; Hinojosa-Cuéllar, José A.³; Pérez-Flores, Julián^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Cárdenas Tabasco, México. C. P. 86500. ²Consejo Estatal Indígena, "Ik'nhas 'Kin'Jha", Cunduacán, Tabasco, México. C. P. 86680. ³Universidad Popular de la Chontalpa, Cárdenas, Tabasco, México. C. P. 86500.

*Autor para correspondencia: julianflores@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To register prehispanic and novohispanic drinks made from cacao and corn consumed in the Chontalpa Region of Tabasco, Mexico.

Design/Methodology: The study was conducted in rural and urban communities of the municipalities of Cunduacán, Cardenas and Huimanguillo. Participatory observation in cocoa and Day of the Dead rituals, workshops and six semi-structured interviews were conducted. It was complemented with a documentary review. The information was analyzed with a matrix of importance to determine the preference of drinks reported and consumed by the population.

Results: Twenty-nine drinks based on cocoa and / or corn were found, 22 were prehispanics and seven were novohispanics. Of seven corn-based drinks, two are alcoholic and only consumed in rituals. From 13 drinks that are based on cocoa and corn; five drinks include honey, sugar, vanilla, milk and annatto. One drink is made of pure toasted cocoa, reported in the literature as bitter chocolate. Three drinks are based on cocoa husk (cocoa tea) and cocoa cob mucilage (jacket atole). The drinks most preferred by the population of Tabasco are: pozol, cocoa powder, cocoa atole, women's atole, and bitter chocolate.

Limitations of the study/Implications: In the sacred rituals for cocoa it is forbidden to record, take photos and videos.

Findings/Conclusions: Of the 29 reported drinks based on cocoa and / or corn, cocoa pozol and cocoa powder are the most preferred. The first is a prehispanic drink that combines cocoa and corn.

Keywords: *Theobroma cacao*, corn, prehispanic and novohispanic drinks.

RESUMEN

Objetivo: Registrar las bebidas prehispánicas y novohispanas elaboradas a base de cacao y maíz, consumidas en la región de la Chontalpa, Tabasco.

Diseño/metodología/aproximación: El estudio fue realizado en comunidades rurales y urbanas de los municipios de Cunduacán, Cárdenas y Huimanguillo. Se realizó observación participativa en rituales al cacao y en Día de Muertos, talleres y seis entrevistas semi-estructuradas. Se complementó con una revisión documental. La información se analizó con una matriz de importancia para determinar la preferencia de las bebidas reportadas y consumidas por la población.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 3-8.

Recibido: enero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Resultados: Se registraron 29 bebidas a base de cacao y/o maíz, 22 prehispánicas y siete bebidas novohispánicas. De siete bebidas a base de maíz, dos son alcohólicas y son consumidas en rituales. De 13 bebidas elaboradas a base de cacao y/o maíz, cinco incluyen miel, azúcar, vainilla, leche y achiote. Una bebida es solo de cacao tostado, reportada en la literatura como el chocolate amargo. Tres bebidas son a base de cascarilla de cacao (té de cacao) y mucílago de la mazorca de cacao (atole de chaqueta). Las bebidas mayormente preferidas por la población de Tabasco son: el pozol, el polvillo de cacao, el atole de maíz y de cacao, el atole de mujer y el chocolate amargo.

Limitaciones del estudio/implicaciones: En los rituales sacralizados al cacao están prohibidas grabaciones, fotografías y videograbaciones.

Hallazgos/conclusiones: De las 29 bebidas reportadas a base de cacao y/o maíz, el pozol y polvillo con cacao son las de mayor preferencia. La primera es una bebida pre-hispánica que combina el cacao y el maíz.

Palabras clave: Theobroma cacao, maíz, bebidas prehispánicas y novohispánicas.

el equilibrio entre la naturaleza y la familia (Few, 2013; Cruz, 2014). Los Olmecas hacían rituales a los dioses de la naturaleza como el jaguar, la serpiente, las estrellas, el sol, la tierra, el cacao, el maíz, el agua y la luna (Córdova *et al.*, 2014; Coe y Coe, 2018).

Los Mayas domesticaron dos especies de *Theobroma* para elaborar bebidas de cacao (Córdova *et al.*, 2019): *T. cacao* L. (cacao) y *T. bicolor* L. (pataxte). "Y así, estaban felices por lo que les proveía la buena montaña, llena con cosas dulces...llenas de pataxte y cacao... las ricas viandas llenaban la ciudadela llamada lugar roto, lugar del agua amarga" (Popol Vuh, 1990).

Los antiguos Mayas aderezaban la bebida de chocolate con vainilla (*Vanilla planifolia*) y lo teñían con achiote (*Bixa orellana*) adquiriendo un color rojizo que le permitía ser asociado con la sangre (Aliphath y Caso, 2011). En Guatemala, los Maya-K'ichee le agregaban miel a la bebida de chocolate (Córdova *et al.*, 2019).

En Oaxaca, prevalece una bebida prehispánica espumosa hecha a base de pataxte (*T. bicolor* L.), denominada popo (Gálvez *et al.*, 2016). En Chiapas se elabora una bebida prehispánica de color rojizo, a base de maíz y cacao tostado, mezclado con achiote y azúcar, conocida como Taxcalate (Córdova *et al.*, 2018).

En Tabasco, desde el año 1500 a. C., existen bebidas y alimentos prehispánicos elaborados a base de cacao y maíz. Los Mayas Chontales de Tabasco aún consumen el buk'a "pozol blanco", el "hach'im", pozol con cacao y el atole de maíz "mat's"

INTRODUCCIÓN

La cultura Olmeca de Tabasco y Veracruz destacó por su trabajo organizacional en la agricultura y labrado de piedra. Poseían conocimientos en biotecnología prehispánica en el manejo sustentable de los recursos naturales y en la preparación de bebidas a base de cacao, así como de maíz hervido y nixtamalizado (Larqué-Saavedra, 2016). De los años 1800 a 1000 a. C. cultivaron el cacao y lo consumieron en bebida. Los Olmecas decayeron en el año 400 a. C.; no obstante, aún se mantienen las tecnologías autóctonas del cultivo de cacao y de elaboración de bebidas a base de este grano (Powis *et al.*, 2011; Ogata, 2011; Coe y Coe, 2018). En el proceso de preparación de las bebidas de cacao, se utiliza el comal para el tostado del cacao y maíz, metates en la molienda de los granos y vasijas de barro para batir las bebidas y jícaras (*Crescentia cujete*) como recipientes para su consumo (Powis *et al.*, 2011; Coe y Coe, 2018).

Los Olmecas de Tabasco usaron las cenizas de cáscara de ostión para nixtamalizar el maíz (Larqué-Saavedra, 2016; Coe y Coe, 2018). Con ello, se obtenía el maíz cocido y despellejado, que una vez lavado era usado para elaborar la tortilla, el pozol y el atole. Powis *et al.* (2011), confirmaron la existencia de teobromina en vasijas y vasos encontrados en la región de San Lorenzo, Veracruz fechados entre los años 1800 a 1000 a. C. Con ello se confirma el consumo ancestral de bebidas de cacao y de maíz.

La primera bebida consumida por los Olmecas fue el pozol de maíz hervido, el cual era colado utilizando una jícara con agujeros, y se le agregaba cacao molido; con ello se obtenía una bebida refrescante y alimenticia (Gómez, 2004; Larqué-Saavedra, 2016).

En diferentes culturas de Mesoamérica, el uso y consumo del cacao estuvo altamente relacionado a rituales sacralizados realizados para mantener

(Gallegos y Salazar, 2003). Coe y Coe (2018) reportan el consumo de bebidas prehispánicas de pozol con cacao, pozol con semillas de zapote tostadas (pistek) y el chorote de "cocolvosh", elaborado a base de granos de cacao fermentado en la mazorca, mezclado con masa de maíz (Gómez, 2004).

En Tabasco, las bebidas y alimentos prehispánicos juegan un papel importante en la dieta de la población. El atole y el pozol con cacao son bebidas consumidas de manera común por la población de Tabasco. Sin embargo, van siendo sustituidas por bebidas industrializadas que afectan la salud de la población y con ello se pierde conocimiento, tecnología y toda una cultura asociada a los alimentos autóctonos. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue hacer el registro de las bebidas prehispánicas a base de cacao y maíz que aún se elaboran y consumen en la región de la Chontalpa, Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio fue realizado en localidades de tres municipios de la región de la Chontalpa, Tabasco: Miguel Hidalgo y Costilla, José María Morelos y Pavón, Zapotal, Coronel Gregorio Méndez, La Azucena y colonias de la ciudad, pertenecientes al municipio de Cárdenas; Miahuatlán del municipio de Cunduacán; Güirál y González y colonias de la ciudad pertenecientes al municipio de Huimanguillo.

Métodos, técnicas y materiales

La investigación de campo se realizó de agosto a diciembre 2019, con un enfoque cualitativo. Se realizaron tres talleres. El primero, realizado en el Ejido Miguel Hidalgo y Costilla de Cárdenas, donde participaron 11 productores; seis hombres y cinco mujeres con un promedio de edad de 62.7 años. El segundo taller fue en la Ciudad de Cárdenas, asistieron ocho personas: seis mujeres y dos hombres, su edad promedio fue de 21.25 años. El tercero se llevó a cabo en la Ranchería de Miahuatlán, Cunduacán, Tabasco; interviniendo 20 productores: tres hombres y 17 mujeres; en promedio tienen 39.8 años. Se aplicaron seis entrevistas semiestructuradas para conocer las bebidas antiguas que aún se consumen y determinar la importancia y preferencia por cada bebida (Ponce, 2007). Se llevó a cabo observación participativa para conocer las bebidas que se ofrendan en algunos rituales al cacao y en el Día de Muertos. Se complementó con revisión documental relativa a bebidas prehispánicas

elaboradas a base de cacao y maíz (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron 29 bebidas a base de cacao y maíz, 22 consumidas desde antes de la llegada de los españoles (prehispánicas) y 7 consumidas a partir de la época colonial (novohispánicas). De siete bebidas a base de maíz, dos son alcohólicas, consumidas en rituales. Trece bebidas son a base de cacao y maíz; cinco incluyen miel, azúcar, vainilla y leche, y una bebida es de cacao únicamente, reportada en la literatura como el chocolate amargo (Coe y Coe, 2018). Tres bebidas son elaboradas a base de cascarilla del grano y mucílago de la mazorca de cacao. Las bebidas prehispánicas preferidas fueron: el pozol o chorote, pozol blanco, el polvillo de cacao, el atole de maíz, atole de mujer y el chocolate amargo. En época de calor destaca el consumo, como agua fresca, de la bebida elaborada del mucílago y la placenta del cacao conocida regionalmente como cacahuada.

El consumo de bebidas de cacao y maíz de origen prehispánico prevalece en la memoria colectiva de la población tabasqueña (Gómez, 2004; Chapa, 2014; Camacho, 2018; Córdova et al., 2018). El atole de maíz (en lengua chontal mat' s) y el combinado con cacao, leche y azúcar son bebidas novohispanas. Su consumo inició con la introducción a México del ganado bovino y de la caña de azúcar (García, 1994; Barrera, 1996). La chicha, el taxcalate y el posh se consumen en los rituales al cacao y en la celebración del Día de Muertos en los estados de Chiapas y Yucatán (Cuadro 1).

En los pueblos Olmecas, Mayas y Chontales, el maíz y el cacao representaban un binomio de sacralidad, las bebidas eran alimentos que frecuentemente ofrendaban a los dioses del universo (Córdova et al., 2016; Uriarte, 2019). En la actualidad estos rituales de agradecimiento al final de la cosecha del cacao se practican en la región del Soconusco, Chiapas. La ceremonia de ofrenda de alimentos y convivencia familiar se realiza dentro de la plantación de cacao, donde participan familiares y amigos (Cruz, 2014).

En un ritual realizado en Miahuatlán, Cunduacán, Tabasco, el 30 de septiembre de 2019 como parte de la fiesta del KäkKaw (cacao), organizada para difundir la riqueza cultural prehispánica del cultivo del cacao, se reunieron el Ixmen (Dios Maya), la familia y los amigos del campesino, dueño del cacaotal. El ritual tuvo el propósito de



Cuadro 1. Bebidas de origen prehispánico y novohispanas de cacao y maíz en la región de la Chontalpa, Tabasco.

Bebidas prehispánicas	Descripción
1) Pozol de pellejo.	Maíz hervido, despellejado, batido con agua y colado.
2) Pozol blanco (<i>buk'a</i> en lengua chontal).	Maíz nixtamalizado, en lengua chontal <i>chewa</i> ; lavado, molido y batido en agua natural.
3) Pinole.	Bebida de maíz tostado batido en agua natural.
4) Atole de maíz (<i>mat's</i> en lengua náhuatl).	Cocción de maíz en agua.
5) Atole de maíz tierno.	Elaborado con maíz de elote tierno y agua.
6) Chicha.	Bebida fermentada a base de maíz, miel y agua.
7) Pozol de pellejo con cacao.	Maíz hervido, despellejado, batido con agua y colado, se le añade chocolate casero.
8) Pozol con cacao o chorote (<i>hach'im</i> en lengua chontal).	Maíz nixtamalizado (<i>chewa</i> en lengua chontal), lavado, se le agrega cacao tostado, se muele y amasa, y es batido en agua.
9) Pozol agrio con cacao (<i>hach'im</i> en lengua chontal).	Maíz nixtamalizado lavado, se le agrega cacao tostado, molido se deja fermentar dos o tres días y es batido en agua.
10) Pozol con semilla de zapote.	Maíz nixtamalizado, lavado, se le agrega semilla (pistek) tostada de zapote mamey (<i>Pouteria sapota</i> J.), molido, amasado y batido con agua.
11) Pozol de cocolvosh.	Bebida de maíz nixtamalizado, se le agrega cacao tostado previamente fermentado en cáscaras de cacao secas o ahumadas en cascaste o yagual.
12) Polvillo.	Bebida de maíz tostado, se le añade cacao tostado y se bate en agua.
13) Atole de mujer.	Bebida elaborada con maíz sancochado despellejado y colado, se le añade canela, cacao tostado, se hierve y se le agrega miel. En la actualidad le añaden azúcar.
14) Atole de espiga de maíz con cacao.	Elaborado de espiga de maíz molidas, coladas con agua, se le añade masa y se hierve.
15) Taxcalate.	Bebida elaborada con maíz, cacao y achiote; todo tostado, se muele, se bate con agua natural y se hierve.
16) Chocolate amargo de cacao puro.	Bebida elaborada con cacao tostado y molido, batida en agua natural.
17) Chocolate con miel y vainilla.	Bebida elaborada con chocolate macizo, se le añade miel de abeja real, batida en agua natural y se le agrega vainilla.
18) Chocolate con miel, vainilla y achiote.	Bebida elaborada con chocolate macizo, se le añade miel de abeja real, batida en agua natural, vainilla y se le agrega achiote.
19) Atole agrio con cacao.	Masa de maíz nixtamalizado fermentado, hervido, se agrega cacao tostado con agua y se le añade miel.
20) Atole de chaqueta.	Elaborado con cascarilla de cacao y maíz nixtamalizado.
21) Té de cacao.	Elaborado con cascarilla de cacao.
22) Cacahuada.	Agua elaborada a base del mucilago y de la placenta del cacao.
Bebidas novohispanicas	Descripción
23) Posh.	Bebida fermentada de maíz, azúcar y agua.
24) Atole de cacao.	Bebida elaborada con masa de maíz nixtamalizado, se le añade canela, cacao tostado y molido, se hierve, se añade azúcar al gusto.
25) Pozol de pellejo con cacao y azúcar.	Maíz hervido, despellejado, batido en agua y colado, se le añade chocolate casero y azúcar al gusto.
26) Pozol agrio con cacao y azúcar.	Maíz nixtamalizado lavado, se le agrega cacao tostado, molido se deja fermentar dos o tres días, batido con agua y se le añade azúcar al gusto.
27) Chocolate dulce.	Bebida elaborada con chocolate semi-amargo, batida en agua natural y se le agrega miel o azúcar al gusto.
28) Chocolate con azúcar y vainilla.	Bebida elaborada con chocolate macizo, se le añade azúcar batida en agua y se le agrega vainilla.
29) Chocolate con leche.	Bebida elaborada con chocolate macizo y se añade leche y azúcar al gusto.

Fuente. Elaboración propia.

agradecer a la Madre Tierra por mantener la fertilidad del suelo, del cacao y del maíz proveedores de alimento al ser humano. En este ritual se ofrendaron 13 bebidas prehispánicas y ancestrales elaboradas con cacao. Una porción de cada bebida fue depositada en una poceta (agujero en la tierra) junto con otros alimentos ofrendados como: tortilla, semillas de maíces de colores, arroz y frijol. Las 13 bebidas ofrendadas y consumidas por los invitados fueron: 1) chorote, 2) té de cacao, 3) taxcalate, 4) chocolate con leche, 5) bebida del pataste, 6) pozol blanco, 7) atole elaborado a base de cacao, 8) cacao puro, 9) chocolate frío, 10) posh del sagrado cacao, 11) chicha, 12) chorote agrio, y 13) cocolvosh.

Gabriel (2004) menciona que en los rituales agrarios: *"el cacao es parte de las ofrendas en las ceremonias de agradecimiento, petición y protección"*. Estos rituales pueden realizarse en los ranchos, huertos y solares, cavando una poceta donde se depositan 13 granos de cacao (Gabriel, 2006).

Se encontró que las bebidas prehispánicas consumidas con mayor frecuencia son el pozol blanco y pozol con cacao; el atole de maíz, el atole de cacao, el atole de mujer, el polvillo de cacao y chocolate amargo. Estas bebidas son similares a las reportadas por Gallegos y Salazar (2003), Gómez (2004), Chapa (2014), Camacho (2018) y Córdova et al. (2018), a excepción del atole de mujer.

Las variantes de consumo del pozol son: pozol de pellejo, pozol con maíz nixtamalizado, pozol agrio con o sin azúcar y pozol blanco (Chapa, 2014; Larqué-Saavedra, 2016). El atole de cacao es consumido por las familias rurales y ofrendado en los rituales. Su consumo se incrementa en las fiestas patronales del día de la Virgen de Guadalupe y el día de los fieles difuntos. En Huimanguillo, algunas familias de la Ranchería Güiral y González consumen el atole de mujer, elaborado con maíz hervido (sancochado), canela molida y un trozo de chocolate casero. Se registró su uso medicinal para gastritis.

Sol et al. (2016) reportaron la existencia de 13 tipos de polvillo de cacao con diferentes ingredientes. Las variantes de consumo del chocolate casero reportadas por la literatura son: chocolate amargo, chocolate frío y chocolate con canela y pimienta (Chapa, 2014).

El pozol con cacao, bebida de pataste, el atole caliente con cacao, el pozol blanco, la bebida de cacao puro y

el chorote agrio son bebidas prehispánicas que aún se consumen en la región de la Chontalpa, Tabasco (Muñoz, 2011; Wacher, 2017; Coe y Coe, 2018; Camacho, 2018; Córdova et al., 2018). El pozol blanco, en lengua Yocotan es conocido como "buk'a" y en lengua Maya como "k'eyen". El pozol con cacao en lengua Yocotan es llamado "hach'im" y el maíz nixtamalizado para el pozol es llamado comúnmente por las familias rurales como la "chewa" y es conocido por los chontales como chorote (Gallegos y Salazar, 2003; Gómez, 2004). El atole de cacao se prepara con masa de maíz nixtamalizado (Larqué-Saavedra, 2016). El atole de mujer está hecho a base de maíz hervido, cacao y canela. Las dos bebidas están dentro de la memoria colectiva de las personas entrevistadas.

Las bebidas de cacao puro y chocolate frío son bebidas caseras consumidas en Tabasco. Antes de la llegada de los españoles estas bebidas eran endulzadas con miel y en algunos casos se aderezaban con achiote (Aliphath y Caso, 2011; Coe y Coe, 2018). En la región de la Chontalpa, existen microempresas rurales que ofertan el cacao puro o chocolate macizo para la elaboración de las bebidas de chocolate y para la preparación del pozol (Sol et al., 2016; Jaramillo et al., 2018; Córdova et al., 2019). Los consumidores están dispuestos a pagar un sobreprecio por chocolate casero, cien por ciento de cacao; sin embargo, existe poca oferta en el mercado regional (Jaramillo et al., 2018), ya que son producidos solo para el autoconsumo de las familias productoras de cacao y sus excedentes se ofertan a nivel local (Córdova et al., 2018).

Considerando lo reportado por Larqué-Saavedra (2016) y Coe y Coe (2018), desde el periodo Olmeca, la población de Tabasco consume el pozol y el atole de maíz de pellejo o hervido. La bebida del pozol tradicional, elaborado con maíz cocido con cal, lavado con agua natural para quitarle el pellejo (Larqué-Saavedra, 2016), se molía en metate. En la actualidad la mayoría de las familias tabasqueñas usan un molino manual o eléctrico (Córdova et al., 2019). El maíz y el cacao molidos, son mezclados con las manos (amasados) para hacer la pelota de pozol (Chapa, 2014).

"En el proceso de elaboración del pozol, a una pelota de pozol de cinco kilos, le agrego 500 g de cacao tostado. Anteriormente, la bebida era batida manualmente en jícara con agua fresca y puede ser consumida al instante o posteriormente en forma de pozol acedo o agrio" (Mujer del Poblado C-20, Cárdenas, Tabasco).

El pozol o chocolate prehispánico era servido en jícaras ahumadas. El pozol con cacao es parte de la dieta de la población rural de Tabasco (Coe y Coe, 2018; Camacho, 2018; Córdova *et al.*, 2019). Las familias hoy en día usan la licuadora para batir el pozol y es servido en vasos o tazas. Entre las bebidas a base de cacao novohispanas que integran la leche de vaca, se registraron las siguientes variantes: el chocolate con leche, el chocomilk y las malteadas (Coe y Coe, 2018).

CONCLUSIONES

Las bebidas elaboradas a base de cacao y maíz son alimentos milenarios que prevalecen aún en diferentes comunidades de la región de la Chontalpa. Forman parte de la identidad cultural y de la dieta autóctona de la población tabasqueña. La bebida prehispánica elaborada con cacao y maíz, de consumo más frecuente es el pozol con cacao. Resalta la gran variedad de tipos de atoles y bebidas tipo polvillo con cacao usados en la alimentación cotidiana, así como el uso medicinal del atole de mujer.

AGRADECIMIENTOS

Al FOMIX-CONACYT Tabasco por el financiamiento del proyecto TAB-2018-01-01-84312. Al Consejo Estatal Indígena, "Ik' nhas 'Kin' Jha", por permitirnos participar en sus rituales al cacao.

LITERATURA CITADA

- Alihat, M., & Caso, L. (2011). La triada del chocolate: cacao, vainilla y achiote. *Artes de México*, 105, 47-52.
- Barrera, B.N. (1996). Los orígenes de la ganadería en México. *Ciencias*, 44, 14-17.
- Camacho, G.M. (2018). Chocolate artesanal en México: cultura, consumo y marketing. *Vinculatégica EFAN*, 3(2), 498-504.
- Chapa, B.M. (2014). *Chocolate: manjar de los dioses*. México: Editorial Ink.
- Coe, S.D., & Coe, M.D. (2018). *La verdadera historia del chocolate*. México: Fondo de Cultura.
- Córdova, Á.V., Pérez, F.J., Chávez, G.E., Becerril, H.H., Mandujano, C.J.C., Reyes, De La C.C., Rodríguez, O.L., Córdova, Á.A., & Córdova, L.C.E. (2019). Valor comercial del chocolate casero. *Agroproductividad*, 12(7), 65-70.
- Córdova, L.C.E., Jaramillo, V.J.L., Córdova, A.V., Carranza, C.I., & Morales, J.J. (2018). Chocolate casero tradicional en la región de la Chontalpa Tabasco, México: actores y saberes locales. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 52(28), 1-27.
- Córdova, Á.V., Guerrero, P.A., Bucio, G.A., Córdova, Á.A., & Hinojosa, C.J.A. (2016). Escuela de producción orgánica de cacao criollo (*Theobroma cacao* L. var Carmelo), en Tabasco, México. *Agroproductividad*, 9(12), 63-67.
- Córdova, A.V., Guerrero, P.A., Bucio, G.A., Córdova, A.A., & Hinojosa, C.J.A. (2014). Cacao y chocolate en Tabasco tesoro legado de los mayas de Mesoamérica. *Investigacion y Postgrado. Revista de la Universidad Popular de la Chontalpa*, 4(16), 5-10.
- Cruz, C.A. (2014). *Cacao Soconusco Apuntes sobre Chiapas, México y Centroamérica*. México: UNICACH.
- Few, M. (2013). El chocolate, el sexo y las mujeres de vida desordenada. *Chocolate III: Ritual, Arte y Memoria. Artes de México*, 3(110), 24-33.
- Gabriel, M. (2006). Las ceremonias agrícolas de los campesinos mayas representaciones de su cosmovisión. In R.A. Barrera & R. Gubler (Eds.), *Los mayas de ayer y hoy. Memorias del I Congreso Internacional de Cultura Maya*, tomo II (pp. 1145-1166). México.
- Gabriel, M. (2004). Elements, action sequences and structure: a typology of agrarian ceremonies as performed by the Maya peasants of eastern Yucatan. In B.D. Graña, N. Grube, C.M. Prager, F. Sachse, S. Teufel, & E. Wagner (Eds.), *Continuity and Change. Maya Religious Practices and Temporal Perspective. 5th European Maya Conference*, Bonn: University of Bonn.
- Gallegos, M.J., & Salazar, F.L.I. (2003). Pozol, bebida tradicional. Tabasco, Miniguía INAH, México.
- Gálvez, M.A.L., Reyes, R.C.H., Avendaño, A.E., Hernández, G.A., Mendoza, L.V.H., & Díaz, F. (2016). *Pataxte (Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.): Species underutilized in Mexico. *Agroproductividad*, 9(1), 41-47.
- García, M.B. (1994). Los primeros pasos del ganado en México. *Relaciones*, 59, 26-27.
- Gómez, R.H. (2004). Los Olmecas en Tabasco. In: *Gobierno del Estado de Tabasco. Grandes Culturas de Tabasco: Olmecas, Mayas y Zoques*. pp. 16-19.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education.
- Jaramillo, V.J.L., Córdova, L.C.E., & Córdova, A.V. (2018). Disponibilidad a pagar por atributos culturales en chocolates caseros artesanales de la región de la Chontalpa, Tabasco, México. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 18(2), 53-73.
- Larqué-Saavedra, A. (2016). Biotecnología prehispánica en Mesoamérica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(2), 107-115.
- Muñoz, C.J.M. (2011). *Sobrepeso, obesidad y diabetes: Diversos enfoques para su estudio*. México: UJAT.
- Ogata, N. (2011). Domesticación y origen del cacao en América. *Artes de México*, 103, 54-59.
- Ponce, T.H. (2007). La matriz FODA: Alternativa de diagnóstico y determinación de estrategias de intervención en diversas organizaciones. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 12(1), 113-130.
- Popol Vuh. (1990). Traducción de Adrián Recinos. México: Fondo de Cultura Económica. México. 152 p.
- Powis, T.G., Cyphers, A., Gaikwad, N.W., Grivetti, L., & Cheong, K. (2011). Cacao use and the San Lorenzo Olmecs. *PNAS*, 108(21), 8595-8600.
- Sol, S.A., Naranjo, G.J.A., Córdova, A.V., Ávalos De La C., D.A., & Zaldivar, C.J.M. (2016). Caracterización bromatológica de los productos derivados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Chontalpa, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14, 2817-2830.
- Uriarte, M.T. (2019). *Olmecas*. México: Jaka Book & UNAM.
- Wacher, R.M.C. (2017). La inventiva de nuestros antepasados y los fermentados de maíz. *Biotecnología en Movimiento*, 9, 22- 25.

Panorama of the production and commercialization of orange in Mexico

Panorama de la producción y comercialización de naranja en México

Rivera-López, Samuel^{1*}; Perales-Salvador, Arturo¹; Del Valle-Sánchez, Manuel¹; Caamal-Cauchich, Ignacio¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

*Autor para correspondencia: srivaler_comercio@hotmail.com

ABSTRACT

Objective: To analyze the variables of production and marketing of orange in the Mexican market.

Design/methodology/approach: It was calculated the participation of the Mexican market in the world orange market, the exchange rate of the production variables of this citrus in Mexico, the trade balance of the crop in question, producer-export marketing margin, national and per capita apparent consumption and the index of revealed comparative advantages (RCA).

Results: Mexico owns about 8% of the world's harvested area of orange and produces 6% of the total volume of this citrus. The variation rate of the sown and harvested area of this crop was negative; the production volume presented a positive rate of 19.13%, attributable to the increase in the average yield per hectare. The commercial balance of the orange in Mexico had a positive balance in most of the years analyzed; in 2018, the United States of America (USA) consumed 91.33% of exports and provided 100% of Mexican imports of said citrus. Apparent consumption *per capita* has been greater than 35 kg. The producer's marketing margin with respect to the export price was 24.57%, while, with respect to the final consumer price, in the domestic market, it was 26.92%. The RCA with respect to the USA has been positive from 2014 to 2018.

Limitations on study/implications: The databases of international organizations present data with delays of up to two years. There is no repository of marketing margins calculated monthly by the Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Findings/conclusions: The orange producers are not the main beneficiaries of the value of national and international trade in this fruit. The Mexican market has a competitive advantage in the international orange market, the RCA is positive with respect to the USA; however, the volume of Mexican exports is low compared to production.

Keywords: apparent consumption, trade balance, marketing margin, index of revealed comparative advantages.

RESUMEN

Objetivo: Analizar las variables de producción y comercialización de la naranja en el mercado mexicano.

Diseño/metodología/aproximación: Se calculó la participación del mercado mexicano en el mercado mundial de naranja, la tasa de cambio de las variables de producción de este cítrico en México, la balanza comercial del cultivo en mención, el margen de comercialización productor-exportador, el consumo aparente nacional y per capita, y el Índice de Ventaja Comparativa Revelada (IVCR).

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 9-14.

Recibido: febrero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Resultados: México posee alrededor del 8% de la superficie mundial cosechada de naranja y produce el 6% del volumen total de este cítrico. La tasa de variación de la superficie sembrada y cosechada de este cultivo fue negativa. El volumen de producción presentó una tasa positiva de 19.13%, atribuible al alza en el rendimiento promedio por hectárea. La balanza comercial de la naranja en México tuvo saldo positivo en la mayoría de los años analizados; en 2018, Estados Unidos de América (EUA) consumió el 91.33% de las exportaciones y proveyó el 100% de las importaciones mexicanas de dicho cítrico. El consumo aparente *per capita* ha sido mayor a los 35 kg. El margen de comercialización del productor con respecto al precio de exportación fue de 24.57%, mientras que, con respecto al precio del consumidor final, en el mercado nacional, fue de 26.92%. El IVCR con respecto a los EUA ha sido positivo de 2014 a 2018.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Las bases de datos de los organismos internacionales presentan datos con retrasos de hasta dos años. No existe un repositorio de los márgenes de comercialización calculados mensualmente por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Hallazgos/conclusiones: Los productores de naranja no son los principales beneficiarios del valor del comercio nacional e internacional de este fruto. El mercado mexicano presenta una ventaja competitiva en el mercado internacional de la naranja, el IVCR es positivo con respecto a EUA; sin embargo, el volumen de las exportaciones mexicanas es poco en comparación con la producción.

Palabras clave: consumo aparente, balanza comercial, margen de comercialización, índice de ventajas comparativas reveladas.

miles de millones de pesos (SIAP, 2020). Veracruz es el principal estado productor de naranja en el mercado mexicano, en 2018 alcanzó un volumen de 2.50 millones de toneladas, es decir, el 52.94% de la cosecha nacional de este cítrico. Los demás estados importantes en la producción de este cultivo fueron Tamaulipas con 570.88 miles de toneladas, San Luis Potosí con 359.93 miles de toneladas y Nuevo León con 342.81 miles de toneladas (SIACON, 2020).

La importancia del cultivo de naranja para el campo mexicano radica en el alto volumen de cosecha, por lo que, la aportación al valor de la producción cítrica del país es considerable, además, genera una buena cantidad de empleos (productores, cortadores, transportistas, etc.), y contribuye al ingreso de divisas por la venta tanto en fresco como en jugo concentrado, principalmente congelado (Caamal et al., 2016). El objetivo del presente trabajo de investigación fue analizar las variables de producción y comercialización de la naranja en el mercado mexicano en el periodo de 2004 a 2018.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de tipo cuantitativo, abarca tanto el análisis longitudinal o evolutivo, como el transversal o transeccional (Hernández et al., 2010). El primero se utilizó para generar el panorama del mercado nacional e internacional de la naranja mexicana; el segundo, para hacer el análisis del margen de comercialización, calcular para cada año el Índice de Ventaja Comparativa Revelada (IVCR) y para la determinación de los principales orígenes y destinos extranjeros de dicho cítrico en 2018.

INTRODUCCIÓN

En 2017, México ocupó el cuarto lugar entre los principales países productores de naranja (*Citrus sinensis*) en el mundo. Las proyecciones que realizó la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en las que pronosticaba que China e India jugarían un papel importante en la producción de este cítrico (FAO, 2004) se han cumplido; puesto que, actualmente ocupan el segundo y tercer lugar, respectivamente, en la producción de este cultivo (FAOSTAT, 2020). El mercado mexicano cosechó el 6.32% de la producción mundial de dicho cítrico, se recolectaron 4.62 millones de toneladas en el país (SIAP, 2020) y 73.31 millones de toneladas a nivel mundial (FAOSTAT, 2020). La superficie cosechada en el país de este cultivo, en dicho año, fue de 320.79 mil hectáreas (SIAP, 2020), lo que representó el 8.31% de la superficie global cosechada, la cual fue de 3.86 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2020). Los países que tuvieron la mayor producción de naranja, en 2017, fueron: Brasil con 17.45 millones de toneladas, China con 8.56 millones de toneladas e India con 7.64 millones de toneladas (FAOSTAT, 2020).

En 2018, la naranja fue el cítrico con la mayor superficie sembrada y cosechada en México, además, tuvo el mayor volumen de producción de este grupo de cultivos; el valor de la producción de este cultivo fue de 10.18

Para determinar el porcentaje de la participación histórica del mercado mexicano de naranja en el mercado mundial se consultó el área cosechada, el rendimiento y el volumen de la producción de este cultivo a nivel mundial en la base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT); el periodo de análisis fue de 2004 a 2017.

Las variables analizadas con relación a la producción de naranja en México fueron: la superficie sembrada y cosechada, el rendimiento, el precio medio rural, el volumen y el valor de la producción, para ello se consultó el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). Se calculó la tasa de variación, en términos porcentuales, de 2004 a 2018 de cada variable, la fórmula utilizada fue (Pérez et al., 2010):

$$r_{t,0} = \left(\frac{x_t - x_0}{x_0} \right) 100$$

Donde:

$r_{t,0}$ es la tasa de variación, en términos porcentuales, de cada variable analizada.

x_t es el valor de la variable en el año 2018.

x_0 es el valor de la variable en el año 2004.

En cuanto a la comercialización de naranja en México se revisaron las variables de exportación e importación y se calculó el valor del saldo comercial, para ello se utilizó la fracción arancelaria 08051001 "Naranjas", los datos fueron consultados en el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI), el periodo de análisis fue de 2004 a 2018; de dicha base de datos se obtuvieron también los principales orígenes y destinos del cítrico en mención para el año 2018.

Se consultó la base de datos del Banco de México (BANXICO) para estimar el tipo de cambio peso-dólar para el año 2017, éste se estimó con un promedio del tipo de cambio diario llamado "para solventar obligaciones denominadas en dólares de los EE.UU.A., pagaderas en la República Mexicana" (Banxico, 2020). Los márgenes de comercialización de la naranja de los lugares productores a las principales centrales de abasto de México fueron obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

La fórmula empleada para calcular el consumo aparente nacional fue (Miranda, 2005):

$$CAN = P + M - X$$

Donde:

CAN es el consumo aparente nacional en toneladas.

P es el volumen producido de naranja.

M son las importaciones de dicho cítrico por parte del mercado mexicano.

X son las exportaciones de este cultivo desde México.

La fórmula para calcular el consumo aparente *per capita* de naranja en México fue (Rivera y Gutiérrez, 2019):

$$CPC = (CAN / pob) 100$$

Donde:

CPC es el consumo *per capita* de naranja en México, en kilogramos por persona.

CAN es el consumo aparente nacional en toneladas de dicho cítrico.

Pob es la población de México, esta variable fue obtenida del Banco Mundial (BM, 2020).

El margen de comercialización "es el porcentaje del precio medio ponderado final de venta que se toma en cada fase de la cadena" (FAO, 1998), por lo que, el margen entre el productor y el exportador de naranja se calculó con la fórmula:

$$MC = (PMR / PE) 100$$

Donde:

MC es el margen de comercialización del productor con respecto al valor de exportación de la naranja mexicana.

PMR es el precio medio rural.

PE es el precio de exportación de dicho cítrico calculado a partir del valor y el volumen de las exportaciones.

El IVCR expuesto por primera vez por Balassa (1965) establece si un país tiene ventaja competitiva sobre la base de la especialización en el comercio que muestra tomando un punto de referencia (Ramírez-Padrón et al., 2018). El IVCR se calculó para el principal socio comercial de México en lo referente a la naranja, EUA, utilizando la fórmula (CEPAL, 2008):

$$IVCR = \frac{X_{ij} - M_{ij}}{|X_{iw} + M_{iw}|}$$

Donde:

$IVCR$ es el índice de ventajas comparativas reveladas.

X_{ij} es el valor de las exportaciones de naranja de México al mercado j .

M_{ij} es el valor de las importaciones de dicho cítrico por parte del mercado mexicano desde el país j .

X_{iW} es el valor de las exportaciones de naranja de México al mercado mundial (w).

M_{iW} es el valor de las importaciones de dicho cítrico por parte del mercado mexicano desde el resto del mundo (w).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

México posee alrededor del 8% de la superficie total cosechada de dicho cultivo, con la cual ha producido el 6% del volumen de total de naranja del planeta, esto se debe a que el rendimiento promedio nacional, en el periodo estudiado, ha sido inferior en comparación con el rendimiento promedio mundial en este cultivo (Figura 1). Cabe señalar que la producción de este cítrico en el país es de temporal y que las labores de cultivo que se realizan son mínimas, además la infraestructura que poseen los pequeños productores es limitada; todo ello conlleva a los bajos niveles de productividad.

La tasa de variación en la superficie sembrada y cosechada de naranja en México, en el periodo de análisis, fue negativa, lo que implica que

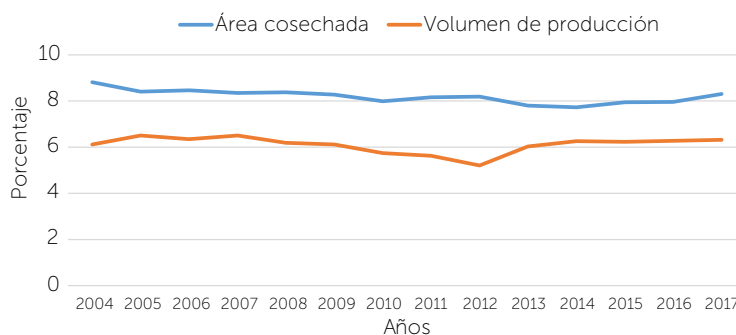


Figura 1. Participación del mercado mexicano en el mercado mundial de naranja.

ambas superficies disminuyeron de 2004 a 2018. Esto contradice a la tasa de crecimiento de 1980 a 2014 en la cual se estableció que la superficie sembrada y cosechada de naranja habían crecido 99.1% y 98.6%, respectivamente (Caamal et al., 2016). El análisis de un periodo más corto reveló la tendencia actual que ha tenido el cultivo de naranja en México (Cuadro 1).

El volumen de producción presentó una tasa de variación positiva de 19.13%, atribuible al alza en el rendimiento promedio por hectárea en la naranja, en este caso, el resultado concuerda con la tendencia creciente del análisis del rendimiento de la naranja de 1980 a 2014 en el cual se calculó una tasa de crecimiento de 30.9% (Caamal et al., 2016). Además, el precio medio rural tuvo una tasa de variación de 174.06% en el lapso estudiado, por lo que, el valor de la producción fue más del triple en 2018 en comparación con el de 2004 (Cuadro 1).

A partir de 2014, la balanza comercial de la naranja en México ha presentado saldo positivo, tanto en volumen como en valor. En 2011 se presentó un saldo negativo en el volumen de dicha balanza, pero se tuvo un saldo positivo en el valor de ésta, es decir, se importaron más toneladas de naranja que las exportadas, pero a un costo menor; en 2013 ocurrió lo contrario, es decir, se exportaron más toneladas de naranja que las importadas, pero a un precio menor que el de importación y, por tanto, se tuvo un déficit en el saldo comercial de naranja de dicho año, en términos de valor (Figura 2).

El mercado interno ha consumido, prácticamente, toda la producción de naranja en México; básicamente el mercado exterior ha servido como regulador del exceso y déficit de la producción de dicho cítrico. Se observa que el consumo aparente de naranja, en el periodo de análisis, oscila alrededor del 100% del volumen de la producción (Figura

Cuadro 1. Valor inicial y final de las variables de producción de naranja en México.

Año	SS (ha)	SC (ha)	R (t/ha)	P (t)	PMR (\$)	VP (miles de \$)
2004	348,558.26	335,111.65	11.87	3,977,175.63	784.48	3,120,027.03
2018	339,759.43	326,689.01	14.50	4,737,990.26	2,149.95	10,186,462.15
r (%)	-2.52	-2.51	22.16	19.13	174.06	226.49

Fuente: elaborado con datos de SIACON.

SS=superficie sembrada, SC=superficie cosechada, R=rendimiento, P=volumen de la producción, PMR=precio medio rural, VP=valor de la producción y r=tasa de variación de las variables de 2004 a 2018.

3). El consumo aparente *per capita* de este cítrico en el mercado mexicano ha sido mayor a los 35 kg por persona, generalmente; los resultados concuerdan con los 37 kg de consumo anual *per capita* de naranja en 2017 (SAGARPA, 2018).

En 2017, el precio medio rural que obtuvo el productor por cada tonelada de naranja fue de 1,862.24 pesos (SIAP, 2020). El valor de las exportaciones de esta fruta fue de 30,241,870 dólares y el volumen de las exportaciones fue de 75,535.48 toneladas (SIAVI, 2020); por tanto, el precio de exportación fue de 400.37 dólares por tonelada. El tipo de cambio estimado para ese año fue de 18.93 pesos por dólar (Banxico, 2020), por tanto, el precio de exportación fue de 7,578.58 pesos por tonelada.

El margen de comercialización productor-exportador en 2017 fue de 24.57%, es decir, la participación del productor en el precio de exportación fue de apenas una cuarta parte de éste. Dicho dato concuerda con el promedio de los márgenes de comercialización del mercado nacional de la naranja, el cual fue de 26.92% (SIAP, 2017). Además, coincide con el 22.5% de participación del productor en el precio de la naranja (SAGARPA, 2003), lo cual implica que el productor ha mantenido una baja participación en el precio de comercialización de la naranja.

El principal socio comercial de naranja del mercado mexicano ha sido EUA, en 2018 el mercado de dicho país consumió el 91.33% de las exportaciones mexicanas de dicha fruta y proveyó el 100% de las importaciones. Otros países que demandaron este cítrico fueron Japón con 1.54 miles de toneladas (5.50%), Reino Unido con 497,150 toneladas (1.77%), Argentina con 217,220 toneladas (0.78%), Países Bajos con 106,400 toneladas (0.38%), Canadá con 33,329 toneladas (0.12%), entre otros (SIAVI, 2020).

En 2018, el IVCR de México con respecto a los EUA fue de 0.33, lo cual implica que la actividad productiva de naranja en el país presenta una ventaja competitiva en términos del valor del intercambio comercial con respecto

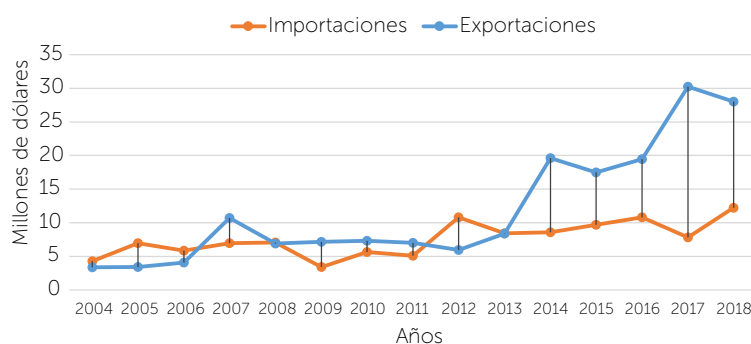


Figura 2. Valor de la balanza comercial de la naranja en México.

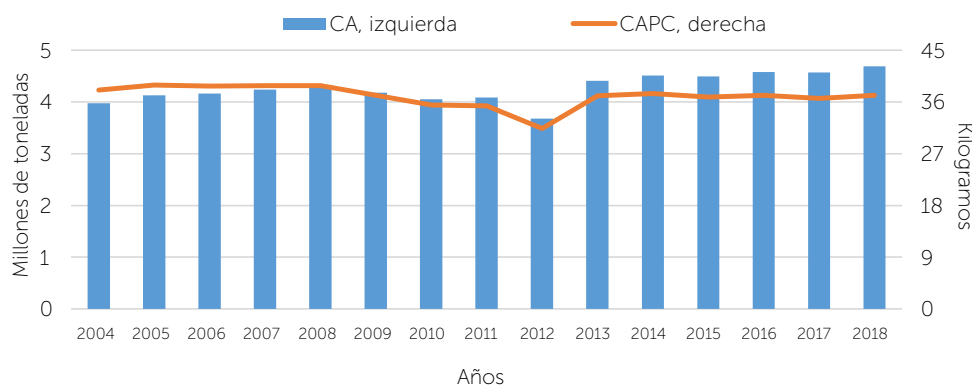


Figura 3. Consumo aparente nacional (CA) y per capita (CAPC) de naranja en México.

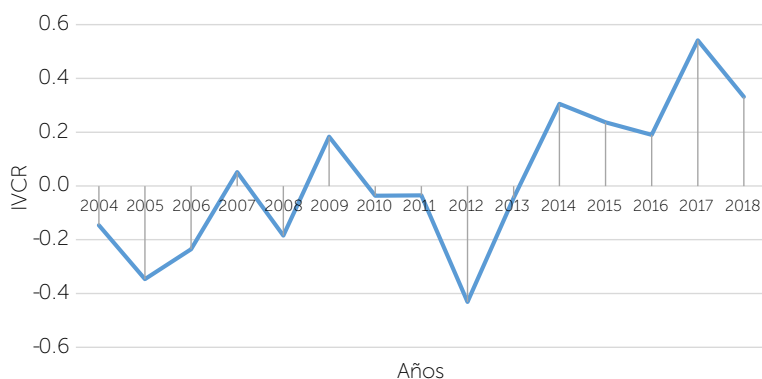


Figura 4. Índice de Ventaja Comparativa Revelada (IVCR) de la naranja de México con respecto a los Estados Unidos de América.

a los EUA. A partir de 2014 este índice se ha mantenido positivo (Figura 4). Además, el jugo de naranja resultó ser positivo en el análisis del índice de ventaja comparativa revelada normalizada en la mayoría de los años de 1994 a 2009 (García et al., 2012). Por lo que, el mercado mexicano presenta gran potencial de expansión, tanto en la naranja en fresco, como en la procesada.

CONCLUSIONES

La naranja es el cítrico con mayor volumen de producción en México; sin embargo, los productores no son los

principales beneficiarios del valor del comercio nacional e internacional de este fruto puesto que su participación en el precio de exportación y en el precio al consumidor final es de apenas una cuarta parte de éstos. La tendencia es al alza en cuanto al volumen de producción de dicho cítrico.

El mercado mexicano presenta una ventaja competitiva en el mercado internacional de la naranja, el IVCR es positivo con respecto a los EUA, sin embargo, el volumen del comercio internacional de este producto en fresco es muy bajo en comparación con el volumen de producción nacional.

LITERATURA CITADA

- Balassa, B. (1965). Trade Liberalisation and "Revealed" Comparative Advantage. *The Manchester School*, 33(2), 99-123.
- BANXICO. (2020). Mercado cambiario (tipos de cambio). Banco de México. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en <http://www.anterior.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/>
- BM (2020). Países y economías. Población de México. Base de datos del Banco Mundial. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en <https://datos.bancomundial.org/pais/mexico?view=chart>
- Caamal, C. I., Jerónimo, A. F. & Pat, F. V. G. (2016). Análisis de las variables económicas de la producción de naranja en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional de Investigación y Servicio. Territorio, sociedad, desarrollo y ambiente. Enfoque interdisciplinario, 1, 153-162.
- CEPAL. (2008). Indicadores de comercio exterior y política comercial: mediciones de posición y dinamismo comercial. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas.
- FAO. (2004). Perspectivas a Plazo Medio de los Productos Básicos Agrícolas. Proyecciones al año 2010. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s00.htm#Contents>
- FAO. (1998). Guía para el cálculo de los costos de comercialización. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Red de información sobre operaciones en poscosecha (INPhO). Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en <http://www.fao.org/docrep/u8770s/u8770s00.htm#Contents>
- FAOSTAT. (2020). Crops. Database of the Food and Agricultural Organization of the United Nations. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- García, F., Martínez, F., Díaz, H., & Molina, M. (2012). Evolución de la ventaja comparativa revelada normalizada en productos agropecuarios mexicanos. *Revista Estudiantil de Economía*, IV(2), 75-88.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. P. (2010). Metodología de la investigación. Quinta edición. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. de C. V.
- Miranda, M. J. J. (2005). Gestión de proyectos: evaluación financiera económica social ambiental. Quinta edición. Bogotá, Colombia: MM editores.
- Pérez, R., Caso, C., Río, M. J., & López, A. J. (2010). Introducción a la Estadística Económica. Oviedo: Departamento de Economía Aplicada, Campus del Cristo. Universidad de Oviedo. España.
- Ramírez-Padrón, L.C., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V.G., & Martínez-Luis, D. (2018). Ventaja comparativa revelada de la fresa (*Fragaria* spp.) mexicana en los mercados importadores. *Agroproductividad*, 11(1), 105-110.
- Rivera, L. S., & Gutiérrez, H. M. (2019). Análisis de la producción y competitividad del garbanzo (*Cicer arietinum*) de México. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, Junio, disponible en línea en <https://www.eumed.net/rev/cccss/2019/06/produccion-competitividad-garbanzo.html>
- SAGARPA. (2018). Atlas agroalimentario 2012-2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- SAGARPA. (2003). Márgenes de Comercialización de Productos Agropecuarios y Pesqueros Seleccionados. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en http://www.campomexicano.gob.mx/porta_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/MargenesComercio/Cuadro32.pdf
- SIACON. (2020). Producción Agrícola. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea para descarga en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SIAP. (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2017). Márgenes de comercialización de frutas y hortalizas. Documentos mensuales. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- SIAVI. (2020). Estadísticas anuales. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Consultado el 24 de enero de 2020, disponible en línea en <http://www.economia-snci.gob.mx/>

Growth of plants of *Cedrela odorata* L., *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson, and *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. with synthetic and bio-based fertilization

Crecimiento de plantas de *Cedrela odorata* L., *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. con fertilización sintética y biológica

Vázquez-Luna, Dinora^{1,2}, Mora-Olivera, Amairani¹, Cuevas-Díaz, María del Carmen^{2,3}, Retureta-Aponte, Alejandro¹, Ávila-Bello, Carlos Héctor^{1,2}, Hernández-Romero, Ángel Héctor^{1,2}, Lara-Rodríguez, Daniel Alejandro^{1,2*}

¹Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria, Universidad Veracruzana, Aca-yucan, Veracruz, México, C. P. 96100. ²Centro de Estudios Interdisciplinarios en Agrobiodiversidad, Universidad Veracruzana, Aca-yucan, Veracruz, México, C. P. 96100. ³Facultad de Ciencias Químicas campus Coatzacoalcos, Universidad Veracruzana. Coatzacoalcos, Veracruz, México. C. P. 96538.

*Autor para correspondencia: dlara@uv.mx

ABSTRACT

Objective: The objective was to assess the growth and accumulation of biomass in seedlings of three forest species (*Cedrela odorata*, *Tabebuia chrysantha* and *T. rosea*), under bio-based and synthetic fertilization, as well as their effect on the rhizosphere.

Design/methodology/approach: A completely randomized design with four replications was established and three treatments were evaluated for each forest species: T1, mycorrhizae based biofertilizer; T2, biofertilizer based on *Azospirillum* sp.; T3, synthetic slow release fertilizer, using from week one to four the commercial Starter[®] formula 10-15-5, applying 50 ppm/plant; while from week 10 to 12, 100 ppm/plant of Nitro[®] 30-0-0 were used, with their corresponding control. The growth variable was measured by height in a ten-day interval and the biomass accumulated at 12 weeks was estimated. Finally, rhizospheric soil samples were taken from each treatment, by species and free-living nitrogen fixing bacteria (FLNB) in Congo red agar.

Results: The biofertilizer based on *Azospirillum* sp. improved plant growth and microbiological quality of the rhizospheric soil of *Cedrela odorata* and *Tabebuia rosea*; while with *T. chrysantha*, no statistical differences were found between the different types of fertilization. FLNB growth was favored by biofertilizers.

Limitations on study/implications: The study lasted only three months, so it is suggested to analyze long-term variables, as well as their response in the field.

Findings/conclusions: Biofertilization can be an alternative for the growth of commercial forest species such as *Cedrela odorata* and *Tabebuia rosea*.

Keywords: Cedar, biotechnology, sustainable development, rhizosphere, biomass.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo fue evaluar el crecimiento y la acumulación de biomasa en plántulas de tres especies forestales (*Cedrela odorata*, *Tabebuia chrysantha* y *T. rosea*), utilizando fertilizantes sintéticos y basados en microorganismos, así como su efecto en la rizósfera.



Diseño/metodología/enfoque: Se estableció un diseño completamente al azar con cuatro réplicas, con tres tratamientos y un testigo en plántulas de tres especies forestales: T1, biofertilizante con micorrizas; T2, biofertilizante a base de *Azospirillum* sp.; T3, fertilizante de liberación lenta, usando de la semana uno a la cuatro la fórmula comercial de Arranque® 10-15-5, aplicando 50 ppm/planta; mientras que la semana 10 a la 12, se utilizaron 100 ppm/planta de Nitro® 30-0-0, con sus correspondientes testigos. Se midió la altura de planta cada diez días y se estimó la biomasa acumulada a las 12 semanas. Al finalizar se tomaron muestras de suelo rizosférico de cada tratamiento, por especie y se cultivaron Bacterias Fijadoras de Nitrógeno de Vida Libre (BFNVL) en agar rojo Congo.

Resultados: El biofertilizante con *Azospirillum* sp. fue el tratamiento que mejoró el crecimiento de las plántulas y la calidad microbiológica del suelo rizosférico de *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea*; mientras que con *T. chrysantha*, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tipos de fertilización. El crecimiento de BFNVL fue favorecido por los biofertilizantes.

Limitaciones del estudio/implicaciones: El estudio duró tres meses, por ello se sugiere analizar estas variables a largo plazo y su respuesta en campo.

Hallazgos/conclusiones: La biofertilización puede ser una alternativa para el crecimiento de especies forestales comerciales como *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea*.

Palabras clave: Cedro, biotecnología, desarrollo sustentable, rizosfera, biomasa.

factores, las convierten en el grupo más promisorio de diazotófos asociados con gramíneas y otras plantas no leguminosas (Parra y Cuevas, 2002). Otros de los elementos que frecuentemente se pueden encontrar en algunos biofertilizantes son las micorrizas, variedad de hongos simbioses que viven dentro de los órganos de absorción sanos (raíces, rizomas o talos) de las plantas terrestres, acuáticas o epífitas (Spagnoletti *et al.*, 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento y la acumulación de biomasa en plántulas de *Cedrela odorata*, *Tabebuia chrysantha* y *T. rosea*, sometidas a fertilización con biofertilizantes y fertilizantes sintéticos, es importante destacar que *C. odorata* se encuentra registrada como vulnerable y *T. chrysantha* como amenazada, de acuerdo con la norma ecológica (SEMARNAT, 2010). Por otro lado, se evaluó el efecto rizosférico de los tratamientos, mediante el crecimiento de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en dos fases, en la primera se montaron los bioensayos en ambientes controlados con plántulas de *Cedrela odorata*, *Tabebuia chrysantha*, *T. rosea*, para ello se estableció un diseño complementamente al azar con cuatro réplicas y se evaluaron tres tratamientos y un testigo para cada especie: T1, biofertilizante con micorrizas; T2, biofertilizante a base de *Azospirillum* sp.; T3, fertilizante de lenta liberación, usando desde la siembra la fórmula comercial de Arranque® 10-15-5, aplicando 50 ppm/planta; mientras que de la semana 10 a la 12, se utilizaron 100 ppm/planta de Nitro® 30-0-0. La

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de los fertilizantes sintéticos data de 1915, en la década de los 40 surgió en México, con apoyo de la Fundación Rockefeller, la llamada Revolución Verde (Picado, 2008). En los años 70, con los inicios del movimiento agroecológico, se pensó en contrarrestar la contaminación de suelos, plantas y mantos freáticos, provocada por el uso de productos derivados sobre todo de energía fósil (Bucay, 2001), con el uso de biofertilizantes, productos elaborados con base en microorganismos como bacterias, hongos o algas marinas, que han demostrado su efectividad en la relación planta-suelo a corto plazo y con beneficios prolongados (Richards, 1987). Cabe mencionar que los biofertilizantes son productos compuestos por microorganismos que permiten la interacción entre suelo y planta, mejorando la absorción de los nutrimentos (Bojórquez *et al.*, 2010).

Algunas de las alternativas diseñadas en las últimas décadas se basan en el uso de bacterias del género *Azospirillum* debido a sus funciones como promotoras del crecimiento, además de inducir resistencia a agentes patógenos y promover la fijación de nitrógeno, inhibe la proliferación de plantas parásitas y produce hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, lo que permite un mayor desarrollo. La habilidad que tienen estas bacterias de colonizar el interior de las plantas y ocupar nichos protegidos del oxígeno y otros

inoculación del suelo con *Azospirillum* spp. y las micorizas se realizaron desde el inicio del experimento con sus correspondientes testigos. Se midió la altura de planta cada diez días y se estimó la biomasa acumulada de tallo, hojas y raíz a las 12 semanas que duró el experimento. Al finalizar se tomaron muestras de suelo rizosférico de cada tratamiento, por especie y se cultivaron las Baterías Fijadoras de Nitrogeno de Vida Libre (BFNVL) en agar rojo Congo.

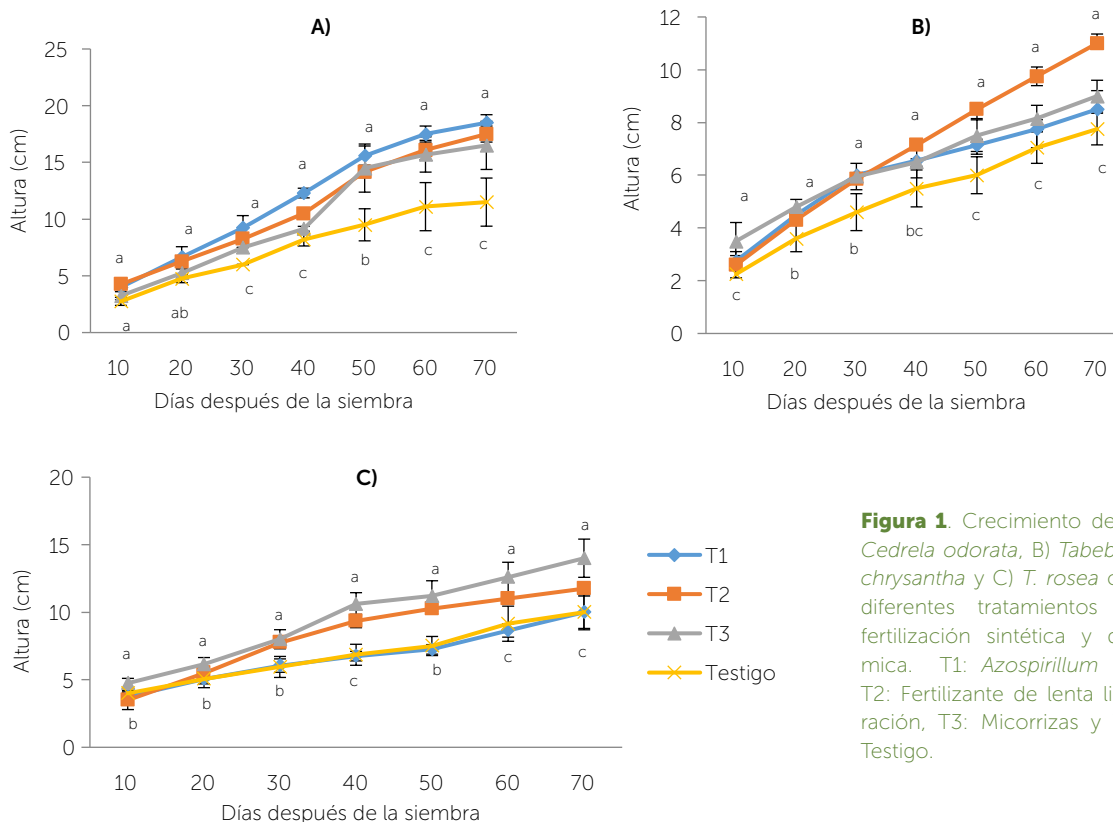
El biofertilizante se obtuvo mediante extracción y purificación de *Azospirillum* spp. del mismo suelo usado en el experimento, mediante el procedimiento reportado por Córdova-Bautista et al. (2009) utilizando el medio de cultivo rojo Congo Döbereiner para *Azospirillum* spp. Para el biofertilizante elaborado con micorizas, las esporas se extrajeron del mismo suelo, usando el método de tamizado húmedo y centrifugación en agua a 2,000 rpm durante tres minutos y en sacarosa (45%) a 1,500 rpm durante dos minutos (Gerdemann y Nicolson, 1963). El recuento se realizó con la ayuda de un microscopio estereoscópico (40x), por lo que se aplicaron 20 mL de una solución de agua destilada estéril con 200 esporas/mL; mientras que para el biofertilizante con *Azospirillum* spp. se aplicaron 20 mL/planta de una solución de agua destilada estéril con 9.8×10^{-5} UFC/mL.

En la segunda fase, los datos se analizaron mediante un ANOVA utilizando el procedimiento PROC GLM y la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$), con el software SAS (2006) versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En *Cedrela odorata* no hubo diferencias estadísticas en la altura de plantas tratadas con los tres métodos de fertilización; pero sí entre éstos y el testigo a partir del día 20 después de la siembra (Figura 1A). Para *Tabebuia chrysantha* el mejor método fue la aplicación del fertilizante de liberación lenta, el cual mostró diferencias desde los 10 días después de la siembra (Figura 1B), y para *T. rosea* fue la aplicación de micorizas (Figura 1C), los cuales superaron de manera significativa a los tratamientos testigo y *Azospirillum* sp. desde los 10 días después de la aplicación de los tratamientos.

En *C. odorata* los tratamientos evaluados no tuvieron efectos significativos en la biomasa de hojas. En tallos, el tratamiento *Azospirillum* sp. superó en 70.8% la biomasa registrada en el testigo; sin embargo, no mostró diferencias estadísticas con el resto de tratamientos de fertilización. El tratamiento *Azospirillum* sp. tuvo mayor biomasa seca de raíces que el resto de tratamiento y el testigo (Figura 2A). En *T. chrysantha*, el tratamiento *Azospirillum*



sp. tuvo mayor biomasa seca de raíces que el testigo. En esta especie no se observaron efectos de los tratamientos en las biomásas de tallos y hojas. (Figura 2B). En *T. rosea* no se observaron diferencias significativas de tratamientos en las biomásas (Figura 2C).

En *C. odorata* y *T. rosea*, la cantidad de bacterias benéficas (BFNVL) fue significativamente incrementada con el tratamiento *Azospirillum* sp., en comparación con el resto de tratamientos de fertilización y el testigo como se observa en las Figuras 3A y 3C. Asimismo, el fertilizante sintético y las micorrizas no mostraron diferencias entre sí, pero sí superaron al testigo. Por otra parte, en *T. chrysantha*, los tres tratamientos de fertilización tuvieron una cantidad superior de BFNVL que el testigo (Figura 3C).

El biofertilizante basado en *Azospirillum* fue el mejor tratamiendo para *C. odorata* y *T. rosea*, debido a que esta bacteria promueve el crecimiento vegetal (Owen et al., 2015). En *C. odorata* se registró una altura superior en 40% con la combinación de *Rhizophagus intraradices* + *Azospirillum brasilense* + fertilización 15N-15P-15K respecto a la altura de las plantas del testigo (Aguirre-Medina et al., 2014). Además, también se ha encontrado que la inoculación con micorrizas produce altos niveles de micorrización en las raíces de *C. odorata* hasta el sexto mes, por lo que es necesario esperar más tiempo para ver resultados en la tasa de crecimiento (Oros-Ortega et al., 2015); aunque la mico-

rización debe hacerse con cepas nativas, debido a que están más adaptadas.

En *C. odorata* se han mostrado excelentes resultados con *Claroideoglopus etunicatum* y *Acaulospora colombiana*, beneficiando el crecimiento y la absorción de nutrimentos (Silva et al., 2017). Por otra parte, las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son las que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las dificultades que se pueden percibir en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil (Cruz et al., 2004); sin embargo, se deben considerar las diversas condiciones agroecológicas y la diversidad de los pequeños agricultores para identificar las soluciones más adecuadas, pues los biofertilizantes pueden ser incorporados como una alternativa para contribuir al mejoramiento de los agroecosistemas (Vanlauwe et al., 2019).

En el caso de *T. chrysantha* se ha encontrado asociado a micorrizas de los géneros *Acaulosporaceae*, *Archaeosporales* y *Gigasporaceae* (Haug et al., 2010), es una especie muy selectiva, lo que pudiera explicar la falta de respuesta ante la inoculación en el presente estudio. Asimismo, también se han encontrado asociaciones selectivas con *Ascomycota* (98%); mientras que *Basidiomycota* (0.9%) y *Glomeromycota* (0.01%) las asociaciones son poco comunes (Llacsá et al., 2019).

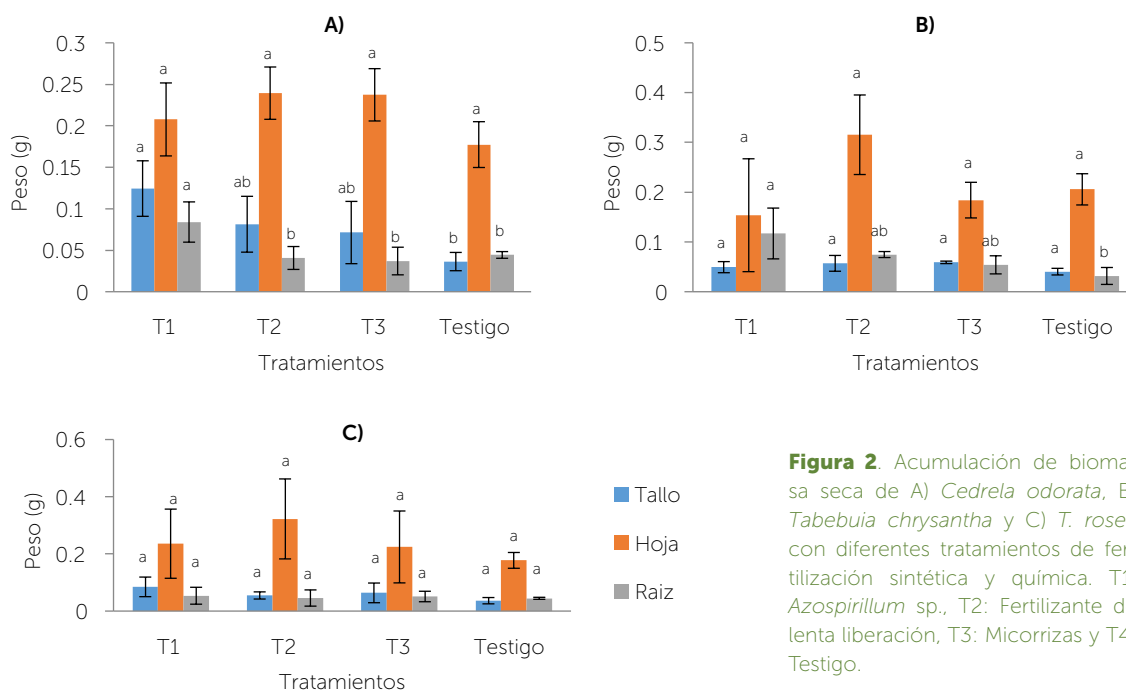


Figura 2. Acumulación de biomasa seca de A) *Cedrela odorata*, B) *Tabebuia chrysantha* y C) *T. rosea* con diferentes tratamientos de fertilización sintética y química. T1: *Azospirillum* sp., T2: Fertilizante de lenta liberación, T3: Micorrizas y T4: Testigo.

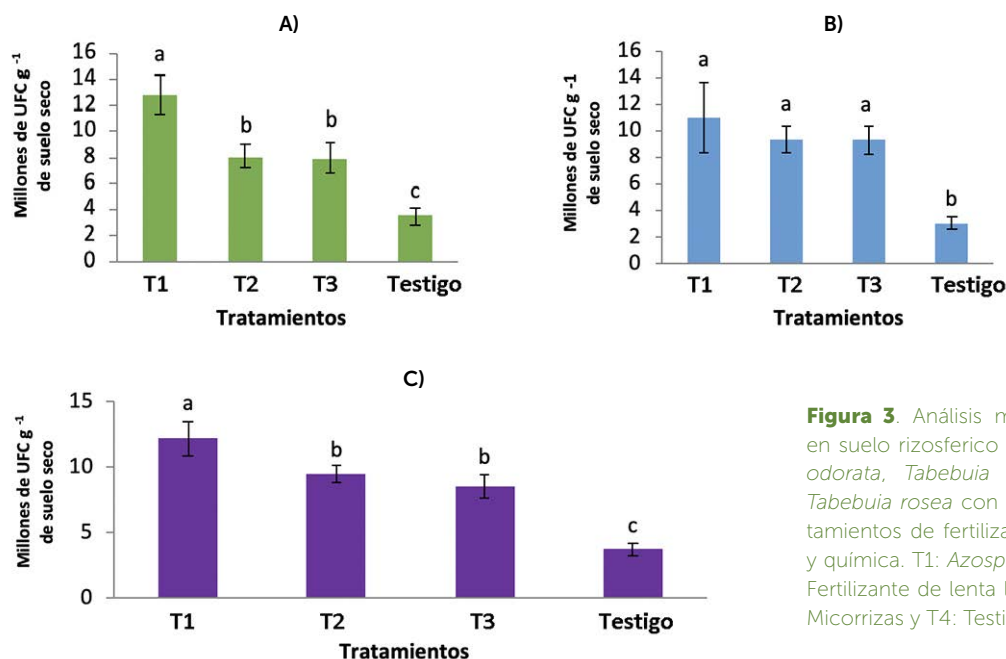


Figura 3. Análisis microbiológico en suelo rizosférico de A) *Cedrela odorata*, *Tabebuia chrysantha* y *Tabebuia rosea* con diferentes tratamientos de fertilización sintética y química. T1: *Azospirillum* sp., T2: Fertilizante de lenta liberación, T3: Micorrizas y T4: Testigo.

CONCLUSIONES

La biofertilización puede ser una alternativa para el desarrollo de especies forestales comerciales como *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea*, mejorando el crecimiento de las plantas y la calidad microbiológica del suelo rizosférico, donde las BFNVL son también favorecidas. En el caso de *Tabebuia chrysantha* es necesario explorar micorrizas nativas en el área de distribución de las especies estudiadas.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Medina, J. F., Mina-Briones, F. O., Cadena-Iñiguez, J., Dardón-Zunun, J. D., & Hernández-Sedas, D. A. (2014). Crecimiento de *Cedrela odorata* L. biofertilizada con *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20, 177-183.
- Bojórquez, A. D. A., Gutiérrez, C. G., Báez, J. R. C., Sánchez, M. Á. A., Montoya, L. G., & Pérez, E. N. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible*, 6, 51-56.
- Bucay, B. (2001). Apuntes de historia de la química industrial en México. *Revista de la Sociedad Química de México*, 45, 136-142.
- Córdova-Bautista, Y., Rivera-Cruz, M. C., Ferrera-Cerrato, R., Obrador-Olán, J., & Córdova-Ávalos, V. (2009). Detección de bacterias benéficas en suelo con banano (*Musa AAA Simmonds*) cultivar 'gran enano' y su potencial para integrar un biofertilizante. *Universidad y Ciencia*, 25, 253-265.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas*, 13, 90-97.
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 235-244.
- Haug, I., Wubet, T., Weiss, M., Aguirre, N., Weber, M., Guenter, S., & Kottke, I. (2010). Species-rich but distinct arbuscular mycorrhizal

communities in reforestation plots on degraded pastures and in neighboring pristine tropical mountain rain forest. *Tropical Ecology*, 51(2), 125-148.

- Llaca, L. X., Solís-Castro, R. L., Mialhe, E., & García-Seminario, R. (2019). Metagenomic Analysis of the Bacterial and Fungal Community Associated to the Rhizosphere of *Tabebuia chrysantha* and *T. billbergii*. *Current Microbiology*, 76, 1073-1080.
- Oros-Ortega, I., Alonso-López, A., Pérez-Moreno, J., López-Collado, J. C., Lara-Pérez, L. A., Martínez-Garza, S. E., Solís-Ramos, L. Y., & Andrade-Torres, A. (2015). Respuesta de plántulas de *Cedrela odorata* a la inoculación con *Rhizophagus intraradices* y diferentes niveles de defoliación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 627-635.
- Owen, D., Williams, A. P., Griffith, G. W., & Withers, P. J. A. (2015). Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. *Applied Soil Ecology*, 86, 41-54.
- Parra, Y., & Cuevas, F. (2002). Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 23, 31-41.
- Picado, W. (2008). Ciencia y geopolítica en los orígenes de la Revolución Verde. *Revista de Ciencias Ambientales*, 36(2), 46-56.
- Richards, B. N. (1987). The microbiology of terrestrial ecosystems. *Forest Science*, 34, 250-251.
- SEMARNAT. (2010). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación. SEMARNAT.
- Silva, E. P. d., Ferreira, P. A. A., Furtini-Neto, A. E., & Soares, C. R. F. S. (2017). Micorrizas arbusculares e fósforo no desenvolvimento de mudas de Cedro-Australiano. *Ciência Florestal*, 27, 1269-1281.
- Spagnoletti, F. N., di Pardo, A. F., Tobar Gómez, N. E., & Chiochio, V. M. (2013). Las micorrizas arbusculares y *Rhizobium*: una simbiosis dual de interés. *Revista Argentina de Microbiología*, 45, 131-132.
- Vanlauwe, B., Hungria, M., Kanampiu, F., & Giller, K. E. (2019). The role of legumes in the sustainable intensification of African smallholder agriculture: Lessons learnt and challenges for the future. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 284, 106583.

Yields and chemical composition of biomass, seed and oil of ecotypes of *Moringa oleifera* Lamarck introduced in Sinaloa, Mexico

Rendimientos y composición química de biomasa, semilla y aceite de ecotipos de *Moringa oleifera* Lamarck introducidos en Sinaloa, México

Pérez-Ángel, Raymundo¹; Pérez-Tamayo, Nancy M.²; Castro-Martínez, Claudia³; Contreras-Andrade, Ignacio^{1*}

¹Universidad Autónoma de Sinaloa. Programa Regional de Posgrado en Biotecnología/Facultad de Ciencias Químico Biológicas. ²Extractos Herbolarios Sinaloenses, S. C. de R. L. de C. V. ³Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Sinaloa.

*Autor para correspondencia: ica@uas.edu.mx

ABSTRACT

Objectives: To select, among the ecotypes of *Moringa oleifera* introduced to Sinaloa, the most suitable for biomass, seed and oil production, and chemically characterize them.

Design/methodology/approach: An orchard was established with 48 trees of 6 ecotypes of *M. oleifera* distributed randomly. At 16 months of age, the agronomic yields of stems, leaves, and seeds, the proximal composition of each fraction, the lignocellulosic profile of stems and the fatty acid content of the seed oil were determined.

Results: Significant differences were found between ecotypes for all parameters, highlighting "Sinaloa" who produced the highest amount of seed, and "Mojolo" the highest yields of stems and leaves. The proximal analysis showed the highest lipid content in seed (48.2%) and oleic acid in the oil of the "Elota" ecotype. The profile of the lignocellulose components of stems indicated that "Sonora", "Elota" and "Sinaloa" have the highest proportion of holocellulose. "Sinaloa" obtained the highest yields per hectare of seed and oil, while, from the leaf, the "Mojolo" ecotype achieved the highest productivity per hectare of proteins, lipids, and carbohydrates.

Limitations /implications: This study is only comparative and includes 16 months in non-intensive cultivation.

Findings/conclusions: "Mojolo" ecotype was the best for biomass production, and "Sinaloa" for seed and oil. The "Elota" ecotype presented the highest percentages of oil in the seed. Cross-experimentation between them is suggested to look for genetic improvements.

Key words: *Moringa oleifera*, varieties, agronomic yields, chemical composition, fatty acids.

RESUMEN

Objetivos: Seleccionar entre ecotipos de *Moringa oleifera* introducidos al estado de Sinaloa, a los más aptos para la producción de biomasa, semilla y aceite, y caracterizarlos químicamente.

Diseño/metodología/aproximación: Se estableció un huerto con 48 árboles de 6 ecotipos de *M. oleifera* distribuidos al azar. A los 16 meses de edad se determinaron los rendimientos agronómicos de tallos, hojas y semillas, la composición proximal de cada fracción, el perfil lignocelulósico de tallos y el contenido de ácidos grasos del aceite de la semilla.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 21-28.

Recibido: enero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Resultados: Se observaron diferencias significativas entre ecotipos para todos los parámetros, encontrándose que "Sinaloa" produjo la mayor cantidad de semilla y "Mojolo" los mayores rendimientos de tallos y hojas. El análisis proximal mostró la mayor concentración de lípidos en semilla (48.2%) y de ácido oleico en el aceite del ecotipo "Elota". El perfil de los componentes de la lignocelulosa de tallos indicó que "Sonora", "Elota" y "Sinaloa" tienen la mayor proporción de holocelulosa. "Sinaloa" obtuvo los más altos rendimientos por hectárea de semilla y aceite, mientras que, de la hoja, el ecotipo "Mojolo" logró la más alta productividad por hectárea de proteínas, lípidos y carbohidratos.

Limitaciones/implicaciones: Este estudio sólo es comparativo y comprende 16 meses en cultivo no intensivo.

Hallazgos/conclusiones: El ecotipo "Mojolo" fue el mejor para la producción de biomasa y "Sinaloa" para semilla y aceite. El ecotipo "Elota" presentó los mayores porcentajes de aceite en la semilla. Se sugiere la experimentación con cruces entre ellos para buscar mejoras genéticas.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, variedades, rendimientos agronómicos, composición química, ácidos grasos.

INTRODUCCIÓN

Moringa oleifera es un árbol originario del sur del Himalaya que se encuentra actualmente distribuido en la mayoría de los países tropicales y subtropicales del mundo, siendo la especie más ampliamente cultivada de la familia Moringaceae. Es una planta que durante siglos ha sido aprovechada por sus usos alimenticios y medicinales, especialmente en la India, Pakistán, Filipinas y algunos países de África. Tiene la ventaja de crecer aceleradamente produciendo altos rendimientos de biomasa, tolera factores de estrés como la sequía, altas temperaturas, suelos pobres y salobres (Nouman *et al.*, 2012). Durante siglos el aceite de moringa o "Ben" fue utilizado como combustible y lubricante, hasta que fue prácticamente olvidado a raíz del uso generalizado de los combustibles fósiles. En las últimas décadas, debido al creciente interés en los bioenergéticos, se han intensificado los estudios sobre el cultivo de plantas pro-

ductoras de aceite para su transformación en biodiesel y la conversión de residuos lignocelulósicos de cultivos agrícolas y forestales en bioetanol, mediante el proceso conocido como de "segunda generación" (Chen, 2014).

El aceite de la semilla de moringa por sus características se considera una alternativa viable para la producción de biodiesel (Azad *et al.*, 2015). La productividad de semilla de *M. oleifera* es muy variable, dependiendo de las condiciones agroclimáticas (Leone *et al.*, 2016). En diferentes regiones en Nigeria, Ndubuaku *et al.* (2014) reportan rendimientos de semilla entre 6.7 y 24.0 t ha⁻¹. Asimismo, en función de la variedad genética y condiciones agroclimáticas, el rendimiento y cualidades de la semilla y su aceite pueden también variar (Leone *et al.*, 2016). Del total de ácidos grasos presentes en el aceite de moringa, alrededor 65 al 75% es oleico, el 9% behénico, 9% palmítico y 7% esteárico. El alto contenido de ácido oleico y tocoferoles, le confieren al aceite de moringa una alta estabilidad a la oxidación por lo que es atractivo para la producción de biodiesel y refinados farmacéuticos (Raman *et al.*, 2017). Asimismo, las proteínas en la pasta desgrasada suman alrededor de un 60%, pudiéndose usar en alimentos para humanos y animales (Ogunsina *et al.*, 2010). Por otro lado, el residuo lignocelulósico del árbol de moringa comprende alrededor de un 70% de la biomasa. Ensayos en Nicaragua, con 1 millón de plantas ha⁻¹ produjeron más de 500 t ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa, la que mediante el uso de un proceso de segunda generación tiene el potencial para producir hasta 20,000 litros de bioetanol, además de proteínas y ligninas como coproductos (Foidl *et al.*, 2001). En Sinaloa, una región semiárida de México, se han introducido accesiones de distintos orígenes, sin embargo, a excepción del ecotipo "Culiacán", no se tiene información sobre su productividad (Pérez-Ángel, 2011). El objetivo del presente trabajo fue seleccionar ecotipos de *M. oleifera* de alta productividad de semilla y biomasa lignocelulósica y describir sus características químicas, para su posible beneficio agroindustrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se realizó entre el 8 de marzo de 2015 y el 30 de junio de 2016. Se localizó en el Valle de Culiacán, en las coordenadas 24° 59' 06" y 107° 22' 44" y 97 m sobre el nivel del mar. La precipitación para el periodo fue de 408 mm, concentrada en los meses de julio a septiembre. La temperatura máxima del periodo fue 41 °C y la mínima de 7 °C. Se utilizaron semillas de seis lugares de origen, nombrados "Culiacán", "Elota",

“Guerrero”, “Mojolo”, “Sinaloa” y “Sonora”. Se plantaron distribuidos al azar en 12 hileras, 48 plántulas de seis semanas de edad de cada ecotipo. La separación de plantación fue de 3×2 m. Se aplicó un riego mensual en temporada seca.

Cuantificación de la biomasa lignocelulósica y semilla

La cosecha de los frutos secos y del material lignocelulósico se realizó 480 días después de la siembra. Para ello se seleccionaron al azar 12 árboles de cada ecotipo. Los tallos y follaje se recogieron cortando el tronco a 30 cm del suelo. Todos los materiales, excepto frutos, se trituraron mecánicamente y se secaron a 60 °C por 48 h. Se determinó la biomasa fresca y seca obtenida de tallos, hojas, frutos y semillas para cada árbol y se guardaron muestras para los análisis químicos.

Análisis proximales

Se emplearon los métodos de la AOAC (2005), el 930.04 para la determinación de humedad, el 930.05 para cenizas, 920.39 para lípidos, 962.09 para fibra cruda; y 960.52 (micro-Kjeldahl) para proteínas utilizando un factor de conversión de 6.25. Los carbohidratos se calcularon como extracto libre de nitrógeno (ELN) restando los valores de cenizas, proteínas, lípidos y fibra cruda de 100%.

Análisis de lignocelulosa de tallos de *Moringa oleifera*

La holocelulosa se cuantificó siguiendo el método ASTM

D-1104 (ASTM, 2010). El contenido de celulosa se midió por el método de Kushner y Höffer, reportado por Crespo et al. (2013). La cuantificación de la lignina se realizó según el procedimiento NREL/TP-510-42618 (Sluiter et al., 2008).

Perfil de ácidos grasos de aceite de semilla

La extracción del aceite y la cuantificación de ácidos grasos se llevó a cabo con asistencia de ultrasonido como lo señalan Soto-León et al. (2014), utilizando en el análisis un cromatógrafo de gases (Agilent 6890N equipado con columna Omega Wax 250, helio como acarreador e inyector automático serie 7683) acoplado a un espectrómetro de masas (Agilent 5973). Las condiciones de operación fueron: volumen de inyección, 1 μ L; flujo, 1 mL min⁻¹, temperatura de columna 50 °C a 270 °C (10 min) rampa de calentamiento 5 °C min⁻¹.

Diseño experimental

El diseño experimental fue totalmente al azar, donde cada árbol representó una unidad experimental. Se analizaron los resultados utilizando el paquete estadístico Minitab 17. Se realizó una prueba comparativa de medias por el método de Tukey ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Componentes de la biomasa aérea a los 16 meses

El Cuadro 1 presenta los componentes del rendimiento de la biomasa y semilla de seis ecotipos de moringa

Cuadro 1. Componentes del rendimiento promedio por árbol de la biomasa para plantas de 16 meses de seis ecotipos de *Moringa oleifera*.

Ecotipos	“Culiacán”	“Elota”	“Guerrero”	“Mojolo”	“Sinaloa”	“Sonora”
Ramas frescas (g)	8493 b	9103 b	8200 b	13857 a	7218 b	8198 b
Ramas secas (g)	2158 ab	1706 b	2110 ab	2571 a	1738 b	1391 b
Ramas secas (%)	66.9 bc	63.3 cd	74.7 a	68.8 b	62.6 d	65.1 cd
Hojas frescas (g)	953 b	918 b	1076 b	1741 a	789 b	629 b
Hojas secas (g)	261 b	248 b	330 b	502 a	209 b	223 b
Hojas secas (%)	9.0 b	9.2 b	11.4 ab	13.4 a	9.0 b	10.9 ab
Frutos secos (g)	831 ab	747 ab	400 b	664 ab	1117 a	501 ab
Frutos secos (%)	24.1 ab	27.5 a	13.9 d	17.8 c	28.4 a	24.0 b
Semillas (g)	266 ab	244 ab	154 b	262 ab	412 a	164 b
Semillas (%)	8.2 bc	9.0 b	5.4 d	7.9 bc	10.5 a	7.9 bc
Rendimiento fruto/semilla (%)	32.0	32.7	38.5	39.5	36.9	32.7
Semillas por fruto	17.6 ab	19.0 a	14.3 c	15.9 bc	19.9 a	19.9 a
Peso semillas/fruto (g)	3.3 c	4.8 b	3.6 c	3.7 bc	6.1 a	5.8 a
Semilla descascarillada (g)	175 ab	170 ab	96 b	196 ab	305 a	112 b
Semilla descascarillada (%)	5.7 bc	7.3 a	3.8 d	4.9 c	7.3 a	5.5 bc
Relación kernel/semilla (%)	65.8	69.7	62.3	74.8	74.0	68.3

Medias entre filas con letras distintas, son estadísticamente diferentes ($p<0.05$).

al momento de la primera cosecha. El ecotipo "Mojolo" tuvo significativamente el mayor rendimiento en peso de tallos y hojas por árbol de todos los ecotipos; mientras que, "Sinaloa" y "Sonora" presentaron los menores. Los tallos aportaron entre 63 a 74% de la biomasa, siendo "Guerrero" el que mayor proporción obtuvo y "Sinaloa" la menor. El ecotipo que presentó el mayor rendimiento de frutos y semillas fue "Sinaloa". A pesar de que los ecotipos "Elota" y "Culiacán" obtuvieron buenos rendimientos de frutos secos, su baja relación semilla/fruto se reflejó en pesos bajos de semilla, debido a la alta proporción de cáscara del fruto. En cambio, el ecotipo "Sinaloa" produjo el mayor porcentaje de frutos y semillas.

Respecto al número de semillas por fruto, "Sinaloa", "Sonora" y "Elota" mostraron claramente los valores más altos. Estos resultados son superiores a los reportados por Ayerza (2012) en Argentina, los cuales tuvieron 16.25 semillas por fruto para PKM-1 y 16.12 para una variedad africana. En cuanto al peso de semillas por fruto, los ecotipos "Sinaloa" y "Sonora" mostraron los mayores rendimientos. Los valores fueron superiores a los reportados por el autor anterior, quien señala 4.03 g de semilla para la variedad PKM-1 y 3.07 para el ecotipo africano. Por su parte, Raja *et al.* (2013), compararon 14 variedades de *M. oleifera* en India, encontrando los mayores rendimientos en los híbridos PKM-1 y PKM-2.

Análisis químico de tallos, hojas y semillas

La concentración de cenizas en tallos fue similar en todos los ecotipos, siendo solo diferente para "Culiacán" y "Guerrero". Estos resultados son similares a los encontrados por Abdulkadir *et al.* (2016) y más bajos a los publicados por Mahmoud (2013) y Pérez *et al.* (2010). Por el contrario, la concentración de lípidos de estos ecotipos fueron los más altos. Pérez *et al.* (2010) reportan porcentajes de grasas similares a los encontrados en este trabajo, mientras que Abdulkadir *et al.* (2016) citan valores mucho mayores (11.8%). La concentración de proteínas fue mayor para "Sonora" y "Sinaloa" y menor en "Guerrero". Los valores encontrados son muy inferiores a los de otros autores (Pérez *et al.*, 2010; Mahmoud, 2013; Abdulkadir *et al.*, 2016), quienes utilizaron ramas de menor edad. Lo anterior concuerda con Shih *et al.* (2011), quienes observaron que el contenido de proteínas de ramas de *M. oleifera* decrece al aumentar la edad de las plantas. El ecotipo "Sonora" tuvo el mayor porcentaje de fibra cruda mientras que "Mojolo" y "Guerrero" el menor. Estos resultados fueron consistentes con lo reportado para variedades de Cuba, Malasia y Egipto (Pérez *et al.*,

2010; Mahmoud, 2013; Abdulkadir *et al.*, 2016). Para los carbohidratos totales, el porcentaje mayor fue obtenido en los ecotipos "Guerrero" (53.30%) y "Mojolo" (52.01%), mientras que el menor lo presentó "Sonora" (46.59%). Estos resultados son superiores a los reportados por otros autores, como se muestra en el Cuadro 2.

"Mojolo" presentó el porcentaje de cenizas más alto en hojas, lo que concuerda con lo reportado por Castillo *et al.* (2018) para Moringa de Sinaloa. Por lo contrario, Olugbemi *et al.* (2010) en Tanzania así como Pérez *et al.* (2010) en Cuba, señalan valores ligeramente superiores. En cuanto a las grasas en hojas, destaca "Mojolo" que promedió 9.17%, "Culiacán" y "Sinaloa" (8.74%). Estos valores son superiores a los de Pérez *et al.* (2010) y de Olugbemi *et al.* (2010), e inferiores a los publicados por Castillo *et al.* (2018). Para la proteína en hojas, no se observaron diferencias entre ecotipos, excepto para "Sonora" que presentó un valor bajo, similar al encontrado por Pérez *et al.* (2010). El resto de las variedades presentaron promedios cercanos a los de Castillo *et al.* (2018) y Olugbemi *et al.* (2010), siendo el ecotipo "Culiacán" el de mayor porcentaje, pero no significativamente diferente de "Elota", "Mojolo" y "Sinaloa". Los valores de fibra cruda están dentro de los rangos reportados por otros autores (Olugbemi *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2018). Por otro lado, el ecotipo "Sonora" presentó el más alto porcentaje de carbohidratos (47.99%) y el menor de proteínas en la hoja. Las variedades con menor porcentaje de carbohidratos fueron "Mojolo" (39.07%) y "Sinaloa" (39.77%), similares a los reportados por otros autores (Olugbemi *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2018). No se encontraron diferencias en la concentración de cenizas para las semillas descascarilladas. Los promedios fueron similares a los reportados por Nzikou *et al.* (2009) para semilla del Congo (Liang *et al.*, 2019), y ligeramente inferiores lo reportado por Anwar y Rashid (2007) y Barakat y Ghazal (2016). Se observaron los más altos porcentajes de lípidos en "Elota" y "Sinaloa" y los más bajos en "Guerrero" y "Sonora", siendo en promedio más altos a los reportados por otros autores. Destaca en el presente trabajo el porcentaje de lípidos de los ecotipos "Elota" y "Sinaloa" (48.23 y 45.22%, respectivamente), que sobrepasan lo reportado por Makkar *et al.* (1997), Ayerza (2012) y Al Juhaimi *et al.* (2017). Por su alto porcentaje de lípidos, los ecotipos "Elota" y "Sinaloa" son interesantes para la producción de biodiesel a partir del aceite. En cuanto a la concentración de proteínas los ecotipos "Culiacán", "Sonora" y "Mojolo" mostraron los valores más altos, semejantes a los reportados por

Cuadro 2. Composición proximal de tallo, hoja, semillas de seis ecotipos de Moringa oleifera.

Componente	"Culiacán"	"Eloia"	"Guerrero"	"Mojojo"	"Sinaloa"	"Sonora"	Referencias
Tallo							
Humedad %	6.13±0.63 ab	6.63±0.67 a	6.00±0.21 bc	5.82±0.21 bc	5.59±0.45 cd	5.16±0.31 d	Pérez et al. (2010)
Cenizas ¹ %	4.54±0.53 b	5.90±0.63 ab	4.68±0.99 b	6.44 ±3.28 a	5.71±0.54 ab	5.08±0.75 ab	Abdulkadir et al. (2016)
Lípidos ¹ %	3.90±0.28 a	3.49±0.91 b	3.95±0.11 a	2.57±0.17 d	3.06±0.05 c	3.01±0.10 c	Mahmoud (2013)
Proteínas ¹ %	5.25±1.10 ab	5.46±0.63 ab	4.59±0.51 b	5.65±0.86 ab	5.79±1.10 a	6.13±1.45 a	5.10
Fibra cruda ¹ %	35.43±0.08 ab	37.32±1.58 a	33.48±1.84 b	33.34±0.30 b	35.33±1.16 ab	39.20±2.18 a	5.50
Carbohidratos (ELN) ¹ %	50.89±1.01 ab	47.84±1.37 bc	53.30±2.02 a	52.01±3.42 a	50.11±1.30 ab	46.59±1.22 c	2.05
Hojas							
Humedad %	8.67±0.43 a	6.94±1.08 b	7.41±0.37 ab	8.22±0.98 ab	7.23±0.52 ab	8.14±1.23 ab	Pérez et al. (2010)
Cenizas ¹ %	8.60±0.17 bc	9.08±0.40 ab	9.17±0.70 ab	9.62±0.60 a	8.97±0.68 ab	7.98±0.59 c	Castillo et al. (2018)
Lípidos ¹ %	8.74±0.30 ab	6.09±0.75 d	8.28±0.20 bc	9.17±1.07 a	8.74±1.07 ab	7.62±0.58 c	6.27
Proteínas ¹ %	29.24±0.50 a	30.36±0.44 a	28.93±0.78 a	29.54±0.76 a	29.87±0.95 a	24.90±0.91 b	9.54
Fibra cruda ¹ %	13.18±0.42 a	12.44±0.58 ab	9.46±0.34 c	12.60±0.71 ab	12.65±0.44 ab	11.52±0.43 b	12.63
Carbohidratos (ELN) ¹ %	40.24±0.85 ab	42.02±2.27 ab	44.16±0.59 bc	39.07±2.66 c	39.77±1.61 c	47.99±1.25 a	28.90
Semillas descascarilladas (kernel)							
Humedad %	4.51±0.05 a	3.85±0.04 c	3.88±0.09 bc	4.20±0.09 ab	3.99±0.21 bc	4.44±0.19 a	Liang et al. (2019)
Cenizas ¹ %	3.78±0.11 ab	3.32±0.07 c	3.34±0.08 c	3.94±0.08 a	3.53±0.20 bc	3.69±0.03 ab	Anwar et al. (2005)
Lípidos ¹ %	42.63±1.17 c	48.23±0.07 a	40.62±0.52 d	41.73±0.80 cd	45.22±0.31 b	40.75±0.50 d	6.78
Proteínas ¹ %	36.95±0.03 a	31.51±0.36 d	32.77±0.08 c	35.18±0.31 b	33.61±0.22 c	36.91±0.75 a	3.50
Fibra cruda ¹ %	14.81±0.16 b	13.63±0.11 c	21.93±0.01 a	6.89±0.29 e	12.26±0.22 d	14.41±0.07 b	39.12
Carbohidratos (ELN) ¹ %	1.83±1.25 c	3.32±0.37 bc	1.35±0.36 c	10.14±0.82 a	5.38±0.20 b	4.23±1.17 b	40.34
Lignocelulosa (libre de extraíbles) ²							
Celulosa	55.87±1.75 a	55.46±0.72 ab	52.12±0.31 c	56.19±0.39 a	54.48±0.82 ab	53.18±0.73 bc	Benitez et al. (2014) ⁴
Hemicelulosa	13.88±0.96 c	22.97±1.56 ab	21.71±2.97 ab	17.88±1.97 bc	21.77±0.14 ab	26.30±1.83 a	Khider (2012) ⁴
Lignina	30.25±1.38 a	21.56±1.16 bc	26.17±2.76 ab	25.92±2.34 ab	23.75±0.95 bc	20.52±1.77 c	Mahmoud (2013) ^{4,5}
Holocelulosa ³	69.75±1.38 b	78.43±1.16 a	73.83±2.76 bc	74.08±2.34 bc	76.24±0.95 ab	79.48±1.77 a	53.85
							18.65
							27.48
							68.50
							65.09
							15.04
							19.86 ⁶
							80.13

Medias entre filas con letras distintas, son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). ¹Los resultados se expresan en base seca. ²Obtenidas de la fracción libre de extraíbles (cenizas, carbohidratos solubles, proteínas y lípidos). ³Suma de celulosa y hemicelulosa. ⁴Valores calculados en base a los datos proporcionados por el autor. ⁵Ramas jóvenes de moringa. ⁶Determinada como lignina detergente ácida (ADL).

Barakat y Ghazal (2016). El ecotipo con el más alto porcentaje de fibra cruda fue "Guerrero" con 21.93%. Los valores de fibra cruda están dentro de los rangos reportados por otros autores (Olugbemi *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2018).

Perfil lignocelulósico de tallo de moringa

Como se muestra en el Cuadro 2, el tallo libre de extraíbles de los ecotipos estudiados contiene entre 52.12% a 55.87% de celulosa. Estos resultados son semejantes a los reportados por Khider (2012) y Benitez *et al.* (2014), e inferiores a los señalados por Mahmoud (2013). En cuanto a la concentración de hemicelulosa, se encontraron promedios entre 13.88% para el ecotipo "Culiacán" y 26.30% para "Sonora". Basado en estos resultados se puede estimar la parte fermentable (holocelulosa) oscila entre 69.75% ("Culiacán") y 79.48% ("Sonora") del total. Lo anterior concuerda con lo reportado por Benitez *et al.* (2014) para moringa de Argentina, con 73.31% de holocelulosa y es superior a lo indicado por Khider (2012) para moringa de Sudán con 68.5%. El ecotipo "Sonora" presentó la mayor proporción de holocelulosa y menor de lignina, sin embargo, las diferencias respecto a "Sinaloa" y "Elota" no son significativas.

Ácidos grasos de aceite de semilla

En el Cuadro 3 se observan los principales ácidos grasos encontrados en el aceite de semilla de moringa de cuatro de los seis ecotipos. Los principales ácidos grasos saturados fueron el palmítico, behénico, esteárico, araquídico y lignocérico. El oleico fue el ácido graso más abundante (74.44%) y, además, el único que presentó

diferencias significativas entre ecotipos ya que "Elota" y "Culiacán" presentaron mayor concentración que el resto de los ecotipos. Los valores anteriores son similares a los reportados en Kenia para la variedad Mbololo (Tsaknis *et al.*, 1999), el híbrido PKM-1 (Lalas *et al.*, 2002), y variedades de Pakistán (Anwar *et al.*, 2005; Anwar y Rashid, 2007). El siguiente en importancia fue el ácido behénico, el cual presentó valores ligeramente por encima a los señalados por los autores mencionados. Este ácido graso es característico del aceite de moringa, también conocido como de "Ben". Los promedios encontrados de ácido palmítico fueron ligeramente inferiores a los de variedades de África, India y Pakistán señaladas anteriormente.

Es importante destacar que de los cuatro ácidos grasos más abundantes, tres son saturados y solamente uno monoinsaturado. Los poliinsaturados representan menos del 0.8% del total. Esta característica da al aceite de moringa mayor resistencia a la oxidación, por lo cual representa una ventaja industrial (Anwar *et al.*, 2005).

Rendimiento por hectárea de componentes químicos de biomasa y semilla

En la Figura 1 se presentan los comparativos de las cantidades calculadas por hectárea (densidad de siembra de 1,667 plantas ha⁻¹) de los componentes de interés de tallos, hojas y semillas de los seis ecotipos de *M. oleifera*, analizados al momento de la primera cosecha de semilla. Como se puede apreciar, el mayor rendimiento de biomasa lignocelulósica de tallo lo presentó el ecotipo "Mojolo", seguido por "Culiacán" y "Guerrero". Como también se deduce en la Figura 1, de la lignocelulosa de

Cuadro 3. Porcentajes de ácidos grasos en aceite de semilla de cuatro ecotipos de *Moringa oleifera*.

Ácido graso	Elota	Culiacán	Mojolo	Guerrero	Tsaknis <i>et al.</i> (1998)	Lalas y Tsaknis (2002)	Anwar <i>et al.</i> (2005)	Anwar y Rashid (2007)
Palmitico C16:0	4.82±0.66 a	5.11±0.43 a	5.37±0.32 a	4.56±0.05 a	6.04	6.46	5.98	6.45
Palmitoleico C16:1	1.18±0.23 a	1.11±0.07 a	1.29±0.07 a	1.28±0.02 a	1.46	1.36	1.10	0.97
Margárico C17:0	0.031±0.04 a	0.017±0.007 a	0.036±0.004 a	0.020±0.003 a	0.09	0.08	ND	ND
Esteárico C18:0	4.61±1.11 b	4.72±0.27 b	6.69±0.34 a	6.57±0.25 a	4.14	5.88	4.47	5.50
Oleico C18:1	75.91±0.70 a	75.18±0.06 ab	74.14±0.93 b	72.51±0.99 c	73.6	71.21	76.00	73.22
Linoleico C18:2	0.538±0.12 a	0.418±0.09 a	0.575±0.02 a	0.443±0.05 a	0.73	0.66	1.20	1.27
Linoléico C18:3	0.162±0.12 a	0.128±0.04 a	0.061±0.02 a	0.060±0.10 a	ND	0.22	ND	0.30
Araquídico C20:0	3.31±0.58 a	3.23±0.24 a	4.92±1.11 a	4.41±0.02 a	2.76	3.62	3.50	4.08
Gondoico C20:1	1.78±0.17 a	1.80±0.06 a	1.89±0.06 a	1.70±0.16 a	2.4	2.22	1.40	1.68
Behénico C22:0	7.04±0.71 a	7.17±0.42 a	7.54±0.07 a	7.36±0.52 a	6.73	6.41	5.65	6.16
Lignocérico C24:0	1.26±0.30 a	1.19±0.18 a	1.13±0.03 a	1.10±0.08 a	ND	ND	ND	ND

Medias entre filas con letras distintas, son estadísticamente diferentes (p<0.05). ND=No detectado.

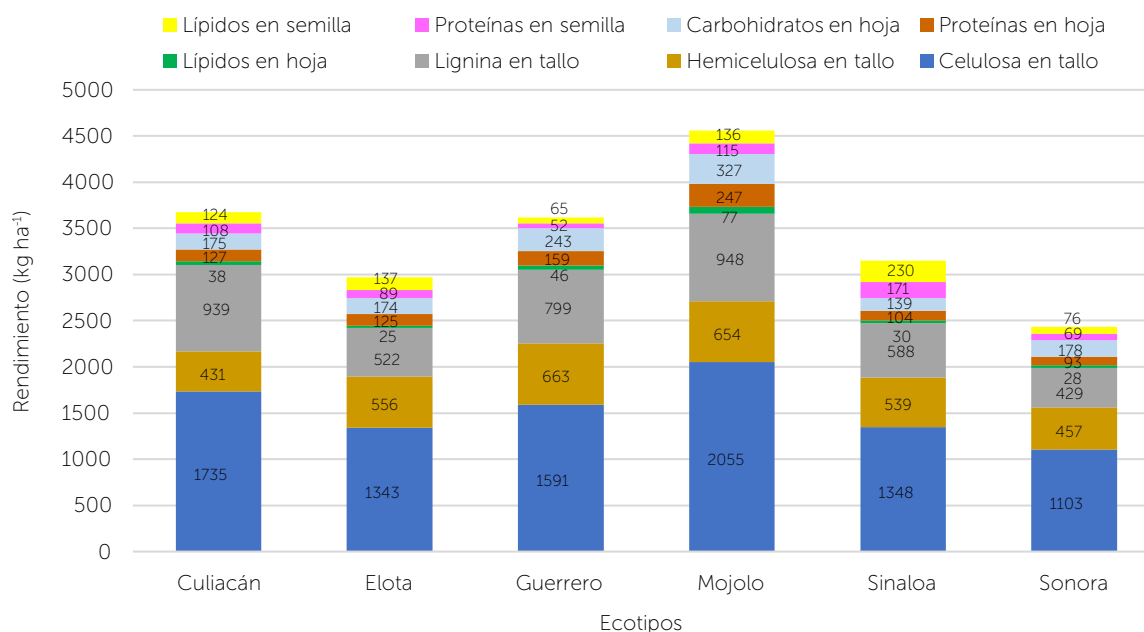


Figura 1. Rendimientos de los principales componentes químicos de tallo, hoja y semilla de ecotipos de *Moringa oleifera* a los 16 meses.

los tallos del ecotipo “Mojolo” se obtendrían 2,708.8 kg de holocelulosa, la cual, mediante un proceso de segunda generación, podría rendir 1,384.2 kg de etanol, considerando una conversión de 51.1%.

La lignina, segundo componente en importancia de la lignocelulosa, es una materia prima infravalorada, ya que prácticamente sólo se ha usado como combustible en la industria papelera. Sin embargo, se han venido desarrollando recientemente aplicaciones de alto valor agregado, tales como termoplásticos (Sadeghifar et al., 2012) y ácidos húmicos (Jeong et al., 2018). Para el caso de la hoja, el ecotipo más productivo fue “Mojolo”, de donde se obtendrían los mayores rendimientos por hectárea de carbohidratos, proteínas y lípidos. Los carbohidratos son los componentes más abundantes de la hoja, destacando nuevamente el ecotipo “Mojolo” con los mayores rendimientos por hectárea. El resto de los ecotipos presentaron valores muy por debajo de los encontrados para este ecotipo. De los macro componentes presentes en las hojas de moringa, las proteínas y lípidos representan los de mayor interés comercial ya que se pueden utilizar para la obtención de alimentos, productos nutracéuticos y medicinales (Raman et al., 2017). Como se puede observar en la Figura 1, el ecotipo “Sinaloa” produjo los mayores rendimientos de lípidos y proteínas de la semilla. De los primeros se pueden obtener, aparte de biodiesel, compuestos de alto valor agregado como tocoferoles y carotenoides (Raman et al., 2017). La pasta de

la semilla desgrasada se aprovecharía como fuente de proteínas en alimentos para animales y humanos (Ogun-sina et al., 2010).

CONCLUSIONES

El ecotipo “Mojolo” presentó la mayor productividad de tallos y hojas y el más alto porcentaje de lípidos, proteínas de hoja y carbohidratos fermentables por hectárea. El ecotipo “Sinaloa” produjo los mayores rendimientos de semillas, aceite y proteínas de semilla. El ecotipo “Elota” sobresalió por su alto porcentaje de aceite y ácido oleico. Se recomienda la experimentación con los ecotipos “Sinaloa”, “Mojolo” y “Elota” con fines de mejoramiento genético y cultivos intensivos para producción de biomasa y aceite.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento otorgado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT al proyecto 175519, del cual fue parte el presente trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Abdulkadir, A. R., Zawawi, D. D., & Jahan, M. S. (2016). Proximate and phytochemical screening of different parts of *Moringa oleifera*. *Russian Agricultural Sciences*, 42(1), 34-36.
- Al Juhaimi, F., Ghafoor, K., Babiker, E. E., Matthäus, B., & Özkan, M. M. (2017). The biochemical composition of the leaves and seeds meals of moringaspecies as non-conventional sources of nutrients. *Journal of Food Biochemistry*, 41(1), e12322.

- Anwar, F., Ashraf, M., & Bhangar, M. (2005). Interprovenance variation in the composition of *Moringa oleifera* oilseeds from Pakistan. *Journal of Oil & Fat Industries*, 82, 45-51.
- Anwar, F., & Rashid, U. (2007). Physico-chemical characteristics of *Moringa oleifera* seeds and seed oil from a wild provenance of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), 1443-1453.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis* (18th ed.). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- ASTM. (2010). *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 4.10). West Conshohocken, PA, USA: ASTM INTERNATIONAL.
- Ayerza, R. (2012). Seed and oil yields of *Moringa oleifera* variety Periyakulam-1 introduced for oil production in four ecosystems of South America. *Industrial Crops and Products*, 36, 70-73.
- Azad, A. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Sharma, S. C., & Islam, R. (2015). Prospect of *Moringa* Seed Oil as a Sustainable Biodiesel Fuel in Australia: A Review. *Procedia Engineering*, 105, 601-606.
- Barakat, H., & Ghazal, G. A. (2016). Physicochemical Properties of *Moringa oleifera* Seeds and Their Edible Oil Cultivated at Different Regions in Egypt. *Food and Nutrition Sciences*, 07(06), 472-484.
- Benítez, J. B., Vallejos, M. E., Area, M. C., & Felissia, F. E. (2014, November, 26-28, 2014). Caracterización química y morfológica de *Moringa oleifera* para su aprovechamiento en biorrefinerías. 1. Aptitud Papelera. Paper presented at the Proceedings of the VIII CIADICYP, Medellín, Colombia.
- Castillo, L. R. I., Portillo, L. J. J., León, F. J., Gutiérrez, D. R., Angulo, E. M. A., Muy-Rangel, M. D., & Heredia, J. B. (2018). Inclusion of *Moringa* Leaf Powder (*Moringa oleifera*) in Fodder for Feeding Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 20, 15-26.
- Crespo, G. R., Torres, U. M., Valenzuela, H. L., & Poblete, W. H. (2013). Propiedades químicas, color y humectabilidad de partículas de *Laureliopsis philippiana* (tepa) con y sin tratamiento térmico. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 15, 337-348.
- Chen, H. (2014). *Biotechnology of Lignocellulose*. Dordrecht: Springer.
- Foidl, N., Makkar, H., & Becker, K. (2001, 01/01). The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. *The Miracle Tree: The Multiple Attributes of Moringa*.
- Jeong, H., Cha, J.-Y., Choi, J., Jang, K.-S., Lim, J., Kim, W. Y., Seo, D. C., & Jeon, J. R. (2018). One-Pot Transformation of Technical Lignins into Humic-Like Plant Stimulants through Fenton-Based Advanced Oxidation: Accelerating Natural Fungus-Driven Humification. *ACS-Omega*, 3, 7441-7453.
- Khider, T. (2012). Heat Value of Four Hardwood Species from Sudan. *Journal of Forest Products and Industries*, 1, 5-9.
- Lalas, S., & Tsaknis, J. O. I. (2002). Characterization of *Moringa oleifera* Seed Oil Variety "Periyakulam 1". *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 65-77. doi: 10.1006/jfca.2001.1042
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2016). *Moringa oleifera* Seeds and Oil: Characteristics and Uses for Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(12).
- Liang, L., Wang, C., Li, S., Chu, X., & Sun, K. (2019). Nutritional compositions of Indian *Moringa oleifera* seed and antioxidant activity of its polypeptides. *Food Science & Nutrition*, 7(5), 1754-1760.
- Mahmoud, A. E. M. (2013). Effect of feeding on *Moringa oleifera* stems on productive performance of growing lambs. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 16(2), 281-292.
- Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1997). Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *The Journal of Agricultural Science*, 128(3), 311-322.
- Ndubuaku, M., N, N., & E, N. (2014). Yield Characteristics of *Moringa oleifera* Across Different Ecologies in Nigeria as an Index of Its Adaptation to Climate Change. *Sustainable Agriculture Research*, 3(1), 95-100.
- Nouman, W., Siddiqui, M. T., Barsa, S. M. A., Khan, R. A., Gull, T., Olson, M. E. & Munir, H. (2012). Response of *Moringa oleifera* to Saline Conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 557-562.
- Nzikou, J. M., Matos, L., Moussounga, J. E., Ndangui, C. B., et al. (2009). Characterization of *Moringa oleifera* seed oil variety Congo-Brazaville. *Journal of Food Technology*, 7, 59-65.
- Ogunsina, B. S., Radha, C., & Govardhan Singh, R. S. (2010). Physicochemical and functional properties of full-fat and defatted *Moringa oleifera* kernel flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(11), 2433-2439.
- Olugbemi, T., Mutayoba, S., & Lekule, F. (2010). Evaluation of *Moringa oleifera* leaf meal inclusion in cassava chip based diets fed to laying birds. *Livestock Research for Rural Development*, 22(6), 1-6.
- Pérez-Ángel, R. (2011). *Moringa oleifera*: una alternativa forrajera para ovinos. Culiacán, México: Fundación Produce Sinaloa.
- Pérez, A., Tania, S., Armengol-López, N., & Reyes, F. (2010). Characteristics and potential of *Moringa oleifera*, Lamark. An alternative for animal feeding. *Pastos y Forrajes*, 33, 349-362.
- Raja, S., Bagle, B. G., & More, T. A. (2013). Drumstick (*Moringa oleifera* Lamk.) improvement for semiarid and arid ecosystem: Analysis of environmental stability for yield. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(8), 164-170. doi: 10.5897/JPBCS12.029
- Raman, K. J., Alves, C., & Gnansounou, E. (2017). A review on moringa tree and vetiver grass - Potential biorefinery feedstocks. *Bioresource Technology*, 249, 1044-1051.
- Sadeghifar, H., Cui, C., Sen, S., & Argyropoulos, D. (2012). Toward thermoplastic lignin polymers; thermal & polymer characteristics of kraft lignin & its derivatives. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, 16713-16720.
- Shih, M.-C., Chang, C.-M., Kang, S.-M., & Tsai, M.-L. (2011). Effect of Different Parts (Leaf, Stem and Stalk) and Seasons (Summer and Winter) on the Chemical Compositions and Antioxidant Activity of *Moringa oleifera*. *International Journal of Molecular Sciences*, 12, 6077-6088.
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., & Crocker, D. (2008). Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass. *Laboratory Analytical Procedure (LAP)*. NREL Laboratory Analytical Procedures for Standard Biomass Analysis(NREL/TP-510-42618), 18.
- Soto-León, S., Zazueta-Patrón, I. E., Piña-Valdez, P., Nieves-Soto, M., Reyes-Moreno, C., & Contreras-Andrade, I. (2014). Extracción de lípidos de *Tetraselmis suecica*: proceso asistido por ultrasonido y solventes. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13, 723-737.
- Tsaknis, J., Spiliotis, V., Lalas, S., Gergis, V. & Dourtoglou, V. (1999). Quality changes of *Moringa oleifera*, variety Mbololo of Kenya, seed oil during frying. *Grasas y Aceites*, 50, 37-48.

Livestock: Style and trends in the new sex. México 2000-2020

Ganadería: Estilo y tendencias en el nuevo sexenio. México 2000-2020

Arieta Román, Ronnie de J.*

Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria. Carretera Costera del Golfo km 220, Colonia Agrícola y Ganadera, Acayucan, Veracruz, México. C. P. 96100.

***Autor para correspondencia:** roarieta@uv.mx

ABSTRACT

Objective: To analyze the styles and trends of livestock in the new administration in Mexico.

Design/methodology/approach: A documentary investigation was carried out from 2000 to 2020, concerning the styles of livestock farming practiced in Mexico in the last two decades, as well as; the trends for this new six-year term in accordance with the instructions issued by the FAO, where they promise to transform the livestock sector worldwide to combat climate change, which makes it a great business opportunity for entrepreneurs and companies that innovate.

Results: In Mexico, milk production is developed in all its territory parallel to livestock dedicated to meat production, which is the most widespread productive activity in rural areas, practiced in all the agro-ecological regions of the country. Mexico boasts a favorable field for this due to its large world-class livestock production and adjusting to current trends in livestock farming.

Study limitations/implications: The indicators are in accordance with the reviewed literature.

Findings/conclusions: the indicators show that Mexico has great potential for the production of meat and milk, having a favorable field for it and playing an important role in livestock production worldwide, adjusting to current trends that prevail in livestock.

Keywords: Key words: Trends, livestock, Mexico.

RESUMEN

Objetivo: Analizar los estilos y tendencias de la ganadería en el nuevo sexenio en México.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó una investigación documental del año 2000 al 2020, concerniente a los estilos de la ganadería practicada en México en las últimas dos décadas, así como las tendencias para este nuevo sexenio, apegadas a las instrucciones giradas por la FAO, donde hacen promisorio transformar el sector ganadero a nivel mundial para combatir el cambio climático, lo que convierte al mismo en una gran oportunidad de negocio para emprendedores y empresas que innoven.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 29-36.

Recibido: enero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Resultados: En México, la producción lechera se desarrolla en todo su territorio, paralela a la ganadería dedicada a la producción de carne que es la actividad productiva más difundida en el medio rural, practicándose en todas las regiones agroecológicas del país. México ostenta un campo propicio para ello por su gran producción pecuaria de calidad mundial y ajustándose a las tendencias actuales que imperan para la ganadería.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Los indicadores se ajustan a la literatura revisada.

Hallazgos/conclusiones: Los indicadores muestran que México ostenta un gran potencial para la producción de carne y leche, teniendo un campo favorable para ello y jugar un papel importante en la producción pecuaria a nivel mundial, ajustándose a las tendencias actuales que prevalecen en la ganadería

Palabras clave: Tendencias, ganadería, México.

destacando a nivel mundial por su producción de leche y más aún por su aparición como exportadores de productos lácteos son Argentina y Uruguay además de ser importante productores y exportadores de carne (Pérez *et al.*, 2003). Los costos de producción de leche de Argentina, Uruguay, Australia y Nueva Zelanda son los más bajos en el mundo; se encuentran en el rango de 0.10 a 0.15 dólares/kg equivalentes a 0.9 - 1.4 pesos mexicanos por litro (SAGARPA, 2005a).

La demanda de leche a nivel mundial se define en función de su uso, el consumo doméstico total de leche, incluye el consumo de leche para alimentos, el consumo de leche fluida y consumo industrial de leche fluida. La demanda de leche a nivel mundial ha mostrado cambios en los últimos decenios; en 1992 alcanzó la cantidad récord de 155 millones de toneladas, posterior a ello hubo una disminución progresiva hasta 1994 (149 millones de toneladas); a partir de esa fecha se ha tenido un crecimiento progresivo. Los principales países consumidores son la UE (21%), India (21%), Estados Unidos (18%), Rusia (10%) y Brasil (8%) (SAGARPA, 2005a).

La leche para uso industrial muestra un comportamiento similar al de la producción de leche fluida; presentó una disminución desde 1990, cuando se alcanzaron los 306 millones de toneladas hasta 1996 donde se registró su mínimo valor, 258 millones de toneladas. Los principales países consumidores de leche para uso industrial son la UE (34%) y EUA (16%). A excepción de EUA, Japón y Reino Unido, la leche fluida representa, en la mayoría de los países industrializados, menos de un tercio del total procesado (SAGARPA,

INTRODUCCIÓN

La población mundial de bovinos creció de 1,310 millones en 1998 a 1,347 millones de cabezas en el 2008. Los países con mayor población bovina son Brasil con 207 millones, India con 178 millones y China con 117 millones (SIAP, 2006). En el mercado internacional, no es posible diferenciar la producción de leche proveniente del sistema de doble propósito (Pérez *et al.*, 2003), razón por la que se considera la producción total y el volumen exportado e importado en los países que participan en el comercio mundial, independiente al sistema de producción. La producción mundial en 2005, de leche de bovino ascendió a 577.5 millones de toneladas. El 56% de esta producción se generó en la Unión Europea (UE, 21%), Estados Unidos de América (EUA, 13%), India (6%), Rusia (6%), Brasil (4%), Ucrania (2%), Polonia (2%) y Nueva Zelanda (2%). Los cinco países con mayor producción de leche son miembros de la UE: Alemania (23%), Francia (21%), Reino Unido (12%), Holanda (9%) e Italia (9%). A nivel mundial, México ocupa el 13° con poca más de nueve millones de toneladas de leche líquida (0.17%) (SAGARPA, 2006). La UE ocupa el primer lugar como exportador de quesos y leche en polvo entera y descremada y el segundo como exportador de mantequilla después de Nueva Zelanda (FIRA, 2001) por su parte EUA ocupa el 4° lugar como exportador de lácteos.

A diferencia de Centro y Sudamérica, el crecimiento de la población en la UE es lento pero existe un alto poder adquisitivo. Por ello, es un mercado maduro, con poco crecimiento del mercado de leche fluida y donde la mayor parte de la producción se destina a la industrialización (SAGARPA, 2005b). En lo que respecta a EUA, segundo productor de leche en el mundo, la política agropecuaria no se ha enfocado al incremento en la producción sino a la concentración y especialización de la misma. La concentración se presenta en la región del Pacífico (California, Idaho y Nuevo México) ya que se dispone de amplia producción de alfalfa de buena calidad, ventajas climatológicas y regulaciones ambientales menos rígidas, que favorecen el establecimiento de empresas lecheras, altamente especializadas, con gran número de bovinos (superiores a los 5 000) (FIRA, 2001). En Latinoamérica los países que están

2005b). De igual forma, el consumo per cápita más alto se concentra en los países desarrollados. Por ejemplo en Irlanda, primer consumidor mundial, alcanza casi los 170 litros/habitante/año no obstante estas tendencias son influenciadas por la cultura, el nivel socioeconómico y los patrones de consumo. Además que en los países del primer mundo, a excepción de Oceanía (Nueva Zelanda y Australia), se prioriza la estabilidad del mercado interno y la satisfacción de las necesidades de la población, considerando a la producción y abasto de leche como una prioridad nacional.

En cuanto a las importaciones de productos lácteos, UE, México, Rusia, EUA, Brasil, Argelia, Japón, China, Filipinas y Malasia, representan en conjunto el 50% de las importaciones mundiales. Dentro de estos países se pueden distinguir tres tipos de importadores: 1) Países importadores de productos lácteos (quesos) de alto valor agregado como EUA y Japón; 2) Países que importan productos lácteos con poco valor agregado (leche descremada en polvo) como México, Argelia, Filipinas, Malasia, Tailandia, China y Brasil; y 3) Países importadores de insumos lácteos que los utilizan para fabricar productos de mayor valor agregado que los convierte en los principales exportadores; ejemplo de ellos, Alemania y Holanda en las exportaciones de quesos (SAGARPA, 2005b).

En lo que respecta a carne de bovino, a nivel mundial se producen aproximadamente 66 millones de toneladas de carne bovina por año (FAO, 2010); México ocupa el séptimo lugar (5%) en la producción por debajo de EUA (22%), la UE (15%) y Brasil (16%) pero es superior a Centroamérica (0.5%).

Durante la última década, México se ha mantenido su producción entre el séptimo y octavo productor a nivel mundial con un promedio anual de 1,417 (1000 TM), de igual manera EUA ha mantenido su hegemonía en la producción de carne con un promedio de 11,887 (1000 TM), seguido, a nivel Latinoamérica, por Brasil y Argentina con una producción de 6,525 (1000 TM) y 2,625 (1000 TM) respectivamente (SAGARPA, 2005a).

Según la FAO (2010), se prevé un fuerte aumento de la demanda de carne para los próximos decenios. El crecimiento en los ingresos per cápita, sobre todo en Asia, ampliará el mercado y hará aumentar la demanda de carne y productos cárnicos más económicos. Además del aumento en los ingresos habrá un aumento en la población, que también tendrá lugar principalmente en

Asia. El consumo de carne recomendado por la FAO es 20 kg/habitante/año; en México el consumo es 17 kg por habitante, en Venezuela 12 kg por habitante, en Centroamérica 10 kg por habitante; en los países desarrollados como EUA y la Unión Europea, el consumo es de 45 kg y 25 kg por habitante, además en países con mayor cultura cárnica como Argentina (63 kg por habitante) y Brasil (38 kg por habitante) el consumo se incrementa.

El potencial sudamericano para una mayor producción podría verse afectado por el aumento repentino de los costos de los insumos, la disminución de los rebaños en el Brasil y los cambios políticos en el sector bovino Argentina.

PANORAMA NACIONAL

En México, la producción lechera se desarrolla en todo su territorio, pero durante el periodo de 2005 a 2010 se concentró en cuatro estados, los que contribuyeron conjuntamente con el 45% de la producción nacional en este periodo (destacándose Jalisco, Coahuila, Durango y Chihuahua). Cabe señalar, que los estados de Coahuila y Durango se encuentran ubicados en la Región Lagunera, que es la más importante cuenca lechera del país, y que ocupa el primer lugar en producción a nivel nacional (SE, 2012).

En 2005, SAGARPA estimó una balanza disponibilidad-consumo de leche (producción nacional + importaciones – exportaciones) de 12,585 toneladas; preveía un inventario inicial de 1,050 t, una producción nacional de 10,063 t; importaciones por 2,557 t (85% de leche en polvo) y 35 t en exportación con un consumo per cápita de 117; para finalizar el año con el mismo inventario inicial del 2004. En 2006, México ocupó el 13° lugar mundial en la producción de leche (0.17%) (SAGARPA-SIAP, 2006). En el 2010, según datos de FAO (2002), la producción nacional de leche se estimaba fuera de 10,491 t y las importaciones de 4,284 t, para satisfacer el consumo nacional de 14,670 t (119.8 kg habitante) dado el incremento en la población y del poder adquisitivo; asimismo, las exportaciones en este mismo periodo presentaron saldos negativos.

No obstante, el mayor volumen de producción de leche no se concentra en los estados que desarrollan el sistema doble propósito (DP), sino en estados que cuentan con sistemas semi-intensivos e intensivos como Jalisco, Durango, Coahuila, Chihuahua y Guanajuato (Pérez et al., 2003; SAGARPA, 2005b). La producción de leche a

nivel nacional tuvo un crecimiento acelerado del año 1996 al año 2002, pasando rápidamente de 7.6 a 9.3 millones de litros de leche; a partir de ese año, la producción prácticamente se ha mantenido en un promedio de 9.6 millones de litros.

Durante el período 1997-2007 las exportaciones no son significativas en comparación con los volúmenes importados del mismo tipo de leche. Por ejemplo, con referencia a la leche en fluida, las exportaciones realizadas en 2007 representaron únicamente el 0.04% del volumen importado durante el mismo. La leche en polvo es la que tiene mayor relevancia en las importaciones lácteas que México realiza, representando entre el 70 y 90% del volumen total de leches importadas.

En lo que respecta a la carne, según datos del SIAP-SAGARPA (2006), México ocupa en 7° lugar en la producción mundial, desde la década de los 90's la producción se ha mantenido con incrementos no mayores al 3% anual. La producción nacional bovina, contribuye con el 38% de la producción de carne en canal a nivel nacional; por lo que, la carne bovina es la segunda más producida, con 1.8 millones de toneladas y consumida en el país con 17 kg per cápita, después del pollo y por encima del cerdo.

En 2006, SAGARPA estimaba (en miles de toneladas) una balanza disponibilidad-consumo de carne de bovino de 1,844 t; pronosticaba un inventario inicial de 69.1 t, una producción nacional de 1,585 t; importaciones por 294 t y 36 t en exportación; para finalizar el año con 80 t. Para el periodo 2010, la FAO (2002), estimaba una producción de 1.5 millones de toneladas y el consumo

nacional promedio de 2.1 t (18.7 kg per cápita). Las importaciones tuvieron una tasa de crecimiento de 7.2% (1999-2010); mientras tanto, las exportaciones tuvieron tasas de crecimiento negativas para este mismo periodo.

Los principales exportadores de carne de bovino son Chihuahua, Tamaulipas, Sonora, Coahuila y Durango que representan el 80% de las exportaciones. Veracruz inició la exportación de becerros por el atractivo precio en el mercado; por tanto, para mantener sus niveles de producción (en rastros TIF), se abastece de Tamaulipas y S. L. P. (SAGARPA, 2006). Las importaciones tienden a ser en cajas de carne deshuesada; presentación que no ha sido del todo desarrollada en el mercado interno (SAGARPA, 2006).

El cambio en los hábitos de consumo, la sanidad e inocuidad alimentaria modifican las perspectivas de la producción, mercado y precios tanto de la leche como de la carne (SAGARPA, 2006). No obstante, siguen incidiendo una serie de factores en los sistemas DP como baja productividad y nivel tecnológico, limitantes de la integración de la cadena productiva, bajos precios pagados al productor y la falta de inversión tanto pública como privada (Pech *et al.*, 2002; Urdaneta *et al.*, 2004; SAGARPA, 2006).

La ganadería dedicada a la producción de carne es la actividad productiva más difundida en el medio rural, practicándose en todas las regiones agroecológicas del país. Se estima que la ganadería se practica en aproximadamente 110 millones de hectáreas, que representan aproximadamente el 58% de la superficie nacional. Los sistemas de producción existentes van desde los más altamente tecnificados e integrados hasta los de traspatio. En 2010, el Padrón Ganadero Nacional (PGN) registró 553 mil unidades de producción pecuarias (UPP) relacionadas con los sistemas de producción de bovinos de carne y leche. Los principales estados en este concepto son Veracruz (96 mil), Chiapas (48 mil), Tabasco (41 mil), Oaxaca (36 mil), Jalisco (36 mil), Chihuahua (28 mil), Sinaloa (26 mil), Michoacán (26 mil), Guerrero (21 mil) y Nayarit (20 mil). Estos diez estados concentran el 78% de las UPP del país. El 72% de las UPP se ubican en el estrato de 5 a 35 vientres. En México, anualmente se extraen 7.5 millones de bovinos; se exportan alrededor de 1.5 millones de cabezas en pie y 6.0 millones se sacrifican para el abasto del mercado interno y la exportación de carne. De estos últimos se sacrifican en rastros TIF alrededor de 3.1 millones de cabezas y 2.9 millones en rastros municipales. Al llevar a cortes finales este ganado, se genera un valor comercial aproximado de 4 mil 500 millones de dólares anuales, participando la actividad con el 0.6% del producto interno bruto (PIB) nacional (AMEG, 2011). En la actualidad existen 65 rastros TIF y 920 rastros municipales que sacrifican ganado bovino, participando con el 52% y 48% respectivamente de la oferta nacional de carne. Asimismo, existen 100 empacadoras de carne de bovino; 30 de ellas ofertan el 40% de la carne mexicana TIF en cortes primarios y finales empacada al alto vacío (AMEG, 2012). Se producen en el país 1.79 millones de toneladas anuales de carne de bovino, lo que implica la generación de 1.1 millones de empleos directos y 3 millones indirectos, de los cuales, 873 mil dependen de la engorda intensiva y producción de carne TIF (AMEG, 2012). En los corrales de engorda se finalizan 3.1 millones de becerros, los que consumen 2.8 millones de toneladas de granos, 560 mil toneladas de melaza, 750 mil toneladas de

forrajes henificados y 375 mil toneladas de pastas proteicas, generando una derrama importante de empleo y valor agregado para la agricultura nacional (AMEG, 2012). La engorda intensiva de ganado bovino propicia que en el sector ganadero nacional se mantengan activos alrededor de 717 mil ganaderos, además de 370 mil empleos en el sector proveedor de granos y forrajes y 165 mil empleos en la industria procesadora de la carne. En forma global, la engorda en corral asegura en forma directa e indirecta el empleo de 1, 253,450 empleos en el campo mexicano (AMEG, 2012).

El principal estado productor de carne de bovino en nuestro país es Veracruz, con un volumen de producción en 2011 de 269,979 toneladas, lo que representa una participación del 15.0% del total nacional. Las estimaciones de producción para el año 2012 fueron de 271,393 toneladas, un incremento anual de 0.5% (FIRA, 2012). El segundo estado productor es Jalisco, con una producción de 194,917 toneladas durante 2011, lo que representa 10.8% del total nacional producido. Jalisco, presenta una tasa media de crecimiento anual de 0.9%, entre 2001 y 2011. Para el 2012 se pronosticó un volumen de producción 3.2% menor a lo presentado en 2011, para situarse en 188,606 toneladas (FIRA, 2012).

El consumo de los principales tipos de carne en nuestro país presenta tendencias encontradas. Por un lado, la carne de ave, históricamente la carne más accesible, presenta un crecimiento constante durante la última década, para ubicarse en 2011 con consumo de 3.2 millones de toneladas, lo que se traduce en un consumo per cápita de 29.5 kg por persona. Por otro lado, el consumo de carne de cerdo ha fluctuado durante los últimos años, para ubicarse en 2011, en 1.8 millones de toneladas, con un consumo por persona de 16.9 kg. En contraste, el consumo de carne de bovino en nuestro país presenta una tendencia decreciente a partir del pico alcanzado en 2008. De acuerdo con la AMEG (2011), durante el periodo 2000-2010 se registró una contracción de 8.8% al pasar del 19.06 kg/año/habitante en el año 2000 a 17.52 en 2010. En 2011, el consumo se situó en 1.94 millones de toneladas, una reducción marginal del 0.3% en relación con el año anterior. El consumo per cápita en ese año fue 17.7 kg, una reducción 0.18 kg en relación con 2010. El consumidor percibe la calidad de la carne principalmente, por la higiene, color, ausencia de olores, marmoleo y facilidad de preparación; sin embargo, existen otros atributos que definen la calidad como aspectos

sensoriales referidos al color, terneza, jugosidad, sabor y contenido de grasa intramuscular de la carne. Sin embargo, existe otro segmento de la población que prefiere carne sin grasa, característica principal en este producto cuando se usan sustancias anabólicas no permitidas en la alimentación de los bovinos. El consumo de carne fresca y procesada aumenta casi de manera lineal conforme se eleva el nivel de ingreso de la población. El nivel superior de ingresos consume 16% de los cárnicos frescos, el nivel más bajo consume apenas el 3%. De manera casi proporcional, en cuanto a la carne procesada, el 17% de la carne es consumida en el estrato de mayor ingreso, en tanto que el estrato de menor ingreso apenas rebasa el 2% (INEGI, 2010). El comercio internacional de carne de bovino mexicana ha crecido significativamente durante los últimos años. Por un lado, las exportaciones mexicanas presentan una tasa media de crecimiento anual del 47.4%, en el periodo comprendido entre 2003 y 2011. Durante el 2011 el volumen de carne exportado fue de 104.46 mil toneladas, el nivel de exportación más alto registrado en nuestro país. Las exportaciones de carne de bovino en 2011 representaron 532 millones de dólares (FIRA, 2012). Los principales destinos de las exportaciones mexicanas de carne de bovino fueron: EUA, con 55.2% del total; Rusia, con 23.0% y Japón con 16.0%. El impulso a las exportaciones fue provocado por la apertura del mercado ruso, que sustituyó sus compras en la UE, ante temores zoonosarios, hacia la carne mexicana, donde encontró un sustituto de alta calidad e inocuidad. Del total de volumen exportado durante 2011, por fracción arancelaria de "carne de bovino congelada, en canales o medias canales" representó el 43.6%, seguido por "carne de bovino, fresca o refrigerada, deshuesada" que totalizó 29.8%. Es importante mencionar que, de acuerdo con el precio implícito de cada fracción, las exportaciones de cortes con mayor valor se dan hacia EUA y Japón (bajo la fracción 02013001); mientras que, a Rusia y Corea del Sur se exportan cortes de menor valor. Por otro lado, las importaciones mexicanas de carne de bovino presentan una tendencia a la baja. Así, en el periodo 2003-2011 las importaciones de carne en nuestro país presentaron una tasa de crecimiento de 1.3%, comparable con el 45.5% de crecimiento de las exportaciones. Durante 2011, el volumen importado totalizó 186.9 mil toneladas, con un valor de 932.7 millones de dólares. Las importaciones de carne han descendido por un fortalecimiento y mejor integración de los industriales de la carne y por un incremento en los precios internacionales. Las importaciones de carne en nuestro país se encuentran muy concentradas en EUA. Durante 2011, el

83% del total importado proviene del país norteamericano, mientras que 15% provino de Canadá. Por fracciones arancelarias, las importaciones de carne de bovino se concentran en carne fresca o refrigerada deshuesada, donde el 96% del volumen importado en 2011 provino de EUA. De igual manera, los precios implícitos de las carnes importadas presentan niveles inferiores a los presentados en las exportaciones, lo que hace suponer que en nuestro país se importa carne de menor calidad que la que se exporta. El precio de la carne de bovino está altamente influenciado por los incrementos en los principales insumos, particularmente por los precios en los granos forrajeros y el petróleo. Los precios de los principales commodities agrícolas (maíz, trigo, soya, sorgo), han presentado niveles de precios muy altos desde el 2008, mismos que se han traducido en márgenes de rentabilidad muy reducidos para el productor de carne de res.

TENDENCIAS EN EL NUEVO SEXENIO

La ganadería es una actividad con dos caras en este momento: puede sacar de la pobreza a millones de personas y dotar de proteína para su mejor desempeño. Pero al mismo tiempo genera una gran cantidad de gases invernadero por el metano que expelen los bovinos al aire libre, que se calcula representan 25% de los gases que provocan el cambio climático. Por ello, la FAO busca que la ganadería a nivel mundial se sume a los objetivos de desarrollo sustentable del milenio sacando el mejor provecho de ambos mundos: Como una herramienta que reduzca sustancialmente la pobreza a nivel mundial; pero también tomando las precauciones para disminuir los gases de efecto invernadero que genera dicha actividad.

Cifras destacadas

- La producción ganadera emplea actualmente al menos a 1,300 millones de personas en el mundo.
- Cerca de 600 millones de los hogares más pobres a nivel mundial crían animales como una fuente esencial de ingresos.
- Entre 2000 y 2014 la producción mundial de carne aumentó 39% y la de leche 38%.
- Está previsto que la producción mundial de carne sea 19% más alta en 2030 respecto al periodo 2015-2017, y que la de leche aumente 33%, principalmente por la reducción de la pobreza a nivel mundial.
- La producción ganadera representa el 40% de la producción total de la agricultura en los países desarrollados, mientras que esa cifra es de 20% en los países en desarrollo.
- La introducción en las últimas cuatro décadas del uso de genética avanzada, sistemas de piensos, controles de sanidad animal y otras tecnologías, permitió que los países industrializados redujeran en 20% su necesidad de tierras para el ganado y duplicaran la producción de carne.
- Por tanto, nuevamente se rompe el mito de que se acabarán las tierras disponibles o que se debe deforestar selvas si es que se busca incrementar la producción pecuaria.
- Una mayor adopción de las mejores prácticas y tecnologías existentes podría ayudar al sector ganadero mundial a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hasta en 30% (FAO, 2019).

PROPUESTA DE LA FAO

Según la publicación de la FAO (2019), *Ganadería mundial: transformar el sector ganadero con los objetivos de desarrollo sostenible* ("World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals"), el debate en torno a la producción ganadera se ha centrado en gran medida en cómo el sector puede producir más para satisfacer la creciente demanda de productos animales; y al mismo tiempo, alimentar a una población mundial en aumento, a la vez que se reduce su huella ambiental. Actualmente, y a pesar de los avances tecnológicos, incluso las sociedades posindustriales más modernas siguen siendo muy dependientes de los animales para la seguridad alimentaria y nutricional. Por tanto, el sector ganadero posee una importancia permanente y puede desempeñar un papel clave en la mejora las vidas de millones de personas al proporcionar alimentos, empleos e ingresos, resiliencia y oportunidades económicas. "Existe también la necesidad urgente de detener el uso indebido de antimicrobianos en la cría de animales", advirtió el director general de la FAO. Quien se refirió al papel del uso de los antibióticos en el aumento de microorganismos peligrosos resistentes a los antimicrobianos.

Superar dificultades

Un desafío clave en los países en desarrollo consiste en que el sector ganadero está muy segmentado, con niveles muy diferentes de productividad de la mano de obra en el procesado frente a la producción. Dentro de esta última, entre los productores comerciales y los de subsistencia. Por tanto, las políticas sectoriales deberían hacer hincapié en mejorar la productividad laboral

de los pequeños propietarios y centrarse en actividades de elevado valor añadido y de gran cantidad de mano de obra para aprovechar el “efecto multiplicador” del sector para crear empleos y reducir la pobreza, señala el informe. Será también necesario comprender mejor la relación entre el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. Así como de los factores que pueden hacer que el desarrollo de la ganadería logre disminuir más esa pobreza. En opinión de la FAO, deben impulsarse con firmeza las políticas y prácticas que aumenten la eficiencia del sector pecuario y reduzcan su huella ambiental. Por ejemplo, los estudios de la FAO estiman que una adopción más amplia de las mejores prácticas y tecnologías existentes podría ayudar al sector ganadero mundial a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero hasta en 30%.

GANADERÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

El informe “Ganadería mundial” analiza cómo las mejores políticas y prácticas podrían aumentar las aportaciones de sector pecuario para cumplir con cada uno de los 17 objetivos de desarrollo sostenible.

Entre estas contribuciones se incluyen:

- Suministrar a la población alimentos con alto contenido de proteínas.
- Impulsar la nutrición de los niños para lograr buen rendimiento en la escuela y crecer con buena salud.
- Proporcionar a las familias rurales con activos de capital de gran importancia.
- Generar ingresos y empleos.
- Impulsar las economías rurales a nivel local y generar ingresos fiscales y divisas a una escala más amplia.
- Ofrecer a las mujeres rurales mayores oportunidades económicas.
- Mejorar la eficiencia del uso de los recursos naturales.
- Proteger el medio ambiente.

Es momento de transformar el sector ganadero a nivel mundial para combatir el cambio climático, lo que convierte al mismo en una gran oportunidad de negocio para emprendedores y empresas que innoven. México es un campo propicio para ello por su gran producción pecuaria de calidad mundial.

No hay duda, estamos viendo el inicio de la transformación del sector pecuario. Toda revolución trae consigo

grandes retos, pero también grandes oportunidades para quienes quieran innovar y arriesgarse (FAO, 2019).

CONCLUSIONES

El estilo de la ganadería en México al paso de las últimas dos décadas se ha estandarizado en cifras con alzas ligeras; sin embargo, ha ocupado lugares importantes a nivel mundial en cuanto a leche y carne se refiere.

Actualmente existen tendencias de una escasez de proteína de origen animal, lo cual ha llevado a la intensificación de los sistemas de producción de bovinos, que en mucho de los casos ha originado datos alarmantes en cuanto a cambio de uso de suelo.

Las tendencias para este nuevo sexenio se apegan a las instrucciones giradas por la FAO, donde hacen promisorio transformar el sector ganadero a nivel mundial para combatir el cambio climático, lo que convierte al mismo en una gran oportunidad de negocio para emprendedores y empresas que innoven. México es un campo propicio para ello por su gran producción pecuaria de calidad mundial.

LITERATURA CITADA

- AMEG. (2011). Carne de Bovino. Indicadores Económicos. 14ª edición. México: Asociación Mexicana de engordadores de ganado.
- AMEG. (2012). Carne de Bovino. Indicadores Económicos. 15ª edición. México: Asociación Mexicana de engordadores de ganado.
- FAO. (2002). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. 2002. Proyecciones a plazo medio sobre la carne y productos lácteos. Comité de Problemas de Productos Básicos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2010). Ganadería Bovina en América Latina. Escenario 2008-2009 y tendencias del sector. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2019). World Livestock. Transforming the livestock sector through the sustainable development goals. Sustainable Development Goals. Rome: Food and Agriculture Organization for the United Nations. Accedido el 5 de julio de 2020, desde <http://www.fao.org/3/CA1201EN/ca1201en.pdf>
- FIRA. (2001). Tendencias y oportunidades de desarrollo de la red lechera en México. Boletín informativo N° 317. México: Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura.
- FIRA. (2012). Panorama Agroalimentario Carne de Bovino 2012. México: Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura.
- INEGI. (2010). Perspectiva Estadística Veracruz de Ignacio de la Llave. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Pech V, J Santos, R Montes. 2002. Función de producción de la Ganadería de Doble Propósito en la Zona Oriente del Estado de Yucatán, México. *Téc Pec Méx* 40, 187-192.

- Pérez, P., Rojo, R., Álvarez, A., García, J., Ávila, C., López, S., Villanueva, J., Chalate, H., Ortega, E., & Gallegos, J. (2003). Necesidades investigación y transferencia de tecnología de la cadena de bovinos de doble propósito en el estado de Veracruz. Veracruz: Fundación Produce Veracruz.
- SAGARPA. (2005a). Sistema de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera, México. 2005. Estadística básica. Estadísticas del sector ganadero. Población ganadera 1996-2005 (carne y leche). México: Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Consultado el 23 de octubre de 2014, desde <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- SAGARPA. (2005b). Situación actual y perspectivas de la producción de leche de bovino en México. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA. (2006). Situación actual y perspectivas de la carne de bovino en México. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA-SIAP. (2006). Estadísticas del sector ganadero. Población ganadera 1996-2005 (carne y leche). Estadística básica. México: Sistema de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera.
- SE. (2012). Análisis del sector lácteo en México. México: Secretaría de Economía.
- SIAP. (2006). Sistema de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera, México. 2006. Estadística básica. Estadísticas del sector ganadero. Población ganadera 1996-2005 (carne y leche).
- Urdaneta F. 2004. Tipificación tecnológica del sistema de producción con ganadería bovina de doble propósito (*Bos taurus* × *Bos indicus*). Rev Cient. 14, 254-262.



Biophysical characterization for community territorial planning with an agroforestral approach in Xaltepuxtla, Puebla, Mexico

Caracterización biofísica para el ordenamiento territorial comunitario con enfoque agroforestral en Xaltepuxtla, Puebla, México

Valencia-Trejo G. M.¹, Álvarez-Sánchez M. E.¹, Gómez-Díaz J. D.^{1*}, Cetina-Alcalá V. M.²

¹Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. ²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Postgrado en Ciencias Forestales.

*Autor de correspondencia: dgomez1059@yahoo.com.mx

ABSTRACT

Objective: determine the bioproductive systems in Xaltepuxtla, Puebla, Mexico, and identify limitations and potential to influence detonating change projects that favor biodiversity, productive capacity and family economy.

Design/methodology/approach: based on the construction of a Geographic Information System, the biophysical information and the participatory workshop were analyzed, corroborating with field trips in the different bioproductive units. This methodology corresponds to the first phase for the proposal of the Community Territorial Planning.

Results: 49% of the surface under study is dedicated to the production of ornamentals, 22% of the surface for the restoration of BMM and 8% has potential for agroforestry technology: enrichment of acahuals. 35 bioproductive systems were identified. The system with the largest area is the one for reforestation with 8 hectares, followed by the secondary Mesophilic Mountain Forest located in a volcanic apparatus with 7.5 hectares and the Mixed Ornamental System on steep slopes with 5.5 hectares.

Limitations/implications: the delimitation of bioproductive units based on the mapping of geofoms, land use and vegetation and climate are key to the regionalization of the territory and the generation of proposals for productive reconversion at the farm level.

Findings/conclusions: it is vitally important to locate bioproductive systems within a territory to achieve the process of land use planning in relation to natural resources, their population and productive activity in order to achieve productive balance and conservation in the medium and long term.

Keywords: bioproductive units, Mountain Mesophilic Forest, acahual, ornamental systems.

RESUMEN

Objetivo: determinar los sistemas bioprodutivos en Xaltepuxtla, Puebla, México, e identificar limitantes y potencialidades para incidir en proyectos detonadores de cambio que favorezcan la biodiversidad, capacidad productiva y economía familiar.

Diseño/metodología/aproximación: a partir de la construcción de un Sistema de Información Geográfica se analizó la información biofísica y del taller participativo, corroborándose con recorridos de campo en las diferentes unidades bioprodutivas. Esta metodología corresponde a la primera fase para la propuesta del Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC).

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 37-43.

Recibido: octubre, 2019. **Aceptado:** mayo, 2020.

Resultados: el 49% de la superficie en estudio se dedica a la producción de ornamentales, el 22% de la superficie a la restauración del BMM y el 8% tiene potencial para la tecnología agroforestal: enriquecimiento de acahual. Se identificaron 35 sistemas bioprodutivos. El sistema con mayor superficie es el destinado a la reforestación con 8 hectáreas, seguido del Bosque Mesófilo de Montaña secundario ubicado en aparato volcánico con 7.5 ha, y del Sistema Mixto de Ornamentales en laderas escarpadas con 5.5 ha.

Limitaciones/implicaciones: la delimitación de las unidades bioprodutivas a partir del mapeo de geoformas, uso de suelo y vegetación y clima son clave para la regionalización del territorio y la generación de propuestas de reconversión productiva a nivel finca.

Hallazgos/conclusiones: es de vital importancia ubicar los sistemas bioprodutivos dentro de un territorio para lograr el proceso de planificación de los usos de suelo en relación con los recursos naturales, su población y actividad productiva a fin de lograr el equilibrio productivo y la conservación en el mediano y largo plazo.

Palabras clave: unidades-bioprodutivas, Bosque Mesófilo de Montaña, acahual, sistemas de ornamentales.

INTRODUCCIÓN

La caracterización implica desarrollar una descripción detallada y actualizada de la comunidad que estará sujeta al proceso de Ordenamiento Territorial Comunitario, considerando los aspectos ambientales, sociales y económicos (CONAFOR, 2007). El Sistema Biofísico lo conforman los recursos naturales y el ambiente. Estudia integralmente la naturaleza y los elementos que en síntesis dan origen al paisaje o unidad de análisis, resultado de la interacción de factores y procesos como clima, agua, rocas, relieve, tipo de suelo, vegetación, fauna, cultivos, temperatura, infraestructura, población y las amenazas naturales (Otero, García, Solano, & Castillo, 1998). La regionalización en unidades de paisaje constituye el sustento físico natural del Ordenamiento Territorial y dentro de éste, de las unidades de gestión (Bocco, Mendoza, Priego, & Burgos, 2009). Las unidades de gestión de uso de la tierra o sistemas bioprodutivos se caracterizan por su homogeneidad en los atributos naturales y problemática socioambiental. Se obtienen a partir de la sobreposición de los mapas de regionalización ecológica, principales comunidades vegetales presentes, diagnóstico ambiental (condición actual de la vegetación y conflictos de uso del suelo) y potencialidades de uso (Ramírez et al., 2016). El presente estudio determinó los sistemas bioprodutivos en Xaltepuxtla identificando limitantes y potencialidades para incidir en proyectos detonadores de cambio que favorezcan la biodiversidad, capacidad productiva y economía familiar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se basa en la metodología de OTC (CONAFOR, 2007) cuyas primeras fases (recorridos de campo y talleres participativos) se detallan en Valencia et al. (2019). La caracterización de las unidades bioprodutivas se realizó con base en la metodología propuesta por Gómez-Díaz (2008) con modificaciones para el presente estudio, a partir de un Sistema de Información Geográfica generado en el software libre QGIS 2.14, retomando la poligonal estudiada por Ruiz (2016), ampliándose en octubre de 2018 se determinaron los límites, con recorridos de campo y georreferencia con un Geoposicionador Global (GPS) modelo Garmin.

El área de estudio se encuentra en la parte noroeste de Puebla (Figura 1) en la Región denominada: "Sierra Norte", Región Hidrológica No. 27 "Tuxpan-Nautla", Cuenca del río Teocolutla (RH27B) y Subcuenca del río Necaxa (RH27Bb) (UACH-INECOL, 2002), además pertenece al Área de Protección de Recursos Naturales "Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa" (CONANP, 2013).

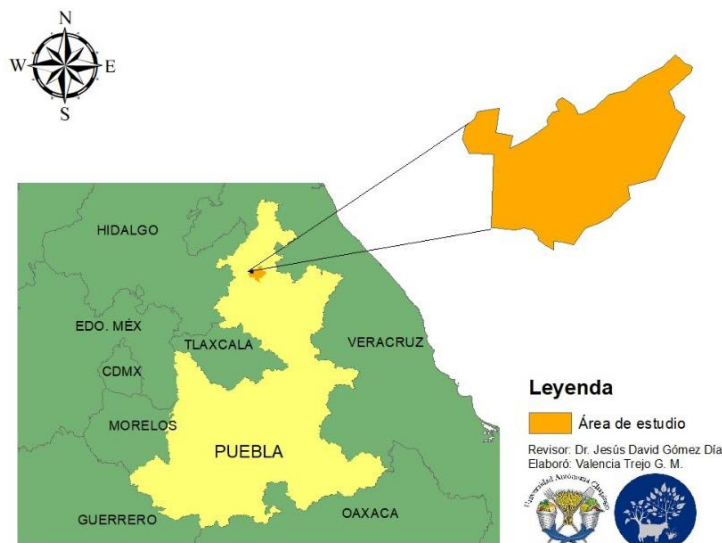


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

Se generaron mapas de fisiografía, clima, uso de suelo y vegetación. Los mapas fisiográficos, altitud y pendientes, se elaboraron a partir del Modelo Digital de Elevación (INEGI, 2019), los rangos de pendientes se generaron de acuerdo al criterio establecido en el estudio realizado en la Cuenca del río Platanar (CONAGUA-UACH, 2009), el mapa de rocas se generó a partir del Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos (INEGI, 2004). La integración de los tres mapas anteriores, derivó el mapa de geoformas. El Mapa uso de suelo y vegetación, se redefinió y detallaron los linderos con la cobertura de uso de suelo y vegetación de la Serie VI (INEGI, 2017) y con imágenes de Google Earth Pro, además, se retomó el mapa del sistemas productivos de ornamentales en Xaltepuxtlá elaborado por (Ruiz, 2016). Se construyó el mapa clima con los datos reportado por Ruiz (2016). Finalmente, con la unión de los mapas de topografía uso de suelo y vegetación y clima, se diseñó el mapa de unidades bioproductivas que se corroboraron en campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Geología

Las rocas más abundantes fueron las ígneas extrusivas del cenozoico, mientras que las sedimentarias del mesozoico se registraron en menor proporción (Cuadro 1), siendo la ígnea extrusiva intermedia la más importante, representando 39% del territorio localizada en la parte oeste. La ígnea extrusiva ácida fue 32% del total de la zona, ubicada en la parte sureste (Figura 2).

Altitud y pendiente

El rango altitudinal fue de 1200 a 1350 m (Figura 3). Se obtuvieron cinco rangos de pendientes (Figura 4), el terreno moderadamente escarpado predominó con 37.6%, seguido del escarpado 22.6% de la superficie total. Debido a la presencia de Sierra alta escarpada y Sierra volcánica de laderas tendidas (Gobierno-Municipal, 2015). Cabe destacar que el 21% son áreas casi planas (Cuadro 2).

Cuadro 1. Principales rocas del área de estudio.

Tipo	Superficie (ha)	(%)
Caliza-Lutita	25.49	28.61
Ígnea extrusiva intermedia	34.79	39.05
Ígnea extrusiva ácida	28.8	32.33

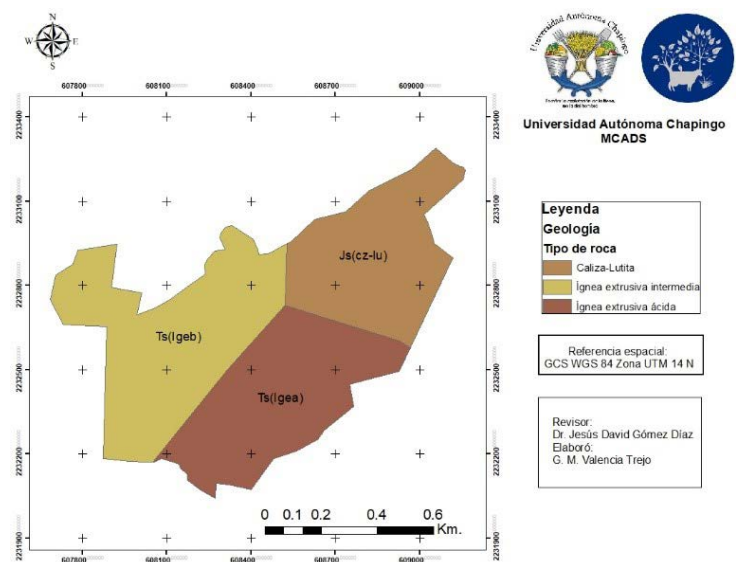


Figura 2. Mapa de Geología del área de estudio.

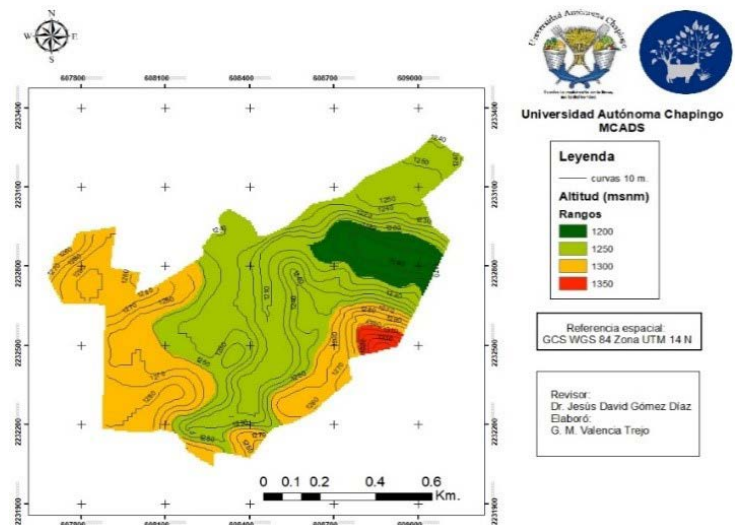


Figura 3. Modelo Digital de elevación con el rango altitudinal.

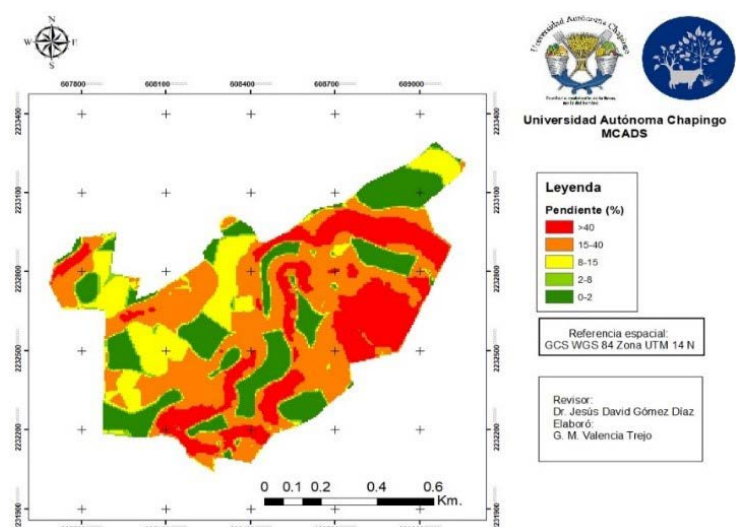


Figura 4. Mapa de pendientes en porcentaje.

Cuadro 2. Rangos de pendientes en el área de estudio.

Rangos de pendiente (%)	Descripción	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
0-2	Plano a casi plano	18.6	20.9
2-8	Moderadamente inclinado	3.5	3.9
8-15	Inclinado	13.4	15.0
15-40	Moderadamente escarpado	33.5	37.6
>40	Escarpado	20.1	22.6

Fuente: elaboración propia.

Geoformas: se obtuvieron siete formas del terreno (Figura 5), de las cuales las más representativas son laderas moderadamente escarpadas (pendientes de 15-40%) (24%), laderas escarpadas (pendientes >40%) (21%), valle

con zona inundable (19%), seguido de meseta (16%) (Cuadro 3).

Climatología: el clima corresponde a un (A)Cb(fm)(i')gw" (Figura 6), definido como semi cálido del grupo de los templados con verano fresco largo; húmedo con régimen de lluvias intermedio y un porcentaje de

precipitación invernal menor de 18; con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales; marcha anual de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula. La temperatura media anual de 18.4 °C y la precipitación media anual de 1524.66 mm (Ruiz, 2016).

Uso de suelo y vegetación: se identificaron 19 tipos (Figura 7). El 21% del área es acahual de BMM, vegetación de carácter secundario se desarrolla en terrenos sometidos a un manejo de roza-tumba-quema, para la producción de maíz (*Zea mays* L.), este se ha dejado de producir desde hace 20 años. El 17% es BMM secundario: con perturbación, pero con cierto nivel de recuperación (CONABIO, 2010). El sistema de ornamentales dominante es el arrayán con 15% de la superficie total (Cuadro 4).

Unidades bioproductivas: el área de estudio cuenta con 35 sistemas bioproductivos (Figura 8), todos se encuentran en un clima (A)Cb(fm)(i')gw". El sistema con mayor superficie es el destinado a la reforestación con 8.0 ha, en dicha área la vegetación está compuesta de acahuales de BMM, presenta 3.0 ha de meseta, 3.0 ha de ladera moderadamente escarpada y 2.0 ha de laderas escarpadas. Seguido

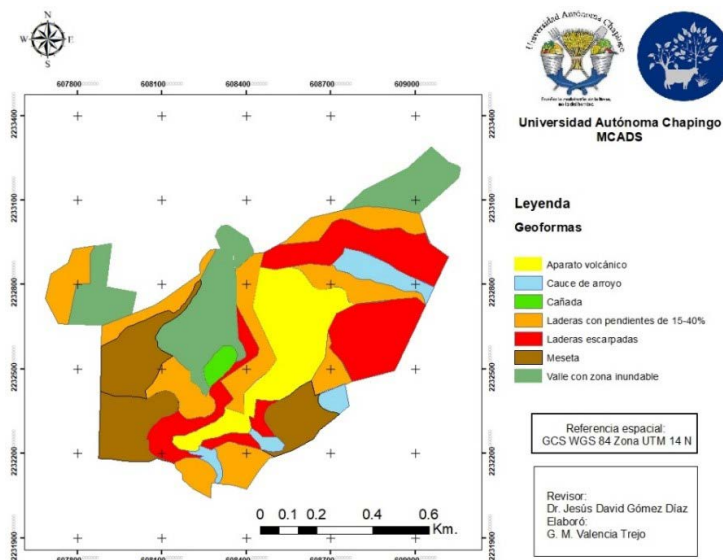


Figura 5. Mapa de geoformas.

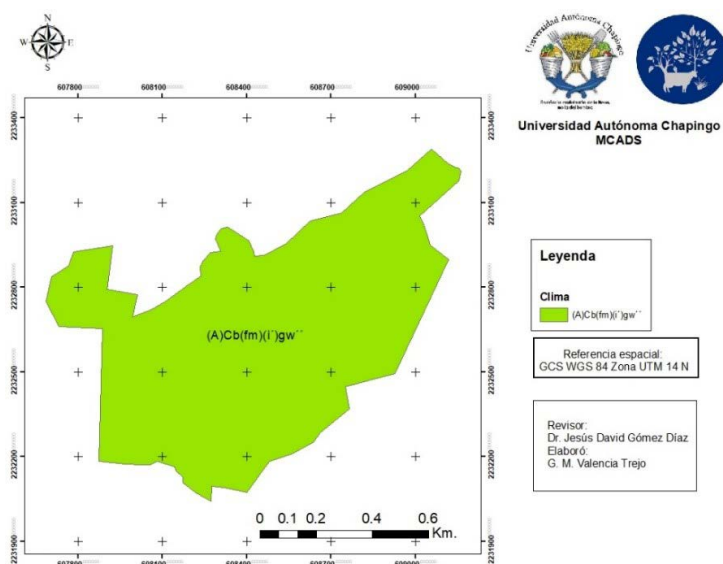


Figura 6. Mapa de clima.

Cuadro 3. Principales geoformas en el área de estudio

Descripción	Superficie (ha)	(%)
Valle con zona inundable	17	19
Laderas moderadamente escarpadas (pendientes de 15-40%)	21	24
Cauce de arroyo	4	5
Laderas escarpadas >40%	19	21
Aparato volcánico	12	14
Meseta	14	16
Cañada	1	1

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Uso de suelo y vegetación en el área de estudio.

Uso de suelo y vegetación	Superficie (ha)	(%)
Acahual BMM	18.98	21.30
BMM secundario	15.97	17.92
Sistema arrayán	13.53	15.18
Sistema Chima-azalea Rodolfo	8.57	9.62
Sistema Mixto de ornamentales	7.81	8.76
Parcelas en descanso	5.11	5.73
Azalea Rodolfo	3.8	4.26
Sistema Chima-azalea	3.16	3.55
Mixto Alicia	2.93	3.29
Relicto de BMM	2.27	2.55
SAF guayabo	1.99	2.23
Chima Alicia	1.66	1.86
Azálea-chima J. L.	1.12	1.26
Chima J.L.	0.81	0.91
Sistema Silvopastoril	0.43	0.48
Semilleros de ornamentales	0.35	0.39
Viveros de arrayán	0.34	0.38
Viveros de ornamentales	0.24	0.27
Vivienda	0.04	0.04

J.L.= propiedad de José Luis; R.= propiedad de Rodolfo; A= propiedad de Alicia; Mixto= sistema con cedrela, chima, azálea y arrayán, BMM= Bosque Mesófilo de Montaña. Fuente: elaboración propia.

del BMM secundario ubicado en aparato volcánico con 7.5 ha y del Sistema Mixto de Ornamentales en laderas escarpadas con 5.5 ha, ver Cuadro 5.

De acuerdo con las potencialidades y limitantes de las unidades bioproductivas se hizo una zonificación de los usos de suelo y los sistemas de producción en Xaltepuxtla Figura 9.

El 49% de la superficie en estudio se dedica a la producción de ornamentales, el 22% son áreas destinadas a la restauración del BMM y el 8% tiene potencial para la tecnología agroforestal: enriquecimiento de acahuales (Cuadro 6).

CONCLUSIONES

La caracterización detallada del medio biofísico permite identificar limitantes

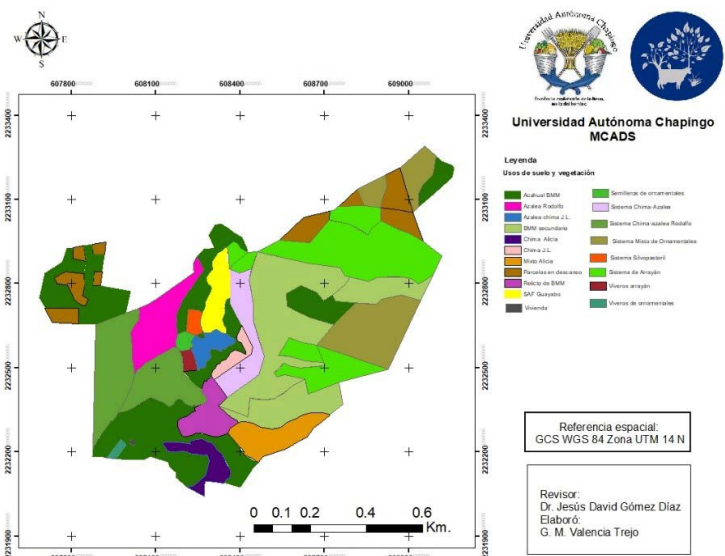


Figura 7. Mapa de usos de suelo y vegetación.

y potencialidades de cada una de las unidades de gestión de uso de la tierra (sistemas bioproductivos), y son base para el diseño de estrategias de intervención con tecnologías agroforestales, en particular, el incremento de almacenes de carbono, restauración de sistemas degradados y generación de beneficios económicos para productores rurales a través de proyectos detonadores de cambio. Los propietarios de las fincas son conscientes de la importancia de cuidar el BMM por ello han dedicado superficies considerables a su restauración y conservación.

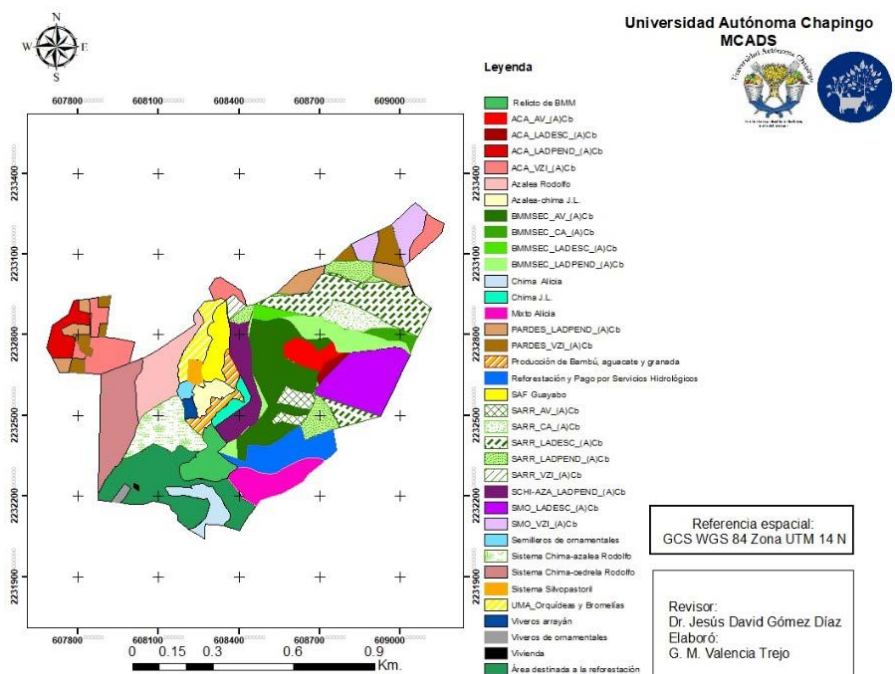


Figura 8. Mapa de unidades bioproductivas.

**Cuadro 5.** Descripción de las unidades bioproductivas en el área de estudio.

Unidad bioproductivas	Descripción de la unidad bioproductiva	Superficie (ha)	(%)
Área destinada a la reforestación	Acahual de BMM presenta 3.0 ha de meseta, 3.0 ha de ladera moderadamente escarpada y 2.0 ha de laderas escarpadas.	7.97	12.0
BMMSEC_AV_(A)Cb	Bosque Mesófilo de Montaña secundario en aparato volcánico	7.50	11.3
SMO_LADESC_(A)Cb	Sistema Mixto de Ornamentales en laderas escarpadas >40%	5.54	8.4
Chima-cedrela Rodolfo	Sistema Chima-cedrela propiedad de Rodolfo, presentan extracción de planta con cepellón, se exporta el suelo como sustrato, se hace combate de malezas con azadón*	4.96	7.5
Azalea Rodolfo	Sistema Azálea propiedad de Rodolfo*	3.80	5.7
Chima-azalea Rodolfo	Sistema Chima-azálea propiedad de Rodolfo*	3.61	5.5
Reforestación y Pago por Servicios Hidrológicos	Área destinada a la reforestación y pago por servicios hidrológicos	3.50	5.3
SCHI-AZA_LADPEND_(A)Cb	Sistema Chima-azálea en laderas con pendientes de 15-40%	3.07	4.6
Mixto Alicia	Sistema Mixto de Ornamentales propiedad de Alicia incluye cedrela, chima, azálea y camelia. Suelos erosionados, se usa azadón para mover la tierra.	2.93	4.4
Relicto de BMM	Relicto de Bosque Mesófilo de Montaña, invadido por cultivos de chima, se busca restaurarlo con especies nativas del BMM.	2.27	3.4
SAF Guayabo	Sistema Agroforestal Guayabo: sistema mixto de azálea, chima y guayabo (<i>Psidium guajava</i>)	1.99	3.0
ACA_VZI_(A)Cb	Acahual en valle con zona inundable	1.94	2.9
SARR_CA_(A)Cb	Sistema Arrayán en cauce de arroyo	1.72	2.6
Chima Alicia	Sistema Chima pendientes >40%, suelos erosionados, se usa azadón para mover la tierra. No se extrae chima en la actualidad.	1.66	2.5
ACA_LADPEND_(A)Cb	Acahual en laderas con pendientes de 15-40%	1.56	2.4
SMO_VZI_(A)Cb	Sistema Mixto de Ornamentales en valle con zona inundable	1.54	2.3
ACA_AV_(A)Cb	Acahual en aparato volcánico	1.54	2.3
Producción de Bambú, aguacate y granada	Área destinada a la producción de bambú, aguacate y granada	1.50	2.3
Azalea-chima J.L.	Sistema Azálea-chima con pendiente de 8-15% propiedad de José Luis	1.12	1.7
Chima J.L.	Sistema chima con pendientes de 15%, suelos erosionados y pedregosos. No se extrae chima en la actualidad, propiedad de José Luis	0.81	1.2
BMMSEC_CA_(A)Cb	Bosque Mesófilo de Montaña secundario en cauce de arroyo	0.73	1.1
BMMSEC_LADESC_(A)Cb	Bosque Mesófilo de Montaña secundario en laderas escarpadas >40%	0.57	0.9
	Bosque Mesófilo de Montaña secundario en laderas con pendientes de 15-40%	0.55	0.8
Sistema Silvopastoril	Cultivo de chima para follaje, herbáceas forrajeras: frijol palo (<i>Cajanus cajan</i>) y árnica (<i>Tithonia diversifolia</i>), cacahuatillo (<i>Arachis pintoi</i>) y trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>) para ganado ovino, no hay extracción de suelo	0.43	0.7
SARR_AV_(A)Cb	Sistema de arrayán en aparato volcánico	0.43	0.6
ACA_LADESC_(A)Cb	Acahual en laderas escarpadas	0.42	0.6
SARR_LADPEND_(A)Cb	Sistema de arrayán en laderas con pendientes de 15-40%	0.39	0.6
SARR_VZI_(A)Cb	Sistema Arrayán en valle con zona inundable	0.37	0.6
Semilleros de ornamentales	Semilleros de ornamentales	0.35	0.5
Viveros arrayán	Se produce plántula de arrayán a raíz desnuda para su posterior trasplante	0.34	0.5
PARDES_VZI_(A)Cb	Parcelas en descanso en valle zona inundable	0.29	0.4
PARDES_LADPEND_(A)Cb	Parcelas en descanso en laderas con pendientes de 15-40%	0.28	0.4
Viveros de ornamentales	Área donde se mantienen los ornamentales extraídos hasta la venta	0.24	0.4
SARR_LADESC_(A)Cb	Sistema arrayán en laderas escarpadas	0.16	0.2
UMA Orquídeas y Bromelias	Área destinada a una UMA de Orquídeas y Bromelias	0.04	0.1
Vivienda	Zona urbana	0.04	0.1

Fuente: elaboración propia.

LITERATURA CITADA

CONABIO. (2010). El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su conservación y manejo sostenible I. In CONABIO. Retrieved from <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bMesofilo.html>

CONAFOR. (2007). Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) Manual básico (1st ed.; CONAFOR-SEMARNAT, Ed.). Jalisco, México: IMPRE-JAL.

CONAGUA-UACH. (2009). Proyecto de Restauración Hidrológica-Ambiental De La Parte Media Y Alta De La Cuenca Del Río Platanar, Comprendida Entre Los Estados De Tabasco Y Chiapas. Comisión Nacional del Agua.

CONANP. (2013). Estudio Previo Justificativo para la modificación de la Declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales " Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa " ubicada en los estados de Hidalgo y Puebla. CONANP, 121.

Gobierno-Municipal. (2015). Plan de Desarrollo Municipal del Municipio de Tlaola, Puebla 2014-2018. Tlaola, Puebla.

Gómez-Díaz, J. D. (2008). Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la reserva de la Biosfera "Sierra De Huautla", Morelos, México. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

INEGI. (2004). Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Retrieved from INEGI website: <file:///C:/INEGI/rocas/geologia1m.html>

INEGI. (2017). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional). Retrieved from INEGI website: <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/default.html#Descargas>

INEGI. (2019). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Retrieved from INEGI website: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>

Otero, W., García, J., Solano, G., & Castillo, M. (1998). Guía simplificada para el ordenamiento territorial municipal. In Duplolo (Ed.), Convenio IGAC -Proyecto CHECUA - CAR - GTZ - KFW. Santa Fe de Bogotá.

Ruiz Moreno, S. (2016). Calidad de uso en sistemas de producción tradicionales y con tecnologías agroforestales en Xaltepuxtla, Puebla. Universidad Autónoma Chapingo.

UACH-INECOL. (2002). Ordenamiento Ecológico Territorial de las cuencas hidrológicas de los ríos Necaxa y Laxaxalpan. In Instituto Nacional de Ecología. Chapingo, Estado de México.

Valencia-Trejo, G. M.; Álvarez-Sánchez, M. E.; Gómez-Díaz, J. D.; Cetina-Alcalá, V. M. (2019). Caracterización y diagnóstico participativo para el Ordenamiento Territorial Comunitario con enfoque agroforestal en Xaltepuxtla, Puebla, México. Taller participativo para el Ordenamiento Territorial Comunitario a nivel finca. Manuscrito Enviado Para Publicación.

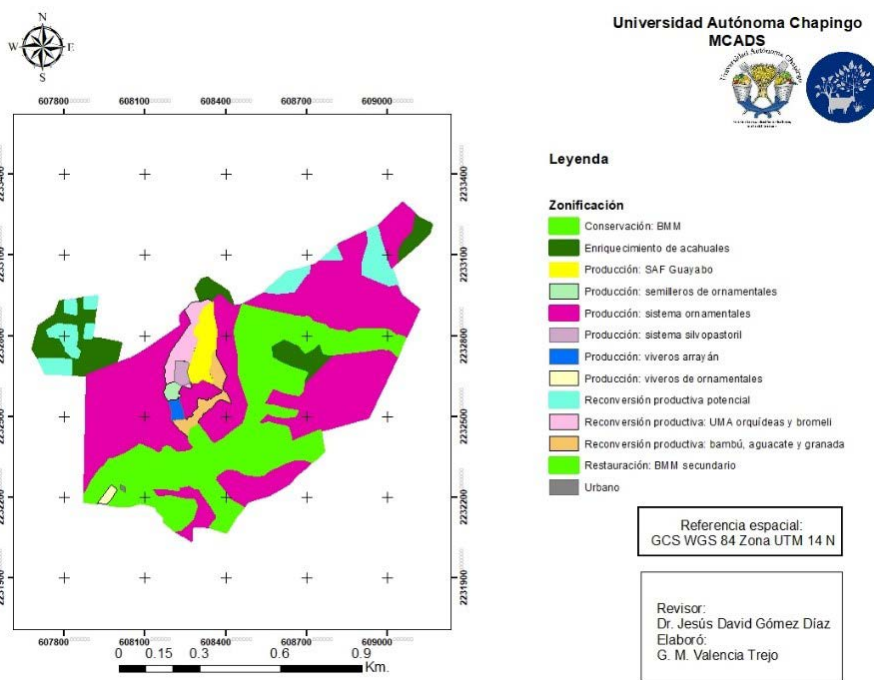


Figura 9. Zonificación de acuerdo con potencialidades y limitantes.

Cuadro 6. Zonificación del territorio del área de estudio .

No.	Zonas	Superficie (ha)	(%)
3	Producción: sistemas ornamentales	43.54	49.0
4	Restauración: BMM secundario	20.01	22.5
1	Enriquecimiento de acahuales	7.98	9.0
11	Conservación: BMM	5.77	6.5
2	Reconversión productiva potencial	4.98	5.6
10	Producción: SAF Guayabo	1.99	2.2
5	Reconversión productiva: UMA orquídeas y bromelias	1.73	1.9
6	Reconversión productiva: bambú, aguacate y granada	1.50	1.7
13	Producción: sistema silvopastoril	0.43	0.5
12	Producción: semilleros de ornamentales	0.35	0.4
9	Producción: viveros arrayán	0.34	0.4
7	Producción: viveros de ornamentales	0.24	0.3
8	Urbano	0.04	0.0

Fuente: elaboración propia.



Cost of the calving interval in tropical bovine production in southeastern Mexico

Costo del intervalo interparto en la producción bovina tropical del sureste de México

Torres-Aburto, Víctor Fernando¹; Domínguez-Mancera, Belisario¹; Vazquez-Luna, Dinora^{1,2*}; Espinosa Ortiz, Valentín Efrén³

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Veracruz, Veracruz de Ignacio de la Llave, Mexico, C. P. 91710. ²Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria, Centro de Estudios Interdisciplinarios en Agrobiodiversidad, Universidad Veracruzana, Acayucan, Veracruz, Mexico, C. P. 96100. ³Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Autónoma de México, Departamento de Economía, Administración y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma de México, Mexico, C. P. 04510.

*Autor para correspondencia: divazquez@uv.mx

ABSTRACT

Objective: To analyze the cost of the calving interval (CI) in cattle production in humid tropic of south-eastern Mexico and to predict the possible economic losses of farms in the humid tropics.

Design/methodology/approach: Tropical farms corresponding to 1,200 cattle of the breeds: Simmental, Simbrha, Brahman and F1 crosses grazing, were analyzed. One-way ANOVA was used to compare costs among breeds. Linear regression was used to obtain the relationship between cow age and CI.

Results: The cost of a day without pregnancy reached USD \$0.99 (± 0.05), and a cow that did not calve for one year represented an investment loss of USD \$359.00 (± 11.72) in relation to production costs.

Limitations on study/implications: The income obtained from the sale of a calf at weaning and milk amounted to USD \$734.10 (± 16.98).

Findings/conclusions: No significant differences were found between the races ($p < 0.05$) and the CI, however, there was a positive relationship ($r = 0.9326$, $r^2 = 0.8698$, $p < 0.05$) between the CI and the increase in the age of the cow.

Keywords: Rural development, economic efficiency, food security, extensive production.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo fue analizar el costo del Intervalo Interparto (IIP) en la producción de ganado vacuno del sureste de México, y predecir las posibles pérdidas económicas en las granjas tropicales.

Diseño/metodología/aproximación: Se analizaron granjas tropicales correspondientes a 1,200 bovinos de las razas: Simmental, Simbrha, Brahman y cruza F1, en pastoreo. Se utilizó el ANOVA unidireccional para comparar los costos entre las razas. La regresión lineal se utilizó para obtener la relación entre la edad de la vaca y el IIP.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio, 2020. pp: 45-51.

Recibido: febrero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Resultados: El costo de un día sin preñez alcanzó los USD \$0.99 (± 0.05), y una vaca que no parió durante un año representó una pérdida, para el productor, de US \$359.00 (± 11.72), en relación con los costos de producción.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Los ingresos obtenidos de la venta de un becerro al destete y la leche generada, ascendieron a USD \$734.10 (± 16.98).

Hallazgos/conclusiones: No se encontraron diferencias significativas entre las razas ($p < 0.05$) y el IIP, sin embargo, hubo una relación positiva ($r = 0.9326$, $r^2 = 0.8698$, $p < 0.05$) entre el IIP y el incremento de la edad de la vaca.

Palabras clave: Desarrollo rural, eficiencia económica, seguridad alimentaria, producción extensiva.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con datos del crecimiento demográfico previsto para 2050, se estima que el consumo de carne y leche aumentará entre 60 y 70% a nivel mundial, en comparación con los valores actuales (Makkar, 2014). Sin embargo, la mayor fuente de proteína animal se producirá en los países en vías de desarrollo, muchos de los cuales se encuentran en los trópicos húmedos. Uno de los principales desafíos de las granjas ganaderas tropicales es reducir el Intervalo Interparto (IIP), debido a que generalmente, éste es mayor de 30 meses (Stroebel et al., 2011). Cabe mencionar, que en el sureste mexicano, el manejo tradicional es el extensivo, el cual consiste en permitir que los toros y las vacas permanezcan juntas durante todo el año, en este sistema, los nacimientos pueden ocurrir durante periodos críticos, disminuyendo las tasas de gestación y aumentando la muerte perinatal y el bajo peso al nacer (Giordano et al., 2012).

El rendimiento reproductivo es uno de los principales factores que influyen en el éxito del sistema de producción bovina, por ello, es crucial mejorarlo (Galvão et al., 2013). El IIP es uno de los principales indicadores en la evaluación del desempeño reproductivo de un hato, es decir, un IIP más prolongado produce pérdidas económicas, acorta la vida reproductiva de las vacas y reduce el número de partos (Hernández et al., 2011), aunque éste puede verse afectado por la raza, el medio ambien-

te y la edad. Al respecto, un IIP ideal en un sistema de producción bovina es de 365 días después de la primera inseminación artificial o apareamiento directo, para lograr un parto por vaca por año (Inchaisri et al., 2010). Esto significa que al restar 283 días de gestación, de 365 días del año, las hembras deben quedar preñadas nuevamente, 82 días después del parto, considerando de 40 a 60 días de involución uterina, en condiciones de pastoreo (Pérez et al., 2001). En los trópicos, las vacas tienen solo uno o dos celos para lograr la próxima gestación y mantener el intervalo de 12 meses entre partos, en el caso de la cría natural, del 65 al 75% de las vacas deben concebir dentro de los primeros 90 días después del parto. Por tanto, es necesario que del 95 al 100% de las vacas muestren signos de estro después del puerperio (40 días después del parto), para obtener una tasa de concepción del 70 al 80%. Es posible lograr este objetivo de producción, pero dependerá de las diferentes características de manejo del ganado y de la región en la que se encuentran (Piccardi et al., 2013). Por todo lo anterior, el objetivo de este estudio fue analizar el costo del IIP del ganado bovino, en el trópico húmedo, del sureste de México y predecir las posibles pérdidas económicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el municipio de Juan Rodríguez Clara, ubicado en la zona sur del estado de Veracruz, México, a 17° 59' 24" N y 95° 24' 14.04" O, a 130 metros sobre el nivel del mar. El clima es cálido y húmedo, con una precipitación media anual de 1600 mm, la mayor parte de la lluvia se registra entre julio y noviembre. La temperatura mensual más alta se registra en mayo (38 °C) y la más baja en enero (12 °C). Los datos se recopilaron de marzo de 2015 a marzo de 2017. Se analizaron las unidades de producción, registrándose 1,200 vacas de las cruas Simmental, Simbrah, Brahman y F1, con edades que variaron de 3 a 10 años, las cuales fueron estratificadas. La alimentación fue exclusivamente con pastoreo de: *Cynodon nlemfuensis*, *Digitaria eriantha* y *Panicum maximum*. El programa de vacunación consistió en vacunas contra enfermedades del complejo clostridial bovino (*Clostridium chauvoei*, *C. septicum*, *C. sordellii*, *C. novyi* y *C. perfringens* tipo C y D; y rabia parálítica bovina (Roth, 2011).

Los costos de producción se registraron semanalmente y se clasificaron como costos fijos la mano de obra, depreciación animal, depreciación de instalaciones, depreciación de equipos motorizados y equipos no

motorizados, pago de agua, pago de energía eléctrica; los costos variables fueron la alimentación de vacas y toros, el programa de salud, la evaluación de la aptitud reproductiva del toro, los servicios médicos veterinarios y los medicamentos. La principal función zootécnica fue la producción de becerros para la venta al destete, al alcanzar un peso de 180 kg (± 5.2) y una edad de 8 meses (± 0.75). El costo de oportunidad se estimó por la disminución de los ingresos obtenidos de la producción de leche y la venta de terneros al destete. El costo de oportunidad de la leche se obtuvo al estimar la producción diaria promedio de leche por vaca y el precio de venta durante un período de lactancia de siete meses (± 0.53). Para el costo de oportunidad en terneros, utilizamos el precio de venta por kilogramo y el peso de los animales al momento del destete.

Las variables económicas se calcularon de acuerdo con las siguientes ecuaciones: IIP (1), a) costos fijos: mano de obra (2), depreciación del ganado (3), equipo motorizado (4), equipo no motorizado (5), depreciación de instalaciones (6), pagos de agua (7) pagos de electricidad (8); b) costos variables: alimentación de vacas (9), alimentación de toros (10), programa de salud (11), evaluación de solidez de la cría de toros (12), servicios médicos veterinarios (13), costo total (14) y costo de oportunidad (15). Estas variables se calcularon para cada vaca en el período de estudio. Se calculó el costo de oportunidad para la venta de leche y el costo de un ternero para destetar por vaca por año (Inchaisri et al., 2010). En el primer caso, la producción promedio de leche se estimó en un ciclo pro-

ductivo (siete meses) y con un precio de venta de USD \$0.22 dólares por litro, mientras que, para el segundo caso, consideramos un peso promedio de 180 kg al momento del destete y un precio de USD \$2.90 por kg. El tipo de cambio al momento de la investigación era de \$17.11 pesos mexicanos por dólar estadounidense (www.banxico.org.mx, 2017). Los resultados se presentaron en dólares estadounidenses (USD \$).

$$IIP = \frac{\text{Número de días entre dos nacimientos consecutivos}}{\text{Total de vacas en el rebaño}} \quad (1)$$

$$\text{Labor} = \frac{\text{Pago laboral}}{\text{Número de vacas}} \quad (2)$$

$$\text{Depreciación de la vaca} = \frac{V_i - V_r}{V_u} \quad (3)$$

Donde: V_i =Valor inicial, V_r =Valor de recuperación, V_u =Años de vida útil.

$$\text{Depreciación de equipo motorizado} = \frac{V_i - V_r}{V_u} \quad (4)$$

Donde: V_i =Valor inicial, V_r =Valor de recuperación=5%, V_u =Años de vida útil=10 años

$$\text{Depreciación de equipos no motorizados} = \frac{V_i - V_r}{V_u} \quad (5)$$

Donde: V_i =Valor inicial, V_r =Valor de recuperación=7%, V_u =Años de vida útil=5 años

$$\text{Depreciación de instalaciones} = \frac{V_i - V_r}{V_u} \quad (6)$$

Donde: V_i =Valor inicial, V_r =Valor de recuperación=7%, V_u =Años de vida útil=10 años

$$\text{Costo del agua} = \frac{\text{Pago por consumo de agua}}{\text{Número de vacas}} \quad (7)$$

$$\text{Pago de energía eléctrica} = \frac{\text{Pago de energía eléctrica}}{\text{Número de vacas}} \quad (8)$$

$$\text{Costo de alimentación de la vaca} = \frac{\text{Costo de alimentación de las vacas en pastoreo}}{\text{Número de vacas}} \quad (9)$$

$$\text{Costo de alimentación del toro} = \frac{\text{Costo de alimentación en pastoreo del toro}}{\text{Número de vacas}} \quad (10)$$

$$\text{Programa de sanidad} = \frac{\text{Costo de un programa de vacunación}}{\text{Número de vacas}} \quad (11)$$

$$\text{Evaluación reproductiva del toro} = \frac{\text{Costo de evaluación de toros}}{\text{Número de vacas}} \quad (12)$$

$$\text{Servicio veterinario} = \frac{\text{Costo del diagnóstico de gestación}}{\text{Número de vacas}} \quad (13)$$

$$\text{Costos totales} = \text{Total de costos fijos} + \text{Total de costos variables} \quad (14)$$

$$\text{Costos de oportunidad} = \text{Precio de compra} + \text{valor de disposición} * \text{Tasa de interés} \quad (15)$$

Se utilizó un ANOVA unidireccional del módulo GLM del software estadístico STATISTICA V11.0 para analizar los días y el costo del Iip, utilizando los costos de oportunidad y los costos totales entre las diferentes razas del estudio. Además, se usó un análisis de regresión lineal simple para determinar la correlación entre la edad de la vaca y el intervalo entre nacimientos. Las figuras se construyeron con el software Sigma Plot v10.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los costos fijos diarios fueron de USD \$0.49 por vaca, los segmentos de trabajo y depreciación del ganado (USD \$0.22 y US \$0.5, respectivamente) constituyeron la proporción más alta (Cuadro 1). Los costos variables totales alcanzaron USD \$0.50 por vaca; la alimentación del ganado representó USD \$0.36 y la evaluación de la buena cría del toro alcanzó USD \$0.01, éstas fueron las categorías más altas. El costo total diario de un día abierto por una vaca fue de USD \$0.99. Cada año, una vaca que no pare, le cuesta al productor USD \$361.35 por mantenimiento. Sin embargo, la pérdida anual aumenta a USD \$1,093.18 por vaca por año, porque no se perciben USD \$223.87 por la venta de leche durante la lactancia y USD \$510.23 por la venta del becerro (Cuadro 1). El Iip promedio fue de 578 (± 5.50) días (Figura 1), pero no hubo diferencias significativas entre las razas, en ninguna de las condiciones ana-

lizadas. La edad, sin embargo, estuvo altamente correlacionada con el Iip (Figura 2). El análisis muestra que las vacas con edades comprendidas entre tres y seis años tienen un Iip similar, que aumenta en vacas de siete y ocho años; el grupo de vacas de ocho y nueve años tuvo el Iip más alto.

El costo variable por concepto de alimentación del rebaño y el costo fijo correspondiente a la mano de obra fue la mayor proporción del costo total del Iip, en las vacas en etapa reproductiva con USD \$0.36 y USD \$0.22, respectivamente. De acuerdo con diversos autores, los costos que han tenido mayor impacto son: la alimentación (38%) y la mano de obra (26%) (Callejas *et al.*, 2015; Rouquette, 2017).

Desafortunadamente, en el caso de la alimentación, los productores no lo perciben como un costo, debido a que son dueños de la tierra donde pastorea el ganado y, por tanto, tienen una percepción incompleta de los costos de producción (Perego, 2019). En este estudio, el Iip promedio fue de 578 días, que difiere de lo reportado en algunos autores (Mee *et al.*, 2014; Bronner *et al.*, 2015; El-Tarabany, 2015), quienes han encontrado un intervalo de 691 días en vacas lecheras y 703 días en vacas de carne. Esta variación en el Iip es causada por una serie de factores como enfermedades que afectan la reproducción, por ejemplo, diarrea viral bovina, rinotraqueítis infecciosa bovina y neospora (Lassen *et al.*, 2012), la baja condición corporal (Fenlon *et al.*, 2017) y abortos (Keshavarzi *et al.*, 2017). Estas características están estrechamente relacionadas con un mayor número de días abiertos y afectan directamente la rentabilidad de la granja. El

Cuadro 1. Costos fijos acumulados, costos variables y costo de oportunidad de días abiertos en USD.											
Tipos de costos	Costos diarios	Edad de la vaca (en años)									
		3	4	5	6	7	8	9	10		
Costos fijos											
Labor	\$0.22	\$79.35	\$158.70	\$238.05	\$317.40	\$317.40	\$396.75	\$476.10	\$555.45		
Depreciación del ganado	\$0.05	\$19.49	\$38.98	\$58.48	\$77.97	\$77.97	\$97.46	\$116.95	\$136.45		
Depreciación del equipo motorizado	\$0.07	\$23.77	\$47.54	\$71.31	\$95.08	\$95.08	\$118.86	\$142.63	\$166.40		
Depreciación del equipo no motorizado	\$0.02	\$6.02	\$12.04	\$18.06	\$24.08	\$24.08	\$30.10	\$36.12	\$42.14		
Costo del agua	\$0.01	\$4.10	\$8.19	\$12.29	\$16.38	\$16.38	\$20.48	\$24.57	\$28.67		
Costo de la energía eléctrica	\$0.02	\$8.72	\$17.44	\$26.16	\$34.88	\$34.88	\$43.60	\$52.32	\$61.05		
Instalaciones	\$0.10	\$35.69	\$71.37	\$107.06	\$142.75	\$142.75	\$178.44	\$214.12	\$249.81		
Subtotal	\$0.49	\$177.14	\$354.28	\$531.41	\$708.55	\$708.55	\$885.69	\$1,062.83	\$1,239.97		
Costos variables											
Alimentación de vacas	\$0.36	\$130.77	\$261.54	\$392.30	\$523.07	\$523.07	\$653.84	\$784.61	\$915.38		
Alimentación de los toros	\$0.01	\$3.51	\$7.03	\$10.54	\$14.05	\$14.05	\$17.57	\$21.08	\$24.59		
Programas de sanidad	\$0.02	\$8.98	\$17.96	\$26.94	\$35.92	\$35.92	\$44.90	\$53.89	\$62.87		
Servicio médico veterinario	\$0.03	\$9.70	\$19.41	\$29.11	\$38.81	\$38.81	\$48.51	\$58.22	\$67.92		
Evaluación del toro	\$0.01	\$5.13	\$10.25	\$15.38	\$20.50	\$20.50	\$25.63	\$30.75	\$35.88		
Medicinas	\$0.07	\$23.86	\$47.71	\$71.57	\$95.42	\$95.42	\$119.28	\$143.13	\$166.99		
Subtotal	\$0.50	\$181.95	\$363.89	\$545.84	\$727.78	\$727.78	\$909.73	\$1,091.68	\$1,273.62		
Total	\$ 0.98	\$359.08	\$718.17	\$1,077.25	\$1,436.34	\$1,436.34	\$1,795.42	\$2,154.51	\$2,513.59		
Costos de oportunidad (leche y becerro)											
Ingresos por ternero	\$510.23	\$1,020.46	\$1,530.68	\$2,040.91	\$2,551.14	\$2,551.14	\$3,061.37	\$3,571.60	\$4,081.82		
Ingresos por producción de leche por ciclo	\$223.87	\$447.74	\$671.61	\$895.48	\$1,119.35	\$1,119.35	\$1,343.21	\$1,567.08	\$1,790.95		
Total Costos de oportunidad	\$734.10	\$1,468.19	\$2,202.29	\$2,936.39	\$3,670.49	\$3,670.49	\$4,404.58	\$5,138.68	\$5,872.78		
Total de costos		\$1,093.18	\$2,186.36	\$3,279.54	\$4,372.73	\$5,106.82	\$6,200.00	\$7,293.19	\$8,386.37		

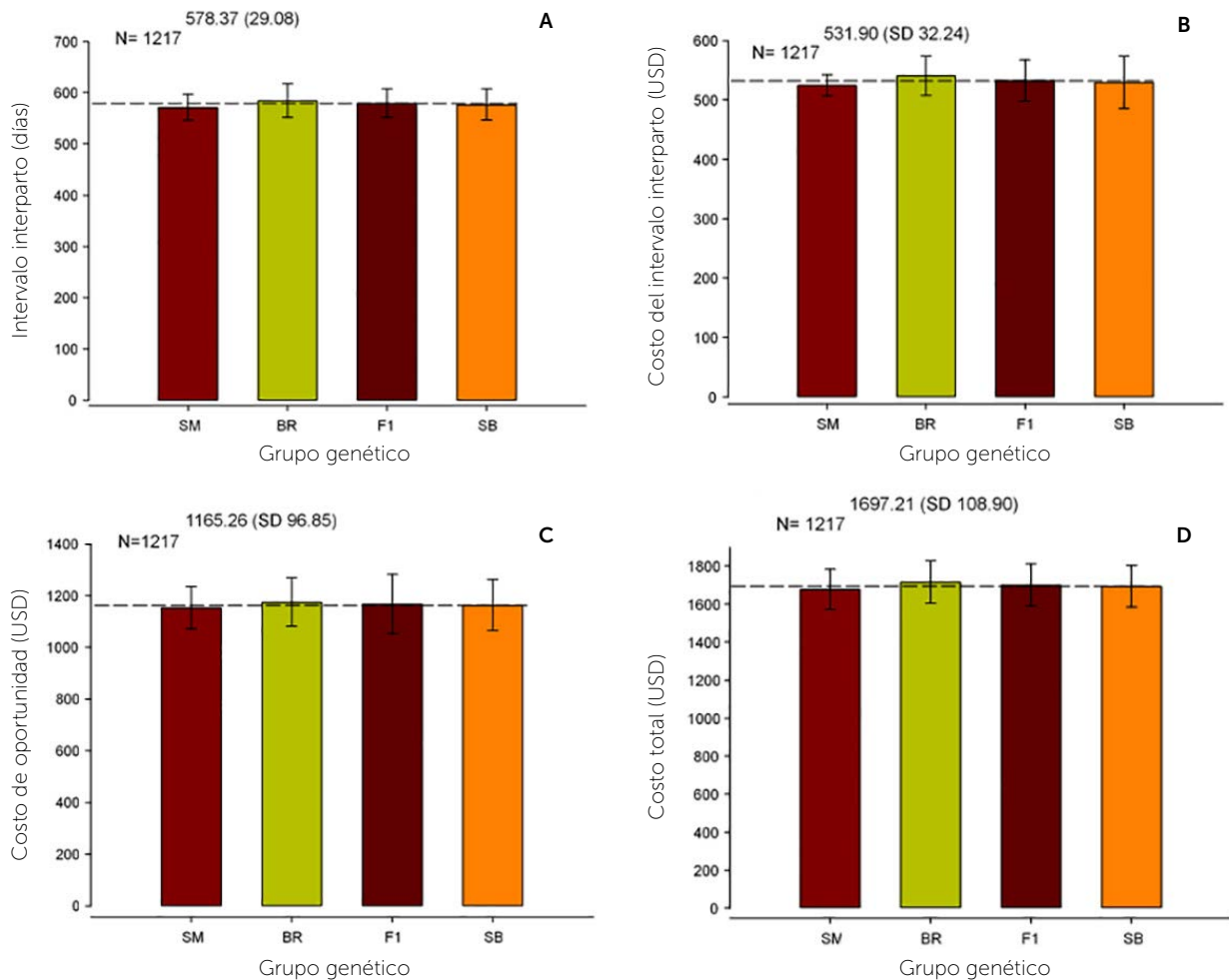


Figura 1. Análisis de costos del intervalo de parto (IIP). A. Intervalo interparto en cada raza analizada (sm=Simmental, BR=Brahman, F1=crucos y SB=Simbrha), en pastoreo; B. Costos del intervalo interparto; y C. Costo de oportunidad; D. Costo total.

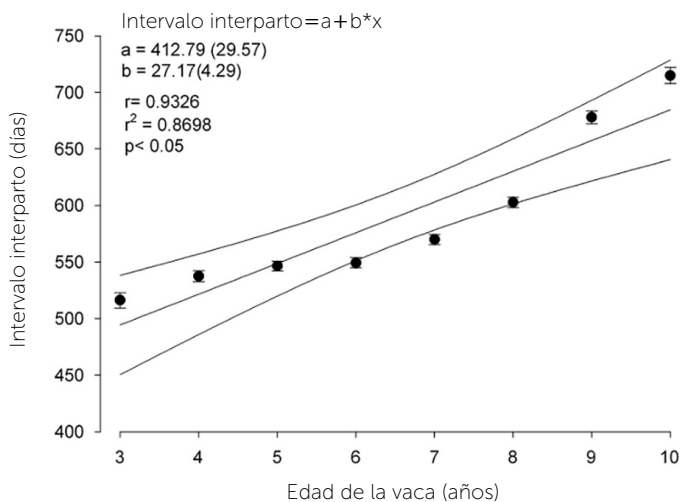


Figura 2. Relación entre la edad de la vaca y el intervalo de parto (IIP). Se muestran el ajuste lineal y los coeficientes de relación y determinación, y el intervalo de confianza al 95%.

costo del IIP fue de USD \$1,093.18 (±1.90), mayor que el encontrado por Inchausti *et al.* (2010), es decir, el costo de mantener vacas en estado reproductivo alcanzó los

USD \$734.14, incluidos los ingresos no percibidos por los granjeros, por la venta de leche y por la venta del becerro al destete (Shonka-Martin *et al.*, 2019). En Eslovenia, los valores económicos absolutos para el IIP están tabulados en -1 € por día para todas las razas, y la ganancia diaria de carne ha sido estimada en 0.14 € por kg para Brown Swiss y 0.32 € por kg para Simmental (de Haas *et al.*, 2013). A diferencia de los trópicos, los costos de producción en clima frío varían entre USD \$1.78 y USD \$4.73, y los costos fijos son los que más afectan la rentabilidad, por ejemplo, se estima en Irlanda ascienden a USD \$897.00 por hectárea (Taylor *et al.*, 2018). Aunque, en el sureste de México, no hay sobrepeso por la calidad de la leche, por lo que el precio fue de \$5.97 kg⁻¹ (Spaans *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

La eficiencia reproductiva y productiva de las granjas de ganado se vio directamente afectada por un

aumento en el llp, lo que significa una disminución en los nacimientos de terneros y productos lácteos por año, reduciendo la rentabilidad y la estabilidad de la unidad de producción.

LITERATURA CITADA

- Bronner, A., Morignat, E., Gay, E., & Calavas, D. (2015). An optimal cut-off point for the calving interval may be used as an indicator of bovine abortions. *Preventive Veterinary Medicine*, 121, 386-390.
- Callejas, J. N., Ortega, G. J. A., Domínguez, V. J., & Rebollar, R. S. (2015). La producción de becerros en Chihuahua: un análisis económico marginal. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 19(2), 51-65.
- de Haas, Y., Veerkamp, R. F., Shaloo, L., Dillon, P., Kuipers, A., & Klopčič, M. (2013). Economic values for yield, survival, calving interval and beef daily gain for three breeds in Slovenia. *Livestock Science*, 157, 397-407.
- El-Tarabany, M. S. (2015). Effects of calving difficulty on the subsequent reproductive performance and milk production of Holstein, Brown Swiss and their crosses. *Livestock Science*, 180, 263-267.
- Fenlon, C., O'Grady, L., Doherty, M. L., Dunnion, J., Shaloo, L., & Butler, S. T. (2017). The creation and evaluation of a model predicting the probability of conception in seasonal-calving, pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 5550-5563.
- Galvão, K., Federico, P., De Vries, A., & Schuenemann, G. M. (2013). Economic comparison of reproductive programs for dairy herds using estrus detection, timed artificial insemination, or a combination. *Journal of Dairy Science*, 96, 2681-2693.
- Giordano, J., Kalantari, A., Fricke, P., Wiltbank, M., & Cabrera, V. (2012). A daily herd Markov-chain model to study the reproductive and economic impact of reproductive programs combining timed artificial insemination and estrus detection. *Journal of Dairy Science*, 95, 5442-5460.
- Hernández, B. M. A., Silveira, P. E. A., Contreras, N. Á., Pérez, V. Y., & Vallejo, G. J. (2011). Intervalos Interpartales, total de partos y duración de la vida reproductiva en vacas mestizas Siboney de Cuba en una empresa ganadera. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(11): 1-8.
- Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P., Van der Weijden, G., & Hogeveen, H. (2010). Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology*, 74, 835-846.
- Keshavarzi, H., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Kristensen, A. R., & Stygar, A. H. (2017). Abortion studies in Iranian dairy herds: I. Risk factors for abortion. *Livestock Science*, 195, 45-52.
- Lassen, B., Orro, T., Alekseev, A., Raaperi, K., Järvis, T., & Viltrop, A. (2012). *Neospora caninum* in Estonian dairy herds in relation to herd size, reproduction parameters, bovine virus diarrhoea virus, and bovine herpes virus. *Veterinary Parasitology*, 190, 43-50.
- Makkar, H. P. (2014). Sustainable increase in livestock productivity in developing countries through efficient utilisation of feed resources. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 48(1), 55-58.
- Mee, J. F., Sánchez-Miguel, C., & Doherty, M. (2014). Influence of modifiable risk factors on the incidence of stillbirth/perinatal mortality in dairy cattle. *The Veterinary Journal*, 199, 19-23.
- Perego, V. M. E. (2019). Crop prices and the demand for titled land: Evidence from Uganda. *Journal of Development Economics*, 137, 93-109.
- Pérez, H., Solaris, F., García, W., Osorio, A., & Gallegos, S. (2001). Comportamiento productivo y reproductivo de vacas de doble propósito en dos sistemas de amamantamiento en el trópico. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 9, 79-85.
- Piccardi, M., Capitaine Funes, A., Balzarini, M., & Bó, G. A. (2013). Some factors affecting the number of days open in Argentinean dairy herds. *Theriogenology*, 79, 760-765.
- Roth, J. A. (2011). Veterinary vaccines and their importance to animal health and public health. *Procedia in Vaccinology*, 5(2011), 127-136.
- Rouquette, F. (2017). Invited Review: Management Strategies for Intensive, Sustainable Cow-Calf Production Systems in the Southeastern United States: Bermudagrass pastures overseeded with cool-season annual grasses and legumes. *The Professional Animal Scientist*, 33, 297-309.
- Shonka-Martin, B. N., Heins, B. J., & Hansen, L. B. (2019). Three-breed rotational crossbreds of Montbéliarde, Viking Red, and Holstein compared with Holstein cows for feed efficiency, income over feed cost, and residual feed intake. *Journal of Dairy Science*, 102, 3661-3673.
- Spaans, O. K., Macdonald, K. A., Neal, M., Auldist, M. J., Lancaster, J. A. S., Bryant, A. M., Doole, G. J., & Roche, J. R. (2019). A quantitative case study assessment of biophysical and economic effects from altering season of calving in temperate pasture-based dairy systems. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 11523-11535.
- Stroebel, A., Swanepoel, F., & Pell, A. (2011). Sustainable smallholder livestock systems: A case study of Limpopo Province, South Africa. *Livestock Science*, 139, 186-190.
- Taylor, R. F., Crosson, P., Kelly, A. K., & McGee, M. (2018). Benchmarking technical and economic performance of beef cow-calf to finishing production systems in Ireland. *The Professional Animal Scientist*, 34, 421-434.

Effect of a grass-legume association on the dry matter yield and protein concentration of the prairie fertilized with phosphorus

Efecto de una asociación pasto-leguminosa en el rendimiento de materia seca y concentración de proteína de la pradera fertilizada con fósforo

Pardo-Aguilar, Nohemí¹; Bolaños-Aguilar, Eduardo Daniel^{2*}; Lagunes-Espinoza, Luz del Carmen¹; Enríquez-Quiroz, Javier Francisco³; Fragoso-Islas, Abraham⁴

¹Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. CP. 86500. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Huimanguillo. Huimanguillo, Tabasco, México. CP. 86600. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental "La Posta". Paso del Toro, Veracruz, México. CP. 94277. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Sitio Experimental "Las Margaritas", Hueytamalco, Puebla, México. CP 73583.

*Autor para correspondencia: bolanos.eduardo@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Objective: to determine the seasonal variation of the dry matter yield (DMY) and protein of the *Brachiaria humidicola*-*Arachis pintoi* association with and without phosphate fertilization.

Design/methodology/approach: DMY, protein, and leaf ratio in the plant were evaluated. Statistical analysis was on repeated measures in a completely randomized design with four replications.

Results: humidicola in monoculture (H) and humidicola-fertilized (HF) decreased their DMY by 0.90 t ha⁻¹ DM in november, averaging 0.89 t ha⁻¹ from November to June. From June 9 to July 14, H increased his DMY by 1.22 t ha⁻¹. Humidicola-cacahuatillo (HC) and humidicola-cacahuatillo-fertilized (HCF) registered an average RMS from October to February of 0.96 and 1.2 t ha⁻¹ DM, respectively. HCF registered higher DMY in January (1.27 t ha⁻¹) with respect to the average (0.71 t ha⁻¹) of the rest of the treatments. During the dry season HC and HCF were higher in DMY than monocultures. The humidicola of the association registered 19.21 g kg⁻¹ DM more protein, than the humidicola of the monoculture, being higher HCF than the rest of the treatments in rains.

Limitations on study/implications: a limitation in the time of the humidicola-cacahuatillo association could be the persistence of the legume, therefore monitoring is required to determine its permanence.

Findings/conclusions: the association when registering a higher RMS in the dry season, confers less seasonal variation, in addition to granting a higher protein concentration to the associated humidicola vs. the humidicola in monoculture.

Key words: Grass-legume association, dry matter yield, protein.

RESUMEN

Objetivo: determinar la variación estacional del rendimiento de materia seca de la parcela (RMS) y de proteína de la asociación *Brachiaria humidicola*-*Arachis pintoi* con y sin fertilización fosfatada.

Diseño/metodología/aproximación: se evaluó el RMS, proteína, y proporción de hoja en la planta. El análisis estadístico fue en medidas repetidas en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 53-60.

Recibido: marzo, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Resultados: humídicola en monocultivo (H) y humídicola-fertilizado (HF) disminuyeron su RMSP en 0.90 t ha^{-1} en noviembre, promediando 0.89 t ha^{-1} de noviembre a junio. Del 9 de junio al 14 de julio, H incrementó su RMSP en 1.22 t ha^{-1} . Humídicola-cacahuatillo (HC) y humídicola-cacahuatillo-fertilizado (HCF) registraron un RMSP de octubre a febrero de 0.96 y 1.2 t ha^{-1} MS, respectivamente. HCF registró mayor RMS en enero (1.27 t ha^{-1}) con respecto al promedio (0.71 t ha^{-1}) de los tratamientos restantes. Durante la época seca, HC y HCF fueron superiores en RMS que los monocultivos. El humídicola de la asociación registró 19.21 g kg^{-1} MS más proteína, que el humídicola en monocultivo, siendo superior HCF al resto de los tratamientos en lluvias.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Una limitante en el tiempo de la asociación humídicola-cacahuatillo podría ser la persistencia de la leguminosa, por lo que se requiere de su monitoreo para determinar su permanencia.

Hallazgos/conclusiones: La asociación al registrar mayor RMSP en la época seca del año, confiere menor variación estacional, además de otorgar mayor concentración de proteína al humídicola asociado vs el humídicola en monocultivo.

Palabras clave: Asociación pasto-leguminosa, rendimiento de materia seca, proteína.

de producción de biomasa, por las variaciones del clima durante el año (Jones y Hu, 2006). Al asociar pastos con fabáceas se han disminuido las fluctuaciones en producción de biomasa durante el año, explicado por la diversidad genética de especies que componen la asociación (Prieto *et al.*, 2015). Resultados semejantes registraron Zuppinger-Dingley *et al.* (2014), quienes señalaron que especies distintas al asociarse presentan cambios morfológicos a corto plazo, dándole a la pradera mayor estabilidad en el tiempo. Estos trabajos, realizados en otras latitudes, indican que las asociaciones mitigan la estacionalidad de producción de las praderas, y mejoran su valor nutritivo. Con base en lo anterior, se determinó la variación estacional del rendimiento de materia seca y concentración de proteína de la asociación *Brachiaria humidicola*-*Arachis pintoi*, del Humídicola en monocultivo y del Humídicola asociado con *Arachis pintoi*, con y sin fertilización fosfatada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones ambientales y tratamientos

El estudio se desarrolló en campo en tres épocas climáticas del año en el Rancho KARIGA S. P. R. de R. L., ubicado en el km 18 de la carretera Huimanguillo-Estación Chontalpa, Tabasco ($17^{\circ} 41' 31.59'' \text{ N}$, $93^{\circ} 28' 19.34'' \text{ O}$). Las épocas fueron: época de nortes (lluvias prolongadas de baja intensidad y temperaturas bajas), de septiembre a febrero; época seca, de marzo a mayo ($<90 \text{ mm}$ de lluvia/mes); y época de lluvias, de junio a julio ($>200 \text{ mm}$ de lluvia/mes). El suelo tiene pH ácido (4.7), es alto en materia orgánica (5%), bajo en nitrógeno (0.17%), fósforo (5.38 mg kg^{-1}) y potasio ($0.11 \text{ cmol kg}^{-1}$), y textura franco-arcillo-

INTRODUCCIÓN

Tabasco, México, cuenta con 1.58 millones de cabezas de ganado bovino, repartidas en 1.7 millones de hectáreas (SIAP, 2016). El 50.14% de esta superficie presenta praderas inducidas (Bolaños-Aguilar *et al.*, 2010), establecidas en suelos fértiles y en ecosistemas de Sabana. Los suelos de sabana son ácidos ($\text{pH} < 5.0$), con altas concentraciones de aluminio y bajos en fósforo disponible para las plantas (Pizarro *et al.*, 1996), causando deficiencia de fósforo en los animales, afectando su productividad. En Huimanguillo, Tabasco, estos suelos ocupan 140,000 ha, y aunque la aplicación de fósforo es recomendada para incrementar la producción de biomasa de los pastos (Gweii-Onyango *et al.*, 2011), existe poca información sobre trabajos realizados al respecto en Tabasco. Entre las especies de pastos (Poaceae) adaptadas a estos suelos de baja fertilidad está *Brachiaria humidicola*, caracterizada por su alta capacidad de carga animal, tolerancia a la mosca pinta y a encharcamientos prolongados (Enríquez *et al.*, 2011); sin embargo, es baja en proteína (Reyes *et al.*, 2009; Juárez *et al.*, 2011). Una alternativa para aumentar el contenido de proteína en praderas de humídicola, es asociarlo con leguminosas. Existen información sobre el incremento del valor nutritivo de una pradera al contener especies forrajeras de la familia Fabaceae, por presentar mayor proteína y minerales que los pastos (Lüscher *et al.*, 2014), registrando mejoras en el rendimiento de biomasa de la pradera hasta en 21.5% promedio (Castillo *et al.*, 2014). Por ello, las asociaciones pasto-fabáceas pueden mejorar la nutrición y producción animal (Olivera *et al.*, 2012). Una fabácea altamente adaptada a suelos ácidos de baja fertilidad, al pastoreo pesado y a los encharcamientos prolongados, es *Arachis pintoi* o cacahuatillo. Por otra parte, los pastos presentan marcada estacionalidad

arenoso. Los datos de precipitación y temperatura (Figura 1), fueron obtenidos de la estación meteorológica Paredón, Huimanguillo. La pradera de *Brachiaria humidicola* fue establecida en 2005 para su pastoreo rotacional con ganado bovino. Se escogió un área topográficamente homogénea, y se delimitó con alambre de púas. Se formaron parcelas de 2.00 m de largo \times 1.50 m de ancho. El ensayo tuvo cuatro tratamientos consistentes en pequeñas parcelas de humidicola en monocultivo (H), humidicola en monocultivo + fertilización (HF), humidicola + cacahuatillo (HC) y humidicola + cacahuatillo + fertilización (HCF), cada tratamiento con cuatro repeticiones.

Previo al inicio del experimento, todas las parcelas fueron cortadas a 5 cm de altura. Posterior a este corte, para la formación de los tratamientos de la asociación *B. humidicola*-*Arachis pintoii* (cacahuatillo), se sembró la fabácea en seis parcelas de humidicola, por semilla y a "chorrillo" en dosis de 6 kg ha^{-1} y a 30 cm entre hileras, quedando dos hileras de ésta al centro de cada parcela. Para la fertilización fosfatada, se utilizó como fuente de fósforo el superfosfato triple con 46% de P_2O_5 en dosis de 100 kg ha^{-1} (Pastrana, 1994). Dada la baja solubilidad del fósforo, la fertilización se fraccionó en dos partes iguales, aplicándose 50 kg ha^{-1} el 20 de agosto 2014, y los 50 kg restantes el 8 de febrero 2015.

Fechas de corte y variables respuesta. El 2 de septiembre 2014 se realizó el corte de uniformidad en las 16 parcelas experimentales, y 35 días después (8 de octubre) inició la primera cosecha y toma de muestras, finalizando los muestreos el 14 de Julio 2015 (Cuadro 1). La parcela útil, ubicada al centro de cada parcela, presentó un área de 2 m^2 ($2 \times 1 \text{ m}$). Las variables respuesta fueron rendimiento de materia seca de la parcela (RMSP; t ha^{-1}) y concentración de proteína (g kg^{-1} MS) de cada parcela. El RMSP se deter-

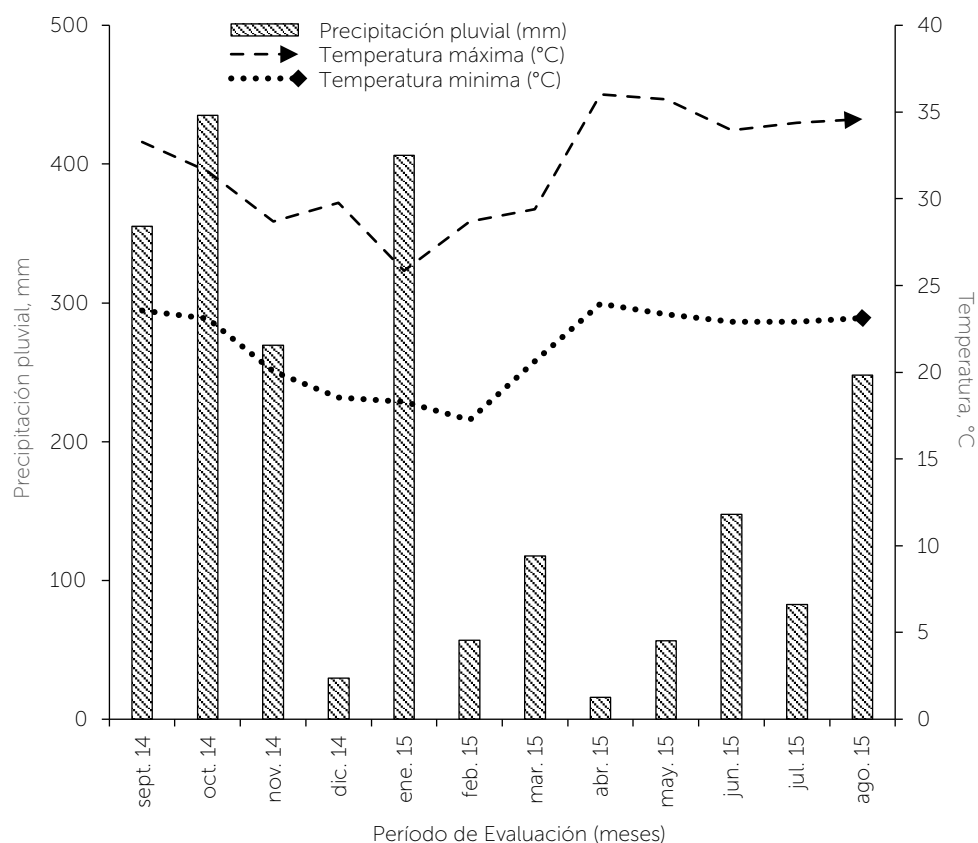


Figura 1. Datos promedio de precipitación pluvial y temperaturas máximas y mínimas del área de estudio. Huimanguillo, Tabasco.

minó por el método del cuadrante de 1 m^2 ($1 \times 1 \text{ m}$). El cuadrante se colocó en el centro de cada parcela experimental, y la biomasa total dentro del cuadrante se cosechó a una altura de 5.0 cm sobre el nivel del suelo en los cuatro tratamientos (H, HF, HC y HCF). Se obtuvo el peso fresco de la biomasa total, y se tomó una submuestra de 200 g para determinar el peso seco y realizar el análisis de proteína. Las submuestras por tratamiento y repetición se depositaron en bolsas de papel, y se secaron en una estufa de aire forzado durante 72 h a $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Para calcular el RMSP se utilizaron los

Cuadro 1. Fechas de los cortes de uniformidad y de las cosechas y toma de muestras o datos en las tres épocas del año.

Época del Año	Corte de uniformidad	Cosecha y toma de datos
Nortes (2014 – 2015)	02 de septiembre	08 de octubre
	08 de octubre	11 de noviembre
	11 de noviembre	15 de diciembre
	15 de diciembre	20 de enero
	20 de enero	24 de febrero
Seca (2015)	24 de febrero	31 de marzo
	31 de marzo	8 de mayo
	8 de mayo	8 de junio
Lluvias (2015)	8 de junio	14 de julio



datos del peso fresco del cuadrante, y del peso seco de los 200 g con la fórmula:

$$RMSP = [(PF \times PS) / pf] / 100$$

donde, *PF*: peso fresco de la muestra del m² (g de materia verde, MV); *pf*: peso fresco de la submuestra (g MV) y *PS*: peso seco de la submuestra (g de MS).

En forma paralela a la toma de muestras para el cálculo del RMSP, se tomó una segunda submuestra de 200 g para la determinación del % de cacahuatillo en la mezcla. De los tratamientos formados por humicicola en monocultivo, se separó hojas de tallo de la gramínea y material muerto de la muestra. En los tratamientos formados por la asociación se separó la gramínea de la leguminosa, y en ambas especies se separaron hojas y tallos.

Los diferentes componentes se pesaron y secaron en la estufa de aire forzado por 72 h a 60 °C para obtener el RMS por componente, con la ayuda de una balanza analítica, y con estos rendimientos se determinó la composición botánica. Con los pesos de hojas y tallos se obtuvo la relación de hoja en la biomasa aérea total; Hojas/(Hojas+Tallos), del humicicola y del cacahuatillo. La concentración de proteína (g kg⁻¹ MS) de los cuatro tratamientos se cuantificó de las submuestras secas provenientes de 200 g de MV, que fueron previamente molidas a tamaño de partícula de 2 mm, donde se determinó N total por el método micro Kjeldahl (AOAC, 2000) y multiplicado por 6.25 para estimar proteína. En las asociaciones, la concentración de proteína se obtuvo de la mezcla humicicola-cacahuatillo y de cada una de estas dos especies por separado.

Diseño Experimental. El experimento fue analizado como medidas repetidas mediante PROC MIXED del SAS (SAS, 2010). Se compararon los cuatro tratamientos usando una estructura unifactorial (Londoño, 2004), siendo la fecha de corte el factor de medida repetida. En el ANVA se usó un modelo que incluyó el efecto de tratamiento, fecha de corte y sus interacciones. La aleatorización de tratamientos en las unidades experimentales fue en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación acumulada en los meses más secos del año apenas representó el 26 y 15% de la lluvia acumulada en la época de nortes y lluvias respectivamente.

Rendimiento de materia seca de la parcela (RMSP)

Hubo interacción significativa de tratamiento × fecha de cosecha en el RMSP (Cuadro 2). Los tratamientos del monocultivo (H y HF) redujeron su RMSP durante los primeros 35 d de crecimiento (8 de octubre-11 de noviembre) en 0.90 t ha⁻¹, y mantuvieron esta reducción durante los siguientes siete meses, hasta el mes de junio (Cuadro 2). Las asociaciones HC y HCF mantuvieron su RMSP inicial hasta el mes de febrero; posteriormente, ambos tratamientos registraron un incremento en 0.80 t ha⁻¹ al pasar de febrero a marzo (Figura 2A). Este incremento del RMSP se relacionó de manera significativa y negativa ($r^2 = -0.036$) con la proporción de hojas en la biomasa aérea del pasto humicicola, observando la menor proporción de hoja en el tratamiento H (Figura 2B).

No obstante, en el mes más frío (enero), HCF registró un RMSP superior al resto de los tratamientos (Figura 2A), con 0.55 t ha⁻¹ más con respecto al promedio de H, HF y HC. Este superior RMSP en HCF significa que la fertilización fosfatada tuvo mayor efecto en la fabácea. Resultados semejantes presentaron Du *et al.* (2009) en *Stylosanthes guianensis* en suelo con pH=4.5. Ellos observaron que los tallos de la Fabácea adquirieron mayor crecimiento induciendo mayor RMSP.

En nuestro estudio, los tallos del cacahuatillo no fueron separados para su evaluación individual, pudiendo ser los responsables del mayor incremento del RMSP. Otra explicación, pudo deberse a un incremento en RMS de la Fabácea debido a una mayor fijación de nitrógeno (sin mostrar evidencia) producto de un posible aumento del número de nódulos. Domínguez *et al.* (2017), observaron un incremento del número de nódulos de *Stylosanthes guianensis* al fertilizarse con fósforo en suelos pobres. En la época seca del año (abril y mayo principalmente) HC disminuyó el RMSP, pero continuó superior, con 0.64 t ha⁻¹ más, al promedio de los dos tratamientos en monocultivo (Cuadro 2). Es en la época seca que las asociaciones registran mayor RMSP promedio, siendo más evidente en mayo, con 0.76 t ha⁻¹ de MS más con respecto al promedio de los monocultivos (Figura 2A). Posteriormente, en la época de lluvias, H aumenta su RMSP para ser el más alto en rendimiento, junto con HCF, con 0.68 t ha⁻¹ más RMS con respecto al promedio de HF y HC. Estos resultados demuestran que las asociaciones (HC y HCF) inducen mayor estabilidad al RMSP en condiciones ambientales limitantes, lo que coincide con otros autores (Albayrak y Turk, 2013;

Cuadro 2. Rendimiento de materia seca en la parcela (RMSP) y concentración de proteína en las diferentes fechas de cosechas por tratamiento, durante períodos de crecimiento de 35 días.

Tratamientos	Cosechas	RMSP (t ha ⁻¹)	Humidicola	Proteína (g kg ⁻¹ MS)	Parcela
		Parcela		Cacahuatillo	
Humidicola (H)	08/octubre	2.028 a	51.75 c	-	51.75 c
	11/noviembre	1.046 b	75.80 b	-	75.80 b
	15/diciembre	0.731 bc	78.34 b	-	78.34 b
	20/enero	0.532 c	105.0 a	-	105.0 a
	24/febrero	0.945 bc	102.9 a	-	102.9 a
	31/marzo	0.899 bc	97.11 a	-	97.11 a
	08/mayo	0.831 bc	73.14 b	-	73.14 b
	08/junio	0.860 bc	68.80 b	-	68.80 b
	14/julio	2.081 a	53.86 c	-	53.86 c
	Media	1.106	78.53		78.53
Humidicola + Fertilización (HF; 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	08/octubre	1.983 a	56.30 c	-	56.30 c
	11/noviembre	1.139 b	83.69 b	-	83.69 b
	15/diciembre	0.716 b	75.70 b	-	75.70 b
	20/enero	0.727 b	108.2 a	-	108.2 a
	24/febrero	1.017 b	108.4 a	-	108.4 a
	31/marzo	1.150 b	96.84 a	-	96.84 a
	08/mayo	0.930 b	75.84 b	-	75.84 b
	08/junio	0.981 b	70.11 bc	-	70.11 bc
	14/julio	1.679 a	57.97 c	-	57.97 c
	Media	1.14	81.46		81.46
Humidicola + Cacahuatillo (HC)	08/octubre	0.882 c	74.48 b	166.9 c	78.277 c
	11/noviembre	0.999 c	83.77 b	188.9 b	106.95 b
	15/diciembre	1.144 bc	102.6 ab	199.8 b	112.02 b
	20/enero	0.881 c	118.4 a	211.4 ab	117.67 ab
	24/febrero	0.898 c	102.2 ab	199.8 b	113.34 b
	31/marzo	1.892 a	104.8 ab	198.7 b	130.37 a
	08/mayo	1.517 b	96.93 ab	204.7 b	118.46 ab
	08/junio	1.074 bc	119.5 a	230.3 a	123.30 ab
	14/julio	1.380 bc	127.8 a	210.8 ab	84.25 c
	Media	1.18	104.54	201.31	109.4
Humidicola + Cacahuatillo + Fertilización (HCF; 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	08/octubre	1.673 ab	64.64 d	155.6 b	74.43 c
	11/noviembre	1.085 b	88.63 bc	200.3 ab	100.2 b
	15/diciembre	1.037 b	101.0 ab	197.2 ab	127.2 ab
	20/enero	1.266 b	100.9 ab	205.5 ab	118.7 ab
	24/febrero	0.955 b	104.7 a	194.9 ab	124.0 ab
	31/marzo	1.525 ab	104.9 a	236.5 a	152.1 a
	08/mayo	1.749 ab	98.58 ab	201.9 ab	151.3 a
	08/junio	1.444 ab	101.2 ab	203.2 ab	145.4 a
	14/julio	2.320 a	80.07 c	225.8 ab	120.0 ab
	Media	1.45	93.87	202.37	123.74
Significancia:					
Tratamiento (T)		***	***	NS	***
Cosecha (C)		***	***	***	***
T × C		***	***	NS	***

Medias en la misma columna y dentro de cada sección seguidas por letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$). ***, Nivel de significancia al 0.001; NS, no significativo.

Domínguez et al., 2017), quienes demostraron mayor estabilidad del RMS de las praderas al incluir especies fabáceas en períodos secos del año. Prieto et al. (2015) demostraron que la diversidad de especies en una pradera regula su RMS y estabilidad por inducción de efectos complementarios.

Concentración de proteína en *Brachiaria humidicola*.

Se presentan resultados de proteína solo en humidicola, cuando crece en monocultivo y cuando está asociado con cacahuatillo. Hubo interacción significativa del tratamiento por fecha de cosecha (Cuadro 2). Esta interacción primero se presenta al aumentar la concentración

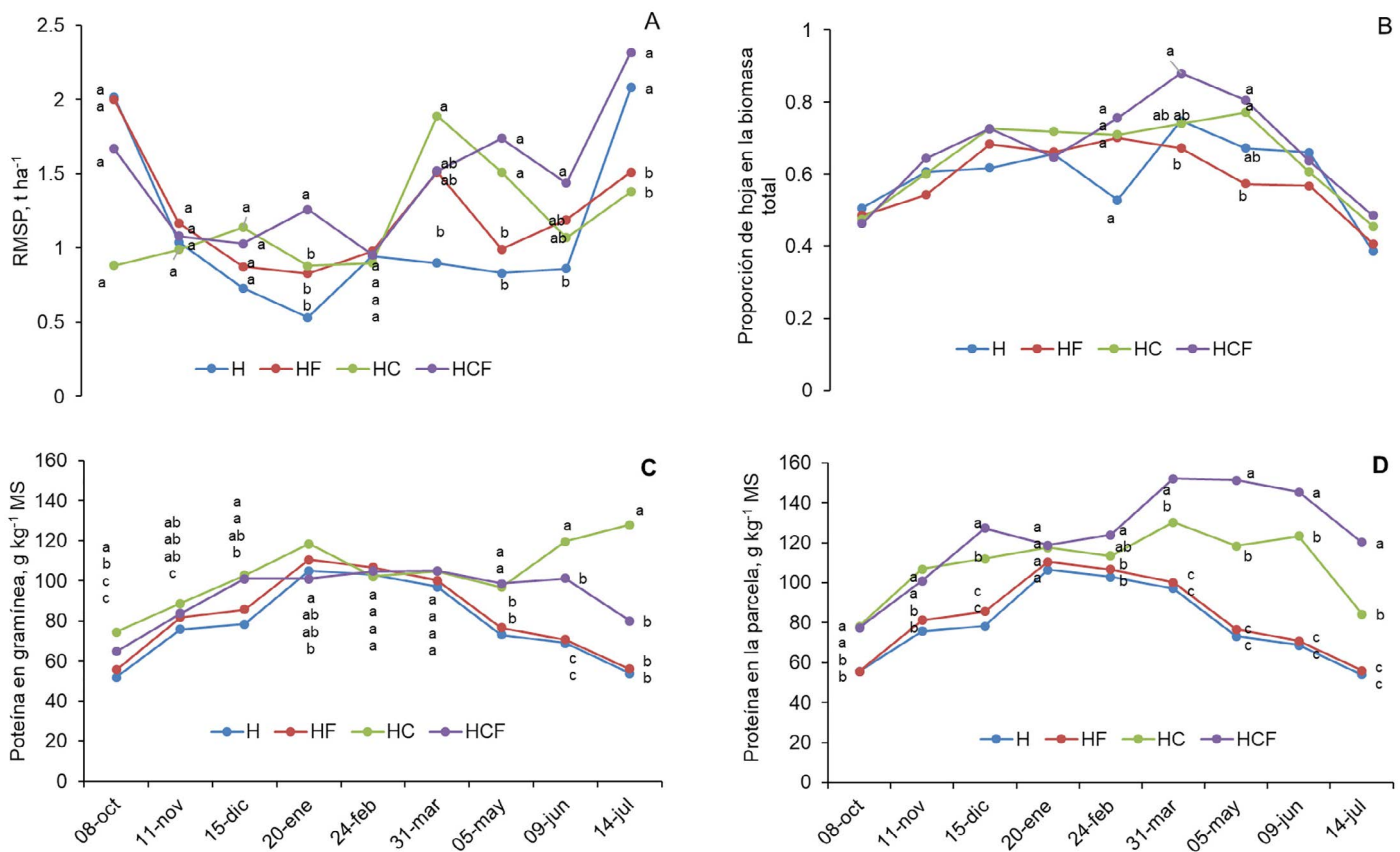


Figura 2. Rendimientos de materia seca de la parcela (RMSP), proporción de hoja en la biomasa aérea total de humidicola, concentración de proteína en humidicola y en la parcela, de los tratamientos humidicola en monocultivo (H), humidicola + fertilización (HF), humidicola + cacahuatillo (HC) y humidicola + cacahuatillo + fertilización (HCF), a los 35 días de rebrote en diferentes fechas de cosecha.

de proteína del humidicola del tratamiento H al pasar de $77 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, promedio de los meses de noviembre y diciembre, a $105 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ de proteína, del H de los tratamientos HF y HCF en el mes de enero (Figura 2C). Posteriormente, la interacción se presenta nuevamente en la época seca del año (abril y mayo principalmente) donde el cruzamiento entre tratamientos, al pasar de una fecha a otra de cosecha, se vuelve significativa. La Figura 2C muestra como la concentración de proteína del pasto humidicola en los cuatro tratamientos, no es diferente dentro de una misma fecha de cosecha durante los primeros seis meses (octubre a marzo). Es a partir de la época seca hasta el inicio de la época de lluvias (junio) que el humidicola de las asociaciones registra mayor proteína, siendo superior en el humidicola del tratamiento HC, que en humidicola de HCF. En la época de lluvias (julio) disminuye la proteína en H, HF y HCF, promediando el humidicola de estos tres tratamientos $64 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, mientras que el humidicola de HC mantuvo su concentración, promedio de siete meses (diciembre a julio), en $110 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ (Cuadro 2). La disminución de proteína en humidicola posiblemente

se debió a su importante crecimiento inducido por las mayores precipitaciones, lo que ocasionó una dilución de proteína en la planta. El fenómeno de dilución de la proteína ha sido explicado en pastos tropicales por Juárez *et al.* (2011), y consiste en la disminución de la concentración de proteína por unidad de materia seca acumulada en la planta. Las mayores concentraciones de proteína en los nueve meses se registraron en humidicola de las asociaciones HCF y HC con 123.74 y $109.40 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente (Cuadro 2). No hubo diferencias significativas entre los tratamientos de humidicola en monocultivo (H y HF), ambos con un promedio de $80.6 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ de proteína. Otra explicación, de la disminución de proteína, es la menor proporción de hojas del humidicola en la época de lluvias (Figura 2B), ya que en el estudio se registró una relación alta (0.66) y significativa entre proteína y proporción de hojas en la biomasa aérea del humidicola.

Concentración de proteína en cacahuatillo

No hubo interacción significativa tratamiento por fecha de cosecha en cacahuatillo (Cuadro 2). Cacahuatillo no

registró diferencias entre los tratamientos HCF y HC a lo largo del estudio, por lo que la concentración promedio de proteína del cacahuatillo en ambos tratamientos (HCF y HC) fue de 201.84 g kg⁻¹ MS (Cuadro 2). Esta concentración de proteína en la fabácea fue superior al promedio (80 g kg⁻¹ MS) registrado en los tratamientos H y HF. No se registraron cambios morfológicos en cacahuatillo por efecto de fecha de cosecha o por fertilización, manteniendo el cacahuatillo una proporción de hoja en la biomasa aérea del 72% en ambos tratamientos (HC y HCF). Lo anterior, se contrapone con los resultados de Gweyi-Onyango et al. (2011) y Du et al. (2009), quienes registraron variaciones en crecimiento de tallo y de raíces por efecto de la fertilización fosfatada. En el estudio aquí presentado, la fertilización fosfatada no tuvo efecto significativo en la concentración de proteína en la fabácea.

Concentración de proteína en la parcela

La concentración de proteína en la parcela consistió en analizar, para el caso de las asociaciones, al humidicola y cacahuatillo mezclados. Las mayores concentraciones de proteína se registraron en las asociaciones, siendo superior en HCF (120.81 g kg⁻¹ MS), seguido de HC (110.20 g kg⁻¹ MS) (Figura 2D). La concentración superior de proteína en HCF se debió a su mayor proporción de la fabácea en la parcela (32.4%), con respecto a la proporción de fabácea registrada en HC (21.6%). No hubo diferencias entre los tratamientos de humidicola en monocultivo (H y HF), siendo la concentración promedio de ambos tratamientos de 80.6 g kg⁻¹ MS (Cuadro 2). Estos resultados demuestran que la fertilización fosfatada tiene efecto principalmente en la fabácea aumentando su proporción en la parcela, sin modificar la estructura de la planta como se discutió anteriormente. El efecto de la fertilización en el pasto no fue importante.

CONCLUSIONES

Al incluir *Arachis pintoi* en praderas de *Brachiaria humidicola* y fertilizar con fósforo, se mejora la estabilidad estacional del RMSF, y se aumenta la concentración de proteína. El aumento de proteína en la pradera ocurre por la superior concentración de proteína del Cacahuatillo (2.6 veces más que humidicola) y del humidicola asociado al cacahuatillo (81.46 vs 78.5 g kg⁻¹ MS del humidicola sin asociar). Se mejoró aún más la concentración de proteína de la pradera asociada por efecto de la fertili-

zación fosfatada, cuando la humedad en el suelo no es un factor limitante.

LITERATURA CITADA

- Albayrak, S., & Turk, M. (2013). Changes in the forage yield and quality of legume-grass mixtures throughout a vegetation period. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37, 139-147.
- AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemist. *Orr. Of Anal. Chem.* 17th ed. Washington, USA.
- Bolaños-Aguilar, E.D., Émile, J.C., & Enríquez-Quiroz, J.F. (2010). Les fourrages au Mexique: ressources, valorisation et perspectives de recherche. *Fourrage*, 204, 277-282.
- Castillo, G.E., Rascón, C.R., García, G.D., Rodríguez, J.J., Jaramillo, R.J., Aluja, A.S., & Mannelje L. (2014). Comportamiento ingestivo de vacas en una asociación grama nativa/*Arachis pintoi* en el trópico húmedo veracruzano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4), 487-504.
- Domínguez, P.F.D., Bolaños, A.E.D., Lagunes, E.L.C, Salgado, G.S., Ramos, J.J., & Guerrero, R.J.D. (2017). Rendimiento de materia seca y concentración de fósforo de una asociación *Brachiaria humidicola*-*Stylosanthes guianensis*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1705-1717.
- Du, Y.M., Tian, J., Liao, H., Bai, C.J., Yan, C.J., & Liu, G. (2009). Aluminium tolerance and high phosphorus efficiency helps *Stylosanthes* better adapt to low-P acid soils. *Annals of Botany*, 103, 1239-1247.
- Enríquez, Q.J.F., Meléndez, N.F., Bolaños, A.E.D., & Esqueda, E.V.A. (2011). Producción y manejo de forrajes tropicales. Libro Técnico No. 28. Campo Experimental La Posta. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz. 404 p.
- Gweyi-Onyango, J.P., Tesfamariam, T., & Neumann G. (2011). Contrasting responses to phosphorus status by *Arachis pintoi* (Krapov and W.C. Gregory): A lesson for selecting vegetables for cultivation in Kenyan Ecozones. *Asian Journal of Agricultural Research*, 10, 1-11.
- Jones, R.J., & Hu, F.D. (2006). Diet selection of steers grazing *Stylosanthes hamata* cv. Verano-grass pastures in north Queensland and its potential influence on botanical composition. *Tropical Grasslands*, 40, 65-69.
- Juárez, H.J., Bolaños, A.E.D., Vargas, L.M., Medina, S., & Martínez, H.P.A. (2011). Curvas de la dilución de la proteína en genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45, 321-331.
- Londoño, G.C. (2004). Análisis de medidas repetidas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Unidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. 41 p.
- Lüscher, A., Mueller-Harver, I., Soussana, J.F., Rees, R.M., & Peyraud, J.L. (2014). Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, 69, 206-228.
- Olivera, Y., Machado, R., Ramirez, J.F., & Castañeda, L. (2012). Evaluación del establecimiento de una colección de accesiones de *Brachiaria brizantha* asociadas con *Stylosanthes guianensis* CIAT-184. *Pastos y Forrajes*, 35, 153-164.
- Pizarro, E.A., do Valle, C.B., Keller-Grein, G., Schultz-Kraft, R., & Zimmer, A.H. (1996). Regional experience with *Brachiaria*: Tropical

- America-Savannas. In: *Brachiaria: Biology, Agronomy and Improvement*. Miles JW, Maass BL and do Valle CB (Eds). CIAT Publications No. 259, Cali, Colombia. Pp. 225-243.
- Prieto, I., Violle, C., Barre, P., Durand, J.L., Ghesquiere, M., & Litrico, I. (2015). Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nature Plants*, 10, 1038.
- Reyes, P.Q., Bolaños, A.E.D., Hernández, S.D., Aranda, I.E.M., & Izquierdo, R.F. (2009). Producción de materia seca y contenido de proteína en 21 genotipos del pasto Humidicola *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Universidad y Ciencia*, 25, 213-224.
- SAS Institute. (2010). User's Guide: Statistics, version 9.3. SAS Inst. Inc. Cary, N. C. USA.
- SIAP (2016). Sistema de Información Agrícola y Pecuaria. [http:// www.gob.mx /SIAP/ documento/ población-ganadera](http://www.gob.mx/ SIAP/ documento/ población-ganadera).
- Zuppinger-Dingley, D., Schmid, B., Petermann, J.S., Yadav, V., De Deyn, G.B., & Flynn, D.F.B. (2014) Selection for niche differentiation in plant communities increases biodiversity effects. *Nature* 515: 108-111.



Morphological characterization and maturation phases of black zapote (*Diospyros digyna* Jacq.)

Caracterización morfológica y fases de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.)

Navarrete-Zapata, Cindy N.¹; Villanueva-Couoh, Eduardo^{1*}; Cituk-Chan, Daniel E.¹; Pinzón-López, Luis L.¹

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México, C. P. 97345.

*Autor para correspondencia: eduardo.villanueva@itconkal.edu.mx

ABSTRACT

Objective: To describe the morphological characterization and to determine the maturation phases of the black zapote (*Diospyros digyna* Jacq.).

Design/methodology/approach: Qualitative and quantitative variables were considered for tree, leaf, flower and fruit. A completely randomized design was used with a selection criterion that the fruits were physiologically mature, ANOVA statistical analysis was applied to the data obtained using the statistical package of InfoStat version 2017e, the comparisons between parthenocarpic and non-parthenocarpic fruits were performed with a *t-student* and Tukey test for the comparison of means between the maturation phases of the fruits.

Results: The stem was found to have a distinctive black color of this species, shaped like a wide columnar cup. The leaf blade is lanceolate with a smooth border, the flowers are yellow and the corolla is wide and tubular. Nonparthenocarpic fruits (NPC) presented two forms: elongated cordiform and oval; while the parthenocarpic fruits presented also two forms: cordiform and round.

The weight, length and diameter of the NPC fruits were of 318.58 and 470.32 g, 99.29 and 94.26 mm and 85.32 and 101.04 mm, respectively. There were also found five stages of ripening of the fruit.

Limitations on study/implications: the results revealed that there are no morphological differences between plants and flowers. However, in the case of leaves and fruits differences were found in both materials.

Findings/conclusions: Differences in the thickness and diameter of the petiole were found in NPC and PC fruit plants. Likewise, the results indicate that there are four forms of fruits and five stages of maturation for black zapote.

Keywords: parthenocarpic, nonparthenocarpic, fruits, ripening.

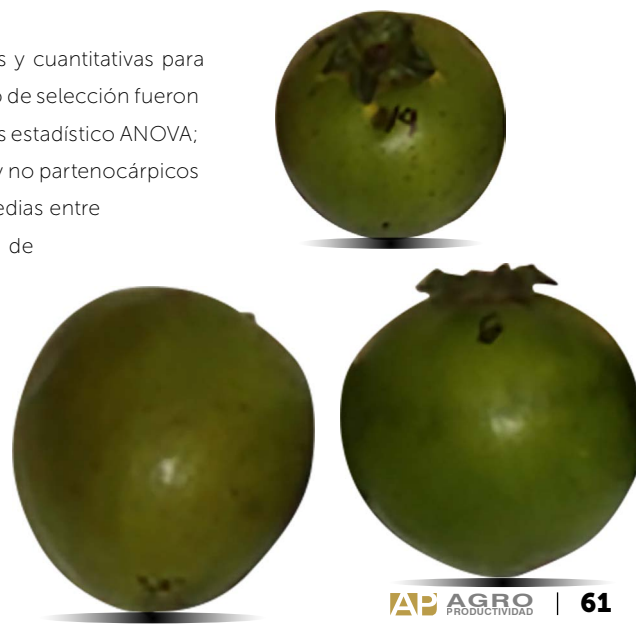
RESUMEN

Objetivo: Describir las características morfológicas y determinar las fases de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

Diseño/metodología/aproximación: Se consideraron variables cualitativas y cuantitativas para árbol, hoja, flor y fruto. Se utilizó un diseño completamente al azar, el criterio de selección fueron frutos fisiológicamente maduros. En los datos obtenidos se aplicó un análisis estadístico ANOVA; las comparaciones cualitativas y cuantitativas entre frutos partenocárpicos y no partenocárpicos se realizó con una prueba *t-student* ($p \leq 0.05$) y para la comparación de medias entre las fases de maduración de los frutos se llevó a cabo una comparación de medias con prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico de InfoStat versión 2017e.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio, 2020. pp: 61-66.

Recibido: diciembre, 2019. **Aceptado:** junio, 2020.



Resultados: Se encontró que el tallo es de color negro distintivo de esta especie, con forma de copa columnar ancha. El limbo de la hoja es lanceolado con borde liso, las flores son de color amarillo y la corola es de forma tubular ancha. Los frutos no partenocárpicos (NPC) presentaron dos formas: cordiforme alargada y oval; mientras que, los frutos partenocárpicos (PC) presentaron también dos formas: cordiforme y redonda. El peso, longitud y diámetro de frutos NPC y PC fueron de 318.58 y 470.32 g, de 99.29 y 94.26 mm, y de 85.32 y 101.04 mm, respectivamente. De igual forma se encontraron cinco fases de maduración del fruto.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Los resultados dieron a conocer que no hay diferencias morfológicas entre plantas y flores, sin embargo, para el caso de hojas y frutos se encontraron diferencias entre ambos materiales.

Hallazgos/conclusiones: Se encontraron diferencias en el grosor y diámetro del peciolo en plantas de frutos NPC y PC. De igual forma los resultados indican que hay cuatro formas de frutos y cinco fases de maduración para el zapote negro.

Palabras clave: partenocárpicos, no partenocárpicos, frutos, maduración.

tos partenocárpicos (sin semillas) que agrónomicamente representan una oportunidad de mercado. Por otra parte, los aspectos morfológicos de las plantas son usados para identificación de especies y estudios taxonómicos (Botelho *et al.*, 2000), la morfología del fruto, hoja y semilla son los más importantes para la identificación de especies en campo (Araujo *et al.*, 2004). Por ello es importante caracterizar morfológicamente ambos materiales de zapote negro, refiriéndose a frutos partenocárpicos y no partenocárpicos, y describir las fases de maduración de los frutos de esta especie. Por tanto, el objetivo de este trabajo es describir las características morfológicas de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos y determinar las fases de maduración de zapote negro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, específicamente en los laboratorios de Fisiología y Biotecnología Vegetal donde se midieron las variables morfológicas.

Los frutos de zapote negro se colectaron en los municipios de Akil y Cholul del estado de Yucatán, donde se encuentra cultivado el zapote negro según resultados de herbario del Centro de Investigación Científica de Yucatán. La colecta se realizó en los meses de septiembre a noviembre, dado que son los meses de fructificación de la especie.

Se utilizaron 80 frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) fisiológicamente maduros, éstos se obtuvieron de cuatro plantas, de los cuales 40 frutos fueron partenocárpicos y 40 frutos no partenocárpicos.

INTRODUCCIÓN

El zapote negro es una especie de la familia Ebenaceae originaria de México y Centro América (Donadio *et al.*, 1998; Crane y Balerdi, 2005). En México, en 2017 se reportó una superficie sembrada y cosechada de 70.80 ha con una producción de \$883,030.48 (SIAP, 2017). El fruto es consumido en fresco o procesado, con el mesocarpio se elaboran postres como gelatinas, panes, helados, malteadas, etc. (Niembro *et al.*, 2010).

Por otra parte, los frutos se clasifican de acuerdo a su maduración en climatéricos (que aumentan la respiración y síntesis de etileno al comienzo de madurez) y no climatéricos (los que no lo hacen) (Lelièvre *et al.*, 1997). Los frutos climatéricos pueden madurar en la planta o después de cosechados (Omboki *et al.*, 2015). El proceso de maduración consta de dos etapas: la madurez fisiológica, es cuando el fruto alcanza su máximo tamaño y mayor vigor de las semillas dependiendo de la especie; y la madurez de consumo, que es cuando se modifica el color a través del contenido de clorofilas, carotenoides y acumulación de flavonoides; así también se observa modificación de la textura, de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles, el sabor y el aroma del fruto; por último, el aumento en la susceptibilidad al ataque de patógenos oportunistas (Dos Santos *et al.*, 2015). El zapote negro es un fruto climatérico de coloración verdosa, cuyo mesocarpio cambia de amarillento y consistencia firme a marrón-negro y consistencia gelatinosa al madurar (Costa *et al.*, 2010).

Crane y Balerdi (2005) mencionan que el fruto de zapote negro contiene 12 semillas en promedio; sin embargo, en años recientes se han reportado fru-

La caracterización morfológica se realizó como lo señala Bioversity International y Cherla (2008) y Barroso et al. (1999), considerando las siguientes variables cualitativas y cuantitativas:

Árbol: Hábito de crecimiento de las plantas, hábito general del árbol en la etapa de madurez, porte bajo, copa del árbol, color del tronco, textura de la corteza, presencia de pubescencia en el tallo, ramificación del tronco, color de la rama joven y defoliación al final de la fructificación.

Hoja: Forma del limbo, borde, forma del ápice, color del haz, pubescencia en el haz, tipo de nervadura, forma de la base, color del envés, color del peciolo, largo, ancho, grosor, longitud y diámetro del peciolo.

Flor: Color exterior del pétalo, color de la base interna del pétalo, forma de la corola y color del sépalo.

Fruto: Forma, simetría, forma del ápice, color de pericarpio y mesocarpio, tipo de pericarpio, textura del mesocarpio, oxidación de la pulpa, peso, longitud, diámetro, grosor del pericarpio y mesocarpio, longitud y diámetro del pedúnculo, sépalos persistentes.

Las variables cuantitativas se determinaron con diferentes instrumen-

tos de medición, el peso se obtuvo con una báscula eléctrica portátil de la marca Optimus modelo Scout Pro, un vernier digital (300 mm) y una regla de metal.

Se determinaron cinco fases de maduración en los frutos de zapote negro, considerando el color del pericarpio, color del mesocarpio y firmeza (kg cm^{-2}) con un penetrómetro manual, equipos que contribuye a determinar la etapa de maduración de un fruto y garantizar la vida de anaquel (Gunasekaran et al., 2003). Para determinar sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) se utilizó un refractómetro manual de 0-32 $^{\circ}\text{Brix}$, colocando una gota de agua destilada en el cuadro del refractómetro para calibrarlo, después de calibrarlo se limpió y colocó una gota del extracto del fruto (Yahia et al., 2011).

Se utilizó un diseño completamente al azar con 40 repeticiones por material vegetativo y el criterio de selección fue que los frutos se encontraran en su madurez fisiológica. Las comparaciones de las variables cualitativas y cuantitativas entre frutos partenocárpicos y no partenocárpicos se realizó con una prueba *t-student* ($p \leq 0.05$) y para la comparación de medias entre las fases de maduración de los frutos se aplicó un análisis estadístico ANOVA y una comparación de medias con prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el pa-

quete estadístico de InfoStat versión 2017e.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La morfología de las plantas de frutos no partenocárpicos y partenocárpicos fueron similares, con las siguientes características: el color de tallo es negro con una textura de corteza estriada, tiene un hábito general en etapa adulta esparcido, un porte alto con forma de copa columnar ancha; el color de la rama joven de las plantas de zapote negro es verde olivo y no se presenta defoliación al final de la fructificación. La hoja de zapote negro presenta un limbo oblongo con borde liso, el ápice de la hoja es agudo al igual que la base de la misma, el haz es de color verde oscuro y el envés de color verde olivo, la nervadura es alzada de color amarilla sin pubescencia en el haz y en el envés, el color del peciolo es verde amarillo. Se determinaron variables morfológicas cuantitativas para la hoja de esta especie (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Crane y Balerdi (2005), quienes mencionan que las hojas de zapote negro son alternas, oblongas de color verde obscuro de 10 a 30 cm de largo.

La flor del zapote negro presenta pétalos de color amarillo al igual que la base interna, tiene una forma de corola tubular y el sépalo es de color verde como se muestra en la Figura 1.

Se encontraron cuatro formas de fruto (Figura 2). En frutos no partenocárpicos se encontraron dos formas: cordiforme alargado y oval; en frutos partenocárpicos se encontraron dos formas: cordiforme y redonda. Los cuatro tipos de frutos presentan simetría; cuando el fruto

Cuadro 1. Comparación de variables morfológicas de hojas de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.), en plantas de frutos partenocárpicos (FP) y no partenocárpicos (FNP).

Variables	FP	FNP
Longitud (cm)	14.60±0.28 a	15.18±0.38 a
Diámetro (cm)	5.00±0.12 a	5.44±0.13 a
Grosor (mm)	0.28±0.00 b	0.31±0.01 a
Longitud del peciolo (cm)	14.22±0.38 a	15.95±0.44 a
Diámetro del peciolo (cm)	2.53±0.04 b	2.73±0.04 a

Medias \pm DE con letras diferentes en cada fila, indican diferencias significativas entre tratamientos (*t-student*, $p \leq 0.05$, $n=40$).



Figura 1. Características morfológicas de la flor de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.).

se encuentra fisiológicamente maduro el pericarpio es de color verde-amarillo siendo este color un indicativo para poder cosechar la fruta, el mesocarpio es de color amarillo claro cuando se encuentra fisiológicamente maduro y cuando se encuentra en su madurez apta para el consumo se torna de color negro.

Los frutos no partenocárpico tienen un peso promedio de 318 g y los frutos partenocárpico 470 g siendo ésta una diferencia muy marcada entre ambos materiales, al igual presentan cuatro sépalos

persistentes en promedio como se muestra en el Cuadro 2. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Crane y Balerdi, (2005), para los frutos de zapote negro, quienes mencionan que tienen un diámetro de 5 a 15 cm, con pericarpio de color verde olivo oscuro a verde brillante y un cáliz persistente; sin embargo, Costa et al. (2010) mencionan que los frutos no partenocárpico de *Diospyros ebenaster* tienen en promedio un peso de 263 g, 8.8 cm de longitud y 8.6 cm de diámetro.

Se determinaron cinco fases de maduración en frutos partenocárpico

y no partenocárpico de zapote negro siendo similar para ambos materiales como se muestra en el Cuadro 3.

El color del pericarpio es una de las principales características para determinar las fases de maduración de esta especie al igual que el color del mesocarpio; Vaclavik (2002) y Manrique (2001) mencionan que la maduración de los frutos está generalmente acoplada a una modificación del color. La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con una degradación de la clorofila, se produce además una importante síntesis de otros

Cuadro 2. Comparación de medias de variables morfológicas en frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) de plantas con frutos partenocárpico (FP) y frutos no partenocárpico (FNP).

Variables	FNP	FP
Peso (g)	318.58±11.61 b	470.32±16.72 a
Longitud (mm)	99.29±1.48 a	94.26±1.27 a
Diámetro (mm)	85.32±1.17 a	101.04±1.20 a
Grosor del pericarpio (mm)	0.44±0.01 a	0.44±0.01 a
Grosor del mesocarpio (mm)	22.05±0.58 a	28.17±1.02 b
Longitud del pedúnculo (mm)	14.91±0.30 a	11.03±0.51 b
Diámetro del pedúnculo (mm)	4.78±0.10 b	5.57±0.19 a
N. Sépalos persistentes	4.73±0.09 a	4.80±0.11 a

Medias±DE con letras diferentes en cada fila, indican diferencias significativas entre tratamientos (*t-student*, $p \leq 0.05$, $n=40$).



Figura 2. Forma de frutos de zapote negro A) Cordiforme alargada, B) cordiforme, C) oval y D) redonda.

Cuadro 3. Descripción de las fases de maduración del zapote negro.

Fase	DDC	Color del pericarpio	Color del mesocarpio	Firmeza (kg cm ⁻²)	SST (°Brix)
1	1	Verde-amarillo	Amarillo claro	3.23±0.30 a	14.92±0.32 c
2	2	Verde-amarillo	Marrón	0.74±0.05 b	16.16±0.44 b
3	3	Verde con presencia de manchas negras	Marrón	0.48±0.04 b	17.48±0.25 a
4	4	Negro	Negro	0.26±0.01 b	17.76±0.09 a
5	5	Negro	Negro	0.25±0.00 b	14.24±0.02 c

DDC: Días después de la cosecha. SST=Sólidos solubles totales. Medias ± DE con letras diferentes en cada columna, indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$, $n=5$).

pigmentos. En la Figura 3 se observan las características morfológicas cualitativas de las fases de maduración de zapote negro.

Por otro lado, los resultados obtenidos son similares a lo mencionado por Crane y Balerdi (2005), quienes indican que las frutas inmaduras son duras con mesocarpio de color naranja amarillento, al madurar el mesocarpio se vuelve muy suave y se torna de color marrón a negro. Asimismo, Ledesma y Campbeil (2001), mencionan que las frutas inmaduras de zapote negro tienen un color de pulpa amarillo-dorado y no son comestibles por su marcado sabor astringente; cuando madura, la pulpa se torna completamente suave y con un color café-negro característico.

Por su parte, Morton (1987) y Martin et al. (1987) mencionan que el fruto es una baya de forma globosa, cáliz persistente con 7 a 12 cm de diámetro, el epicarpio (cáscara) es de color verde brillante en la madurez fisiológica y se encuentra adherido a la pulpa; el mesocarpio (pulpa) es de color café a negro de consistencia suave,

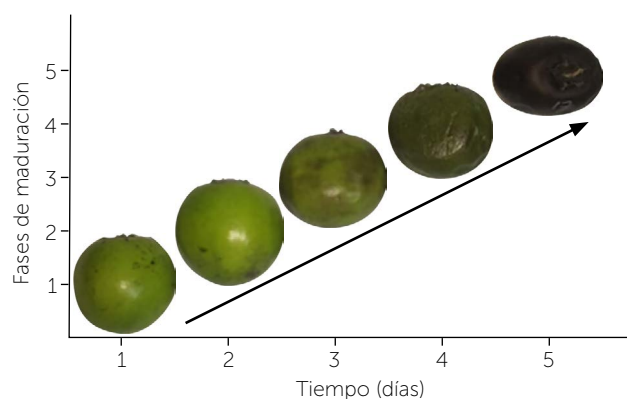


Figura 3. Características de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.) a los cinco días de cosecha.

muy abundante y dulce cuando se encuentra en su madurez apta para el consumo. Yahia et al. (2011) reportan 179.97 g de peso para el zapote negro.

La firmeza se redujo conforme la fase de maduración fue aumentando y los sólidos solubles (°Brix) aumentaron de 14.920 a 17.760 (Cuadro 3). Gunasekaran et al. (2003) mencionan que la firmeza es una medida que se relaciona

con el nivel de madurez en los frutos y puede estar influenciada por la variedad del producto, la región y condiciones de cultivo. Moo-Huchin et al. (2014) reportan que el fruto de zapote negro tiene 22.33 °Brix, siendo esta cantidad la más alta comparada con 18 especies cultivadas en el estado de Yucatán; mientras que, Yahia et al. (2011) menciona que el zapote negro tiene 17.87 °Brix.

CONCLUSIONES

La morfología de plantas de frutos NPC y de frutos PC no fue diferente, con excepción del grosor de la hoja con medias de 5.00 y 5.44 cm, respectivamente; y del diámetro del peciolo con valores de 2.53 y 2.73 cm, respectivamente. Se encontraron cuatro formas de frutos: cordiforme alargado y cordiforme para frutos NPC y oval y redondo en frutos PC. Los frutos PC tienen mayor peso (470.32 g), lo que representa una oportunidad de mercado y un mayor potencial para aprovechamiento del mesocarpio.

La identificación de las fases de maduración del zapote negro es una contribución importante para determinar el punto óptimo de cosecha, el cual es cuando el fruto se torna de color verde amarillento (fase 1); asimismo para determinar la fase de maduración apta para el consumo (fase 4), cuando el pericarpio se torna de color negro al igual que el mesocarpio.

LITERATURA CITADA

- Araújo, E. C., Mendonça, A. V. R., Barroso, D. G., Lamônica, K. R., & Silva, R. F. (2004). Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Brasileira de Sementes*, 26,104-109.
- Barroso, G. M., Morim, M. P., Peixoto, A. L., & Ichaso C. L. F. (1999). Frutos e sementes: morfologia aplicada a sistemática de dicotiledóneas. Viçosa: UFRV, Viçosa, Brasil.

- Bioversity International y CHERLA. 2008. Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Bioversity International, Roma, Italia; Proyecto CHERLA, Malaga, España.
- Botelho, S. A., Ferreira, R. A., Malavasi, M. M., & Davide, A. C. (2000). Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de Jatobádo-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. Ex Hayne) – Fabaceae. *Revista Brasileira de Sementes*, 22, 144-152.
- Costa, R. S., Oliveira, I. V. M., Môro, F. V., & Martins, A. B. G. (2010). Caracterização morfológica do fruto, semente e morfofunção de plântulas de sapoteira-preta (*Diospyros ebenaster* Retz.). *Comunicata Scientiae*, 1, 9-14.
- Crane, J. H., & Balerdi, C. (2005). Black Sapote Growing in the Florida Home Garden. Recuperado el 8 de julio de 2020, de <https://www.growables.org/information/TropicalFruit/BlackSapote.htm>
- Donadio, L. C., Nachtigal, J. C., & Sacramento, C. K. (1998). Frutas exóticas. Jaboticabal, Brasil: FUNEP.
- Dos Santos, R. S., Arge, L. W. P., Costa, S. I., Machado, N. D., de Mello- Farias, P. C., Rombaldi, C. V. & de Oliveira, A. C. (2015). Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics*, 8(2), 78-88.
- Gunasekaran, S., & Mehmet, M. (2003). *Cheese Rheology and Texture*. Boca Ratón: CRC Press.
- Ledesma, N., & Campeil, J. (2001). Reseña histórica, cultivares y propagación del zapote prieto (*Diospyros digyna* Jacq.) en el sur de la Florida. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, 45, 12-14.
- Lelièvre, J. M., Latché, A., Jones, B., Bouzayen, M., & Pech, J. C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 101, 727-739.
- Martín, F., Campbell, C. W., & Ruberté, R. M. (1987). *Perennial Edible Fruits of the Tropics. An inventory*. Recuperado el 8 de julio de 2020, de <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT87886130/PDF>
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas y Vargas, M. L., Betancur-Ancona, D., & Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 152, 508-515.
- Morton, J. F. (1987). *Fruits of Warm Climates*, Miami, Fl.: Creative Resource Systems, Inc.
- Manrique, K. K. (2001). *Nociones del Manejo de Post-Cosecha*. Recuperado el 8 de julio de 2020, de <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/nociones-de-postcosecha.pdf>.
- Niembro, R. A., Vázquez, T. M., & Sánchez, S. O. (2010). *Arboles de Veracruz 100 especies para la reforestación estratégica*. Recuperado el 8 de julio de 2020, de https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/ArbolesVeracruz100especies.pdf.
- Omboki, R. B., Wu, W., Xie, X., & Mamadou, G. (2015). Ripening genetics of the tomato fruit. *The International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(4), 567-572.
- SIAP. (2017). *Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo "Modalidad riego+temporal"*. Recuperado el 6 de febrero de 2019, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Vaclavik, V. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S. A.
- Yahia, E. M., Gutierrez-Orozco, F., & Arvizu-de Leon, C. (2011). Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). *Food Research International*, 44, 2210-2216.



Bromatological and fermentative characteristics *in vitro* of complements with *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb and *Cucurbita argyrosperma* Huber husk

Características bromatológicas y fermentativas *in vitro* de complementos con *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb y cáscara de *Cucurbita argyrosperma* Huber

Rojas-García, Adelaido R.¹; Orocio-Martínez, Rosa K.²; Sánchez-Santillán, Paulino^{1*}; Ayala-Monter, Marco A.¹; Maldonado-Peralta, María A.¹; Valenzuela-Lagarda, José L.³

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2. Universidad Autónoma de Guerrero. Cuajinicuilapa, Guerrero, México, C. P. 41940. ²Programa de Licenciatura de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Autónoma de Guerrero. Cuajinicuilapa, Guerrero, México, C. P. 41940. ³Centro Regional de Educación Superior. Universidad Autónoma de Guerrero. Cruz Grande, Guerrero, México, C. P. 41800.

*Autor para correspondencia: sanchezsantillanp@gmail.com

ABSTRACT

Objective: To determine the bromatological and *in vitro* fermentative characteristics of supplements made with pod parota and pipiana pumpkin pulp shell.

Methodology: The supplements evaluated were C1=50% pipiana pumpkin pulp shell and 50% pod parota; C2=60% pipiana pumpkin pulp shell and 40% pod parota; C3=70% pipiana pumpkin pulp shell and 30% pod parota. In the supplements, dry matter (DM), crude protein (CP), ash (As), organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), partial and accumulated production of biogas and methane were determined, biogas production kinetics, pH, total bacteria count, ammoniacal nitrogen, degradation of DM and NDF.

Results: On average they quantified 15.88% of CP and 42.36% of NDF. C3 produced 4.53% more accumulated biogas than C2. In the accumulated production of methane C2 and C3 did not show differences; but, they produced 7.31% less methane than C1. *In vitro* degradations did not show differences between treatments.

Limitations on study: The best fermentative characteristics appear when the complement is worked with 60% pipiana pumpkin pulp shell.

Conclusions: Pipiana pumpkin pulp shell with pod parota are used to elaborate complements based on *in vitro* biogas production and degradations, so it can represent an alternative feeding of ruminants in the tropics.

Keywords: Biogas, *Cucurbita argyrosperma*, *Enterolobium cyclocarpum*, fermentation kinetics, methane.

RESUMEN

Objetivo: Determinar las características bromatológicas y fermentativas *in vitro* de complementos elaborados con harina de vaina de parota, cáscara y pulpa de calabaza pipiana.

Metodología: Se evaluaron los complementos C1=50% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 50% de harina de vaina de parota; C2=60% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 40% de harina de vaina de parota; C3=70% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 30% de harina de vaina de parota. En los complementos se determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas (Ce), materia orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), producción parcial y acumulada de biogás y metano, cinética de producción de biogás, pH, conteo total de bacterias, nitrógeno amoniacal, degradación de MS y FDN.

Resultados: Los complementos tuvieron en promedio 15.88% de PC y 42.36% de FDN. C3 produjo 4.53% más biogás acumulado que C2. En la producción acumulada de metano C2 y C3 no mostraron diferencias; pero, produjeron 7.31% menos metano que C1. Las degradaciones *in vitro* no presentaron diferencias entre tratamientos.

Limitaciones del estudio: Las mejores características fermentativas se presentan cuando el complemento se elabora con 60% de harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana.

Conclusiones: La harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana con vaina de parota sirve para elaborar complementos con base en su producción de biogás y degradaciones *in vitro*, por lo que puede representar una alternativa de alimentación de rumiantes en el trópico.

Palabras clave: Biogás, cinética de fermentación, *Cucurbita argyrosperma*, *Enterolobium cyclocarpum*, metano.

poco lignificados, altamente digeribles y la semilla posee alto contenido de aminoácidos, a excepción de los azufrados, específicamente metionina y cisteína (Cecconello *et al.*, 2003), con un contenido de 19.50% de proteína cruda (Hernández-Morales *et al.*, 2018). Por tanto, el objetivo fue determinar las características bromatológicas y fermentativas *in vitro* de complementos elaborados con harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y vaina de parota.

MATERIALES Y MÉTODOS

La vaina de parota se recolectó en los campos de municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero en la primavera de 2017, por lo que se seleccionaron cuatro ramas al azar en cada árbol y se cosecharon todas las vainas fisiológicamente maduras; éstas se depositaron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio de Nutrición Animal para su análisis (10 árboles para coleccionar las vainas). La cáscara con pulpa de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*) se molió en un molino mixto (M.A.GRO[®] TR-3500, México) con criba de 2.54 cm de diámetro y se deshidrató 5 d a 60 °C (Riossa[®] HCF-41, México) para obtener la harina. Tanto la vaina como la harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana se deshidrataron a 60 °C hasta peso constante y se molieron con una criba de 1 mm en un molino Thomas-Wiley Mill (Thomas Scientific[®], Swedesboro, NJ, USA).

Los complementos elaborados fueron: C1=50% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 50% de harina de vaina de parota; C2=60% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 40% de harina de vaina de parota; C3=70% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 30% de harina de vaina de

INTRODUCCIÓN

La alimentación de los rumiantes en el trópico se basa en el pastoreo, lo que condiciona la respuesta productiva de los animales a la calidad y cantidad del forraje disponible, por lo que la complementación alimenticia en el trópico es una estrategia para incrementar la producción de los animales y el uso de subproductos como complementos son una alternativa viable en el trópico (Guzmán *et al.*, 2012). El trópico se caracteriza por una diversidad climática y suelos con índices de enmendaduras variables, carentes de nutrimentos para la producción de forrajes de calidad nutricional que cubran los requerimientos de los rumiantes en pastoreo. Lo que genera una necesidad de suministrar complementos para lograr una buena transformación en productos como carne y leche (Rodríguez, 2011).

En el trópico hay especies arbóreas y arbustivas con potencial como alimento para el ganado (Delgado *et al.*, 2014), así también diferentes residuos de cultivos anuales que pueden usarse como el mango (Sánchez-Santillán *et al.*, 2019) y la cáscara con pulpa de calabaza (Lorenzo-Hernández *et al.*, 2019). La calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*) produce flor, tallos jóvenes, frutos tiernos, frutos maduros y semillas (FAO, 2016). México es uno de los principales productores de calabaza en el mundo con un rendimiento promedio anual de 7.74 t·ha⁻¹ (Sánchez *et al.*, 2000). Los frutos maduros se emplean para elaborar dulces y como forraje para ganado y aves de corral (Halik *et al.*, 2014). Por otra parte, la vaina de parota (*Enterolobium cyclocarpum*) es un producto palatable para rumiantes que contiene carbohidratos estructurales

parota. En el análisis bromatológico se determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas (Ce) y materia orgánica (MO) según AOAC (2007). Además, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) con la metodología de Van Soest et al. (1991) usando ANKOM® Technology Method.

Producción de gas *in vitro*

Los componentes del medio contenía 30 mL de fluido ruminal clarificado [líquido ruminal bovino fresco centrifugado 10 min a 12,857 g y esterilizado (All American® 1941X, USA) 15 min a 121 °C y 15 psi], 5 mL de solución mineral I [6 g K₂HPO₄ (J. T. Baker®) en 1 L de agua destilada], 5 mL de solución mineral II [6 g KH₂PO₄ (J. T. Baker®) + 6 g (NH₄)₂SO₄ (J. T. Baker®) + 12 g NaCl (Meyer®) + 2.45 g MgSO₄ (Meyer®) + 1.6 g CaCl₂ 2H₂O (Meyer®) en 1 L de agua destilada], 0.1 mL de resazurina a 0.1% (Sigma-Aldrich®), 0.2 g de peptona de soya (MCDLab®), 0.1 g de extracto de levadura (BD Bioxon®), 4 mL de solución cisteína-sulfido [2.5 g L-cisteína (Sigma-Aldrich®) a pH 10 con NaOH (Meyer®) + 2.5 g de Na₂S 9H₂O (Meyer®) en 100 mL de agua destilada], 5 mL de solución a 8% de Na₂CO₃ (J. T. Baker®) y 50.6 mL de agua destilada. El medio se esterilizó 15 min en autoclave a 121 °C y 15 psi según la metodología de Cobos y Yokoyama (1995) modificada por Sánchez-Santillán et al. (2016) y Herrera-Pérez et al. (2018).

Un vial serológico de vidrio (120 mL) con 0.5 g de muestra y 45 mL de medio de cultivo se consideró un biodigestor. Los viales se mantuvieron en condiciones anaeróbicas con CO₂, se sellaron herméticamente con un tapón de neopreno (Ø 20 mm) y con un arillo de aluminio. Los biodigestores se esterilizaron 15 min a 121 °C y 15 psi, y se incubaron 24 h a 39 °C para verificar esterilidad (Herrera-Pérez et al., 2018). Los biodigestores se inocularon con 5 mL de bacterias ruminales totales obtenidas del fluido ruminal de una vaca Suiz-Bú; la vaca pastó en praderas de pasto pangola antes de tomar la muestra de fluido ruminal. El fluido ruminal se centrifugó por 3 min a 1,157 g para precipitar protozoarios y partículas de fibra (Torres-Salado et al., 2019).

La producción de biogás *in vitro* se midió mediante el desplazamiento del émbolo de una jeringa de vidrio (50 mL; BD Yale, Brasil) a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48 y 72 h. La producción de biogás se reportó como la producción parcial a las 24, 48 y 72 h; así como la producción acumulada a las 72 h de incubación (Texta et al., 2019). El biogás producido (en mL) se empleó para obtener los

parámetros de la cinética de producción de biogás: volumen máximo de biogás (V_m, mL g⁻¹), tasa de producción de biogás (S, h⁻¹) y tiempo lag (λ, h) del modelo logístico $V = V_m / (1 + \exp(2 - 4 * S * (T - \lambda)))$, descrito por Schofield y Pell (1995).

Para medir la producción de metano (CH₄) se usó una manguera Taygon® (2.38 mm Ø interno y 45 cm de longitud) con agujas hipodérmicas (20 G × 32mm) en los extremos, que se usaron para acoplar el biodigestor con un vial trampa de solución NaOH (2 N). El vial trampa se colocó de manera inversa en una probeta modificada que sirvió para coleccionar la solución NaOH (2 N) desplazada por el metano que se produce durante la incubación mediante una aguja hipodérmica colocada como válvula de salida. La producción de CH₄ se midió a las 24, 48 y 72 h (Almaraz-Buendía et al., 2019).

Características fermentativas

Al término de las 72 h de incubación, los biodigestores se utilizaron para medir y cuantificar las características fermentativas. El pH del medio de cultivo se midió con un potenciómetro (Hanna® HI2211, Italia; calibración pH 7 y 4). Una micropipeta (Corning®, USA) se usó para extraer 1 mL del medio contenido en el biodigestor en un tubo de ensayo (Pirex®) con 0.25 mL de formaldehído al 10% (Sigma-Aldrich®). La cantidad de bacterias totales se calculó realizando el conteo directo en una cámara Petroff-Hausser (Hausser #39000, Electron Microscopy Sciences, USA), con un área de 0.0025 mm² y profundidad de 0.02 mm. Para el recuento se usó un microscopio (BX31, Olympus, USA) a una magnificación de 1000 (Sánchez-Santillán et al., 2016).

Un mL del medio contenido en el biodigestor se mezcló con 0.25 mL de ácido metafosfórico (Meyer®) al 25% (proporción 4:1) y se centrifugó 25 min a 3,500 g y el sobrenadante se recuperó en viales de 2 mL. Un volumen de 20 μL de este sobrenadante se mezcló con 1 mL de solución fenol [10 mg de Na₂(NO)Fe(CN)₅·H₂O (Meyer®) + 10 g de cristales de fenol (Meyer®) aforado en 1 L de agua destilada] y 1 mL de solución hipoclorito de sodio [7.5 g de NaOH (Reasol®) + 21.3 g de Na₂HPO₄ (Meyer®) + 15 mL de hipoclorito de sodio a 5% (Reasol®) aforado a 1 L con agua destilada]. La mezcla se incubó 30 min a 37 °C en baño María. Posteriormente, 5 mL de agua destilada se adicionaron para diluir y se agitaron con un vórtex (Genie 2 G-560, USA). La absorbancia se midió a 630 nm en un espectrofotómetro UV-VIS (Jenway® 6850, USA) calibrado con un método (r²=0.9994) de

concentración de nitrógeno amoniacal según McCullough (1967).

En bolsas ANKOM[®] 541 con peso contante se filtró la muestra residual del biodigestor. Las bolsas con muestra se secaron 24 h a 60 °C en un horno de secado. La degradación de materia seca (DMS) se calculó con la fórmula $DMS (\%) = (muestra\ inicial - muestra\ residual / muestra\ inicial) * 100$ (Sánchez-Santillán *et al.*, 2015; Hernández-Morales *et al.*, 2018). Las bolsas ANKOM[®] se sellaron con calor y se determinó el contenido de FDN (Van Soest *et al.*, 1991). El porcentaje de degradación de la FDN (% DFDN) se calculó con la fórmula $DFDN (\%) = (FDN\ inicial - FDN\ residual / FDN\ inicial) * 100$ (Hernández-Morales *et al.*, 2018).

Análisis estadístico

Las variables de la composición bromatológica y de la técnica de producción de gas *in vitro* se analizaron en un diseño completamente al azar (4 repeticiones por complemento). Los datos se analizaron usando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS[®] (2011). Las diferencias de medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el trópico, la complementación de dietas basadas en gramíneas es necesaria para garantizar el suministro de nutrientes para rumiantes (Rodríguez *et al.*, 2014). Por lo que continuamente se buscan alternativas que puedan usarse en la alimentación de éstos. Las vainas de leguminosas arbustivas contienen arriba de 13% de PC y la calabaza contiene gran cantidad de carbohidratos solubles que pueden usarse en la alimentación de rumiantes. Así, los complementos elaborados con ha-

rina de calabaza pipiana y vaina de parota muestran un contenido promedio de 15.88% de PC y 43.54% de FDN (Cuadro 1), por lo que pueden considerarse como una alternativa para complementar la alimentación de los rumiantes en el trópico.

El contenido de PC en C3 disminuyó 10.63% respecto a C2 y C1. El contenido de FDN del C3 aumentó 17.6% respecto a C2 y C1. En ambos casos, la diferencia entre complementos es la sustitución de 10% de vaina de parota por harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana. La FDA aumentó conforme se disminuyó el contenido de vaina de parota, de modo que C2 aumentó 7.29% respecto a C1; mientras que, C3 aumentó 3.94% respecto a C2. El porcentaje de Ce en C2 fue 11.11% mayor que en C1, mientras que la MO fue 1% menor en C2 respecto a C1 (Cuadro 1).

Los complementos del presente estudio contienen mayor porcentaje de PC, FDN y FDA que complementos elaborados con 15% de harina de soya, 30% de harina de arroz, 15% de yuca, 30% de gallinaza, 5% de aceite de girasol usado y 5% de fermento de naranja (López-Varela, 2017). En contraste, los complementos del presente estudio presentaron menor porcentaje de PC y FDA y similar

concentración de FDN que un complemento para becerros elaborado con 50% de vaina de parota, 18.8% de heno de mulato II, 15.2% de pasta de soya, 4% de urea, 7% de maíz y 5% de mezcla mineral (Carbajal-Márquez *et al.*, 2019).

Por otra parte, la producción biogás *in vitro* sirve como indicativo de la disponibilidad de los carbohidratos durante la fermentación ruminal. La producción parcial de biogás de las 0 a las 24 h no mostró diferencia entre C2 y C3; sin embargo, estos complementos produjeron 45.77% más biogás que C1 (Cuadro 2). Esto indica que los complementos que contienen 60% (C2) y 70% (C3) de harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana contienen mayor disponibilidad de carbohidratos no estructurales; ya que durante las primeras 24 h se fermentan carbohidratos no estructurales en una fermentación *in vitro* (Sánchez-Santillán *et al.*, 2015; Texta *et al.*, 2019).

La producción parcial de biogás del C2 de las 24 a 48 h, fue superior en 13.41% a C3; mientras que, C1 no mostró diferencias con C2 y C3. De las 48 a 72 h, C1 y C2 no presentaron diferencias en la producción de biogás; pero, produjeron 50% menos biogás que C3 (Cuadro 2). La producción parcial de biogás a

Cuadro 1. Análisis bromatológico de los complementos.

Complemento	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Ce (%)	MO (%)
C1	16.6 a	40.9 b	24.1 b	7.6 c	92.4 a
C2	16.3 a	43.2 b	25.9 a	8.4 b	91.6 b
C3	14.8 b	46.5 a	26.9 a	8.9 a	91.1 c
EEM	0.28	0.85	0.39	0.17	0.17

Medias con letra distinta en cada columna, indican diferencias estadísticas (Tukey, $P < 0.05$). PC=proteína cruda; Ce=cenizas; MO=materia orgánica; FDN=fibra detergente neutro; FDA=fibra detergente ácido; EEM=error estándar de la media; C1=50% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 50% de harina de vaina de parota; C2=60% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 40% de harina de vaina de parota; C3=70% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 30% de harina de vaina de parota.

Cuadro 2. Variables de la producción de biogás *in vitro*.

Complemento		C1	C2	C3	EEM
Producción parcial de biogás (mL g ⁻¹ MS)	24 h	75.2 b	107.0 a	112.0 a	3.75
	48 h	51.3 ab	54.0 a	47.6 b	1.03
	72 h	21.3 b	23.7 b	33.9 a	1.30
Biogás acumulado		149.0 c	184.0 b	193.0 a	4.20
Producción parcial de metano (mL g ⁻¹ MS)	24 h	38.5 a	31.4 b	32.5 b	0.91
	48 h	12.4 b	15.4 a	14.4 ab	0.43
	72 h	4.97	4.98	4.97	0.003
Metano acumulado		56.2 a	53.4 b	51.4 b	0.59
Vm (mL g ⁻¹ MS)		143.0 b	178.0 a	182.0 a	3.78
S (h ⁻¹)		0.28 a	0.27 a	0.24 b	0.005
λ (h)		4.14 a	1.31 b	-1.89 c	0.56
pH		6.47 c	6.53 b	6.57 a	0.01
[B] (10 ⁹ células mL ⁻¹)		1.74	1.63	1.67	0.05
DMS (%)		77.6	77.7	74.6	0.74
DFDN (%)		54.9	52.6	51.21	1.48
N-NH ₃ (mg dL ⁻¹)		9.00b	14.4a	11.9ab	0.85

Medias con letra distinta en cada fila, indican diferencias estadísticas (Tukey, $P < 0.05$). C1=50% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 50% de harina de vaina de parota; C2=60% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 40% de harina de vaina de parota; C3=70% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 30% de harina de vaina de parota; Vm=volumen máximo de biogás; S=tasa de producción de biogás; λ=tiempo lag; pH=potencial de hidrógeno; [B]=conteo de bacterias totales; DMS=degradación de materia seca; DFDN=degradación de fibra detergente neutro; N-NH₃=nitrógeno amoniacal; EEM=error estándar de la media.

partir de las 24 h indica indirectamente la fermentación de carbohidratos estructurales (Sánchez-Santillán *et al.*, 2015, Texta *et al.*, 2019). De modo que, aunque C3 mostró mayor contenido de FDN (Cuadro 1) que los otros complementos, la producción de biogás de éste a las 72 h, indicó que su porcentaje de carbohidratos estructurales es mayormente fermentativo que los que componen a C1 y C2.

La producción acumulada de biogás muestra que conforme aumentó la proporción de cáscara con pulpa de calabaza pipiana se incrementó la producción de biogás. El complemento C2 produjo 24.15% mayor biogás que C1; y C3 produjo 4.53% más biogás que C2. Los complementos evaluados en el presente estudio muestran que la producción de biogás en las primeras 24 h representa entre 50.62 y 58.20% del total de biogás producido, infiriendo que la capacidad de fermentación de sus carbohidratos se basa en la alta digestibilidad de sus carbohidratos estructurales; dado que los forrajes tropicales con 56 d de rebrote de las 48 a 72 h muestran producciones de 10% del total de biogás producido (Almaraz-Buendía *et al.*, 2019), valor inferior a los observados en el presente estudio. Carbajal-Márquez *et al.* (2019) reportaron valo-

res similares al presente estudio en la producción acumulada de biogás en complementos proteicos para becerros con base en pasta de soya o vaina de parota, ya que registraron 184.86 y 198.51 mL g⁻¹ de MS en complementos que contenían 27.8% de pasta de soya y 50% de vaina de parota, respectivamente. Así mismo la producción acumulada de biogás del presente estudio es similar a la producción reportada en una dieta integral para bovinos que incluye 49% de maíz, 21% de heno de pangola, 5% de melaza de caña de azúcar, 11% de pasta de soya, 10% de vaina de moringa, 3% de mezcla mineral y 1% de urea (Rivera-Cristóbal *et al.*, 2019).

La producción parcial de metano (CH₄) de las 0 a las 24 h no presentó diferencias entre C2 y C3; sin embargo, éstos produjeron

20.58% menos CH₄ que C1. En la producción parcial de las 24 a las 48 h, C2 produjo 24.05% más CH₄ que C1. Además, de las 48 a las 72 h, la producción parcial de CH₄ no presentó diferencias entre complementos. Referente a la producción acumulada de CH₄, C2 y C3 no mostraron diferencias; pero, produjeron 7.31% menos CH₄ que C1 (Cuadro 2). La producción de CH₄ se puede deber a dos razones: 1) A los productos de fermentación de los carbohidratos estructurales entre lo que destacan CO₂ e H₂, los cuales son utilizados por las arqueas metanogénicas para la producción de CH₄ como parte de su ruta metabólica (Torres-Salado *et al.*, 2018, Torres-Salado *et al.*, 2019); 2) A una fermentación acetogénica de los carbohidratos disponibles durante la fermentación ruminal (Zavaleta, 1976). De modo que, se puede asumir que la producción de 31.09 a 38.24% del CH₄ producido en el presente estudio se deba a la fermentación de los carbohidratos estructurales en los complementos y el resto a una fermentación acetogénica de los carbohidratos no estructurales.

La producción de CH₄ parcial del C1 de las 0 a 24 h es similar, pero inferior en la producción acumulada de CH₄ a lo reportado por Carbajal-Márquez *et al.* (2019)

en complementos proteicos para becerros con base en pasta de soya y heno de mulato II. En comparación con el mismo autor, pero con un complemento que contiene 50% de vaina de parota, la producción acumulada de CH₄ en los complementos del presente estudio son inferiores, esto indica que la pérdida de energía vía CH₄ es menor en el presente estudio que los complementos proteicos para becerros que incluyen 50% de vaina de parota (Carbajal-Márquez *et al.*, 2019). El crecimiento bacteriano consta de la fase de retardo, fase de crecimiento exponencial, fase de estacionaria y fase de declinación (Tortora *et al.*, 2007); la cual puede interpretarse mediante la cinética de producción de biogás. Lo anterior, porque la variable tiempo lag (λ) representa el tiempo que requieren los microorganismos para adherirse al sustrato e iniciar el catabolismo (Schofield y Pell, 1995) lo que representa a la fase de retardo. La tasa de producción de biogás (S) indica la velocidad de fermentación del sustrato que puede compararse con la fase de crecimiento logarítmico. El volumen máximo (V_m) de biogás indica cuándo los microorganismos alcanzan su fase estacionaria.

El cálculo de las variables de la cinética de producción de biogás se obtiene mediante un modelo estadístico, por lo que se pueden presentar valores negativos que no tienen explicación biológica, como el caso del valor de λ para C3. Sin embargo, los valores de λ de los complementos en el presente estudio muestran que C1 tardó mayor tiempo en adherirse al sustrato. Además, disminuyó el valor de λ de los complementos conforme disminuyó la proporción de vaina de parota en los complementos (Cuadro 2). Esto

se puede asumir a que la vaina de parota contiene metabolitos secundarios como taninos y saponinas que interfieren en la adhesión de los microorganismos ruminales al sustrato (Delgado *et al.*, 2014).

Los complementos C2 y C3 no mostraron diferencias en volumen máximo de biogás, lo que puede indicar que los microorganismos alcanzaron su fase estacionaria al mismo tiempo, sin verse afectada por la composición de los complementos. Sin embargo, éstos tienen 25.80% mayor V_m que C1 (Cuadro 2). C1 y C2 mostraron 14.37% mayor S que C3 (Cuadro 2); de modo que los microorganismos inoculados en los biodigestores que contenían C1 y C2 como sustratos tuvieron mayor crecimiento microbiano. El pH del medio de cultivo del biodigestor mostró diferencias entre los complementos evaluados como sustratos; sin embargo, éste se mantuvo dentro del rango requerido para el desarrollo de los microorganismos ruminales y la variación se asume a los productos de fermentación (Cuadro 2; Kumar *et al.*, 2015). Además, estos valores de pH no inhiben la actividad celulolítica, ya que se requieren valores menores a 6 (Sánchez-Santillán y Cobos-Peralta, 2016). La concentración de N-NH₃ del medio de cultivo fue 59.89% mayor en C2 que en C1; mientras que, C2 no presentó diferencias con C1 y C3 (Cuadro 2). Estos valores son resultado de la degradación de las fracciones nitrogenadas presente en los complementos, los cuales resultaron menores a lo requerido para alcanzar la mayor tasa de digestibilidad de la materia seca (Mehrez *et al.*, 1977). Valores superiores de N-NH₃ al presente estudio fueron reportados en complementos proteicos para becerros que incluyen

50% de vaina de parota (Carbajal-Márquez *et al.*, 2019). Las diferencias en la concentración de N-NH₃ mencionadas se asumen a que en el presente estudio los complementos promediaron 15.88% de PC, 76.32% menor concentración que la reportada en los complementos de Carbajal-Márquez *et al.* (2019). Sin embargo, aunque hubo diferencias en pH y N-NH₃ del medio de cultivo en los biodigestores usando los complementos evaluados en el presente estudio como sustratos, esto no se reflejó en la población de bacterias a las 72 h de fermentación; ya que el conteo total de bacterias promedió 1.68×10^9 células mL⁻¹ sin diferencias entre complementos, valores similares a los reportados en evaluaciones *in vitro* de forrajes tropicales usados como sustratos (Almaraz-Buendía *et al.*, 2019). Las degradaciones *in vitro* no presentaron diferencias entre complementos, promediando una DMS de 76.62% y 52.89% de DFDN. Los valores de DMS y DFDN del presente estudio se pueden relacionar con bajas concentraciones de fibras detergentes y predecir que no se afecta el consumo potencial de la materia seca en pruebas *in vivo* (Espinoza-Sánchez, 2019). Valores similares de DMS y superiores de DFDN fueron reportados en complementos proteicos para becerros que incluyen 50% de vaina de parota (Carbajal-Márquez *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Los niveles de degradación *in vitro* de la materia seca y de la fibra detergente neutro, producción de biogás y la cinética de fermentación de la harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana permiten inferir que contiene gran cantidad de carbohidratos fermentables para su uso como parte

de complementos para la alimentación de rumiantes en el trópico. Por lo que, el complemento que contiene 60% harina de cáscara con pulpa de calabaza pipiana y 40% de harina de vaina de parota reportó los mejores resultados bromatológicos y fermentativos *in vitro*.

AGRADECIMIENTOS

Al Cuerpo Académico UAgro-CA-183 "Producción Sustentable de Rumiantes en el Trópico" por el financiamiento para la realización del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Almaraz-Buendía, I., García, A. M., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Bottini-Luzardo, M. B., & Rojas-García, A. R. (2019). Análisis bromatológico y producción de gas *in vitro* de forrajes utilizados en el trópico seco mexicano. *Archivos de Zootecnia*, 68(262), 260-266.
- AOAC. (2007). *Official Methods of Analysis (18th Ed)* Association of official analytical chemist. Arlington, VA, USA.
- Carbajal-Márquez, U., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A. R., Mendoza-Núñez, M. A., Ayala-Monter, M. A., & Hernández-Valenzuela, D. (2019). Fermentación *in vitro* de complementos para becerros con niveles crecientes de vaina de parota (*Enterolobium cyclocarpum*). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(Sup. 2), 213-220.
- Cecconello, G., Benezra, M., & Obispo, N. (2003). Composición química y degradabilidad ruminal de los frutos de algunas especies forrajeras leñosas de un bosque seco tropical. *Zootecnia Tropical*, 21(2), 149-165.
- Cobos, M. A., & Yokoyama, M. T. (1995). *Clostridium paraputrificum* var. Ruminantium: Colonisation and degradation of shrimp carapaces. En *Workshop on Rumen Ecology Research Planning*. Simposio llevado a cabo en Addis Ababa, Ethiopia.
- Delgado, D. C., Hera, R., Cairo, J., & Orta, Y. (2014). Samanea saman, árbol multipropósito con potencialidades como alimento alternativo para animales de interés productivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(3), 205-212.
- Espinoza-Sánchez, J. (2019). Inclusión de mango maduro como fuente de energía en dietas para corderos criollos en el trópico seco (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Guerrero, Cuajinicuilapa, Guerrero.
- FAO. (2016). Cultivos desatendidos: 1492 desde una perspectiva diferente. Agricultura y protección del consumidor. Recuperado de www.fao.org/docrep/t0646e/T0646E09.htm#Cucurbita.
- Guzmán, O., Lemus, C., Martínez, S., Bonilla, J., Plasencia, A., & Ly, J. (2012). Características químicas del ensilado de residuos de mago (*Magnifera indica* L.) destinado a la alimentación animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46, 369-374.
- Halik, G. D., Lozicki, A., Koziorebska, A., Dymnicka, M., & Arkuszewska, E. (2014). Effect of ensiling pumpkin *Cucurbita maxima* with the addition of inoculant or without it on chemical composition and quality of silages. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Animal Science*, 53, 103-110.
- Hernández-Morales, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Rojas-García, A. R., Reyes-Vázquez, I., & Mendoza-Núñez, M. A. (2018). Chemical composition and *in vitro* degradations of pods and leaves of legumes trees of Mexican dry tropic. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 105-120.
- Herrera-Pérez, J., Vélez-Regino, L. G., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Rojas-García, A. R., & Maldonado-Peralta, M. A. (2018). *In vitro* fermentation of fibrous substrates by water buffalo ruminal cellulolytic bacteria consortia. *MVZ Cordoba*, 23(3), 6860-6870.
- Kumar, C. P., Zeidan, M. S. A., Jena, R., Kumar, S., Singh, R., & Kumar A. P. (2015). *Rumen Microbiology: From Evolution to Revolution*. New Delhi, India: Springer.
- López-Varela D. (2017). Caracterización bromatológica de pellets elaborados a partir de subproductos agropecuarios para la alimentación de bovinos. *Tecnología en Marcha, Especial Movilidad Estudiantil*, 4, 73-81.
- Lorenzo-Hernández, R., Torres-Salado, N., Sánchez-Santillán, P., Herrera-Pérez, J., Mayrén-Mendoza, F. J., Salinas-Ríos, T., Rojas-García, A. R., & Maldonado-Peralta, M. A. (2019). Evaluación de las características de calidad y bromatológicas de ensilados elaborados con residuos de calabaza (*Cucurbita argyrosperma*). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 957-963.
- McCullough H. (1967). The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, 17(2), 297-304.
- Mehrez, A. Z., Orskov, E. R., & McDonald, I. (1977). Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *British Journal of Nutrition*, 38, 437-443.
- Rivera-Cristóbal, C., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Rafael Rojas-García, A., Maldonado-Peralta, M. A., & Herrera-Pérez, J. (2019). Producción *in vitro* de biogás, metano y degradación de materia seca de dietas que incluyen niveles crecientes de vaina de *Moringa oleifera*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(Sup. 2), 1320-1326.
- Rodríguez, R., González, N., Alonso, J., Domínguez, M., & Sarduy, L. (2014). Valor nutritivo de harinas de follaje de cuatro especies arbóreas tropicales para rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 371-378.
- Rodríguez, I. (2011). Estrategias de alimentación para bovinos en el trópico. *Mundo Pecuario*, 7(3), 167-170.
- Sánchez, M. A., Villanueva, C., Sahagún, J., & Channing, L. (2000). Variación genética y respuesta a la selección combinada en una variedad criolla de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *stenosperma*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(2), 221-230.
- Sánchez-Santillán, P., & Cobos-Peralta, M. A. (2016). *In vitro* production of volatile fatty acids by reactivated cellulolytic bacteria and total ruminal bacteria in cellulosic substrate. *Agrociencia*, 50(5), 565-574.
- Sánchez-Santillán, P., Cobos-Peralta, M. A., Hernández-Sánchez, D., Alvarado-Iglesias, A., Espinosa-Victoria, D., & Herrera-Haro, J. G. (2016). Use of activated carbon to preserve lyophilized cellulolytic bacteria. *Agrociencia*, 50(05), 575-582.
- Sánchez-Santillán, P., Herrera-Pérez, J., Torres-Salado, N., Almaraz-Buendía, I., Reyes-Vázquez, I., Rojas-García, A. R., ... & Magadan-Olmedo, F. (2019). Chemical composition, and *in vitro* fermentation of ripe mango silage with molasses. *Agroforestry Systems*. doi: 10.1007/s10457-019-00442-z

- Sánchez-Santillán, P., Meneses-Mayo, M., Miranda-Romero, L., Santellano-Estrada, E., & Alarcón-Zúñiga, B. (2015). Fibrinolytic activity and gas production by *Pleurotus ostreatus*-IE8 and *Fomes fomentarius* - EUM1 in bagasse cane. MVZ Córdoba, 20, 4907-4916.
- SAS (2011). SAS/STAT Software. Versión 9.3. Cary, NC SAS, USA: SAS Institute INC.
- Scholfield, P., & Pell, A. N. (1995). Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent soluble carbohydrate fraction of legumes y grasses. Journal of Animal Science, 73(11), 3455-3463.
- Texta, N. J., Sánchez-Santillán, P., Hernández, S. D., Torres-Salado, N., Crosby, G. M., Rojas-García, A. R., Herrera, P. J., & Maldonado, P. M. (2019). Use of disaccharides and activated carbon to preserve cellulolytic ruminal bacterial consortiums lyophilized. MVZ Cordoba, 24(3), 7305-7313.
- Torres-Salado, N., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A. R., Herrera-Pérez, J., & Hernández-Morales, J. (2018). Producción de gases efecto invernadero in vitro de leguminosas arbóreas del trópico seco mexicano. Archivos de Zootecnia, 67(257), 55-59.
- Torres-Salado, N., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A. R., Almaraz-Buendía, I., Herrera-Pérez, J., Reyes-Vázquez, I., & Mayren-Mendoza, F. J. (2019). *In vitro* gas production and fermentative characteristics of ruminal cellulolytic bacterial consortia of water buffalo (*Bubalus bubalis*) and Suiz-bu cow. Agrocienza, 53(02), 145-159.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). Introducción a la Microbiología. Madrid, España: Medica Panamericana.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74(10), 3583-3597.
- Zavaleta, E. L. (1976). Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. Ciencia Veterinaria, 1, 223-240.



Systemic acquired resistance to manage the Mexican papita viroid in tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.)

Inductores de resistencia sistémica adquirida para el manejo del viroide de la papita mexicana en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Mejorada-Cuellar, Berenice Y.¹; Zamora-Macorra, Erika J.^{1*}; Vilchis-Zimuta, Robert²; Zamora-Macorra, Mireya³

¹Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5, carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. ²Colegio de Posgraduados, km 36.5, carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ³Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C. P. 04960. Ciudad de México.

*Autor para correspondencia: erikazam@gmail.com

ABSTRACT

Objective: To determine the effect of honey, silver nanoparticles, silicon, ethyl extract of bougainvillea (*Bougainvillea glabra*) and commercial products Actigard[®] and Messenger Gold[®] in healthy tomato plants and in plants infected with the Mexican papita viroid (MPVd), produced under greenhouse in hydroponic system.

Design/methodology/approach: Healthy and Mexican papita viroid (MPVd) inoculated Pai-Pai tomato plants were sprayed with different treatments: water, honey, silver nanoparticles, silicon, bugambilia ethyl extract (*Bougainvillea glabra*), Actigard[®] and Messenger Gold[®]. The evaluated variables were height, stem diameter and severity per plant, as well as the total harvest per treatment. With severity, the area under the disease progress curve (AUDPC) was determined. The experimental design was completely randomized with 14 treatments and 20 repetitions. The experimental unit was 1 tomato plant. Analysis of variance and multiple comparisons of means were analyzed. Tukey's test with a 5% significance level was analyzed as a posthoc method.

Results: Plants inoculated with Messenger Gold[®] and water had the highest AUDPC. Honey and silver had the lowest AUDPC and the lowest final severities. The final severity in inoculated plants was significantly different. Regarding stem diameter, treatments had significant differences but with height, no differences was found between the treatments.

Limitations on study/implications: Only one tomato variety was used in the present experiment.

Findings/conclusions: The bee honey proved to be the best inducer of acquired systemic resistance against MPVd. The silver nanoparticles caused the decrease in severity in plants inoculated with MPVd. The bougainvillea extract and the silver nanoparticle favored the performance in non-inoculated plants.

Keywords: *Bougainvillea*, silver nanoparticle, honney, silicon.

RESUMEN

Objetivo: Determinar el efecto de la miel de abeja, nanopartículas de plata, silicio, extracto etílico de bugambilia (*Bougainvillea glabra*) y los productos comerciales Actigard[®] y Messenger Gold[®], en plantas de tomate sanas e infectadas con el viroide de la papita mexicana (MPVd), producidas en cultivo hidropónico bajo invernadero.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 75-80.

Recibido: enero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Diseño/metodología/aproximación: Plantas de tomate de la variedad Pai-Pai sanas e inoculadas con el viroide de la papita mexicana (MPVd) se asperjaron con diferentes tratamientos: agua, miel de abeja, nanopartículas de plata, silicio, extracto etílico de bugambilia (*Bougainvillea glabra*), Actigard® y Messenger Gold®. Las variables evaluadas fueron: altura, diámetro de tallo y severidad por planta, así como el rendimiento total por tratamiento. Con la severidad se determinó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). El diseño experimental fue completamente al azar con 14 tratamientos y 20 repeticiones. La unidad experimental fue una planta de tomate. Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias, como método posthoc se utilizó la prueba de Tukey con nivel de significancia al 5%.

Resultados: Las plantas inoculadas con Messenger Gold® y agua tuvieron la mayor ABCPE. La miel y las nanopartículas de plata tuvieron la menor ABCPE y las menores severidades finales. La severidad final en plantas inoculadas fue significativamente diferente entre tratamientos; asimismo, el diámetro de tallo fue distinto entre tratamientos. Por el contrario, en la altura de planta, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Se utilizó solo una variedad de tomate en el presente experimento.

Hallazgos/conclusiones: La miel de abeja demostró ser el mejor inductor de resistencia sistémica adquirida contra el MPVd. Las nanopartículas de plata causaron la disminución de la severidad en plantas inoculadas con MPVd. El extracto de bugambilia y las nanopartículas de plata favorecieron el rendimiento en plantas no inoculadas.

Palabras clave: *Bougainvillea*, nanopartículas de plata, miel, silicio.

estrategias utilizadas para mitigar los daños de fitopatógenos en las plantas son el uso de inductores de resistencia sistémica, como el acibenzolar s-metil o las proteínas harpin; sin embargo, no se conocen sus efectos en plantas infectadas por viroides. Además, el precio en el mercado de algunos inductores es elevado, lo que dificulta que el productor haga uso de éstos para minimizar las pérdidas en su cultivo. Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de inductores de resistencia sistémica en el crecimiento, rendimiento y severidad observada en plantas de tomate sanas e infectadas con el MPVd, producidas intensivamente. Los productos utilizados fueron miel de abeja al 2%, nanopartículas de plata, silicio, extracto etílico de bugambilia (*Bougainvillea glabra*), Actigard® y Messenger Gold®.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, de junio a noviembre de 2018. Se utilizaron plantas de tomate saladet variedad Pai-Pai, como sustrato se utilizó tezontle previamente desinfectado con sales cuaternarias de amonio y el cultivo se mantuvo con la solución nutritiva Steiner como base. Se realizaron podas de formación y tutorio, así como aplicaciones de insecticidas sistémicos y bactericidas.

Inoculación mecánica. Las plántulas se trasplantaron cuando tenían 2 hojas verdaderas. Después de 15 días, se realizó la inoculación del viroide infringiendo daño mecánico sobre un foliolo de la hoja verdadera con carborundum de

INTRODUCCIÓN

Los viroides son los fitopatógenos de menor complejidad estructural y genética que se conocen, están constituidos de una cadena circular de RNA desnudo, cerrada covalentemente y de bajo peso molecular (Ding, 2009). El viroide de la papita mexicana (MPVd) se identificó en 1996 en México, en un cultivo de papita (*Solanum cardiophyllum*) (Martínez *et al.*, 1996); y en 2008 se encontró por primera vez afectando un cultivo de tomate en Canadá (Ling y Bledsoe, 2009). En México, en el 2008 se encontró al MPVd y al viroide del enanismo clorótico del tomate infectando plantas de tomate sembradas en grandes extensiones de invernaderos (Ling y Zhang, 2009). Actualmente el MPVd se sigue detectando en otras zonas productoras del Estado de México. Las plantas infectadas por el MPVd tienen hojas con mosaico y clorosis; en etapas avanzadas, las hojas se tornan púrpuras, las plantas son enanas y si producen frutos, éstos serán pequeños.

Hasta el momento el único tratamiento recomendado cuando existen plantas infectadas por viroides es la eliminación inmediata de las mismas, lo que representa una pérdida económica para el productor. Una de las

400 mallas y frotando un macerado del tejido vegetal infectado en buffer de fosfato pH 7.0. La fuente de inóculo utilizada fue material vegetal positivo a MPVd de la colección de virus fitopatógenos del Colegio de Postgraduados. Para corroborar la infección, 30 días después de la inoculación se tomaron al azar muestras compuestas de tejido vegetal por tratamiento (folíolos de cinco plantas) para su análisis por RT-PCR. La extracción de RNA total se realizó mediante TRIzol[®] y las condiciones y cebadores utilizados para la retrotranscripción fueron los descritos por Bostan *et al.* (2004). Los productos obtenidos se observaron en un gel de agarosa al 1%.

Diseño experimental. El diseño experimental fue completamente al azar con 14 tratamientos y 20 repeticiones, dentro de los cuales se evaluaron dos testigos, el testigo negativo sin inoculación y sin aplicación de inductores, y un testigo positivo con inoculación y sin aplicación de inductores (Cuadro 1). La unidad experimental fue una planta de tomate.

Evaluación. Todas las plantas se analizaron visualmente cada semana, hasta la fructificación. Se registraron los datos de altura, diámetro de tallo y severidad por planta, así como el rendimiento total por tratamiento. Para la severidad se modificó la escala progresiva propuesta por Lapidot *et al.* (2006), que consta de 5 clases (1=asintomática, 2=ligera clorosis intervenal en ápice o hojas, 3=mosaico evidente en hojas, 4=mosaico evidente y enaciones, 5=deformación severa y achaparramiento) (Figura 1). Con la severidad se pudo determinar el mejor modelo de análisis epidemiológicos (logístico o lineal) para estimar el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

Para el análisis estadístico, se compararon la altura y diámetro del tallo entre los distintos tratamientos mediante un análisis de varianza, posteriormente se realizó la prueba *post hoc* Tukey con la que se identificaron los tratamientos que mostraron mayor eficacia, se consideró un nivel de significancia al 0.05%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los primeros síntomas aparecieron 8 días después de la inoculación. La infección se corroboró mediante la obtención del producto de RT-PCR del fragmento esperado (200 pb) en las muestras compuestas por tratamiento, y solo se detectó en plantas inoculadas (figura no mostrada). Con los datos obtenidos de severidad, se construyeron curvas del progreso de la enfermedad (Figura 2) y se estimó la intensidad de la enfermedad con los siguientes parámetros epidemiológicos: área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), tasa de infección aparente (con el modelo logístico y lineal) y severidad final (Y final) (Cuadro 2).

Los tratamientos 6 y 7 (Messenger Gold[®] y el testigo positivo) tuvieron la mayor ABCPE. Como era de esperarse, las plantas infectadas asperjadas solo con agua (tratamiento 7) fueron las que presentaron síntomas más severos y también las que tuvieron un menor rendimiento (Cuadro 3).

La miel y las nanopartículas de plata tuvieron la menor ABCPE (Cuadro 2) y las menores severidades finales (Cuadro 3). Las nanopartículas de plata se han utilizado como antibiótico contra bacterias y hongos fitopatógenos en plantas, ya que aumentan la producción de oxígeno reactivo que en exceso pueden dañar las membranas celulares (Durán *et al.*, 2010) y provoca la

Cuadro 1. Tratamientos utilizados y frecuencia de aspersión.

Tratamiento	Inoculación del MPVd	8 ddi [†]	16 ddi	24 ddi	33 ddi	41 ddi
1	Si	Mi [‡]	Mi	Mi	Mi	M
2	Si	ExB	ExB	ExB	ExB	ExB
3	Si	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag
4	Si	Sil	Sil	Sil	Sil	Sil
5	Si	Act		Act		Act
6	Si	MeG		MeG		MeG
7	Si	TP-A	TP-A	TP-A	TP-A	TP-A
8	No	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi
9	No	ExB	ExB	ExB	ExB	ExB
10	No	Ag	NaAg	NaAg	NaAg	Ag
11	No	Sil	Sil	Sil	Sil	Sil
12	No	Act		Act		Act
13	No	MeG		MeG		MeG
14	No	TN-A	TN-A	TN-A	TN-A	TN-A

[†]ddi: días después de la inoculación. [‡]Mi: miel de abeja al 2%, ExB: extracto etílico de bugambilia al 10%, Ag: nanopartículas de plata coloidal (13 mg L⁻¹), Sil: silicio (4 mg L⁻¹), Act: Actigar[®], MeG: Messenger Gold[®], TP-A: testigo positivo asperjado con agua y TN-A: testigo negativo asperjado con agua.

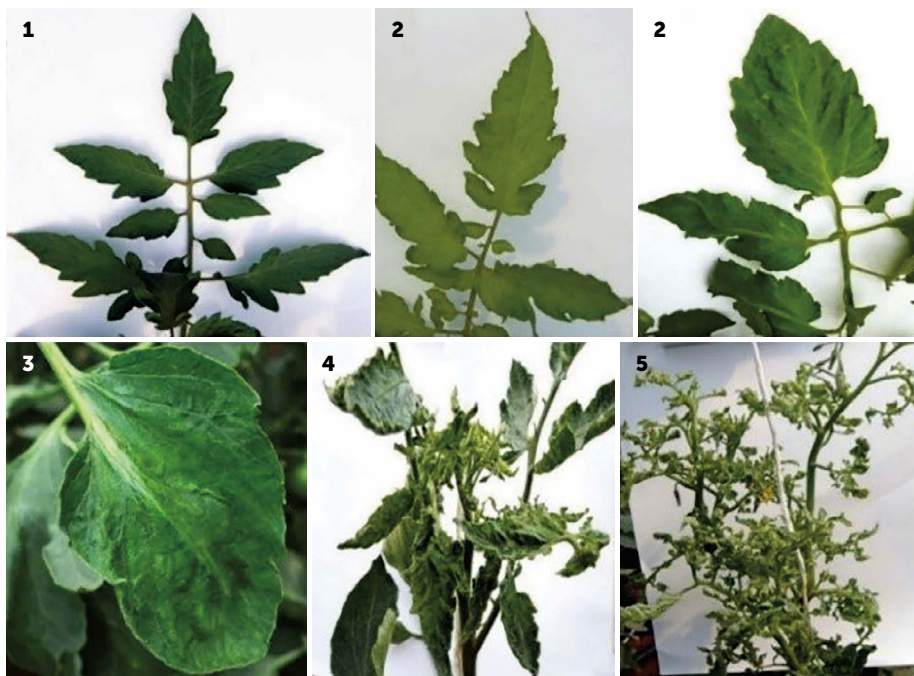


Figura 1. Escala de severidad progresiva propuesta en plantas de tomate infectadas por el viroide de la papita mexicana (MPVd). 1=asintomática, 2=ligera clorosis intervenal en ápice o hojas, 3=mosaico evidente en hojas, 4=mosaico evidente y enaciones, 5=deformación severa y achaparramiento.

Cuadro 2. Parámetros epidemiológicos estimadores de intensidad de enfermedad ocasionada por viroide de la papita mexicana (MPVd) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*).

Tratamiento	Ajuste Modelo	ABCPE (%acumulado por semana)	Y final ajustada	$\beta 1$
1.Mi	Logístico	13.17	3.35	0.49
2.ExB	Logístico	17.42	3.32	0.49
3.Ag	Logístico	15.71	3.04	0.59
4.Sil	Lineal	16.92	4.08	0.43
5.Act	Lineal	17.29	3.66	0.31
6.MeG	Logístico	17.87	3.40	0.52
7.TP-A	Logístico	21.71	3.71	0.80

1. Mi: miel de abeja al 2%. 2. ExB: extracto etílico de bugambilia al 10%. 3. Ag: nanopartículas de plata coloidal (13 mg L⁻¹). 4. Si: silicio (4 mg L⁻¹). 5. Act: Actigar®. 6. MeG: Messenger Gold® y 7. TP-A: testigo positivo asperjado con agua.

desnaturalización e inhibe la replicación del ADN (Sharma *et al.*, 2012).

La miel de abeja al 2% ha sido evaluada en diversos experimentos y se ha demostrado que las aplicaciones foliares en tomate incrementan el peso de los frutos y mejoran su calidad (Rodríguez-Mendoza *et al.*, 2015); además incrementa la altura de la planta y el diámetro del tallo (Villegas-Torres *et al.*, 2001). En plantas de tomate infectadas por el virus de la marchitez manchada del tomate (TSWV), demostró una disminución de la concentración viral a los 30 después de la inoculación (Ramírez-Florez *et al.*, 2006).

La severidad final en plantas inoculadas fue significativamente diferente, los tratamientos 7 y 4 (testigo positivo y silicio) tuvieron los valores más elevados de la escala (Cuadro 3). El silicio provee resistencia a las plantas contra insectos ya que sirve como barrera mecánica al acumularse en las paredes celulares, además de que en las plantas se sintetizan más compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas (Castellanos *et al.*, 2015). Sin embargo, en plantas de lechuga infectadas por un hongo, las altas concentraciones de silicio disminuyeron el área foliar y el peso seco y fresco (Dios-Delgado *et al.*,

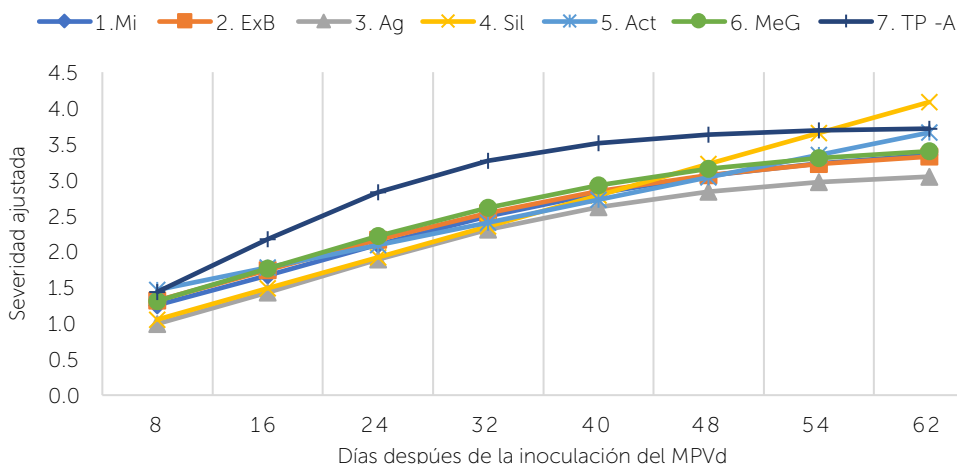


Figura 2. Efecto de los tratamientos en las curvas del progreso de la enfermedad ocasionada por el viroide de la papita mexicana (MPVd) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*). 1. Mi: miel de abeja al 2%, 2. ExB: extracto etílico de bugambilia al 10%, 3. Ag: nanopartícula de plata coloidal (13 mg L⁻¹), 4. Si: silicio (4 mg L⁻¹), 5. Act: Actigar®, 6. MeG: Messenger Gold®, 7. TP-A: testigo positivo asperjado con agua.

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de los tratamientos en el diámetro del tallo, altura y rendimiento promedio obtenido en las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*).

Tratamiento	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Promedio de Severidad final	Rendimiento total (kg)
1. Mi	4.030 ab [§]	154.650 a	3.550 ab	21.02
2. ExB	4.280 a	149.600 a	3.500 ab	17.71
3. Ag	3.735 abc	147.100 a	3.200 b	15.97
4. Sil	3.850 abc	149.550 a	3.900 a	16.81
5. Act	3.87 abc	148.850 a	3.500 a	20.31
6. MeG	3.455 c	135.550 a	3.550 ab	19.68
7. TP-A	3.765 abc	145.200 a	3.900 a	14.40
8. Mi	4.250 a	154.500 a	1.000 c	17.15
9. ExB	3.365 c	135.550 a	1.000 c	17.59
10. Ag	3.925 abc	146.150 a	1.000 c	17.71
11. Sil	3.655 bc	154.250 a	1.000 c	16.72
12. Act	3.920 abc	148.600 a	1.000 c	15.87
13. MeG	3.850 abc	149.650 a	1.000 c	13.07
14. TN-A	4.075 ab	136.550 a	1.000 c	17.14

[†]1-7: Plantas inoculadas con el viroide de la papita mexicana (MPVd); 8-14: plantas no inoculadas. Mi: miel de abeja al 2%, ExB: extracto etílico de bugambilia al 10%, Ag: nanopartículas de plata coloidal (13 mg L⁻¹), Si: silicio (4 mg L⁻¹), Act: Actigard[®], MeG: Messenger Gold[®], TP-A: testigo positivo asperjado con agua y TN-A: testigo negativo asperjado con agua. [§]Medias con letras distintas en cada columna son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

2006). Esta es la primera vez que se evalúa este elemento en plantas infectadas por viroides.

La altura de las plantas no fue distinta entre tratamientos; sin embargo, la miel favoreció el crecimiento de plantas infectadas (Cuadro 3).

Por otro lado, el extracto de bugambilia incrementó el diámetro del tallo solo en las plantas inoculadas (tratamiento 2); mientras que en plantas sanas, se observó un efecto contrario (tratamiento 9) (Cuadro 3). El extracto etílico de las flores (brácteas) de bugambilia (*Bougainvillea spectabilis*) tiene propiedades antifúngicas y antibacterianas (Kumara et al., 2012); ésta es la primera vez que se emplea contra un viroide, pero se sabe que los extractos de hojas inhiben la formación de lesiones locales cuando se inocula mecánicamente al TSWV en Chile (Balasaraswathi et al., 1998) y retrasan la aparición de síntomas ante la infección con virus del mosaico amarillo de la oca (Pun et al., 1998); esto debido probablemente a la presencia de proteínas antivirales.

Los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos de miel (tratamiento 1) y el Actigard[®] (tratamiento 5); y en general se observó que, las plantas inoculadas con el MPVd tuvieron un mayor rendimiento respecto

a las sanas (Cuadro 3). Existen reportes de plantas infectadas (*Ludwigia perennis*, *Corchorus olitorius*, *Hibiscus sabdariffa* y *H. cannabinus*) con el virus del mosaico necrótico del arroz que han incrementado hasta en un 140% su crecimiento (Kumar, 1982). Resultados similares se registraron en plantas de Chile infectadas por el virus del mosaico del tabaco, el virus del mosaico del pepino y el virus Y de la papa (Damiri, 2014). Las infecciones virales inducen o reprimen la expresión génica de un amplio rango de procesos celulares, incluyendo la regulación hormonal, el ciclo celular y el transporte endógeno de macromoléculas. Algunos síntomas de infecciones virales son el resultado de alteraciones en el crecimiento y desarrollo de la planta debido al desbalance en giberelinas y citocininas (Kumar, 1982; Pallas y García, 2011).

El ingrediente activo del Actigard[®] es acibenzolar-S-metil (ASM), que es un inductor de resistencia sistémica adquirida y sirve para contrarrestar el efecto de diversos problemas fitosanitarios, incluyendo virus (Vallad y Goodman, 2004). Este ingrediente activo se ha evaluado en plantas de tomate infectadas con un virus del género Potyvirus y con TSWV, demostrando una reducción de la incidencia y severidad (Momol et al., 2004; Mejía et al., 2009). Al parecer el éxito del ASM depende de la dosis ya que puede generar fitotoxicidad, y si se hace o no una aplicación previa a la inoculación mecánica (Mejía et al., 2009).

En general se observó que los tratamientos en plantas inoculadas (tratamientos 1 al 6) incrementaron el rendimiento comparándolo con el testigo positivo (tratamiento 7), demostrando así la efectividad de éstos. Respecto a las plantas sanas, no inoculadas con el MPVd, el tratamiento 13 (Messenger Gold[®]) fue el que tuvo el menor rendimiento y los tratamientos 9 y 10 (extracto de bugambilia y nanopartículas de plata) fueron los mejores (Cuadro 3).

El ingrediente activo del Messenger Gold[®] es la proteína harpin, y en trabajos previos donde evaluaron altura y rendimiento en plantas de tomate, las plantas tratadas

y no tratadas se comportaron de la misma manera, por lo que no favoreció ni el crecimiento ni la producción (Salamanca y Alvarado, 2012), pero en cultivares de Chile aumentó hasta en 16% la producción y además mejoró la calidad de fruta (sólidos solubles, ácidos y pH) (Akbuldak *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

La miel de abeja al 2% demostró ser el mejor inductor de resistencia sistémica adquirida contra el MPVd bajo las condiciones de la presente investigación, ya que tuvo el mayor rendimiento y altura, así como una menor ABCPE.

Las nanopartículas de plata fue el tratamiento que redujo más la severidad en plantas inoculadas con MPVd, y el extracto de bugambilia y las nanopartículas de plata favorecieron el rendimiento en plantas sanas.

LITERATURA CITADA

- Akbuldak, N., Şeniz, V., & Tezcan, H. (2007). Effect of Harpin Protein on Yield and Fruit Quality of Pepper Grown in Greenhouse Conditions. *Acta Horticulturae*, 729, 267-270.
- Balasaraswathi, R., Sadasivam, S., Ward, M., & Walker, J.M. (1998). An antiviral protein from *Bougainvillea spectabilis* roots; Purification and characterization. *Phytochemistry*, 47(8), 1561-1565.
- Bostan, H., Nie, X., & Singh, R. P. (2004). An RT-PCR primer pair for the detection of Pospiviroid and its application in surveying ornamental plants for viroids. *Journal of Virological Methods*, 116, 189-193.
- Castellanos, G. L., de Mello, P. R., & Silva, C. C. N. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 16-24.
- Damiri, N. (2014). Mixed viral infection and growth stage on chilli (*Capsicum annuum* L.) Production. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 37(2), 275-283.
- Ding, B. (2009). The biology of viroid-host interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 105-131.
- Dios-Delgado, I., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, M. N., & Cárdenas-Soriano, E. (2006). Aplicaciones foliares de calcio y silicio en la incidencia de mildiu en lechuga. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 91-98.
- Durán, N., Marcato, Pd., Ingle, A., Gade, A., & Rai, M. (2010). Fungi-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles: Characterization Processes and Applications. En M. Rai, & G. Kövics (Eds.), *Progress in Mycology* (pp. 425-449). Dordrecht: Springer.
- Kumar, G. S. (1982). Growth promotion in plants by Rice necrosis mosaic virus. *Planta*, 155(3), 193-198.
- Kumara S. M., Sudipta, K. M., Lokesh, P., Neeki, M. A., Rashmi, W., Bhaumik, S. H., Darshil, S. H., Vijay, R., & Kashyap, S. S. N. (2012). Phytochemical screening and in vitro antimicrobial activity of *Bougainvillea spectabilis* flower extracts. *International Journal of Phytomedicine*, 4, 375-379.
- Lapidot M., Ben-Joseph R., L Cohen, & D Levy. (2006). Development of a Scale for Evaluation of tomato yellow leaf curl virus resistance level in tomato plants. *Phytopathology*, 96(12), 1404-8.
- Ling, K., & Bledsoe, M. (2009). First report of Mexican papita viroid infecting greenhouse tomato in Canada. *Plant Disease*, 93, 839.
- Ling, K. S., & Zhang, W. (2009). First report of a natural infection by Mexican papita viroid and tomato chlorotic dwarf viroid on greenhouse tomatoes in Mexico. *Plant Disease*, 93(11), 1216.
- Martínez-Soriano J. P., Galindo-Alonso, J., Maroon, C. J., Yucel, I., Smith, D. R., & Diener, T. O. (1996). Mexican papita viroid: Putative ancestor of crop viroids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 93(18), 9397-401.
- Mejía, D. M. A., Rodas, E. I. G., Patiño, L. F. H., & González, E. P. J. (2009). Efecto del acibenzolar-s-metil sobre el desarrollo de la virosis causada por potyvirus en tomate de árbol. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 87-93.
- Momol, T., Olson, S. M., Funderburk, J. E., Stavisky, J., & Marois, J. J. (2004). Integrated management of tomato spotted wilt in field-grown tomato. *Plant Disease*, 88, 882-890.
- Pallas, V., & García, J. A. (2011). How do plant viruses induce disease? Interactions and interference with host components. *Journal of General Virology*, 92, 2691-2705.
- Pun, K. B., Sabitha, D., & Jeyarajan, R. (1998). Screening of plant species for the presence of antiviral principles against Okra yellow vein mosaic virus. *Indian Journal of Phytopathology*, 52(3), 221-223.
- Ramírez-Florez, J., Ochoa-Martínez, D. L., Rodríguez-Mendoza, M. N., & Mora-Aguilera, G. (2006). Efecto del ácido acético salicílico, miel y melaza en la movilidad y concentración de TSWV. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 239-243.
- Rodríguez-Mendoza, M. N., Baca-Castillo, G., García-Cué, J. L., & Urrieta-Velázquez, J. A. (2015). Aclareo de frutos y aspersiones foliares de calcio y miel de abeja sobre la calidad de tomate tipo costilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), 197-204.
- Salamanca, C. M., & Alvarado, G. Á. (2012). Efecto de la proteína de Harpin y el fosfito de potasio en el control del mildío polvoso (*Frysipe polygoni* D.C.) en tomate, en Sutamarchán, (Boyacá). *Ciencia y Agricultura*, 9(2), 65-75.
- Sharma P., Deepesh, B., Zaidi, M. G., Pardha, P., Khanna, P. K., & Sandeep, A. (2012). Silver nanoparticle mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167, 2225-2233.
- Vallad, G. E., & Goodman, R. M. (2004). Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. *Crop Science*, 44, 1920-1934.
- Villegas-Torres, O. G., Rodríguez-Mendoza, M. N., Trejo-Téllez, L. I., & Alcántar-González, G. (2001). Potencial de la miel de abeja en la nutrición de plántulas de tomate. *Terra*, 19(1), 97-102.

Evaluation of the biological activity of hydrolysates proteins of *Vicia faba*

Estudio de la actividad biológica de hidrolizados proteicos de *Vicia faba*

León-Espinosa, Erika Berenice¹; Jiménez-Martínez, Cristian²; Cruz-Monterrosa, Rosy Gabriela¹; Rayas-Amor, Adolfo Armando¹; Jiménez-Guzmán, Judith¹; Díaz-Ramírez, Mayra¹; Fabela-Morón, Miriam Fabiola¹; Dávila-Ortiz, Gloria^{2*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Av. Hidalgo Poniente 46. Col. La estación, Lerma de Villada, Estado de México. CP. 52006. ²Departamento de Ingeniería Bioquímica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Campus Zacatenco, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Av. Wilfrido Massieu Esq. Cda. Miguel Stampa S/N, C.P.07738. Delegación Gustavo A. Madero, CDMX, México.

*Autor de correspondencia: gdavilao@yahoo.com

ABSTRACT

Objective: To evaluate the antioxidant and quelating activity of *Vicia faba* protein hydrolysates.

Design/methodology/approach: Bean seeds of the San Pedro Tlaltizapan variety, purchased from the Institute of Agricultural, Aquaculture and Forestry Research of the State of Mexico (ICAMEX) were used. A protein substrate was prepared for enzymatic hydrolysis by alkaline extraction of the protein, followed by isoelectric precipitation from the defatted flour, the concentrate obtained was named protein concentrate (CP). Subsequently, enzymatic hydrolysis of the CP was carried out with a sequential pepsin-pancreatin system and the grade of hydrolysis (GH) was determined. Finally, the antioxidant and chelating activity of protein hydrolysates was determined.

Results: The defatted bean flour presented 18.6 g of protein/100 g sample. While the concentrate obtained with this flour presented 62.7 g of protein/100 g of sample. The protein increase in the concentrate was 3.4 times showing a significant difference ($p < 0.05$) with the defatted bean flour. The total hydrolysis time was 90 min (45 min for each enzyme in the case of the sequential system). The highest GH obtained with the sequential system was 16% at 45 min. On the other hand, the chelation percentage of these hydrolysates was less than 25%.

Limitations on study/implications: The protein concentrate of *Vicia faba* was not free of phenolic compounds, so this would be a limitation in the GH and consequently in the chelating and antioxidant activity.

Findings/conclusions: The protein hydrolysates of *Vicia faba* obtained through the sequential pepsin-pancreatin system present good antioxidant activity by the various methods studied, showing that when pancreatin is added to the system, these activities improve, since hydrolysates are active, they could be used as functional ingredients in food products.

Keywords: *Vicia faba*, hydrolyzed, pepsin, chelator, antioxidant.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la actividad antioxidante y quelante de los hidrolizados proteicos de *Vicia faba*.

Diseño/metodología/aproximación: Se utilizaron semillas de haba de la variedad San Pedro Tlaltizapán, adquiridas en el Instituto de Investigación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). Se preparó un sustrato proteínico para la hidrólisis enzimática por extracción alcalina de la proteína, seguida de precipitación isoeléctrica a partir de la harina desengrasada, el concentrado obtenido se denominó concentrado proteico (CP). Posteriormente se llevó a cabo la hidrólisis enzimática del CP con un sistema secuencial pepsina-pancreatina y se determinó el grado de hidrólisis (GH). Finalmente se determinó la actividad antioxidante y quelante de los hidrolizados proteicos.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 81-86.

Recibido: noviembre, 2019. **Aceptado:** junio, 2020.



Resultados: La harina de haba desengrasada presentó 18.6 g de proteína/100g muestra. Mientras que, el concentrado obtenido con esta harina presentó 62.7 g de proteína/100 g de muestra. El aumento de proteína en el concentrado fue de 3.4 veces mostrando diferencia significativa ($p < 0.05$) con la harina de haba desengrasada. El tiempo total de hidrólisis fue de 90 min (45 min para cada enzima en el caso del sistema secuencial). El mayor GH que se obtuvo con el sistema secuencial fue de 16% a los 45 min. Por otra parte, el porcentaje de quelación de estos hidrolizados fue menor al 25%.

Limitaciones del estudio/implicaciones: El concentrado proteico de *Vicia faba*, no estaba libre de compuestos fenólicos, lo que es una limitante en el GH y consecuentemente en la actividad quelante y antioxidante.

Hallazgos/conclusiones: Los hidrolizados proteicos de *Vicia faba* obtenidos a través del sistema secuencial pepsina-pancreatina presentaron actividad antioxidante por los diversos métodos estudiados, mostrando que, al adicionar pancreatina al sistema, estas actividades mejoran, por tanto, los hidrolizados podrían ser utilizados como ingredientes funcionales en productos alimenticios.

Palabras clave: *Vicia faba*, hidrolizados, pepsina, quelante, antioxidante.

promover la salud de las personas, mediante el aumento de la carga antioxidante en el cuerpo. En años recientes el interés de utilizar antioxidantes naturales se ha incrementado sustancialmente (Shahidi *et al.*, 2006), buscando evaluar además el potencial antioxidante de péptidos biológicamente activos obtenidos a partir de hidrolizados de proteínas y mediante el uso de enzimas proteolíticas (Zhu *et al.*, 2006). Los péptidos antioxidantes se pueden obtener y purificar a partir de distintos hidrolizados de proteínas de fuentes como pescado, soya, salvado de arroz y leche, entre otras (Kou *et al.*, 2013). Se han descrito propiedades antioxidantes en las que se incluyen su capacidad de inactivar especies reactivas de oxígeno, eliminar RL, o quelar metales de transición como Fe^{2+} y Cu^{2+} que pueden incrementar la biodisponibilidad de elementos traza esenciales como calcio y zinc (Gallegos-Tintoré *et al.*, 2011). Por tal motivo se evaluó la actividad antioxidante y quelante de los hidrolizados proteicos de *Vicia faba*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material

Se utilizaron semillas de haba de la variedad San Pedro Tlaltzapán, adquiridas en el Instituto de Investigación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), del ciclo 2012, mismas que fueron almacenadas a 4 °C hasta su uso.

Obtención del concentrado proteico (CP) con polifenoles

Se preparó un sustrato proteínico para la hidrólisis enzimática por extracción alcalina de la proteína, seguida de precipitación isoeléctrica a partir de la harina desengrasada, denominado concentrado proteico (CP) con polifenoles. Para ello, la

INTRODUCCIÓN

El estrés oxidativo, que surge como resultado de un desequilibrio entre la producción de radicales libres (RL) y defensas antioxidantes, se asocia con el daño a una amplia gama de especies moleculares que incluyen lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Se ha demostrado que contribuye significativamente a enfermedades inflamatorias, isquémicas, Alzheimer, Parkinson, enfermedades relacionadas al tabaquismo (Lobo *et al.*, 2010) y con algunas otras condiciones incluyendo la aterosclerosis, inflamación, ciertos tipos de cáncer y el proceso de envejecimiento. Bajo este contexto, la orientación de las vías patológicas comunes ha ganado una atención creciente para la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas. Si bien en el área farmacéutica existen medicamentos antioxidantes, ninguno de éstos es libre de efectos secundarios. Dada las preocupaciones sobre los efectos secundarios del uso prolongado de compuestos sintéticos, existe un creciente interés en las aplicaciones terapéuticas y sus derivados como alternativas más seguras, ya sea como alimentos funcionales o nutraceuticos (Chakrabarti *et al.*, 2014). Las proteínas alimentarias de origen vegetal y animal se han utilizado para obtener una amplia gama de péptidos bioactivos (Granato *et al.*, 2017), que son generalmente péptidos cortos (3 a 20 aminoácidos) derivados de proteínas que pueden ejercer actividades biológicas por encima de su valor nutricional esperado (Alashi *et al.*, 2014). Entre las proteínas alimentarias precursoras de péptidos destacan las proteínas lácteas, tanto de la caseína, como del suero que muestran actividad antihipertensiva, opioide, antimicrobiana e inmunomoduladora (Dziuba *et al.*, 2004; Darewicz *et al.*, 2007). Las proteínas de la carne de pollo y huevo son importantes fuentes de biopéptidos con actividad antihipertensiva (Pihlanto *et al.*, 2008). Por otra parte, el uso de antioxidantes en la dieta ha sido reconocido como potencialmente eficaz para

harina correspondiente se suspendió en agua en una proporción 1:10 (p/v), se ajustó al pH de solubilización (pH 10.5) y se mantuvo constante a través de la adición de NaOH 1 N para la extracción en agitación durante 1 h a temperatura ambiente. El extracto se centrifugó a 10,000 rpm durante 30 min, el sobrenadante recuperado de esta etapa se llevó al pH de precipitación isoelectrica (4) ajustando con NaOH 1 N o HCl 1 N y manteniendo en agitación durante 1 h, seguido de centrifugación a 10,000 rpm durante 30 min. Los concentrados fueron liofilizados a $-49\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 0.488 mbar para su posterior análisis.

Hidrólisis enzimática

Para el sistema enzimático secuencial se partió de un volumen de 100 mL de una suspensión de concentrado proteico preparada al 5% de proteína con una relación enzima/sustrato 1/10 (p/p), la temperatura se mantuvo estable a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el pH constante a 2 cuando se adicionó pepsina y 7.5 con pancreatina. Los tiempos de hidrólisis fueron los mismos, sin embargo, cada enzima se dejó actuar por la mitad del tiempo establecido. En todos los casos, la hidrólisis se detuvo por calentamiento en baño a ebullición durante 5 min. Así mismo, la proteína soluble se almacenó para la evaluación de la actividad antioxidante.

Grado de hidrólisis

El grado de hidrólisis (GH), se determinó con el método de Kim *et al.* (1990). Este se estimó midiendo la cantidad de nitrógeno soluble, después de agregar ácido tricloroacético (TCA) al 10% y su proporción con respecto a la cantidad de nitrógeno total en la suspensión del concentrado proteico. Para evaluar la cantidad de nitrógeno soluble en TCA se tomaron 5 mL de cada hidrolizado proteico y se mezclaron con 5 mL de TCA al 10%. Esta mezcla se centrifugó a 10000 rpm/15 min y se determinó el N del sobrenadante por el método de Kjeldahl (Horwitz, 2015). El N total se determinó a la suspensión de proteína sin hidrolizar.

Evaluación del poder reductor

El poder reductor de los hidrolizados y fracciones se determinó de acuerdo con Oyaizu (1986). A $20\text{ }\mu\text{L}$ de hidrolizado y fracciones (0.1mg/mL de proteína) o de butilhidroxitolueno (BHT), se les adicionó $50\text{ }\mu\text{L}$ del regulador de fosfato 0.2 M, pH 6.6 y $50\text{ }\mu\text{L}$ de ferricianuro de potasio 1% en una placa de 96 pozos. Se incubó a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 min y posteriormente se adicionaron $50\text{ }\mu\text{L}$ de TCA al 10% y $10\text{ }\mu\text{L}$ de FeCl_3 0.1%, se mantuvo en incubación

nuevamente por 10 min/ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y finalmente se leyó la absorbancia a 700 nm usando un lector de microplacas (Multiskan Spectrum, ThermoLab Systems).

Evaluación de la actividad quelante de cobre

La actividad quelante del Cu^{2+} se determinó de acuerdo con Saiga *et al.* (2003). Veinte μL de muestra (hidrolizados 0.1 mg/mL) se mezclaron con $290\text{ }\mu\text{L}$ del regulador de acetatos (pH 6.50 mM), $6\text{ }\mu\text{L}$ de pirocatecol violeta (4 mM) preparado en el mismo regulador y $10\text{ }\mu\text{g}$ de cobre. El cambio en la solución fue medido a 632 nm en un lector de microplacas (Multiskan Spectrum, ThermoLab Systems).

Evaluación de la actividad quelante de hierro

La actividad quelante de Fe^{2+} se determinó con la formación del complejo Fe^{2+} ferrocina de acuerdo con Carter (1971). Los hidrolizados se mezclaron con $250\text{ }\mu\text{L}$ del regulador de acetato de sodio 100 mM pH 4.9 y $30\text{ }\mu\text{L}$ de una solución de FeCl_2 (0.1 mg/mL en agua) y puestas a incubación durante 30 min a temperatura ambiente, posteriormente se adicionaron $12.5\text{ }\mu\text{L}$ de ferrozina 40 mM. La unión de los iones Fe^{2+} con la ferrozina generó un complejo colorido que fue medido a 562 nm en un lector de microplacas (Multiskan Spectrum, ThermoLab Systems).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con Análisis de Varianza bifactorial y trifactorial. La comparación de medias se realizó con la prueba de Student Newman Keuls (SNK) a una significancia de 0.05%. Se utilizó el programa estadístico SPSS Ver. 21 (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención del concentrado proteico

La harina de haba desengrasada presentó 18.6 g de proteína/100 g muestra. Mientras que el concentrado obtenido con esta harina presentó 62.7 g de proteína/100 g de muestra. El aumento de proteína en el concentrado fue de 3.4 veces, mostrando diferencia significativa con la harina de haba desengrasada. Macarulla *et al.* (2007) reportó 77.3 g de proteína/100 g para el concentrado proteico de haba. El contenido de proteína en la harina fue similar a la reportada por Vioque *et al.* (2012) quienes obtuvieron 26.6 g de proteína/100 g, mientras que el concentrado 92 g de proteína/100 g, valor superior al aquí obtenido. Estos contenidos, pueden modificarse, ya que influye el método de obtención del concentrado, la variedad o cultivar de haba, el nivel de maduración de

la misma, así como las condiciones climatológicas y zona de cultivar (Osman *et al.*, 2014).

Sánchez y Vázquez (2017) indicaron que la modificación enzimática también puede generar compuestos con actividad biológica como los péptidos, que tienen la capacidad de regular procesos fisiológicos en el organismo. Por lo anterior, los concentrados proteicos de haba, podrían ser una alternativa viable para la obtención de péptidos con actividad biológica como la antioxidante.

Hidrólisis enzimática

El grado de hidrólisis (GH) obtenido con el sistema secuencial (pepsina-pancreatina), mostró que el tiempo total de hidrólisis fue de 90 min (45 min para cada enzima en el caso del sistema secuencial). El mayor GH que se obtuvo con el sistema secuencial fue de 16% a los 45 min (Figura 1). Los resultados sugieren que el uso de ambas enzimas para la hidrólisis proteica es más efectivo que utilizando un sistema individual, probablemente porque la pre-digestión con pepsina incrementó el número de sitios C-terminales que facilitaron la hidrólisis con pancreatina. En comparación con otras leguminosas como *Cicer arietinum*, en los que se han reportado valores cercanos al 54.73% de GH después de 3 h de hidrólisis, usando un sistema enzimático secuencial alcalasa-flavoenzima (Kou *et al.*, 2013). El sistema

secuencial pepsina pancreatina, hidroliza preferentemente los enlaces C-terminales de los residuos de Fen, Trp, Tir, Met y Leu (Arihara *et al.*, 2001).

Si bien, el sistema enzimático empleado presentó actividad catalítica sobre el concentrado proteico de haba ya que se obtuvieron hidrolizados de tipo extensivo, es decir con un GH mayor al 10%. De acuerdo con Benitez *et al.* (2008) la hidrólisis de tipo extensivo genera péptidos con actividad biológica, los cuales tienen la capacidad de regular procesos fisiológicos.

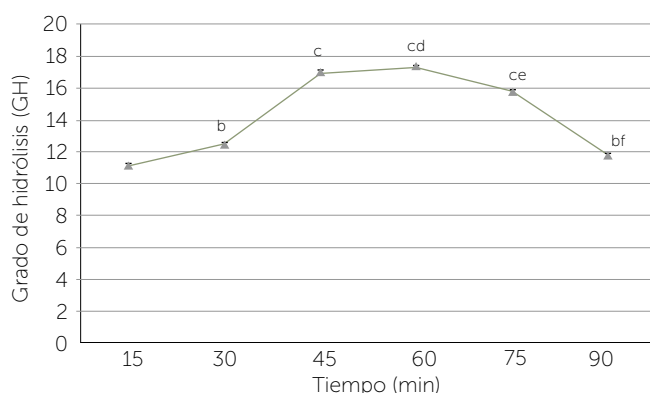


Figura 1. Grado de hidrólisis (%) del concentrado proteico (CP) producido por tratamiento con un sistema secuencial. Los resultados representan las medias de tres determinaciones independientes \pm EE. Letras diferentes indican diferencia significativa. ANOVA bifactorial, comparación de grupos por SNK ($p \leq 0.05$).

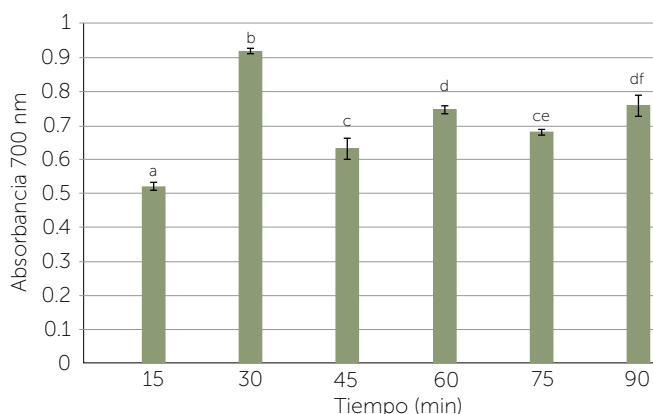


Figura 2. Poder reductor como medida de la capacidad antioxidante de los hidrolizados de haba obtenidos del contenido proteico (CP). Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes \pm EE. Letras diferentes indican diferencia significativa. ANOVA bifactorial, comparación de grupos por SNK ($p \leq 0.05$).

Evaluación de la actividad antioxidante *in vitro* de los hidrolizados proteicos Poder reductor

Durante la hidrólisis enzimática, se generan una variedad de péptidos pequeños y aminoácidos libres, dependiendo de la especificidad de la enzima (Peng *et al.*, 2010). La actividad antioxidante puede verse afectada por los cambios en el tamaño del péptido y en la composición de aminoácidos (Sánchez y Vázquez, 2017). El poder reductor de los hidrolizados obtenidos de CP fue determinado como la habilidad de reducir el complejo Fe^{3+} /ferricianida a su forma ferrosa, originando el $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$, denominado azul de Prusia, lo cual indica la capacidad que tienen los hidrolizados para actuar como antioxidantes, mediante la donación de electrones (Li *et al.*, 2008).

Los resultados indican que los péptidos obtenidos mostraron capacidad para donar electrones y transformar a los RL en sustancias más estables que permiten interrumpir la reacción en cadena (Juntachote y Berghofer, 2005). Kou *et al.* (2013) reportó en fracciones proteicas de *Cicer arietinum* obtenidas con alcalasa, valores de $Abs_{700nm} = 0.247$ a una concentración de 0.5 mg/mL. Así mismo, Li *et al.* (2008) reportó una absorbancia de 0.35 en fracciones proteicas de *Cicer arietinum* obtenidas con el sistema secuencial alcalasa-flavoenzima por 90 min.

Evaluación de la actividad quelante de cobre

La quelación de metales mide el grado de protección contra las reacciones de oxidación, que son catalizadas por metales de transición como el Cu^{2+} y el Fe^{+2} (Saiga et al., 2003) y que pueden catalizar la generación de especies reactivas de oxígeno como el radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) y el anión superóxido ($\bullet\text{O}_2$) (Torres-Fuentes et al., 2015). Estas reacciones de oxidación *in vivo* están aparentemente involucradas en la patogénesis de enfermedades neurodegenerativas (Mandel et al., 2006).

En la Figura 3 se muestran los valores de la quelación de Cu^{2+} obtenidos de los hidrolizados proteicos. Se observó que, a partir del CP, la mayor quelación de este metal se obtuvo en el hidrolizado obtenido con pepsina, presentando valores entre 26.76-65.48%, alcanzando el máximo a los 45 min. Se ha demostrado que los péptidos quelantes de cobre, por ser ricos en His, previenen la actividad oxidativa de este metal. El anillo imidazol de este residuo está directamente implicado en la unión con el cobre. Por otra parte, también se ha observado que estos péptidos son ricos en Arg y aunque este aminoácido carece de propiedades quelantes, puede favorecer la unión del péptido con el ion metálico (Megías et al., 2008).

Evaluación de la actividad quelante de hierro

La actividad quelante de hierro en los hidrolizados proteicos obtenidos a partir del CP se muestran la Figura 4. En los hidrolizados obtenidos a partir de CP, se presentó un alto porcentaje de quelación con valores que van de 76.74 a 95.73%. Gallegos-Tintoré et al. (2011) reportaron una actividad de 60% en hidrolizados proteicos de *Jatropha curcas* con alcalasa, en donde la actividad incrementó conforme al tiempo de hidrólisis, alcanzando la máxima actividad a los 50 min. La quelación de este metal parece ser al menos responsable parcialmente de la actividad antioxidante que se ha encontrado en varios aminoácidos, incluyendo Tyr, Met, His, Lys, Arg, y Trp (Huang et al., 2010). Además, la quelación de hierro por His, Glu, Asp, y Cys muestra resultados en la absorción de hierro y también puede dar lugar a la reducción de férrico a ión ferroso (Storcksdieck et al., 2007).

CONCLUSIONES

El sistema secuencial pepsina-pancreatina presentó actividad catalítica en el concentrado proteico de *Vicia faba*, se obtuvieron hidrolizados de tipo extensivo, es decir con un GH mayor al 10%, lo que permite que éstos se

puedan utilizar como una fuente de péptidos bioactivos con actividad biológica. Por otra parte, se observó que la hidrólisis enzimática favorece la liberación de péptidos con actividad de atrapar a los iones Fe^{2+} y Cu^{2+} , por lo que este hecho podría beneficiar en detener las reacciones en cadena de los RL, ya que estos iones participan en el proceso de generación de especies oxidantes.

LITERATURA CITADA

- Alashi, A. M., Blanchard, C. L., Mailer, R. J., Agboola, S. O., Mawson, A. J., He, R., & Aluko, R. E. (2014). Antioxidant properties of Australian canola meal protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 146, 500-506. Doi: 10.1016/2013.09.081
- Arihara, K., Nakashima, Y., Mukai, T., Ishikawa, S., & Itoh, M. (2001). Peptide inhibitors for angiotensin I-converting enzyme from enzymatic hydrolysates of porcine skeletal muscle proteins. *Meat Science*, 57(3), 319-324. Doi: 10.1016/S0309-1740(00)00108-X

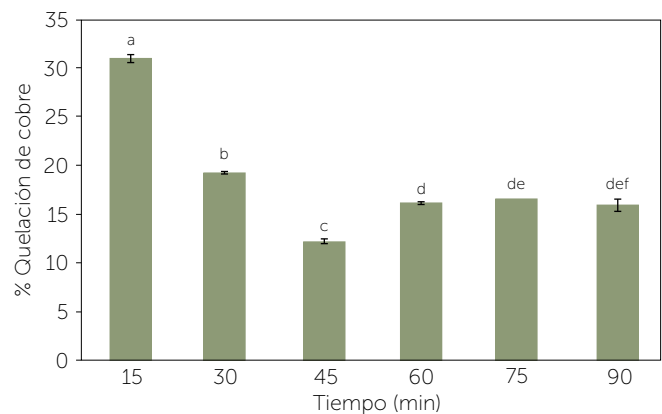


Figura 3. Actividad quelante de cobre de los hidrolizados proteicos de haba provenientes del concentrado proteico (CP). Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes \pm EE. Letras diferentes indican diferencia significativa. ANOVA trifactorial, comparación de grupos por SNK ($p \leq 0.05$).

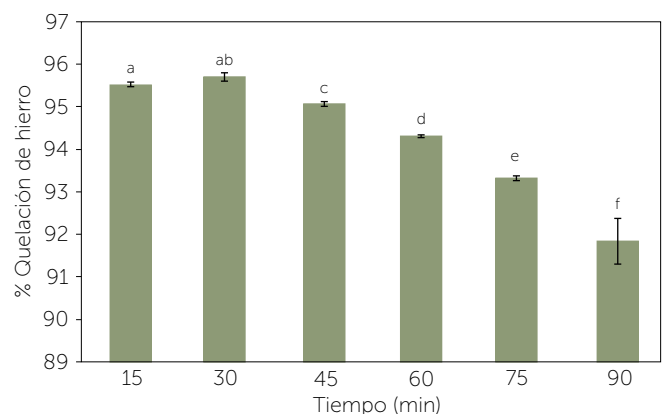


Figura 4. Actividad quelante de hierro de los hidrolizados proteicos de haba provenientes del concentrado proteico (CP). Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes \pm EE. Letras diferentes indican diferencia significativa. ANOVA trifactorial, comparación de grupos por SNK ($p \leq 0.05$).

- Benítez, R., Ibarz, A., & Pagan, J. (2008). Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 42(2), 227-236.
- Carter, P. (1971). Spectrophotometric determination of serum iron at the submicrogram level with a new reagent (ferrozine). *Analytical Biochemistry*, 40(2), 450-458. Doi: 10.1016/0003-2697(71)90405-2
- Chakrabarti, S., Jahandideh, F., & Wu, J. (2014). Food-derived bioactive peptides on inflammation and oxidative stress. *BioMed Research International*, 2014, 608979. Doi: 10.1155/2014/608979
- Darewicz, M., Dziuba, J., & Minkiewicz, P. (2007). Computational Characterisation and Identification of Peptides for in silico Detection of Potentially Celiac-Toxic Proteins. *Food Science and Technology International*, 13(2), 125-133. Doi: 10.1177/1082013207077954
- Dziuba, J., Niklewicz, M., Iwaniak, A., Darewicz, M., & Minkiewicz, P. (2004). Bioinformatic-aided prediction for release possibilities of bioactive peptides from plant proteins. *Acta Alimentaria*, 33(3), 227-235. Doi: 10.1556/AAlim.33.2004.3.3
- Gallegos-Tintoré, S., Torres-Fuentes, C., Martínez-Ayala, A. L., Solorza-Feria, J., Alaiz, M., Girón-Calle, J., & Vioque, J. (2011). Antioxidant and chelating activity of *Jatropha curcas* L. protein hydrolysates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(9), 1618-1624. Doi: 10.1002/jsfa.4357
- Granato, D., Nunes, D. S., & Barba, F. J. (2017). An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 13-22. Doi: 10.1016/j.tifs.2016.12.010
- Horwitz, W. (2010). Official methods of analysis of AOAC International. Volume I, agricultural chemicals, contaminants, drugs/edited by William Horwitz. Gaithersburg (Maryland): AOAC International, 1997.
- Huang, W.-Y., Majumder, K., & Wu, J. (2010). Oxygen radical absorbance capacity of peptides from egg white protein ovotransferrin and their interaction with phytochemicals. *Food Chemistry*, 123(3), 635-641. Doi: 10.1016/j.foodchem.2010.04.083
- Juntachote, T., & Berghofer, E. (2005). Antioxidative properties and stability of ethanolic extracts of Holy basil and Galangal. *Food Chemistry*, 92(2), 193-202. Doi: 10.1016/j.foodchem.2004.04.044
- Kim, S. Y., Park, P. S. W., & Rhee, K. C. (1990). Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(3), 651-656. Doi: 10.1021/jf00093a014
- Kou, X., Gao, J., Xue, Z., Zhang, Z., Wang, H., & Wang, X. (2013). Purification and identification of antioxidant peptides from chickpea (*Cicer arietinum* L.) albumin hydrolysates. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 591-598. Doi: 10.1016/j.lwt.2012.08.002
- Li, Y., Jiang, B., Zhang, T., Mu, W., & Liu, J. (2008). Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chemistry*, 106(2), 444-450. Doi: 10.1016/j.foodchem.2007.04.067
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010, July). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118-126. Doi: 10.4103/0973-7847.70902
- Macarulla, M. T., Medina, C., Diego, M. A. De, Chávarri, M., Zulet, M. Á., Martínez, J. A., & Portillo, M. P. (2007). Effects of the whole seed and a protein isolate of faba bean (*Vicia faba*) on the cholesterol metabolism of hypercholesterolaemic rats. *British Journal of Nutrition*, 85(05), 607. Doi: 10.1079/BJN2000330
- Mandel, S., Amit, T., Reznichenko, L., Weinreb, O., & Youdim, M. B. H. (2006). Green tea catechins as brain-permeable, natural iron chelators-antioxidants for the treatment of neurodegenerative disorders. *Molecular Nutrition & Food Research*, 50(2), 229-234. Doi: 10.1002/mnfr.200500156
- Megjás, C., Pedroche, J., Yust, M. M., Girón-Calle, J., Alaiz, M., Millán, F., & Vioque, J. (2008). Production of copper-chelating peptides after hydrolysis of sunflower proteins with pepsin and pancreatin. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1973-1977. Doi: 10.1016/j.lwt.2007.11.010
- Osman, A. M. A., Hassan, A. B., Osman, G. A. M., Mohammed, N., Rushdi, M. A. H., Diab, E. E., & Babiker, E. E. (2014). Effects of gamma irradiation and/or cooking on nutritional quality of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 51(8), 1554-1560. Doi: 10.1007/s13197-012-0662-7.
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307-315. Doi: 10.5264/eiyogakuzashi.44.307
- Peng, X., Kong, B., Xia, X., & Liu, Q. (2010). Reducing and radical-scavenging activities of whey protein hydrolysates prepared with alcalase. *International Dairy Journal*, 20(5), 360-365. Doi: 10.1016/j.idairyj.2009.11.019
- Pihlanto, A., Akkanen, S., & Korhonen, H. J. (2008). ACE-inhibitory and antioxidant properties of potato (*Solanum tuberosum*). *Food Chemistry*, 109(1), 104-112. Doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.023
- Saiga, A., Tanabe, S., & Nishimura, T. (2003). Antioxidant activity of peptides obtained from porcine myofibrillar proteins by protease treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(12), 3661-3667. Doi: 10.1021/jf021156g
- Sánchez, A., & Vázquez, A. (2017). Bioactive peptides: A review. *Food Quality and Safety*, 1(1), 29-46. Doi: 10.1093/fqsafe/fyx006
- Shahidi, F., Liyana-Pathirana, C. M., & Wall, D. S. (2006). Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chemistry*, 99(3), 478-483. Doi: 10.1016/j.foodchem.2005.08.009
- Storcksdieck, S., Bonsmann, G., & Hurrell, R. F. (2007). Iron-binding properties, amino acid composition, and structure of muscle tissue peptides from *in vitro* digestion of different meat sources. *Journal of Food Science*, 72(1), S019-29. Doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00229.x
- Torres-Fuentes, C., Contreras, M. del M., Recio, I., Alaiz, M., & Vioque, J. (2015). Identification and characterization of antioxidant peptides from chickpea protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 180, 194-202. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.046
- Vioque, J., Alaiz, M., & Girón-Calle, J. (2012). Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions. *Food Chemistry*, 132(1), 67-72. Doi: 10.1016/j.foodchem.2011.10.033
- Zhu, K., Zhou, H., & Qian, H. (2006). Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. *Process Biochemistry*, 41(6), 1296-1302. Doi: 10.1016/j.procbio.2005.12.029

Antihypertensive activity of zein peptides extracted from creole corn (*Zea mays* L.) (blue and red) from the State of Mexico

Actividad antihipertensiva de péptidos de zeína extraídos de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México

García-Campos, Alan Uriel¹; Díaz-Ramírez, Mayra¹; Calderón-Domínguez Georgina²; Cruz-Monterrosa, Rosy Gabriela¹; Rayas-Amor, Adolfo Armando¹; Jiménez-Guzmán, Judith¹; Guadarrama-Lezama, Andrea Yazmín³; Salgado-Cruz Ma. de la Paz^{2,4}; García-Garibay, Mariano¹; León-Espinosa, Erika Berenice^{1*}

¹Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Av. de las Garzas 10. Col. El Panteón, Lerma de Villada, Estado de México. C. P. 52005. ²Departamento de Ingeniería Bioquímica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu Esq. Cda. Miguel Estampa s/n, Gustavo A. Madero, Ciudad de México. C. P. 07738, ³Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Tollocan esq. Paseo Colón s/n, Toluca, Estado de México. C. P. 50120. ⁴Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Cd. de México, México
***Autor de correspondencia:** e.leon@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: To evaluate the antihypertensive activity of peptides extracted from nixtamalized and non-nixtamalized creole corn (blue and red) zein from the State of Mexico.

Design/methodology/approach: Bioinformatic tools, such as the NCBI database, were used to search for primary sequences of the maize zein protein. The methodology included a prediction of peptides with antihypertensive activity through various bioinformatic servers. Inhibitory activity was determined by percentage regression. Statistical analysis was performed to assess possible significant differences using the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Results: The following peptides were found by *in silico* hydrolysis: IFSILMLLA, LSACVLDATI, TASVCENPTL, LPLSPLLFQQ, SPALSIVQSL, LSPYSQQQQF, PFSQLATAY, LPFYQQFSAN and PAAFYQQHII that showed inhibition activity. The results showed that the grade of hydrolysis (GH) was higher in blue corn (13.96 ± 0.02) than in red corn (10.38 ± 0.79) without nixtamalization, while, with the nixtamalization process, this parameter was also higher in blue corn (10.52 ± 0.57) than in red corn (8.96 ± 0.01).

Study limitations/implications: The enzyme used for hydrolysis generates oligopeptides that may not be as closely related to the angiotensin-converting enzyme.

Findings/Conclusions: *In vitro* antihypertensive activity of unhydrolyzed blue corn zein showed a lower percentage of angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibition compared to unhydrolyzed red corn. Trypsin hydrolysis only increases ACE inhibitory activity in blue corn at a concentration of 0.3 mg/mL without nixtamalizing.

Key words: corn, nixtamalization, grade of hydrolysis, angiotensin-converting enzyme (ACE).

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la actividad antihipertensiva de péptidos extraídos de zeína de maíz criollo azul y rojo nixtamalizado y sin nixtamalizar del Estado de México.



Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 87-93.

Recibido: enero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Diseño/metodología/aproximación: Se emplearon herramientas bioinformáticas, tales como la base de datos NCBI para la búsqueda de secuencias primarias de la proteína zeína del maíz. La metodología incluyó una predicción de los péptidos con actividad antihipertensiva a través de diversos servidores bioinformáticos. La actividad inhibitoria se determinó mediante la regresión del porcentaje. Se realizó un análisis estadístico para evaluar las posibles diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados: Por medio de la hidrólisis *in silico* se encontraron los siguientes péptidos: IFSILMLLA, LSACVLDATI, TASVCENPTL, LPLSPLLF-QQ, SPALSLVQSL, LSPYSQQQGF, PFSQLATAY, LPFYQQFSAN y PAAFYQQHII que mostraron actividad de inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (ECA). Los resultados mostraron que el grado de hidrólisis (GH) de la zeína fue mayor en maíz azul (13.96 ± 0.02) que en maíz rojo (10.38 ± 0.79) sin nixtamalizar, mientras que, con el proceso de nixtamalización, este parámetro también fue mayor en el maíz azul (10.52 ± 0.57) que en el maíz rojo (8.96 ± 0.01).

Limitaciones del estudio/implicaciones: La enzima utilizada para la hidrólisis enzimática genera oligopéptidos que tal vez no puedan ser tan afines a la enzima convertidora de angiotensina.

Hallazgos/conclusiones: La actividad antihipertensiva *in vitro* del maíz azul sin hidrolizar mostraron un menor porcentaje de inhibición de la ECA con respecto al maíz rojo sin hidrolizar. La hidrólisis con tripsina solo incrementa la actividad inhibitoria de la ECA en maíz azul a concentración de 0.3 mg/mL sin nixtamalizar.

Palabras clave: maíz, nixtamalización, grado de hidrólisis, enzima convertidora de angiotensina (ECA).

farmacológico, se sabe que un estilo de vida saludable, es decir, realizar una cierta cantidad de actividad física y adoptar un plan de alimentación correcto, como reducir la ingesta de sodio y moderar el consumo de alcohol, junto con otros hábitos saludables, es de vital importancia para prevenir la hipertensión y mantener la presión sanguínea, lo que conduce a la reducción del riesgo cardiovascular (Krousel-Wood *et al.*, 2004). La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que independientemente del nivel de presión arterial, todas las personas deben adoptar modificaciones apropiadas en el estilo de vida. Por otro lado, es importante aumentar el conocimiento del consumidor sobre el vínculo entre la dieta y la salud, incrementando la conciencia y la demanda de ingredientes alimentarios funcionales para evitar efectos secundarios indeseables asociados con el consumo (Saleh *et al.*, 2016). Dentro de la categoría de alimentos funcionales se encuentran los péptidos bioactivos que se han definido como fragmentos específicos de proteínas que tienen un impacto positivo en las funciones o condiciones del cuerpo y pueden influir en la salud (Sánchez y Vázquez, 2017). La composición y secuencia de aminoácidos determina la actividad de los péptidos una vez que se liberan de la proteína precursora donde se encriptan (Fields *et al.*, 2009), éstos pueden ser activados por estrategias durante el procesamiento de alimentos como la hidrólisis enzimática o fermentación, digestión gastrointestinal, o por la combinación de diferentes métodos (Hernández-Ledesma *et al.*, 2011). Múltiples condiciones como la especificidad de la enzima, tiempo de hidrólisis, grado de hidrólisis, relación enzima/sustrato y secuencia de aminoácidos,

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de muerte en todo el mundo con muchos factores de riesgo asociados como diabetes, niveles altos de colesterol, obesidad, envejecimiento y presión arterial alta (Malaguti *et al.*, 2014). En el mundo, las ECV son responsables de aproximadamente 17 millones de muertes por año. Entre ellas, las complicaciones de la hipertensión causan anualmente 9.4 millones de muertes. La presión arterial alta o hipertensión se definen médicamente como presión arterial elevada repetidamente que excede 140/90 mm Hg (Achelrod *et al.*, 2015). El sistema renina angiotensina-aldosterona (RAS) es responsable de regular la presión sanguínea y el equilibrio de líquidos (Arshad *et al.*, 2019). Dos enzimas principales, la renina y la enzima convertidora de angiotensina (ECA), desempeñan papeles cruciales en este sistema. La renina puede activar el angiotensinógeno para convertirlo a angiotensina I, y la ECA es responsable de la transformación de angiotensinógeno I al vasoconstrictor angiotensina II, resultando en la reducción de la habilidad de expansión de los vasos sanguíneos (Aleman *et al.*, 2011). Al ser este sistema un importante regulador de la presión arterial, los medicamentos que inhiben el RAS, ya sea inhibiendo la ECA o bloqueando los receptores de angiotensina, se usan ampliamente en el tratamiento de la hipertensión, sin embargo, éstos llegan a causar efectos secundarios (Arshad *et al.*, 2019). Además del tratamiento

contribuyen a la composición y actividad funcional de los péptidos bioactivos (Merz *et al.*, 2015). Diversos estudios han conducido a investigar las propiedades antihipertensivas de hidrolizados proteicos derivados de fuentes alimenticias, especialmente de fuentes vegetales como soya, nuez, entre otras; así como de proteínas de origen animal por mencionar a la sardina, huevo y salmón (Mine *et al.*, 2010). Por otra parte, cereales como el maíz ha sido estudiado por su gran aporte biológico y genético, por su valor biocultural y por su aporte nutricional y funcional. En este sentido se ha evaluado la presencia de compuestos bioactivos (fitoquímicos) dentro de las ciencias nutragenómicas y nutrigenéticas y se ha relacionado su consumo con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, enfermedades cardiovasculares, obesidad, y con beneficios en la salud del tracto gastrointestinal (Jacinto *et al.*, 2018). De acuerdo con Bello-Pérez *et al.* (2016) los compuestos bioactivos del maíz están presentes en fracciones de salvado, germen y las fracciones del endospermo que contribuyen a la reducción significativa de la presión arterial sistólica y diastólica. Actualmente sigue siendo escasa la información sobre péptidos extraídos de maíces pigmentados criollos originarios de México con actividad inhibitoria de la enzima convertidora de angiotensina (ECA), por lo que la investigación al respecto es necesaria para incentivar el consumo de estos alimentos que coadyuven en la prevención y tratamiento de enfermedades relacionadas con dicha enzima.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El maíz criollo rojo y azul fue cultivado y obtenido de la comunidad de Santa María Tlalmimilolpan, en los parajes denominados Iglesia Vieja, Potrero Grande y San Porfirio, Lerma, Estado de México, cosecha 2018-2019. Los reactivos utilizados en las diferentes determinaciones fueron todos de grado reactivo.

Análisis *in silico*

Se emplearon herramientas bioinformáticas, tales como la base de datos del NCBI para la búsqueda de secuencias primarias de la proteína zeína del maíz, así como en la base de datos UniProtKB- Q41884 en formato Fasta (UniProt Consortium, 2010). Mientras que, el desarrollo de la hidrólisis proteolítica se realizó *in silico*, utilizándose el servidor para predicción de análisis Pepticutter-EXPAS. Esta herramienta se empleó para la simulación de la hidrólisis con el fin de predecir los posibles péptidos de corte enzimático y que son liberados por la enzima

tripsina con la cual se obtuvo el corte de la secuencia de la zeína. Para determinar la probabilidad de encontrar péptidos bioactivos se utilizó el servidor llamado Peptide Ranker, disponible en la siguiente dirección online: <http://bioware.ucd.ie> (Mooney *et al.*, 2012). Además, los péptidos se compararon con la base de datos de las secuencias reportadas en BIOPEP en la siguiente dirección: <http://www.uwm.edu.pl/biochemia/index.php/en/biopep> (Minkiewicz *et al.*, 2019).

Proceso de nixtamalización

Para la preparación de la harina se utilizó un proceso tradicional de nixtamalización a través del método descrito por Rodríguez (2013) con algunas modificaciones, como primer paso se pesaron 100 g de maíz posteriormente se cocieron en una solución de hidróxido de calcio al 1 % con relación al peso del maíz. La relación agua:grano fue 3:1 (v/p). El maíz se calentó hasta alcanzar 92 °C por 30-60 minutos. Se dejó reposar durante 16 h para obtener el nixtamal, se lavó dos veces con agua destilada en una relación 2:1 (v/p) para retirar el exceso de cal y finalmente se molió para obtener la masa. La masa se secó y se molió con las mismas características de las harinas procesadas a una temperatura de 70 °C. La harina se molió y tamizó para obtener una partícula más uniforme con un tamiz del # 80 con diámetro de 0.177mm.

Extracción de proteína

La extracción de proteína de las muestras fue realizada por el método descrito por Ramos-Pérez (2012) con modificaciones, donde las muestras de harina sin nixtamalizar maíz azul (MASN) y rojo (MRSN) y nixtamalizadas (MAN y MRN) desengrasadas fueron suspendidas en etanol al 70% en una relación de 1:4 (harina: solvente, p:v) a 60 °C por un tiempo de 2 h con agitación vigorosa. Los concentrados se llevaron a un rotavapor Buchi R-205 para separar la mayor parte del etanol bajo condiciones de temperatura de 40 °C y presión 230 mbar. Las muestras obtenidas se liofilizaron.

Hidrólisis enzimática

La hidrólisis enzimática se realizó a partir de la metodología descrita por Zhang *et al.* (2009) con algunas modificaciones. Las muestras de proteína liofilizadas provenientes de la harina desengrasada se llevaron bajo condiciones de temperatura de 50 °C, con un pH 7.5 y mediante la adición continua de una solución de NaOH 0.1 N durante 90 minutos tanto para la zeína extraída de maíz azul como del rojo. La enzima que se usó durante la hidrólisis fue tripsina en una relación enzima:sustrato

de 1:25. Al finalizar el proceso de hidrólisis la mezcla se calentó a 85 °C durante 10 minutos para inactivar completamente la enzima.

Actividad antihipertensiva

Se empleó el método reportado por Hayakari *et al.* (1978). El método de evaluación de la actividad antihipertensiva se determinó con una mezcla de amortiguadores de pH de fosfato de potasio 40 mM y cloruro de sodio 300 mM ajustado a un pH de 8.3 con HCl o NaOH 1N y una solución amortiguadora de fosfato de potasio 0.2 M ajustado a un pH de 8.3. La solución de HHL (hipuril-histidil-leucina) al 0.3%(p/v) se preparó agregando 12 mg en 4 mL de la mezcla de amortiguadores de pH. Además, se preparó una solución estándar de la enzima convertidora de angiotensina (ECA) U/mL disolviendo la enzima en 1 mL de agua desionizada, de esta solución se tomaron 100 µL y se disolvió en 99 µL de agua desionizada para obtener una solución de 100 mU/mL. Se determinó la actividad biológica de los hidrolizados proteicos de harina desgrasada y liofilizada de maíces azul y rojo criollos bajo condiciones de nixtamalización y sin nixtamalización. La reacción se finalizó con la adición de TT (2, 4,6-tricloro-s-triazina) (6% p/v) en dioxano y la solución amortiguadora de fosfato de potasio 0.2 M (pH 8.3). Enseguida, la mezcla de reacción se agitó durante 15 segundos y se prosiguió a centrifugar a 10000 g por 10 minutos y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 382 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis in silico

La hidrólisis in silico con tripsina se realizó para predecir la presencia de péptidos bioactivos en la zeína y compararlos con los reportados en la literatura. El Cuadro 1 muestra los sitios de incisión de corte de la enzima.

Cuadro 1. Corte enzimático con tripsina de la secuencia de aminoácidos para la zeína.

Posición del sitio de incisión	Resultados de la secuencia de péptidos	Longitud del péptido (Aminoácidos)	Masa péptica (Da)
4	MAAK	4	419.540
57	FPQYSQAPIA ALLPPYLPSM	53	5754.850
91	LQQAIATSN LPLSPLLQQ SPALSLVQSL	34	3676.310
186	AQQLQQLVL PFSQLATAYS	95	10686.250
240	ASFLTQQQL LPFYQQFSAN	54	6050.012

La hidrólisis con tripsina mostró péptidos que contienen aminoácidos hidrófobos como valina, alanina, prolina, glicina, entre otros, esto coincide con lo reportado por Kongo-Dia-Moukala *et al.* (2011) quienes determinaron que algunos aminoácidos hidrófobos como la glicina, fenilalanina, leucina, alanina, lisina y prolina están predominantemente en el hidrolizado de proteína de maíz desgrasada. Además, Olsen *et al.* (2004) mencionan que los aminoácidos donde realiza la incisión la tripsina incide específicamente en la C-terminal de arginina y lisina teniendo cadenas laterales largas, mientras que Gobbetti *et al.* (1997) reportó un péptido hidrolizado con tripsina con una secuencia de aminoácidos Ser-Ala-Tyr-Pro-Gly-Gln-Ile-Thr-Ser-Asn.

En el caso de la hidrólisis in silico, ésta es determinada por las condiciones de la base de datos, ya que el tamaño de los péptidos se calcula como si toda la enzima elegida estuviera presente durante la digestión. Además, se considera el hecho de que la versión actual del programa Peptide Cutter no tiene en consideración ningún tipo de modificación ni de la secuencia de proteínas ni de las modificaciones provocadas por la escisión.

Después de la hidrólisis in silico, a los péptidos obtenidos se les predijo su posible actividad inhibidora de la ECA y el índice Ranker, éste último para determinar la probabilidad de ser un péptido bioactivo (valores >0.5).

Los valores del índice Ranker muestran que los péptidos LPLSPLLQQ (0.779) y ALLPPYLPSM (0.545) tienen la tasa de probabilidad de predicción más alta, así que en cuanto más cercana sea la probabilidad predicha a 1 más probable es que el péptido presente la actividad de inhibición antihipertensiva. Estos péptidos están ubicados en la posición de incisión 91 y 53 de la secuencia de la zeína.

Grado de hidrólisis

El grado de hidrólisis (GH) (Cuadro 2) que se obtuvo para los hidrolizados fue de 13.24% para el testigo (zeína comercial), MRSN 10.38%, MASN 13.96 %, MAN 10.52% y para MRN fue de 8.96%. Mostrando que el GH fue mayor en el maíz azul (sin y con nixtamalización) respecto al maíz rojo.

Con respecto a la literatura los valores obtenidos en este estudio son

mayores, ya que de acuerdo con Casella y Whitaker (1990) la zeína hidrolizada con tripsina mostró un GH de 1.42%, 1.70% y 1.87% de hidrolizados que contenían 3 a 4 polipéptidos, mientras que Kongo-Dia-Moukala et al. (2011) reportaron que para hidrolizados de la harina desgrasada de maíz con la tripsina mostró un porcentaje de GH de 5.45 ± 0.35 . De acuerdo con Mannheim y Cheryan (1993), la hidrólisis de la zeína es posible bajo las condiciones apropiadas, es decir depende de la concentración de enzima, sustrato, tiempo de reacción y uso de una solución orgánica y/o acuosa que mejoren sus propiedades funcionales como la solubilidad.

Actividad inhibitoria de la ECA

La Figura 1 muestra los resultados de la actividad inhibitoria de la ECA. La Figura 1a muestra los valores de muestras sin nixtamalización, en ella se observa que la hidrólisis reduce la actividad de los péptidos del maíz rojo, mientras que, en el caso del hidrolizado de maíz azul este valor se incrementa. Al respecto, el decremento o aumento en la actividad puede deberse a la naturaleza de los péptidos obtenidos de la hidrólisis, por tanto, se requiere la caracterización de los fragmentos peptídicos. Por otra parte, la Figura 1b muestra la actividad de muestras nixtamalizadas, donde en el caso de la proteína de maíz rojo y azul sin hidrolizar los valores de inhibición son ligeramente mayores comparados con los de la Figura 1a, mientras que en el caso de los hidrolizados nixtamalizados sus valores disminuyen por el efecto de este proceso.

Muestra	Proceso de tratamiento	
	Sin Nixtamalizar (%)	Nixtamalización (%)
Testigo (zeína)	13.24 ± 0.52	N ^f
Maíz Rojo	10.38 ± 0.79	8.96 ± 0.01
Maíz Azul	13.96 ± 0.02	10.52 ± 0.57

N^f: No realizado para la prueba nixtamalizada.

Quintanar-Guzmán et al. (2009) mencionan que durante la nixtamalización ocurren diversos cambios estructurales como cambios en la solubilidad y el peso molecular de las proteínas presentes en el grano, modificación de su estructura

secundaria a primaria, que podría estar asociado a la desnaturalización de la proteína nativa como efecto del tratamiento con hidróxido de calcio. Esto supone que la nixtamalización contribuyó a que el proceso de hidrólisis enzimática y la inhibición de la ECA fuera mucho menor con respecto a las muestras de maíz azul y rojo sin nixtamalizar.

Con respecto a la inhibición de la ECA, de acuerdo con Yang et al. (2007) reportaron que para diferentes enzimas utilizadas en la hidrólisis de zeína, el porcentaje de inhibición de la ECA a una concentración de 10 mg/mL, pH 8.0 y una temperatura de 60 °C por 5 h fue: con protamex una inhibición de la ECA de 13.94% y GH: 0.85%; neutrasa, ECA: 47.3%, GH: 2.48%; alcalasa, ECA: 85.26%, GH: 16.96%; y tripsina: 72.80%, GH: 8.97%; por lo anterior, podemos elucidar que tanto tripsina como alcalasa son favorables para obtener péptidos antihipertensivos. Por otro lado, en un estudio realizado por Gobbetti et al. (1997) reportaron que la inhibición de la ECA de muestra de zeína comercial fue mayor a 85% con la enzima tripsina, aislando un decapeptido: SAYPGQITSN con un IC₅₀ de 7.0 μ M bajo una concentración de 4 mg/mL. Es probable que la diferencia entre los valores obtenidos y los valores reportados se deben a que en este trabajo se utilizó proteína extraída mientras que en los reportados

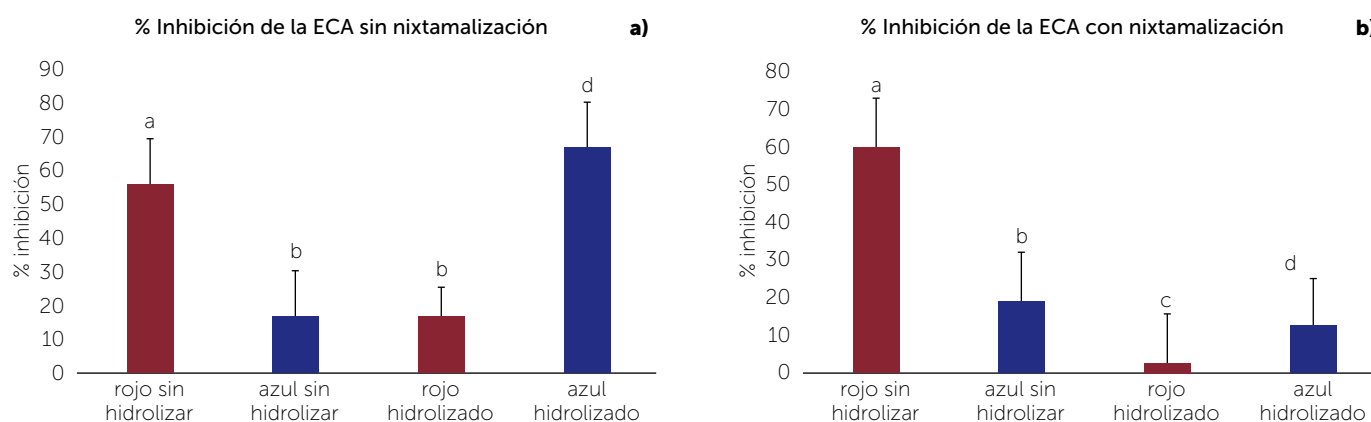


Figura 1. Actividad inhibitoria de la ECA de los hidrolizados proteicos. a) Muestras sin nixtamalizar. b) Muestras nixtamalizadas. Letras distintas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

se usa normalmente zeína comercial; sin embargo, se requiere la completa caracterización del extracto para concluir al respecto.

CONCLUSIONES

La actividad antihipertensiva *in vitro* del maíz azul sin hidrolizar mostró un menor porcentaje de inhibición de la ECA con respecto al maíz rojo sin hidrolizar. La hidrólisis con tripsina solo incrementa la actividad inhibitoria de la ECA en maíz azul a concentración de 0.3 mg/mL sin nixtamalizar. La nixtamalización incrementa ligeramente la actividad inhibitoria de la ECA en maíces criollos rojo y azul sin hidrolizar. A partir de los datos obtenidos de la inhibición de la ECA, el maíz pigmentado azul criollo sin nixtamalizar podría ser considerado como un alimento funcional para la industria alimentaria ya sea mediante su consumo directo o en el desarrollo de nutraceuticos aprovechando sus propiedades bioactivas. Este valor agregado de sus propiedades en beneficio para la salud de la sociedad mexicana puede ser aprovechado en un futuro en tratamientos para personas con hipertensión arterial.

LITERATURA CITADA

- Achelrod, D., Wenzel, U., & Frey, S. (2015). Systematic review and meta-analysis of the prevalence of resistant Hypertension in treated hypertensive populations. *American Journal of Hypertension*, 28(3), 355-361. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpu151>
- Alemán, A., Giménez, B., Pérez-Santín, E., Gómez-Guillén, M. C., & Montero, P. (2011). Contribution of Leu and Hyp residues to antioxidant and ACE-inhibitory activities of peptide sequences isolated from squid gelatin hydrolysate. *Food Chemistry*, 125(2), 334-341. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.058>
- Arshad, N., Siow, H.-L., Ngoh, Y.-Y., Sofian, N. A. H. S., & Gan, C.-Y. (2019). Enzyme and Bioactive Peptides. A strategy for discovery and identification of antihypertensive peptides. In *Enzymes in Food Biotechnology* (pp. 343-367). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813280-7.00020-7>
- Bello-Pérez, L., G. C.-M. (2016). Nutraceutic aspects of pigmented maize: digestibility of carbohydrates and anthocyanins. *lpn. Elsevierpure.Com*.
- Casella, M. L. A., & Whitaker, J. R. (1990). Enzymatically and chemically modified zein for improvement of functional properties. *Journal of Food Biochemistry*, 14(6), 453-475.
- Fields, K., Falla, T. J., Rodan, K., & Bush, L. (2009). Bioactive peptides: signaling the future. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 8(1), 8-13. <https://doi.org/10.1111/j.1473-2165.2009.00416.x>
- Gobbetti, M., Smacchi, E., Corsetti, A., Belluccf, M. (1997). Inhibition of proteolytic enzymes from *Pseudomonas fluorescens* ATCC 948 and angiotensin I-converting enzyme by peptides from zein, hordein, and gluten hydrolysates. *Journal of Food Protection*, 60(5), 499-504. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-60.5.499>
- Hayakari, M., Kondo, Y., & Izumi, H. (1978). A rapid and simple spectrophotometric assay of angiotensin-converting enzyme. *Analytical Biochemistry*, 84(2), 361-369. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(78\)90053-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90053-2)
- Hernández-Ledesma, B., Ramos, M., & Ángel Gómez-Ruiz, J. (2011). Bioactive components of ovine and caprine cheese whey. *Small Ruminant Research*, 101, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.040>
- Jacinto, B., Cecilia, G., ... C. R.-C. P. (2018). The maize contribution in the human Health. *Books.Google.Com*.
- Kongo-Dia-Moukala, J.U., Atindana-Nsor, J. and Zhang, H. (2011). Hypocholesterolemic activity and characterization of protein hydrolysates from defatted corn protein, *Asian. Journal of Biochemistry*, 6(6), 439-449. <https://doi.org/10.3923/ajb.2011.439.449>
- Kongo-Dia-Moukala, J. U., Zhang, H., & Claver Irakoze, P. (2011). In vitro binding capacity of bile acids by Defatted corn protein hydrolysate. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(2), 1066-1080. <https://doi.org/10.3390/ijms12021066>.
- Krousel-Wood, M., Thomas, S., Muntner, P., & Morisky, D. (2004). Medication adherence: a key factor in achieving blood pressure control and good clinical outcomes in hypertensive patients. *Current Opinion in Cardiology*, 19(4), 357-362. <https://doi.org/10.1097/01.hco.0000126978.03828.9e>
- Malaguti, M., Dinelli, G., Leoncini, E., Bregola, V., Bosi, S., Cicero, A., & Hrelia, S. (2014). Bioactive peptides in cereals and legumes: Agronomical, biochemical and clinical aspects. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(11), 21120-21135. <https://doi.org/10.3390/ijms151121120>
- Mannheim, A., & Cheryan, M. (1993). Water-soluble zein by enzymatic modification in organic solvents.
- Merz, M., Eisele, T., Claaßen, W., Appel, D., Rabe, S., Stressler, T., & Fischer, L. (2015). Continuous long-term hydrolysis of wheat gluten using a principally food-grade enzyme membrane reactor system. *Biochemical Engineering Journal*, 99, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.03.019>
- Mine, Y., Li-Chan, E., & Jiang, B. (2010). Bioactive Proteins and Peptides as Functional Foods and Nutraceuticals. In Y. Mine, E. Li-Chan, & B. Jiang (Eds.), *Bioactive Proteins and Peptides as Functional Foods and Nutraceuticals*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780813811048>.
- Minkiewicz, P., Iwaniak, A., & Darewicz, M. (2019). BIOPEP-UWM Database of bioactive peptides: current opportunities. *Mdpi. Com*. <https://doi.org/10.3390/ijms20235978>
- Mooney, C., Haslam, N., Pollastri, G., one, D. S.-P. (2012). Towards the improved discovery and design of functional peptides: common features of diverse classes permit generalized prediction of bioactivity.
- Olsen, J. V., Ong, S. E., & Mann, M. (2004). Trypsin cleaves exclusively C-terminal to arginine and lysine residues. *Molecular and Cellular Proteomics*, 3(6), 608-614. <https://doi.org/10.1074/mcp.T400003-MCP200>
- Quintanar-Guzmán, A., Jaramillo-Flores, M. E., Mora-Escobedo, R., Chel-Guerrero, L., & Solorza-Feria, J. (2009). Changes on the structure, consistency, physicochemical and viscoelastic properties of corn (*Zea mays* sp.) under different nixtamalization conditions. *Carbohydrate Polymers*, 78, 908-916. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.024>

- Ramos Pérez, I. E. (2012). Estudio de la actividad hipolipemiente de zeinas extraídas de maíz blanco y negro nixtamalizado y sin nixtamalizar, empleando ratones con hipercolesterolemia. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- Rodríguez, L. (2013). Evaluación de propiedades fisicoquímicas y nutracéuticas de harina y tortilla elaboradas con un proceso de nixtamalización ecológica. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro.
- Saleh, A. S. M., Zhang, Q., & Shen, Q. (2016). Recent research in antihypertensive activity of food protein-derived hydrolyzates and peptides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(5), 760-787. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.724478>
- Sánchez, A., & Vázquez, A. (2017). Bioactive peptides: A review. In *Food Quality and Safety* (Vol. 1, Issue 1, pp. 29–46). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx006>
- The UniProt Consortium, The Universal Protein Resource (UniProt) in 2010, *Nucleic Acids Research*, Volume 38, Issue suppl_1, 1 January 2010, 142–148, <https://doi.org/10.1093/nar/gkp846>
- Yang, Y., Guanjun, T. A. O., Ping, L. I. U., & Liu, J. I. A. (2007). Peptide with angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity from hydrolyzed corn gluten meal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 789-7895. <https://doi.org/10.1021/jf0705670>
- Zhang, J., Zhang, H., Wang, L., Guo, X., Wang, X., & Yao, H. (2009). Antioxidant activities of the rice endosperm protein hydrolysate: Identification of the active peptide. *European Food Research and Technology*, 229(4), 709-719.



Physicochemical characterization of creole corn (*Zea mays* L.) (blue and red) from the State of Mexico

Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México

García-Campos, Alan Uriel¹; Cruz-Monterrosa, Rosy Gabriela¹; Rayas-Amor, Adolfo Armando¹; Jiménez-Guzmán, Judith¹; Fabela-Morón, Miriam Fabiola¹; Salgado-Cruz, Ma. de la Paz^{2,5}; Cortés-Sánchez, Alejandro de Jesús³; Villanueva-Carvajal, Adriana⁴; Díaz-Ramírez, Mayra^{1*}

¹Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Av. de las Garzas 10. Col. El panteón, Lerma de Villada, Estado de México. C. P. 52005. ²Departamento de Ingeniería Bioquímica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu Esq. Cda. Miguel Stampa s/n. Gustavo A. Madero, Ciudad de México. C. P. 07738. ³Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR+). Calle Dos No. 23. Cd. del Conocimiento. Av. Emilio M. González C.P. 63173. Tepic, Nayarit. ⁴Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario El Cerrillo. Km 15, Carr. Toluca-Ixtlahuaca, Entronque El Cerrillo. Toluca, Estado de México. C. P. 50200. ⁵Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia: m.diaz@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: To evaluate the physical and chemical characteristics of the creole corn (blue and red) from the State of Mexico.

Design/methodology/approach: Size (mm), hectoliter weight (kg/Hl⁻¹), color and a_w were evaluated on blue and red creole corn. Besides, moisture, ash, ethereal extract, and protein content were evaluated. Statistical analysis was performed to assess possible significant differences using the Tukey test ($p < 0.05$).

Results: Red creole corn had lower moisture and higher protein and ethereal extract contents also it was larger and had higher hectoliter weight therefore the flour yield of red corn could be higher than in blue corn.

Study limitations/implications: Biological activity of the evaluated creole corn kernels is necessary for its use as a functional food.

Findings/Conclusions: Red corn had better physicochemical characteristics than blue corn

Key words: creole corn, physicochemical characterization, color, a_w .

RESUMEN

Objetivo: Evaluar las características físicas y químicas de maíces criollos azul y rojo del Estado de México.

Diseño/metodología/aproximación: Para la caracterización física y química de maíces criollos azul y rojo, las variables que se evaluaron fueron tamaño (mm), peso específico del grano (kg/hL), color (escala Lab) así como la actividad de agua (a_w). Además se realizó un análisis químico proximal determinando humedad, cenizas, extracto etéreo y proteína.

Se realizó un análisis estadístico para evaluar las posibles diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey ($p < 0.05$).



Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 95-100.

Recibido: febrero, 2020. **Aceptado:** junio, 2020.

Resultados: El maíz rojo tuvo menor valor de humedad, mayor contenido de extracto etéreo y proteína que el maíz azul, además tiene mayor tamaño y peso específico lo que lo hace buen candidato para la obtención de harina.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La determinación de la actividad biológica es necesaria para poder recomendar el uso de estos maíces criollos como alimentos funcionales.

Hallazgos/conclusiones: El maíz rojo tiene mejores características físicas y químicas que el maíz azul.

Palabras clave: maíz criollo, características físicas y químicas, color, a_w .

INTRODUCCIÓN

Los cereales como, el trigo, el maíz, el arroz, la avena, el mijo, el centeno, y el sorgo han sido parte de las dietas de las civilizaciones humanas. En México, el maíz es el cereal de mayor consumo y tiene un alto valor cultural y social. Este alimento muestra una gran variedad genética debido a los diferentes tipos de cultivos y técnicas utilizados para obtener distintos maíces de diferentes tamaños, colores y formas rescatando su alto valor biológico y genético (Massieu-Trigo y Lechuga-Montenegro, 2002). Los pequeños productores a través de sus técnicas de producción tradicional para el cultivo de variedades locales del maíz influyen sustancialmente en su preservación, conservación, diversificación, producción y generación de la variedad genética del cultivo de maíces criollos. De la manipulación tradicional de las semillas de maíz existen como resultado de las distintas variedades criollas, 59 razas con respecto a su clasificación basada en características morfológicas e isoenzimáticas (Sánchez *et al.*, 2000).

En el Estado de México, existen diversas regiones donde se cultivan variantes criollas de maíces rojo y azul, principalmente las razas que se cultivan son de tipo Chalqueño, Cónico y Cacahuacintle (Herrera-Cabrera *et al.*, 2004). Este maíz pigmentado proporciona varios beneficios nutrimentales y aplicaciones en la industria alimentaria ya que contiene diversas propiedades bioactivas principalmente antioxidantes (Salinas *et al.*, 2010). Estas propiedades se pueden mejorar a través de los procesos culinarios tradicionales que se llevan a cabo en la preparación de alimentos como el proceso de nixtamalización, el cual está basado en un tratamiento alcalino que es fundamental para mejorar el valor nutricional del maíz (Roque-Maciél *et al.*, 2016), al incrementar sensiblemente el valor biológico de la proteína y aumentar la concentración de aminoácidos esenciales como triptófano y lisina (Fernández-Suárez *et al.*, 2013). No obstante, la importancia de este tipo de maíz actualmente sigue siendo escasa la información sobre las características físicas y químicas de maíces pigmentados criollos originarios de México, es por ello que el objetivo de este estudio es evaluar dichas características en maíces azul y rojo, originarios del municipio de Lerma, Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Los maíces criollos rojo y azul fueron cultivados y obtenidos de la comunidad de Santa María Tlalmimilolpan, en los parajes denominados Iglesia Vieja, Po-

trero Grande y San Porfirio, Lerma, Estado de México, cosecha 2018-2019. Los reactivos utilizados en las diferentes determinaciones fueron todos de grado reactivo.

Caracterización física de maíces rojo y azul

En la caracterización física del grano maíz se hizo la evaluación del tamaño, peso específico del grano, y color. La determinación de tamaño de grano incluyó largo, ancho y grosor, este análisis se realizó con un vernier de precisión en 20 granos tomados al azar. Para determinar el peso específico del grano se pesaron 100 gramos de maíz de cada muestra, en una microbalanza OHAUS con sensibilidad de 0.0001 g en un recipiente de volumen conocido, y el resultado en gramos se multiplicó por 10. La determinación del peso específico del grano se reportó en kg hL^{-1} . Para evaluar el color se utilizó un colorímetro Konica Minolta Chroma Meter CR-400/410 generando los parámetros de color L^* , a^* y b^* . Esta determinación se realizó por triplicado y se reportaron los siguientes parámetros: L que se refiere a la luminosidad que señala si la muestra es clara $51 \leq L \leq 100$ u oscura $0 \leq L \leq 50$; los valores de a y b que indican las coordenadas de cromaticidad, donde los valores positivos de "a", están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que, los valores positivos del parámetro "b", están asociados con el color amarillo y los negativos con el color azul. Con los valores a y b se calculó h^0 : $\left(\arctan \frac{b}{a} \right)$ que es un valor angular que indica el cuadrante correspondiente al color de la muestra en un sistema cartesiano, donde el eje X corresponde a los valores de a y el eje Y a los de b (0° =color rojo-

púrpura; 90°=amarillo; 180°=azul verdoso; y 270°=azul) (Espinosa-Trujillo et al., 2006); y la cromaticidad (C), que indica la intensidad o concentración del color predominante dentro del cuadrante (McGuire, 1992) que se calculó con la fórmula: $C = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Actividad de agua (a_w) y análisis químico proximal

Este parámetro se determinó empleando un equipo para medición de actividad de agua marca HBD5-MS2100Wa. Se utilizaron muestras de maíces rojo y azul molidas a una temperatura de 21 ± 2 °C, tomándose las lecturas directamente del equipo. Las pruebas se hicieron por triplicado.

Análisis químico proximal. Se usó la metodología descrita para analizar variedades de maíz criollo pigmentado de la región de Hidalgo establecidas por Ortiz-Prudencio (2006).

Determinación de Humedad. Se pesaron 2 gramos de muestras de maíces molidos azul y rojo en estufa a una temperatura de 130 °C hasta peso constante. La pérdida de humedad se determinó por la diferencia de peso, utilizando la ecuación siguiente:

$$\% \text{Humedad} = \frac{(B-A)-(C-A)}{B-A} \times 100$$

[Ecuación 1]

Dónde: A: Peso del crisol a peso constante (g). B: Peso del crisol a peso constante con muestra (g). C: Peso del crisol con muestra seca (g).

Determinación de Cenizas. Se realizó por el método de incineración, se colocaron 5 g de muestra seca y se realizó una carbonización con una parrilla de calentamiento en el interior de una campana de extracción de humos, para después llevar a incineración a la mufla durante 5 horas por una temperatura de 525 °C. Las muestras se enfriaron y pesaron. El cálculo se llevó a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de ceniza} = \frac{(A-B)}{C} \times 100$$

[Ecuación 2]

Donde: A: Peso del crisol a peso constante con muestra seca (g). B: Peso del crisol con ceniza (g). C: Peso de la muestra seca (g).

Determinación de extracto etéreo. La determinación se realizó por la técnica de extracción Soxhlet. Para esta determinación se utilizaron cartuchos de celulosa con peso constante y se colocaron 5 g de muestra seca. Se montó el equipo de extracción colocándose 120 mL de éter de petróleo, la prueba se llevó durante 6 horas. Las muestras se secaron a 130 °C y se registró su peso. El cálculo se realizó a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{C-(B-A)}{C} \times 100$$

[Ecuación 3]

Donde: A: Peso del cartucho limpio y seco (g). B: Peso del cartucho con la muestra desgrasada (g). C: Peso de la muestra (g).

Determinación de proteína. Se pesó 1 gramo de muestra seca y se colocó en un tubo de digestión junto con una pastilla catalizadora compuesta de sulfato de cobre y sulfato de potasio, adicionando 10 mL de ácido sulfúrico al 98%. Además de un blanco que fue trabajado en conjunto en todo el proceso. Los tubos fueron colocados en un digestor BÜCHI Digestion Unit K-424 conectado a un sistema de neutralización de gases BÜCHI Scrubber B-414 que fueron neutralizados con una solución NaOH. La digestión tuvo una duración aproximada de 4 horas hasta observar la presencia de un color verde esmeralda. Destilación. Una vez enfriados los tubos, se colocaron 50 mL de agua destilada para disolver los residuos a cada tubo de muestra y se colocaron en el destilador automático BÜCHI Distillation Unit K-350 el cual fue programado para realizar la destilación de amoníaco, donde se colocó 25 mL de ácido bórico en un matraz Erlenmeyer (H_3BO_3 al 3% con un pH ajustado a 4.6) la destilación se prolongó hasta la obtención de un mínimo de 150 mL aproximadamente. El proceso de titulación se realizó con HCl 0.31 N hasta el vire de azul a anaranjado. Registrándose el porcentaje de nitrógeno obtenido y proteína a través de la siguiente ecuación:

Cálculos:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{1.4 \times (\text{ml de HCl en muestra} - \text{ml de HCl en blanco}) (\text{Normalidad del ácido})}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

[Ecuación 4]

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ de Nitrógeno} \times 6.25$$

El factor de conversión de nitrógeno a proteína cruda, para el maíz es de 6.25 tomado en la NMX-F-068-S-1980.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra los resultados de la evaluación del tamaño (longitud, ancho y grosor) y peso específico de los granos de maíces rojo y azul, donde se observa que la longitud del maíz azul es significativamente menor que la del maíz rojo; sin embargo, en el ancho y grosor no existen diferencias significativas. Mauricio *et al.* (2004) reportan para maíz azul un valor de largo 10.8 mm, grosor 6.3 mm y ancho 8.3 mm por lo que el maíz estudiado en este trabajo es más pequeño. Por otro lado, el grano de maíz azul presentó un peso específico significativamente menor (74.79 ± 1.350 kg/hL) que el del grano de maíz rojo (76.08 ± 0.0004 kg/hL) así que, de acuerdo con la clasificación de dureza según su peso específico (Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto, 2010), el maíz azul tiene una dureza suave y el rojo una dureza intermedia. Ambos valores se encuentran dentro del valor al valor mínimo establecido por la norma NMX-034-2002 de 74 kg/hL. Estos resultados muestran que el grano de maíz rojo podría tener mayor rendimiento para la obtención de harina ya que el peso específico se relaciona directamente con su obtención (Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto, 2010). La variabilidad del tamaño, densidad y dureza del grano, así como composición química dependen principalmente del factor genético, las técnicas de cultivo, las condiciones climáticas y el tipo de suelo (Agama-Acevedo *et al.*, 2011).

Análisis del color

El Cuadro 2 muestra los valores de

color obtenidos para las muestras de maíces rojo y azul de grano entero. Los resultados mostraron que existen diferencias significativas con respecto a la luminosidad del maíz siendo este valor mayor en los granos de maíz azul.

Por otro lado, el ángulo de color del maíz rojo se encontró dentro de la escala de un tono de color rojo a naranja con un valor h^0 : 36.14 y un croma de 30.50; mientras que, para el maíz azul presenta un croma mucho menor 3.31 y un ángulo de color de h^0 : 81.90 que de acuerdo con la escala del espacio de color se encuentra en un tono azul-verdoso.

El color del maíz se debe al contenido de antocianinas que se encuentran en el endospermo y en la capa de aleurona (Abdel-Aal *et al.*, 2006). La acumulación de estos pigmentos en las estructuras del grano depende de la genética, así como de sus características agronómicas (Espinoza-Trujillo *et al.*, 2006).

Actividad del agua y análisis químico proximal

En el Cuadro 3 se muestran los valores de actividad de agua de maíces rojo y azul, donde se observó

que no existe diferencia significativa entre ambas muestras. La actividad de agua (a_w) es un parámetro que nos indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas, bioquímicas, oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacciones de Maillard y desarrollo microbiano (Comaposada *et al.*, 2000); por ello, es usado como indicador para predecir la vida útil de un alimento. De acuerdo con Asif (2011), valores de humedad y actividad de agua bajos, son importantes en los cereales para tener mejor resistencia al deterioro por microorganismos e insectos durante el almacenamiento; no obstante, los valores obtenidos en este trabajo reflejan un valor de actividad de agua alto por lo que la vida útil de ambos granos se puede reducir considerablemente.

Se observa que el porcentaje de humedad en maíz azul (13.94 ± 0.02) es significativamente mayor que en maíz rojo (12.98 ± 0.04). Ortíz-Prudencio (2006) reportó valores de humedad altos para maíces criollos del estado de Hidalgo con un porcentaje de hasta 9.80%, tanto para maíz rojo como azul. Por otro lado, Mex-Álvarez *et al.* (2016) reportan

Cuadro 1. Tamaño de los granos de los maíces rojo y azul.

Maíz	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Peso HL (g)
Rojo	10.295 ± 0.558 a	14.785 ± 0.233 a	5.61 ± 0.286 a	76.08 ± 0.0004 a
Azul	8.96 ± 0.205 b	15.12 ± 0.327 a	5.545 ± 0.255 a	74.79 ± 1.350 b

Valores \pm DE seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Cuadro 2. Color del maíz azul y rojo en escala L* a* b*.

Maíz	L*	a*	b*	h^0	C
Rojo	41.55 ± 1.74 b	25.71 ± 0.07 a	16.34 ± 0.84 a	36.14 ± 1.54 b	30.50 ± 0.98 a
Azul	50.14 ± 0.39 a	3.14 ± 0.08 b	0.99 ± 0.13 b	81.90 ± 2.53 a	3.31 ± 0.08 b

Valores \pm DE seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). L: es luminosidad o brillantez; a* y b*: indican las coordenadas de cromaticidad; h^0 : es color o tono y C: es croma o pureza de color.

Cuadro 3. Valores obtenidos de la actividad del agua y análisis químico proximal de variedades de maíz azul y rojo.

Maíz	Actividad de agua (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Proteína (%)
Rojo	0.78±0.035 a	12.97±0.040 b	1.29±0.030 a	6.13±0.06 a	10.67±0.38 a
Azul	0.73±0.033 a	13.94±0.018 a	1.43±0.0067 a	5.15±0.05 b	8.81±0.19 b

Valores ± DE seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

valores de humedad hasta de 6.86% y de 10.43% para maíz rojo y morado del estado de Campeche respectivamente, así que los valores en este trabajo para ambos maíces son mayores a los reportados en la literatura. La humedad del grano depende del tipo y condiciones de cultivo además de las condiciones de almacenamiento.

En cuanto al porcentaje de cenizas se observó que los valores de las dos muestras no presentan diferencia significativa entre ellas. Ortiz-Prudencio (2006) reporta para maíz criollo pigmentado rojo valores de entre 1.41% a 1.53%, mientras que, para maíz azul se reporta un valor de entre 1.38% hasta 1.68%. Por tanto, sólo en el caso de los valores obtenidos para maíz azul están acorde con los de reportados en este estudio. Respecto al maíz rojo, Mex-Álvarez et al. (2016) reportaron valores de porcentaje de ceniza de 1.39% siendo este valor mayor al obtenido en este trabajo; no obstante, es aceptable de acuerdo a la NMX-F-046-S-1980 que señala un límite máximo permisible de 1.5 para harina de maíz.

El porcentaje de extracto etéreo (Cuadro 3) del maíz rojo es significativamente mayor que el valor del maíz azul. Los valores obtenidos concuerdan con los de Ortiz-Prudencio (2006), que reporta valores de 5.27% a 6.18% para muestras de maíz rojo, y entre 3.57% y 6.61% para maíz azul. También Agama-Acevedo et al. (2011) reportan un porcentaje de extracto etéreo de 4.46% a 5.98% para maíz azul criollo.

En cuanto al porcentaje de proteína cruda (Cuadro 3), el maíz azul presentó un valor significativamente menor con respecto al maíz rojo. Ortiz-Prudencio (2006) señala que el porcentaje de proteína de maíces rojos es de 10.04% a 11.27% y de 8.85% a 11.50% para maíces azules, siendo estos últimos valores ligeramente menores a los obtenidos en este trabajo. Agama-Acevedo et al. (2011) reportan valores de proteína para maíz azul desde 6.73% a 9.37%. Méndez-Montevalvo (2005) menciona que los tipos de maíz cristalino y semicristalino influyen más en el contenido total de proteína que en maíces de tipo dentado o semidentado, aunque algunas variaciones de maíces con endospermo harinoso pueden llegar a con-

tener un alto contenido de proteína; por tanto, la constitución genética de la variedad de los maíces criollos es un aspecto a considerar en el porcentaje de proteína y al momento de la elaboración de productos con maíz.

CONCLUSIONES

Se observó que el maíz rojo puede usarse en la obtención de harinas por sus características de tamaño y peso específico del grano. Además, tuvo menor valor de humedad, mayor porcentaje de extracto etéreo y proteína que el maíz azul. Los maíces criollos estudiados además de ser una fuente de estos nutrientes pueden contener compuestos fitoquímicos con actividad biológica que conlleven a la prevención de diferentes enfermedades crónico-degenerativas.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Aal, M. P., Young, J. C., & Rabalski, I. (2006). Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4696-4704. <https://doi.org/10.1021/jf0606609>
- Agama-Acevedo, E., Salinas-Moreno, Y., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez, L. A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 317-329.
- Asif, M. (2011). Chemical and physical properties of breakfast cereals and snacks made from specialty sorghums and sorghum bran using twin screw extruder. Texas A&M University. Tesis Doctoral. <file:///Users/uaml/Downloads/ASIF-DISSERTATION.pdf>
- Comaposada, J., Gou, P., & Arnau, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. *Meat Science*, 55(3), 291-295. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00154-0)
- Espinosa-Trujillo, E., Mendoza-Castillo, M. C., & Castillo-González, F. (2006). Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(Es2), 19-23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61009804>
- Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L. A., & Gálvez-Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(Supl. 3-a), 275-283.
- Herrera-Cabrera, B. E., Castillo-González, F., Sánchez-González, J. J., Hernández-Casillas, J. M., Ortega-Paczka, R. A., & Goodman, M. M. (2004). Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia*, 38, 191-206.

- Massieu-Trigo, Y., & Lechuga-Montenegro, J. (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis Económico*, 17(36), 281-303.
- Mauricio, S. R. A., Figueroa, J. D., Taba, C., Reyes, S., Rincón, M. L., & Mendoza, S. (2004). Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27, 213-222.
- McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective colour measurements. *Horticultural Science*, 27(12), 1254-1255.
- Méndez-Montealvo, G., Solorza-Feria, J., Velázquez del Valle, M., & Gómez-Montiel, N. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 39(1), 267-274.
- Mex-Álvarez, R. M. J., Garma-Quen, R., Bolívar-Fernández, N. J., & Guillén- Morales, M.M. (2016). Análisis Proximal y Fotoquímico de Cinco Variedades de Maíz del Estado de Campeche (México). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 74-80.
- NMX-FF-034/1-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales. Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-068-S-1980. Alimentos. Determinación de proteínas. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-046-S-1980. Harina de maíz nixtamalizado. Norma Mexicana. Dirección General de Normas.
- Ortiz-Prudencio, S. del A. (2006). Determinación de la composición química proximal y fibra dietaria de 43 variedades criollas de maíz de 7 municipios del sureste del Estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca Hidalgo. 68 pp. Tesis de Licenciatura. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/630>
- Roque-Maciel, L., Arámbula-Villa, G., López-Espíndola, M., Ortiz-Laurel, H., Carballo-Carballo, A., & Herrera-Corredor, J. A. (2016). Nixtamalización de cinco variedades de maíz con diferente dureza de grano: impacto en consumo de combustible y cambios fisicoquímicos. *Agrociencia*, 50(6), 727-745.
- Salinas-Moreno, Y., & Aguilar-Modesto, L. (2010). Effect of maize (*Zea mays* L.) grain hardness on yield and quality of tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 5-11.
- Salinas, Y., Soria, J., & Espinoza, E. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. México: Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria.
- Sánchez J. J., Goodman, M. M., & Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany*, 54, 43-59.



Evaluation of the sensory quality and level of acceptance of formulations of carrot soup microemulsified with inulin and milk whey protein concentrate

Evaluación de la calidad sensorial y nivel de aceptación de formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionada con inulina y concentrado de proteína de suero de leche

Fabela-Morón, Miriam F.^{1*}; Díaz-Ramírez, Mayra¹; Jiménez-Guzmán, Judith¹; Cruz-Monterrosa, Rosy G.¹; Rayas-Amor, Adolfo A.¹; León-Espinosa, Erika B.¹; Mena-Martínez, María¹; García-Garibay, Mariano¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón, Municipio Lerma de Villada, Estado de México, C.P. 52005.

*Autor para correspondencia: mf.fabela@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: Evaluate the sensory quality and the level of acceptance of carrot soup formulations microemulsified with inulin and milk whey protein concentrate (WPC).

Design/methodology/approach: Formulations of Carrot Soup Microemulsified with inulin and milk whey protein concentrate (WPC) were developed according to a simple centroid experimental design and the sensory quality and level of acceptance of the developed formulations were evaluated.

Results: Formulation D formulated with carrot microemulsified with a mixture of Inulin and WPC presented the highest level of acceptance compared to the other formulations developed. The developed Formulations presented significant differences respect to luminosity (L^*) and did not present a significant difference respect to color difference (ΔE^*) as they all presented a tendency to red-yellow hue.

Limitations on study/implications: It is important to carry out further tests to complete the development of formulations to improve the sensory properties of this type of products.

Findings/conclusions: Inulin and milk whey protein concentrate (WPC) are biopolymers that can be used in the development of carrot soup formulations to generate a product with acceptable sensorial quality to the consumer.

Keywords: carrot, biopolymers, microemulsion.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la calidad sensorial y el nivel de aceptación de formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionada con inulina y concentrado de proteína de suero de leche (CPSL).

Diseño/metodología/aproximación: Se desarrollaron cuatro formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionada con inulina y concentrado de proteína de suero de leche (CPSL) acorde con un diseño experimental de simple centroide y se evaluó la calidad sensorial y el nivel de aceptación de las formulaciones desarrolladas.

Resultados: La formulación D formulada con zanahoria microemulsionada con inulina y CPSL al 50% presentó el mayor nivel de aceptación respecto a las otras formulaciones desarrolladas. Las formulaciones desarrolladas presentaron diferencias significativas respecto a la luminosidad (L^*) y no presentaron diferencia significativa en cuanto a la diferencia de color (ΔE^*) al presentar todas tendencia a la tonalidad roja-amarilla.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 7, julio. 2020. pp: 101-106.

Recibido: diciembre, 2019. **Aceptado:** junio, 2020.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Es importante realizar más pruebas que permitan completar el desarrollo de formulaciones para mejorar las propiedades sensoriales de este tipo de productos.

Hallazgos/conclusiones: La inulina y el concentrado de proteína de suero de leche (CPSL) son biopolímeros que pueden utilizarse en el desarrollo de formulaciones de sopa de zanahoria para generar un producto de calidad sensorial aceptable por el consumidor.

Palabras clave: zanahoria, biopolímeros, microemulsión.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el desarrollo de nuevos productos alimenticios involucra diferentes aspectos entre los cuales destaca el aprovechamiento integral de productos hortofrutícolas, así como la conservación de la calidad sensorial y el nivel de aceptación de los alimentos desarrollados. Dentro de los productos hortofrutícolas producidos y más consumidos en México destaca la zanahoria (*Daucus carota* subesp. *sativus*), la cual posee una producción de 45,533 toneladas a nivel nacional de acuerdo con la información del SIAP al 31 de marzo de 2020 (SIAP, 2020). La zanahoria es una hortaliza considerada como un excelente alimento por su contenido de fibra, vitaminas y minerales (Guo *et al.*, 2020), cuyo consumo tiene efectos positivos en la salud debido a la presencia de carotenos, siendo la zanahoria naranja la variedad más predominante (Ekici *et al.*, 2015; Castro *et al.*, 2019) (Figura 1).



Figura 1. Zanahoria (*Daucus carota* subesp. *sativus*).



Figura 2. Inulina y concentrado de proteína de suero de leche (CPSL).

El desarrollo de productos alimenticios a partir de productos hortofrutícolas incluye diferentes etapas dentro de las cuales destacan la formulación y la evaluación sensorial (Yu *et al.*, 2018; Aykan *et al.*, 2020). En este sentido, la formulación de emulsiones alimenticias a base de zanahoria como las sopas, utilizando biopolímeros de grado alimenticio es de gran importancia para lograr la adecuada protección de ingredientes alimenticios y para proveer calidad sensorial (Sharma *et al.*, 2017; Neckebroek *et al.*, 2020; Sogut y Cakmak, 2020). Dentro de los biopolímeros utilizados en las emulsiones como agentes estabilizantes, texturizantes y sustitutos de grasa (Bayarri *et al.*, 2010) se encuentran la inulina y el concentrado de proteína de suero de leche (CPSL). La inulina es un polisacárido lineal no digerible conformado por enlaces β -(2-1) unidos a residuos de fructosa con una unidad terminal de residuos de glucosa cuya funcionalidad se destaca como agente texturizante (Shoaib *et al.*, 2016), como fibra y como prebiótico en diversas formulaciones alimenticias (Bayarri *et al.*, 2010). El CPSL es ampliamente utilizado en productos lácteos, productos cárnicos, productos de panificación y emulsiones alimenticias (Jiang *et al.*, 2018) (Figura 2).

Las sopas a base vegetales como la zanahoria son ideales porque promueven la buena digestión y a la vez aportan vitaminas, además del efecto sinérgico que presentan cuando están formuladas con biopolímeros alimenticios (Ben-Fadhel, Maherani *et al.*, 2020) que mejoran su calidad sensorial (Scott *et al.*, 2019). La calidad sensorial y el nivel de aceptación son un referente importante para dar valor agregado al consumo de zanahoria como alimento procesado (Yu *et al.*, 2018). Por tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la calidad sensorial y el nivel de aceptación de formulaciones de sopa de

zanahoria microemulsionada con inulina y CPSL (Janiszewska-Turak et al., 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó zanahoria variedad Naranja obtenida del Mercado Morelos de la ciudad de Toluca, Estado de México, inulina (Nutriagaves de México, Jalisco) y concentrado de proteína de suero de leche (CPSL, Ingredientes Funcionales de México, Ciudad de México). Como primer paso, se preparó un homogenizado base de zanahoria que contenía 351 g de zanahorias molidas y 250 mL de leche evaporada, el cual se utilizó para desarrollar cuatro formulaciones de sopa de zanahoria con el fin de encontrar la más adecuada y aceptada por el consumidor. Las formulaciones se desarrollaron siguiendo un diseño experimental de simple centroide para establecer las concentraciones de biopolímeros (Cuadro 1). La formulación A (zanahoria base) fue formulada con 20 mL del homogenizado base, 1 g de aceite de oliva, 0.1 g de cebolla y 0.01 g de ajo. La formulación B (zanahoria-inulina) se formuló con 20 mL de homogenizado base, 1 g de aceite de oliva, 0.1 g de cebolla, 0.01 g de ajo e inulina al 100%. La formulación C (zanahoria-CPSL) se formuló con 20 mL de homogenizado base, 1 g de aceite de oliva, 0.1 g de cebolla, 0.01 g de ajo y CPSL 100%. La formulación D (zanahoria-inulina- CPSL) 20 mL de homogenizado base, 1 g de aceite de oliva, 0.1 g de cebolla, 0.01g de ajo y 50% de inulina- CPSL. Todos los ingredientes se mezclaron y fueron sometidos a calentamiento a 92 °C, posteriormente se adicionó poco a poco cada biopolímero en cada formulación. Las formulaciones de sopa de zanahoria fueron microemulsionadas por medio de un homogenizador de cuchillas (Modelo MR30, Braun, México) durante 5 minutos hasta su completa homogenización (Fabela-Morón et al., 2016). Con las cuatro formulaciones desarrolladas, se realizó una evaluación sensorial hedónica con 18 panelistas donde se les pidió que eligieran la muestra que fuera de su mayor agrado, con el fin de evaluar el

nivel de aceptación de las formulaciones. Asimismo, se realizó una evaluación sensorial hedónica de la formulación seleccionada con mayor nivel de aceptación para evaluar su calidad sensorial respecto a su

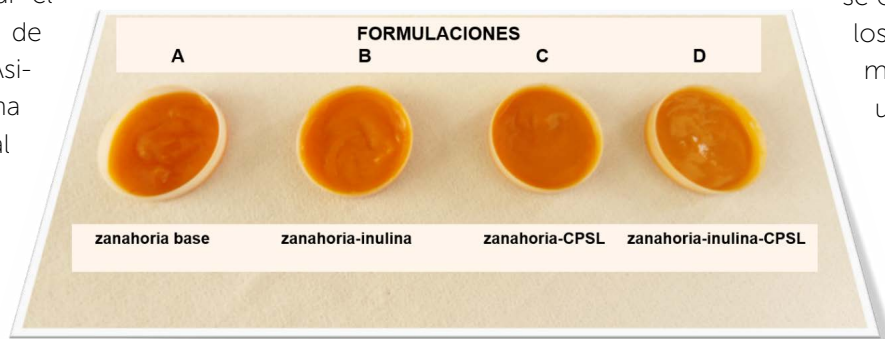


Figura 3. Formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionada. CPSL=Concentrado de proteína de suero de leche.

Cuadro 1. Formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionadas con inulina y concentrado de proteína de suero de leche (CPSL) acorde al diseño experimental de simple centroide.

Formulación	Inulina (%)	CPSL (%)
Formulación A	0	0
Formulación B	100	0
Formulación C	0	100
Formulación D	50	50

sabor, color, textura y nivel de agrado. Se analizó cuantitativamente el color característico presente en cada formulación desarrollada mediante el uso del colorímetro (Minolta CR-400) a través de las coordenadas del espacio de color CIELAB. Los datos fueron analizados mediante un ANOVA y prueba de Tukey con un $\alpha=95\%$ para evaluar la diferencia significativa entre las formulaciones (STATGRAPHICS Centurion XVI.I).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se desarrollaron cuatro formulaciones de sopa de zanahoria: Formulación A Base, Formulación B (zanahoria-inulina), Formulación C (zanahoria-CPSL) y Formulación D (zanahoria-inulina-CPSL) como se puede apreciar en la Figura 3.

Derivado de la evaluación sensorial hedónica, se obtuvo que las formulaciones A, B y C presentaron menor nivel de aceptación, donde la formulación D de sopa de zanahoria microemulsionada que contiene la mezcla de inulina-CPSL al 50% fue la formulación con mayor nivel de aceptación en un 70% (Figura 4).

Respecto al análisis sensorial realizado para evaluar los atributos de color, sabor y textura de la formulación D de la sopa microemulsionada con la mezcla al 50% de inulina-CPSL, las Figuras 5, 6, 7 y 8 presentan los resultados que los panelistas evaluaron respecto a estos atributos sensoriales. En la Figura 5, respecto al atributo de color,

se observa que al 70% de los panelistas les "gusta mucho" seguido por un 13% a los cuales no les gusta ni les disgusta, 10% a los que les gusta demasiado el color, 7% a los que les gusta moderadamente y 0% a los que les gusta poco.

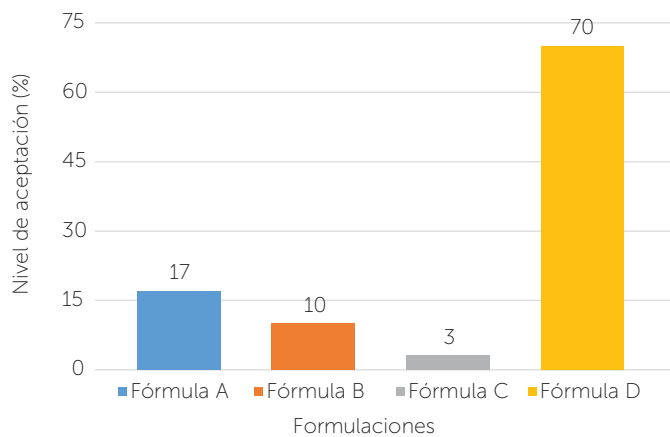


Figura 4. Prueba hedónica de formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionada.

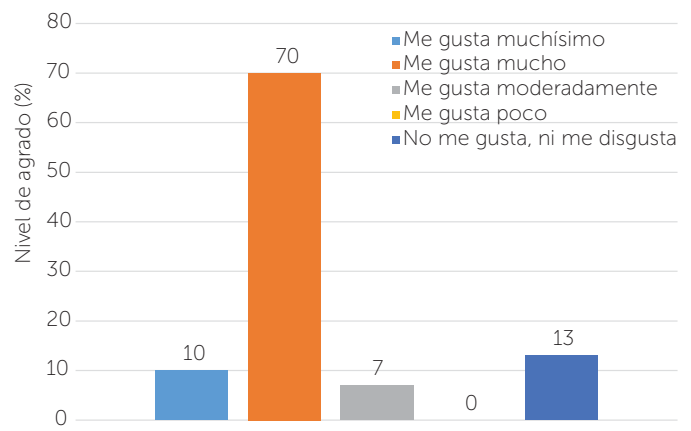


Figura 5. Evaluación hedónica de color de la formulación D sopa de zanahoria-inulina-CPSL.

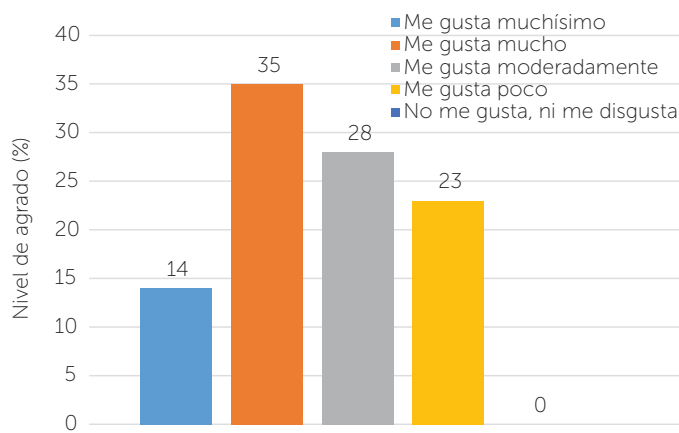


Figura 6. Evaluación hedónica de textura de la formulación D sopa de zanahoria-inulina-CPSL.

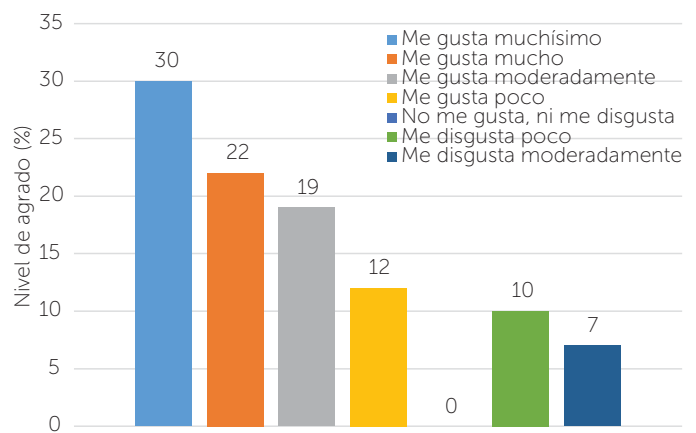


Figura 7. Evaluación hedónica de sabor de la formulación D sopa de zanahoria-inulina-CPSL.

En la evaluación del atributo de textura, al 14% de panelistas les “gusta muchísimo”, al 35% “les gusta mucho”, mientras que al 28% “les gusta moderadamente” y al 23% les gusta poco (Figura 6).

Respecto al sabor, 30% de los panelistas “les gusta muchísimo”, mientras que al 7% “les disgusta” moderadamente (Figura 7).

Para el nivel de aceptación, se obtuvo que al 40% de los panelistas “les gusta mucho”, seguido de un 22% a los cuales “les gusta moderadamente”, mientras que al 5% “les disgusta”. Por tanto, sensorialmente la sopa microe-

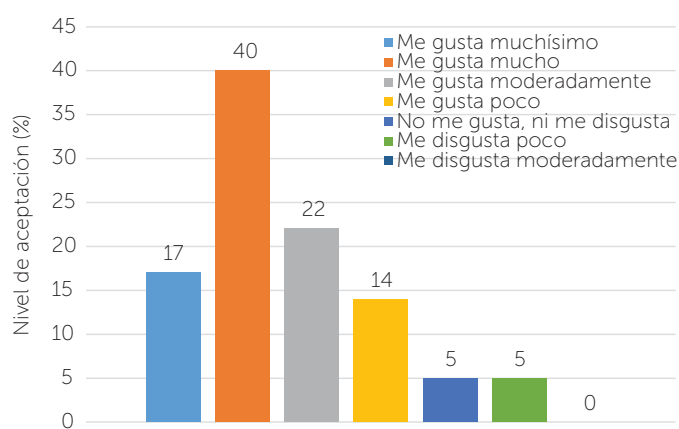


Figura 8. Evaluación hedónica del nivel de aceptación de la formulación D sopa de zanahoria-inulina-CPSL.

mulsionada con inulina y CPSL al 50% muestra un buen nivel de aceptación al presentar el mayor nivel de aceptación por parte del 40% de los panelistas (Figura 8).

Los parámetros de color (sistema CIE L*, a*, b*) se presentan en el Cuadro 2.

De acuerdo con el análisis de los parámetros de color presentados en el

Cuadro 2, las formulaciones A, B y D, presentan diferencia significativa en el parámetro de luminosidad (L*). Respecto al parámetro a*, todas las formulaciones presentan tonalidad con tendencia al rojo debido al valor

Cuadro 2. Parámetros de color de sopa de zanahoria microemulsionada con inulina y CPSL.

Parámetro de color	Formulación A	Formulación B	Formulación C	Formulación D
L*	74.58±1.53 b	67.38±0.56 c	77.25±0.68 ab	78.47±0.1 a
a*	6.96±0.29 ab	4.00±0.55 b	8.39±1.89 a	8.77±0.03 a
b*	63.15±0.62 a	61.21±1.00 a	65.41±6.13 a	67.35±1.05 a
ΔE*	65.94±1.14 a	66.9±1.16 a	66.07±2.76 a	68.94±1.93 a

Los valores son expresados como medias (n=2)±desviación estándar. Letras iguales en cada fila indican que no existe diferencia significativa (Tukey, p<0.05).

positivo de a*, donde las formulaciones A, C y D no presentan entre ellas diferencia significativa; mientras que, las formulaciones A y B si presentan diferencia significativa respecto al parámetro a*. En cuanto al parámetro b*, todas las formulaciones presentan tendencia a la tonalidad amarilla por su valor positivo, y no existe diferencia significativa entre éstas. Para la diferencia de color representada por ΔE* no existe diferencia significativa entre las formulaciones, esto se debe principalmente a que todas presentan el color naranja característico y que difiere para cada formulación en luminosidad. Estos resultados se sustentan de acuerdo con el ANOVA y la prueba de Tukey realizados para todas las formulaciones y parámetros (Danalache et al., 2016; Danalache et al., 2017).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, estos muestran que es factible el desarrollo de formulaciones de sopa de zanahoria microemulsionada con inulina y concentrado de proteína de suero de leche (CPSL). Sensorialmente se evaluó la calidad de las formulaciones respecto al sabor, color, textura y nivel de aceptación, donde la formulación D que contiene la sopa de zanahoria microemulsionada con inulina y CPSL al 50% fue la que presentó el mayor nivel de aceptación respecto a las otras formulaciones desarrolladas. En cuanto a los parámetros de color (CIE L*, a*, b*) evaluados en las formulaciones, se obtuvieron algunas diferencias en cuanto a la luminosidad (L*) y sin diferencia significativa en cuanto a la diferencia de color (ΔE*) al presentar todas las formulaciones el color naranja característico de la zanahoria en tonalidades rojo-amarilla (a*, b*). Sin embargo, es importante realizar más pruebas que permitan completar el desarrollo y mejorar las características de este tipo de productos.

LITERATURA CITADA

Aykan, S., Vatansever, G., Doğanay-Erdoğan, B., & Kalaycıoğlu, C. (2020). Development of Sensory Sensitivity Scales (SeSS): Reliability

and validity analyses. *Research in Developmental Disabilities*, 100, 103612. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103612>

Bayarri, S., Chuliá, I., & Costell, E. (2010). Comparing λ-carrageenan and an inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects. *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), 578-587. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.02.004>

Ben-Fadhel, Y., Maherani, B., Manus, J., Salmieri, S., & Lacroix, M. (2020). Physicochemical and microbiological characterization of pectin-based gelled emulsions coating applied on pre-cut carrots. *Food Hydrocolloids*, 101(September 2019), 105573. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105573>

Castro, M., Tatuszka, P., Cox, D. N., Bowen, J., Sanguansri, L., Augustin, M. A., & Stonehouse, W. (2019). Effects on plasma carotenoids and consumer acceptance of a functional carrot-based product to supplement vegetable intake: A randomized clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 60, 103421. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103421>

Danalache, F., Carvalho, C. Y., Alves, V. D., Moldão-Martins, M., & Mata, P. (2016). Optimisation of gellan gum edible coating for ready-to-eat mango (*Mangifera indica* L.) bars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.079>

Danalache, F., Carvalho, C. Y., Brito, L., Mata, P., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2017). Effect of thermal and high hydrostatic pressure treatments on mango bars shelf-life under refrigeration. *Journal of Food Engineering*, 212, 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.009>

Ekici, L., Ozturk, I., Karaman, S., Caliskan, O., Tornuk, F., Sagdic, O., & Yetim, H. (2015). Effects of black carrot concentrate on some physicochemical, textural, bioactive, aroma and sensory properties of sucuk, a traditional Turkish dry-fermented sausage. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 718-726. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.025>

Fabela-Morón, M. F., Perea-Flores, M. J., & Belletini, M. B. (2016). Microencapsulación de oleorresina de cúrcuma a partir de una emulsión aceite en agua (O/W) mediante secado por aspersión. *Revista de Ingeniería y Tecnologías Para El Desarrollo Sustentable*, 1, 48-52.

Guo, Y., Wu, B., Guo, X., Ding, F., Pan, Z., & Ma, H. (2020). Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices: Moisture migration and quality characterizations. *LWT - Food Science and Technology*, 126, 109312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109312>

Janiszewska-Turak, E., Dellarosa, N., Tylewicz, U., Laghi, L., Romani, S., Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). The influence

- of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. *Food Chemistry*, 236, 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.134>
- Jiang, S., Altaf hussain, M., Cheng, J., Jiang, Z., Geng, H., Sun, Y., ... Hou, J. (2018). Effect of heat treatment on physicochemical and emulsifying properties of polymerized whey protein concentrate and polymerized whey protein isolate. *LWT - Food Science and Technology*, 98(May), 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.028>
- Neckebroeck, B., Verkempinck, S. H. E., Vaes, G., Wouters, K., Magnée, J., Hendrickx, M. E., & Van Loey, A. M. (2020). Advanced insight into the emulsifying and emulsion stabilizing capacity of carrot pectin subdomains. *Food Hydrocolloids*, 102, 105594. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105594>
- Scott, N. O., Burgess, B., & Tepper, B. J. (2019). Perception and liking of soups flavored with chipotle chili and ginger extracts: Effects of PROP taster status, personality traits and emotions. *Food Quality and Preference*, 73(August), 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.009>
- Sharma, M., Kristo, E., Corredig, M., & Duizer, L. (2017). Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures. *Food Hydrocolloids*, 63, 478-487. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.040>
- Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., ... Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444-454. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Retrieved from http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do?jsessionid=0234C26E164A09EBF380BAD49E1C63B9
- Sogut, E., & Cakmak, H. (2020). Utilization of carrot (*Daucus carota* L.) fiber as a filler for chitosan based films. *Food Hydrocolloids*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105861>
- Yu, P., Low, M. Y., & Zhou, W. (2018). Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 71, 202-215. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.013>



Effect of sulfur and chicken manure on physiological and performance indices in *Solanum lycopersicum* L.

Efecto de azufre y gallinaza sobre índices fisiológicos y de rendimiento en *Solanum lycopersicum* L.

Martínez-Sías, Valeria A.¹; Martínez-Hernández, José J.¹, Zúñiga-Estrada, Lamberto²; Martínez-Montoya, Juan F.^{1*}

¹Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México CP 78620. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas Carretera Tampico-Mante km 55, Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México C.P. 89610.

*Autor por correspondencia: fmontoya@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: to determine the dry biomass and quantify the amount of nitrogen and potassium assimilated by *Solanum lycopersicum*, developed in a sodium saline soil, in response to the application of poultry manure, and sulfur (S^o) through fertigation.

Design/methodology/approach: The study was modified in 2016, in the municipality of Moctezuma, SLP, in a shade mesh greenhouse, two doses of sulfur were evaluated (750 kg ha⁻¹ (S₁) 1500 kg ha⁻¹ (S₂)) and four levels of manure (1, 2, 3 and 4 t ha⁻¹). Three destructive samplings were considered for the calculation of physiological indices, dry matter and the determination of nitrogen and potassium. Fresh product yield and other yield components were evaluated in six harvests.

Results: The highest MST production (kg ha⁻¹) was obtained under the S₁ treatment throughout the growth cycle. The highest amount of total accumulated N and K in plants, under the S₁ treatment, represents 81.8% and 78.6% of the total applied at the end of the cycle; respectively. The highest production in total commercial fresh fruit accumulated, obtained under the treatment of 750 kg ha⁻¹ of sulfur (S₁), was 162.9 t ha⁻¹, surpassing the treatment of 1500 kg ha⁻¹ (S₂).

Study limitations/implications: no specific differences were reported for poultry manure applications.

Findings/conclusions: physiological indices and dry matter rate were affected by the application of S₁.

Key words: physiological indices, dry matter, nitrogen, potassium.

RESUMEN

Objetivo: determinar la biomasa seca y cuantificar la cantidad de nitrógeno y potasio asimilado por *Solanum lycopersicum*, desarrollado en un suelo salino sódico, en respuesta a la aplicación de estiércol aviar y azufre (S^o) mediante fertigación.

Diseño/metodología/aproximación: El estudio se estableció en 2016, en el municipio de Moctezuma, S.L.P, en un invernadero de tipo malla sombra, se evaluaron dos dosis de azufre (750 kg ha⁻¹ (S₁) 1500 kg ha⁻¹ (S₂)) y cuatro niveles de gallinaza (1, 2, 3 y 4 t ha⁻¹). Se realizaron tres muestreos destructivos para el cálculo de índices fisiológicos, materia seca y la determinación de nitrógeno y potasio. Se evaluó el rendimiento de fruto en fresco y otros componentes en seis cosechas.

Resultados: se obtuvo la producción de MST más alta (kg ha^{-1}) bajo el tratamiento S_1 considerando todo el ciclo de crecimiento. La cantidad más alta de N y K total acumulado en plantas, bajo el tratamiento S_1 , representaron el 81.8% y el 78.6% del total aplicado al final del ciclo, respectivamente. La mayor producción en fruto fresco total comercial acumulado, obtenido bajo el tratamiento de 750 kg ha^{-1} de azufre (S_1), fue de 162.9 t ha^{-1} , superando al tratamiento de 1500 kg ha^{-1} (S_2).

Limitaciones del estudio/implicaciones: no se reportaron diferencias significativas por las aplicaciones de gallinaza.

Hallazgos/conclusiones: los índices fisiológicos y tasa de materia seca fueron afectados significativamente por la aplicación de S_1 .

Palabras clave: Indicadores de crecimiento, materia seca, nitrógeno, potasio.

Es conveniente señalar, que en esta investigación se define como requerimiento, a la cantidad de nutrientes que necesita una planta para su desarrollo y producción normal, en condiciones de salinidad, durante ciertas etapas de crecimiento, y fruto fresco producido por unidad de superficie. Igualmente se determina el requerimiento de agua como la cantidad necesaria para mantener un adecuado estado hídrico en los tejidos, expresada en $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ producida. Con base en lo anterior, el objetivo fue determinar la biomasa seca y cuantificar la cantidad de nitrógeno y potasio asimilado por *Solanum lycopersicum*, desarrollado en un suelo salino sódico, en respuesta a la aplicación de estiércol aviar (gallinaza) y azufre (S^0) mediante fertigración.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue conducida en invernadero tipo malla sombra durante el ciclo de verano-otoño (agosto-diciembre), en Moctezuma, San Luis Potosí ($22^\circ 45' \text{ N}$ y $101^\circ 05' \text{ O}$) a una altitud de 1720 m. Se utilizó un híbrido de tomate *Solanum lycopersicum*, tipo saladette (Conan USATX 2112), de crecimiento determinado. El arreglo de tratamientos fue en parcelas divididas en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones (24 unidades experimentales), donde las parcelas grandes, fueron dos dosis de azufre $750 (S_1)$ y $1500 (S_2)$ kg ha^{-1} y las parcelas chicas, cuatro dosis de gallinaza, una, dos, tres y cuatro t ha^{-1} . Veinte días previos al trasplante se establecieron los tratamientos enriqueciéndose con una fertilización mineral de fondo (40 N , $80 \text{ P}_2\text{O}_5$, $50 \text{ K}_2\text{O}$ kg ha^{-1}), utilizándose como fuentes, Sulfato de Amonio, Superfosfato de Calcio Simple y Cloruro de Potasio (KCl).

INTRODUCCIÓN

En un estudio de análisis de crecimiento, la producción de masa seca es la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Taiz y Zeiger, 2000; Werner y Leiher, 2005); y las curvas de crecimiento reflejan el comportamiento de una planta en un sistema de producción con respecto al tiempo. Su elaboración es indispensable para la aplicación racional de agua, nutrientes y realizar prácticas agronómicas en el momento adecuado, que garanticen una respuesta adecuada del cultivo (Casierra-Posada *et al.*, 2003; Casierra-Posada *et al.*, 2004). Dado que el cálculo de la demanda de los nutrientes de los cultivos juega un papel relevante, la estimación realista y adecuada del rendimiento alcanzable debe lograrse mediante el manejo de tecnología, de lo contrario, causaría un incremento en los costos de insumos produciendo además un riesgo de contaminación del medio ambiente.

Independientemente del sistema de producción (campo o invernadero), el rendimiento de *Solanum lycopersicum* L., sin restricciones de humedad, depende de la nutrición mineral, los cuales son definidos en términos de lo que una planta necesita para completar su ciclo de vida y registrar un rendimiento. La técnica de fertigración permite un suministro preciso de nutrientes a las plantas al aplicar pequeñas y frecuentes cantidades de fertilizante, de tal forma que cumplan los requerimientos del cultivo, aumentando la eficiencia de la absorción de nutrientes y reduciendo la pérdida de minerales por lixiviación (Bar-Yosef, 1999). Para analizar el rendimiento de una planta, es necesario el estudio de componentes que involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, tales como: la tasa de crecimiento absoluto (TCA), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), reproductivo, y número y peso de frutos por planta (Santiago *et al.*, 1998).

Para el cálculo de la extracción neta de nutrientes es necesario determinar la formación de biomasa en el tiempo y conocer la concentración mínima óptima del nutriente en la materia seca (Rodríguez *et al.*, 2001).

La unidad experimental se formó de 576 m² provenientes de 12 parcelas de cultivo de 30 × 1.6 m en cada parcela. Los análisis físicos y químicos del suelo experimental y agua utilizada se realizaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El aporte de agua y fertilizante fue por goteo. La lámina de riego total aplicada durante el ciclo de cultivo fue de 378 mm (3780 m³), y una fertilización de 384 N-129 P₂O₅-476 K₂O ha⁻¹.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura promedio (T med.), máxima (T máx.) y mínima (T mín.), mediante dos equipos HOBBO U23 PRO v2; la humedad del suelo mediante dos tensiómetros colocados a 15 y 30 cm de profundidad; en la solución del suelo mediante tres extractores de solución instalados a una profundidad de 30 cm, se analizó, pH, CE, nitratos, potasio y sodio utilizando medidores portables cardis. En tres plantas por tratamiento, se realizaron tres muestreos destructivos a los 54, 63 y 83 días después de trasplante (ddt), los muestreos fueron a inicio de floración, cuajado de fruto e inicio de cosecha; respectivamente; determinando peso en fresco. Las muestras se fraccionaron en tallo, hojas y frutos y se colocaron en una estufa de circulación de aire forzado a 80 °C hasta peso constante para determinar su biomasa seca. El N se determinó por micro Kjeldahl y el K por espectrofotometría de absorción atómica. Los índices de crecimiento (TCA, TCC, TAN) se estimaron utilizando las fórmulas indicadas por Escalante y Kohashi, (2015), basadas en masa seca, área foliar y tiempo.

El rendimiento de fruto y otros componentes se evaluaron a los 89, 98, 107, 120, 127 y 137 ddt. En cada uno de ellos se determinó el número y peso de frutos, °Brix de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto, peso total de frutos, además del rendimiento total por superficie, uso eficiente de agua e índice de productividad. Con base en la ecuación de regresión generada de materia seca de los muestreos destructivos y el análisis del tejido vegetal en las diferentes estructuras



de la planta en relación al contenido de nitrógeno y potasio, se estimó la materia seca producida en los seis cortes obtenidos y se relacionó con el rendimiento de fruto fresco para determinar la acumulación de nitrógeno y potasio durante todo el ciclo. Al finalizar la cosecha, se recolectaron muestras de suelo, a una profundidad de 0-30 cm, correspondientes a cada uno de los tratamientos estudiados para conocer las variaciones químicas del suelo. En total se analizaron ocho

muestras de suelo para conocer la variación de la composición química por efecto de aplicación de los tratamientos de S^o y gallinaza.

El análisis físico-químico del suelo, previo al trasplante, registró 43.3% de arena, 30.7% de limo, y 24.0% de arcilla, pH de 8.4 y C.E. de 4.8 dS m⁻¹. El suelo experimental se caracterizó por un porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) mayor a 15% (30.4 cmol (+)/kg) y la relación de adsorción de sodio (RAS) calculada fue 5.2 clasificándose como suelo salino sódico (Garrido, 1994). El tomate es una especie medianamente sensible a las sales, con un umbral de conductividad eléctrica (CE) de 2.5 dS m⁻¹ determinada en el extracto de saturación del suelo (Chinnusamy et al., 2005). El contenido de materia orgánica fue de 4.7% (Pavón-Chocano, 2003), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 43.8 cmol (+) /kg. El Na intercambiable, (cmol (+) /kg), fue extremadamente alto (30.3%), considerando el rango deseable (<6%). Las cantidades de los aniones: HCO₃⁻ (2562), Cl⁻ (1491) y SO₄²⁻ (2016), en ppm, resultaron extremadamente altas.

El análisis químico del agua reportó un valor de pH de 7.6, representando una alcalinidad superior al rango deseado (5.0-7.0), lo cual está relacionada con altos contenidos de bicarbonatos (495.5 ppm). El valor del RAS (4.1 meq L⁻¹) y de C.E. (1.6 dS m⁻¹) clasifican el agua de alta salinidad con bajo contenido en sodio (C₃-S₁), recomendada a utilizar en suelos con buen drenaje y en cultivos muy tolerantes a



la salinidad (Blasco y de la Rubia, 1973). Se encontró 7.8 meq L⁻¹ de Na (179.4 ppm) este valor es superior al rango deseable (< de 50 ppm) (Ayers y Westcot, 1985), y de riesgo medio de toxicidad para los cultivos. (3 a 9 meq L⁻¹). De acuerdo al valor de CRS (0.3) no existe peligro de sodificación del suelo. La relación entre calcio y magnesio del agua utilizada para riego fue de 4.48 ppm de calcio por 1.0 ppm de magnesio. Estos pueden disminuirse al acidificar la solución nutritiva previo a su inyección. De lo contrario, pueden causar deficiencias severas nutrimentales principalmente de P y Fe en el cultivo de tomate. Con excepción de los sulfatos (129.6), los aniones (ppm) de bicarbonatos (495.5), y cloruros (173.95) registraron valores fuera del rango deseable en la calidad del agua (<240, <90 y <140 respectivamente) (Tayama y Roth, 1990). El análisis de Varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias de los productos medios fueron comparados con prueba de Tukey (0=0.05), y diferencia significativa honesta (DSH) con SAS (9.0) (SAS, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis del suelo posterior a la cosecha (Cuadro 1) reportaron que la aplicación de los tratamientos causó una disminución del pH inicial (8.3) del suelo con valores de 7.7 y 7.5 para S₁ y S₂ respectivamente, debido a la oxidación-reducción del S^o a sulfato, como resultado, la acidificación del suelo reduce la alcalinidad (Cox y Koenig, 2010). De igual manera la CE disminuyó a 0.66 dS m⁻¹ para S₁ y 1.0 dS m⁻¹ para S₂ en comparación de la C.E. inicial (4.8 dS m⁻¹) que se explica por la disminución en las cantidades totales de sales solubles por abatimiento en aniones y cationes en solución del suelo, en respuesta a la aplicación de azufre.

El valor mayor para aniones y cationes se observaron en S₂. Si existen altos niveles de un solo catión, las deficiencias en la planta de otros cationes pueden ocurrir debido a la competencia de absorción o intercambio catiónico de la planta. En K⁺ y Mg⁺⁺, para S₁ y S₂ se encuentran con valores mayores. El Ca⁺⁺, en S₁

mostró valores inferiores, lo contrario se registró en S₂. El proceso de oxidación del S^o es progresivo en el tiempo, y en este estudio se registró mayor eficiencia con el tratamiento S₁ (750 kg ha⁻¹), lo cual es coincidente con García y Castillo (1993) quienes reportan que con aplicaciones superiores a 1000 kg ha⁻¹ el proceso de oxidación es más lento. Las altas cantidades de SO₄²⁻ encontradas en el tratamiento S₂, pueden atribuirse a mayor actividad y eficiencia de organismos oxidantes del S (bacterias *Thiobacillus*) (García y Castillo, 1993). En este estudio, la humedad en el suelo se mantuvo en capacidad de campo, mediante el riego por goteo y a su respectiva programación de irrigación durante la conducción del experimento, lo que pudo favorecer la formación de SO₄²⁻.

Índices fisiológicos

La tasa de crecimiento absoluto (TCA) mostró tendencia a disminuir conforme avanzó el ciclo de cultivo (regresión S₁:R² 0.95, y S₂:R² 0.93). Casierra-Posada et al. (2007) reportan una ecuación de regresión con valores de R² 0.83, R² 0.92 y R² 0.94 de este índice fisiológico en tres variedades de tomate (Figura 1). La TAN que es una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo, no es constante y decrece con la edad de la planta o población, mostrando valores con diferencias altamente significativas por efecto de las parcelas grandes (S₁ y S₂). La tendencia de los valores estimados en la TAN, fue disminución en el tiempo a partir de los 54 ddt hasta los 83 ddt (Figura 1), mientras que el ANOVA mostró diferencias significativas entre dos tratamientos de azufre a 54, 63 y 83 ddt (Figura 1).

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC), variable que describe la acumulación de materia seca por unidad de área por unidad de tiempo (g dm² día⁻¹), mostró diferencias significativas a los 63 ddt, siendo las plantas desarrolladas en el tratamiento S₁ las de mayor valor con 1.114 g dm² día⁻¹ en comparación a S₂ (0.363 g dm² día⁻¹). A los 83 ddt los valores disminuyeron a 0.194 y 0.189 (g dm²

Cuadro 1. Análisis químicos del suelo posterior al experimento en Moctezuma, San Luis Potosí, México

Indicador	Unidades	Cantidad de S ^o aplicado	
		750 kg ha ⁻¹ (S ₁)	1500 kg ha ⁻¹ (S ₂)
pH		7.7	7.5
C.E. ex	dS m ⁻¹	0.664	1.6
M.O.	%	4.9	4.8
HCO ₃ ⁻	mEq /100g	2.2	4.5
Cl ⁻	mEq /100g	1.35	3.2
SO ₄ ²⁻	mEq /100g	3.5	20.4
K ⁺	mEq /100g	0.94	1.4
Mg ⁺⁺	mEq /100g	5.1	35.1
Ca ⁺⁺	mEq /100g	2.9	23.2
Na ⁺	mEq /100g	1.1	1.4
CIC	cmol(+)/kg	10.1	61.2
PSI		10.9	2.2
RAS		0.82	0.36

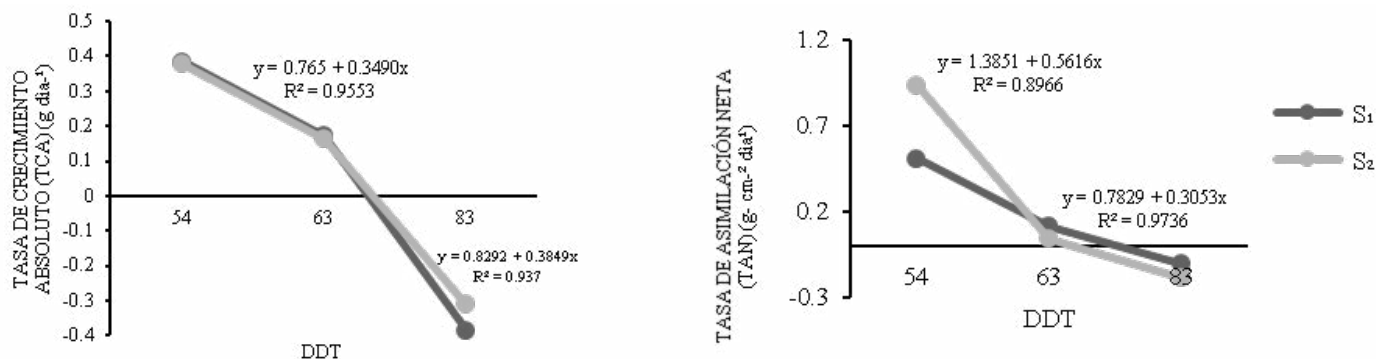


Figura 1. Tasa de crecimiento absoluto (g día⁻¹) y Tasa de asimilación neta (g cm⁻² día⁻¹) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 (S₁) y 1500 (S₂) kg ha⁻¹.

día⁻¹) en S₁ y S₂ respectivamente. Estos resultados coinciden con los reportados por Barraza et al. (2004) en *S. lycopersicum*, donde la TCC aumentó rápidamente hasta alcanzar un valor máximo, y posteriormente decreció en forma acelerada.

Componentes de rendimiento

En las plantas de tomate desarrolladas bajo los tratamientos S₁ y S₂ se registró diferencia significativa. El peso de fruto fue de 177 y 124 (g planta⁻¹), lo cual representa un peso total de fruto fresco acumulado de 6.3 y 5.1 kg planta⁻¹; respectivamente. El híbrido evaluado se caracteriza por producir frutos uniformes con peso individual de entre 160-170 g.

En referencia a sólidos solubles totales en fruto, en el tratamiento S₁ se registró 5.38 °Brix en 107 ddt, y disminuyeron a 4.88 a los 127 ddt. Lo anterior fue significativamente diferente respecto a los valores registrados en frutos del tratamiento S₂, cuyos valores fueron 5.13 y 5.94 a los 107 y 127 ddt, respectivamente (Figura 2). Aguayo y Artes (2001) mencionan que los rangos de sólidos solubles totales en tomate oscilan de 4.0 a 6.0,

por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación indican estar dentro de este rango. Por su parte, Casierra-Posada et al. (2007) encontraron incremento en el contenido de grados brix (superior a 6.0) en frutos de plantas cultivadas a campo abierto, ya que las condiciones de luminosidad y transpiración favorecen incremento constante de la concentración de sólidos solubles en los frutos (Herrmann, 2001), mientras que en invernadero, esta variable es altamente dependiente de la migración de fotosintatos a los frutos, y también de la toma de agua realizada por los frutos, la cual diluye o concentra los grados Brix.

Con base en la CE del agua de riego (1.6 dS m⁻¹), y considerando que el umbral de salinidad para el tomate es de 2.5 dS m⁻¹ y que la CE de la solución nutritiva aplicada a través del sistema de riego fue de 4.5 dS m⁻¹, se esperaría que los componentes de rendimiento y de fruto por planta fueran afectados negativamente. Bustomi et al. (2014) mencionan que el crecimiento y rendimiento de tomate empieza a disminuir cuando el rango de la CE de la solución nutritiva con la cual es cultivado excede a 2.5-4.0 dS m⁻¹.

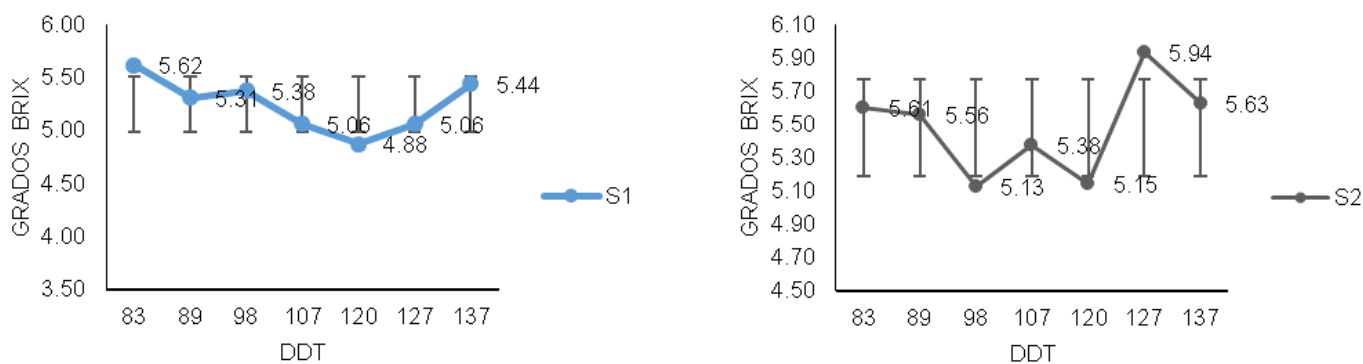


Figura 2. Variación de los Grados Brix de la planta *Solanum lycopersicum* a partir de los 83 DDT en respuesta a tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁) y 1500 kg ha⁻¹ (S₂).



Los valores del diámetro ecuatorial (DE) y diámetro polar (DP) de los frutos en los dos tratamientos de azufre elemental, fueron estadísticamente iguales. En S_1 los valores del DE fluctuaron entre 4.9 y 5.9 cm, mientras que en S_2 fueron de 4.7 y 4.96 cm al inicio de la cosecha (83 DD) y al final de la cosecha (137 ddt) respectivamente. Preciado *et al.* (2011), encontraron que en el tomate saladette cultivar 'Cid' producido con la solución Steiner al 100%, el diámetro ecuatorial llegó a ser de 5.09 a 5.9 cm.

Con respecto al DP, en el tratamiento S_1 , sus valores estuvieron dentro del rango 5.9 y 6.48 cm, ligeramente más altos, similares también a los encontrados en S_2 (de 5.4-5.9). Moreno *et al.* (2004) mencionan que el diámetro polar en fruto de tomate promedio oscila entre 5.9 y 6.1 cm. Otros autores como, De la Cruz *et al.* (2009) obtuvieron diámetro polar promedio de 5.9 cm en tomate saladette híbrido SUN 7705, desarrollado en invernadero. La tendencia del DP y DE durante el ciclo se aprecian en la Figura 3.

Este comportamiento indica que tanto DE como el DP del fruto se mantuvieron relativamente constantes du-

rante todo el ciclo. Se reporta que los primeros dos racimos tienen mayor ventaja y presentan valores más altos, ya que inicialmente, crecen sin competencia por lo que tienen la posibilidad de mantener su desarrollo adecuado y reflejado en ganancia de peso y tamaño (Fisher, 1977; Wolf y Rudish, 1988); sin embargo, Monselise *et al.* (1978), señalan que el crecimiento de los frutos de tomate tiende a seguir una curva sigmoideal simétrica. Mientras que Casierra *et al.* (2007) encontraron que el incremento del diámetro transversal de los frutos de tres cultivares (Sofía, Bravona y Granitio) describieron curvas sigmoideales simples. En frutos de tomate, se han utilizado también otras funciones para modelar el crecimiento, y entre estas, se destacan la función de Gompertz (Grange y Andrews, 1993), la de Richards (Heuvelink, 1999; Marcelis *et al.*, 2006) y la cúbica (Casierra y Cardozo, 2009; Casierra *et al.*, 2007).

Producción de materia seca, concentración y acumulación de N y K

La producción de MST y el rendimiento de fruto de tomate se incrementó de 23 a 34% mediante la aplicación de azufre en el suelo. La producción de MST que pre-

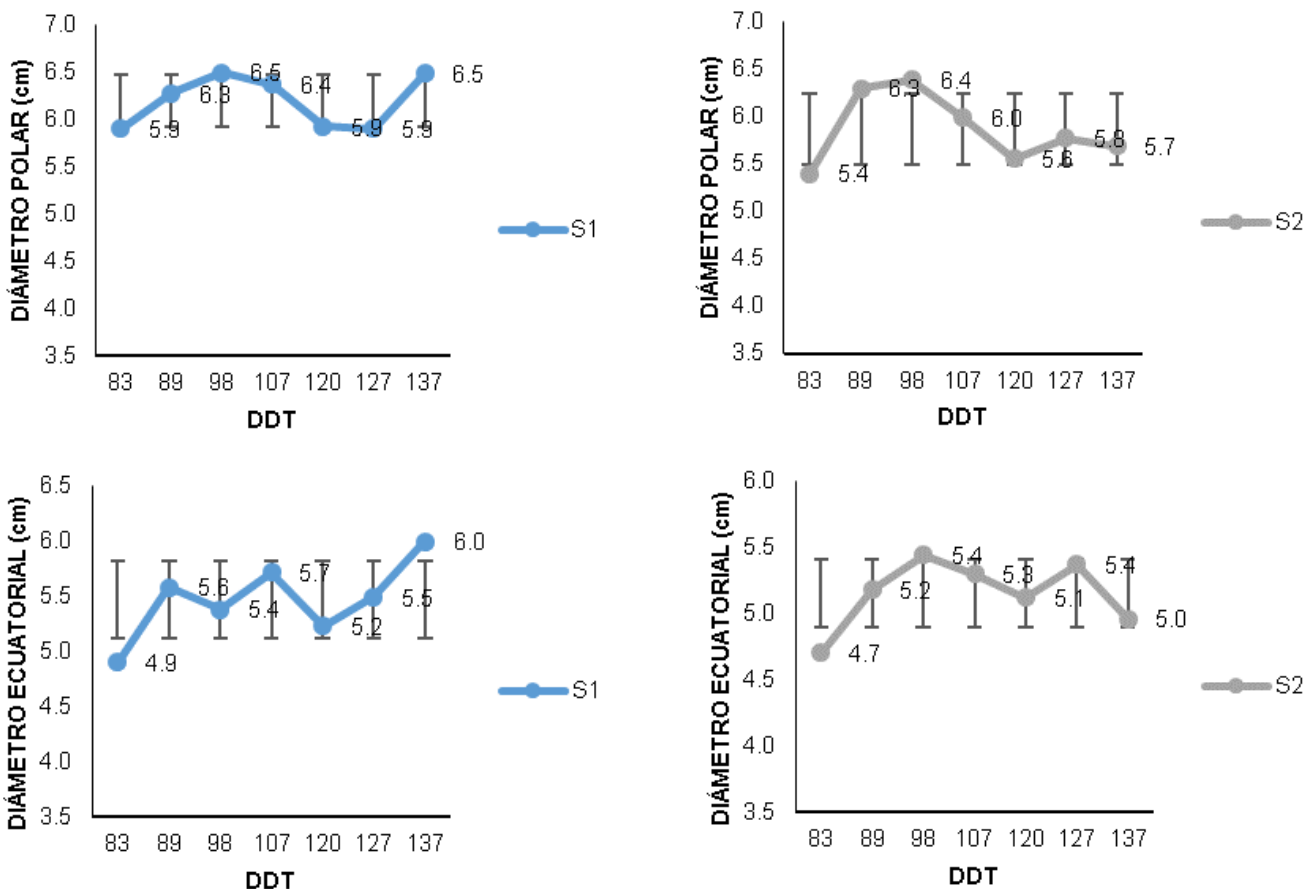


Figura 3. Variación del Diámetro Ecuatorial y Polar del fruto de *Solanum lycopersicum* durante la cosecha del cultivo, en respuesta a los dos tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S_1), 1500 kg ha⁻¹ (S_2)

sentaron las plantas desarrolladas con la dosis de 750 kg ha⁻¹ de S₁ superó en 42.2% a aquella obtenida en plantas desarrolladas bajo el tratamiento S₂ (Cuadro 2). En las plantas del tratamiento S₁ se incrementó la MST desde 63 ddt, hasta 107 ddt, posteriormente disminuyó hasta los 137 ddt, registrando su mayor tasa diaria de producción entre 63 y 83 ddt (196.7 g pt⁻¹ d⁻¹). En este mismo periodo, la concentración de N y K en la MST disminuyeron de 6.35 a 3.48% y de 5.0 a 3.85% respectivamente. Ambos nutrientes mostraron una disminución en la MS al avanzar la edad. Esta disminución en la concentración de N y K en la MST, no se presentó en las plantas del tratamiento S₂, la cual consistentemente se incrementó desde los 63 hasta los 137 ddt; registrando la mayor tasa de producción de MS entre 83 y 89 ddt (110.9 g pt⁻¹ d⁻¹), no observándose un efecto de dilución en la concentración de N en la MST durante este periodo.

El comportamiento diferencial en los valores de producción de MST y concentración de N y K en S₂ con respecto a S₁, puede asociarse a que el proceso de oxidación fuera más lento cuando las plantas recibieron mayor dosis de S (1500 kg ha⁻¹) (García y Castillo, 1993), originando que el tratamiento S₂ causara un retraso de 20 ddt en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, afectando negativamente las características morfológicas, fisiológicas y de componentes del rendimiento. Lo anterior significa que, con limitación de S en el suelo, las plantas limitan la absorción de nitrógeno y otros nutri-

mentos, y con ello, su desarrollo potencial. Los suelos con alta disponibilidad de S, conduce a mayor cantidad de absorción a sus necesidades (N, K y S), caracterizándose como un consumo superfluo (Álvarez et al., 2011). Una relación N/S de 2.36 en la parte vegetativa es la que presenta equilibrio entre estos nutrimentos para el rendimiento del tomate. Bajo el tratamiento S₂ se obtuvo menor biomasa seca, no obstante, se registró mayor concentración de N y K. Lo contrario ocurrió con S₁ donde se observó mayor biomasa y menor concentración nutricional para N y K.

La MS producida en plantas desarrolladas en el tratamiento S₁ se ajustó a una ecuación cuadrática (R²=0.85) y aquella MS producida en S₂ ajustada a una ecuación lineal (R²=0.99, Figura 4). La MS obtenida en plantas del tratamiento S₁ a los 98 ddt, la MST fue de 319 g pt⁻¹. Resultados similares consignaron Gandica y Peña (2015) quienes evaluaron dos cultivares de tomate, con hábito de crecimiento determinado bajo ambiente protegido, determinando que la acumulación de MS y absorción de los macronutrientes se ajustaron a un modelo polinómico de tercer grado, generando una curva sigmoide con la biomasa seca por planta a 98 ddt de 343.8 g y 219.10 g.

Bajo el tratamiento S₂ se obtuvo menor biomasa seca, no obstante, a mayor concentración de N y K. Lo contrario ocurrió con S₁ donde se obtuvo mayor biomasa y

Cuadro 2. Materia seca total (kg ha⁻¹), contenido (%) y acumulación de N y K (kg ha⁻¹) durante el ciclo de tomate (*Solanum lycopersicum*), en respuesta a azufre elemental (S⁰).

ddt	63	83	89	98	107	120	127	137
Materia Seca Total (kg ha ⁻¹)								
S ₁	3870.3	7805.5	7966.5	8136.5	8220.5	8190.1	8099.5	7879.9
S ₂	1777.4	2073.3	2739.2	3059	3372	3812.1	4043.2	4366.3
Nitrógeno (%)								
S ₁	6.35	3.48	3.84	3.82	3.82	3.82	3.80	3.71
S ₂	7.39	7.22	7.14	7.15	7.14	7.15	7.15	7.15
Nitrógeno Acumulado (kg ha ⁻¹)								
S ₁	245.7	271.7	305.7	311	314.2	313.1	308	292.5
S ₂	131.3	149.6	195.7	218.6	240.9	272.4	288.9	312
Potasio (%)								
S ₁	5.00	3.85	4.55	4.55	4.55	4.55	4.59	4.56
S ₂	7.09	6.48	6.95	7.02	6.95	6.95	6.95	6.95
Potasio Acumulado (kg ha ⁻¹)								
S ₁	193.4	300.7	362.4	370.1	373.9	372.6	371.7	359.7
S ₂	126	134.3	190.5	214.8	234.5	265.1	281.2	303.6

ddt: días después de trasplante.

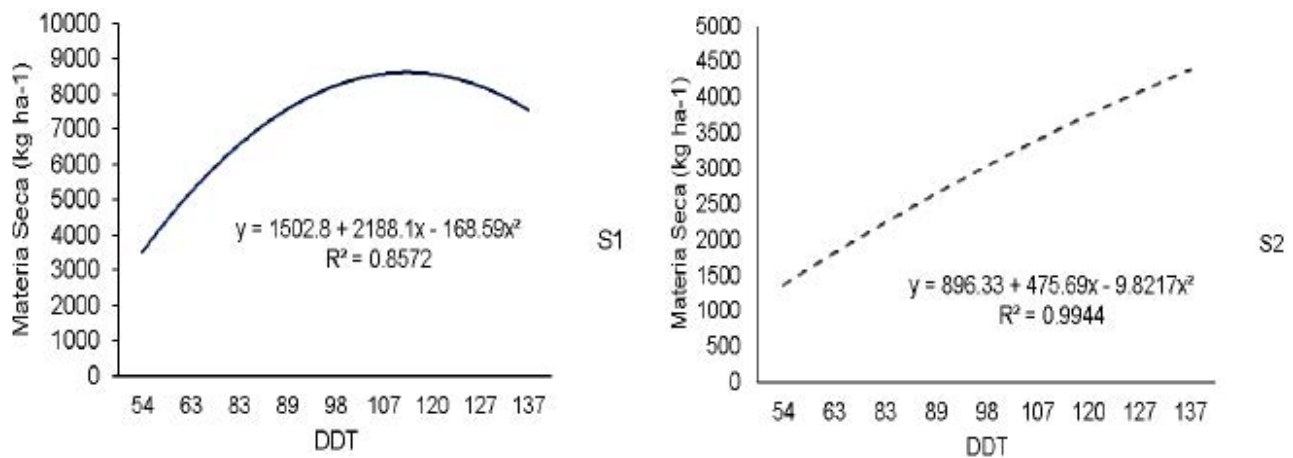


Figura 4. Dinámica de producción de MS total durante el ciclo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en respuesta a azufre elemental (S⁰).

menor concentración nutrimental para N y K. A partir de las concentraciones (%) de N y K determinados en la MST de las estructuras de la planta, se multiplicó por el valor de MST (kg), para obtener el total de N y K acumulado por planta (kg), en cada una de las cosechas realizadas (Cuadro 3). En este estudio en plantas desarrolladas en el tratamiento S₁, el N acumulado mostró un incremento desde los 63 ddt hasta los 107 ddt (245.7 y 314.2 kg ha⁻¹ respectivamente), para enseguida disminuir ligeramente a 292.5 kg ha⁻¹ a los 137 ddt. Lo contrario ocurrió con la S₂, donde la acumulación de N se incrementó a lo largo de las cosechas. La cantidad de N a los 63 ddt fue de 131.3 kg ha⁻¹, hasta alcanzar un total de 312 kg N acumulado en 137 ddt (Cuadro 3). Este comportamiento de N acumulado en ambos tratamientos de S, fue observado para K durante todo el ciclo del cultivo, únicamente que en S₁ y S₂, el total de K acumulado fue de 373.9 (107 ddt) y 303.7 (137 ddt) respectivamente. Valores de K ligeramente más altos con respecto al N total acumulado, dado que las aplicaciones de K fueron más altas que las de N y se mantuvieron hasta la última cosecha, puede atribuirse a la eliminación de las hojas inferiores por senescencia (<MST), así como a cierto desplazamiento del N-NO₃ fuera del sistema radical originadas por el riego al existir menor demanda de este nutrimento durante la cosecha. La cantidad más alta de N y K total acumulado en plantas bajo el tratamiento S1 representaron el 81.8% y 78.6% del total aplicado al final del ciclo respectivamente. Los valores fueron muy similares en N (81.2%) y menor para K (63.8%) en el tratamiento S₂ con respecto al tratamiento S₁. Las cantidades de N y K acumulado en la MST de plantas desarrolladas en S₁ y S₂ durante todo

el ciclo del cultivo fueron opuestos entre ellos (Figura 5).

Un estudio realizado por Jamal et al. (2010) relacionado con la interacción S y N, reportó que la relación N/S está directamente relacionada con los cambios de respuestas fisiológicas y biológicas de las plantas, y pueden ayudar a sugerir recomendaciones de fertilización balanceada de estos nutrimentos para ciertos sistemas de producción. La cantidad total de N acumulado en este experimento (S₁) fue ligeramente más bajos al reportado por Cuadrado-García et al. (2014), quienes encontraron un total de nitrógeno acumulado en la planta de tomate de 379.6 kg ha⁻¹ y reportaron, además, que el N es necesario para las plantas, pero debido a la ineficacia de éstas para absorberlo, tan solo un bajo porcentaje es

Cuadro 3. Variación de los rendimientos medios de fruto fresco comercial (kg planta⁻¹) de *Solanum lycopersicum*, de acuerdo al tratamiento con S.

ddt	63	83	89	98	107	120	127	137	Total
Rendimiento de fruto fresco (kg planta ⁻¹)									
S ₁	0.359	0.559	0.863	1.416	1.234	0.968	0.883	1.027	6.3
S ₂	0.309	0.49	0.822	0.995	0.901	0.734	0.874	0.852	5.1
Rendimiento de fruto fresco acumulado (t ha ⁻¹)									
S ₁	9.154	14.254	22.006	36.108	31.467	24.684	22.516	26.188	163.2
S ₂	7.8795	12.495	20.961	25.3725	22.975	18.717	22.287	21.726	132.6

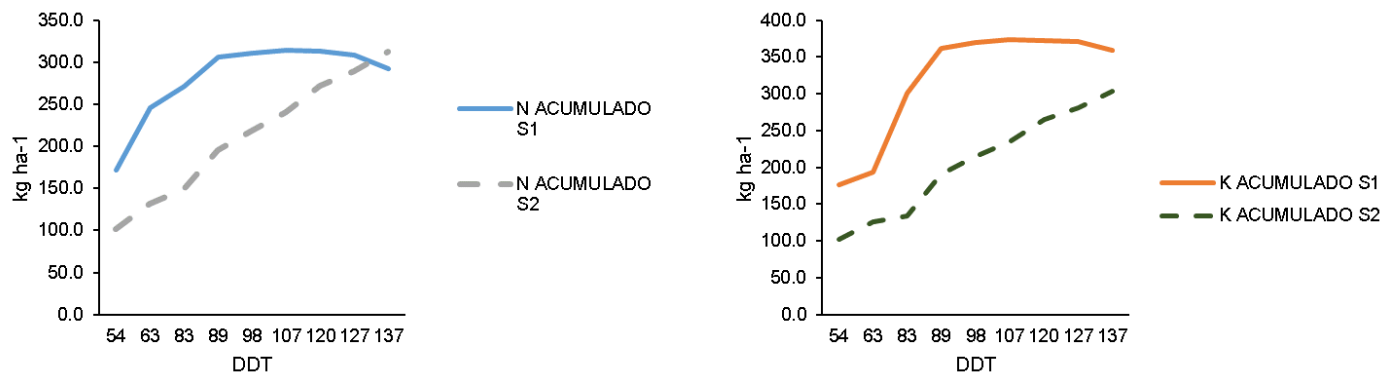


Figura 5. N y K acumulado (kg) durante el ciclo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en respuesta a los tratamientos de azufre: 750 kg ha⁻¹ (S₁) y 1500 kg ha⁻¹ (S₂).

asimilado, y el resto se libera al ambiente (Cuadrado-García et al., 2014).

Rendimiento total de fruto fresco comercial y acumulado

Considerando el peso de fruto por planta y una densidad de población real cosechada de 25,500 plantas ha⁻¹, la producción en fruto fresco total acumulado bajo el tratamiento de 750 kg ha⁻¹ de azufre (S₁), ascendió a 162.9 t ha⁻¹, rendimiento en fruto fresco superior en 19% (30.6 t), al tratamiento de 1500 kg ha⁻¹ (S₂), donde se produjo un rendimiento de 132.0 t ha⁻¹ de tomate al final del ciclo, producto de seis cosechas (Cuadro 3). Asimismo, la aplicación eficiente de agua hace referencia a su aplicación con las mínimas pérdidas posibles por percolación o por escurrimiento superficial; por lo tanto, la cantidad de agua que se aplicó en cada riego fue suficiente para cubrir el consumo por la planta de tomate en el período entre dos riegos, y, además, cubrió las pérdidas dentro del invernadero. El Índice de Productividad (IP) en el tratamiento S₁ fue 43.1 kg de fruto m³, mientras que en S₂ disminuyó significativamente a 34.9 kg m³. Sin embargo, estas diferencias no pueden asociarse a diferencias por salinidad causadas por Na presentes en la solución del suelo al inicio del experimento, y a los contenidos de éste en el agua de riego, sino que todo indica que la aplicación de S⁰ al suelo creó condiciones favorables nutrimentalmente para un mejor aprovechamiento del nitrógeno (Jamal et al., 2010).

Para producir una tonelada de tomate fresco comercial, en el tratamiento S₁, se requirieron 1.9 y 2.2 kg de N y K, respectivamente. Mientras que en S₂, fue de 2.3 y 2.2 kg de N y K por tonelada de fruto, respectivamente. El mayor rendimiento total de fruto de tomate por superficie (16.32 kg m²) registrado mediante la aplicación del

tratamiento de 750 kg ha⁻¹ de azufre elemental (S₁), fue similar al que reporta Valenzuela et al. (2014), con aplicaciones de la solución Steiner en concentración nutrimental del 50 a 100% (16.07 kg m⁻²) con el tomate híbrido Imperial injertado tipo bola, de crecimiento indeterminado, producido en invernadero. La alta salinidad en las soluciones nutritivas aplicadas (CE 4.5 dS m⁻¹) y altas aplicaciones de potasio, generalmente producen una deficiencia de calcio en los frutos debido a que ésta reduce la absorción de calcio y su distribución en la parte distal del fruto (Guichard et al., 2001; Taylor y Locassio, 2004). En el estudio, los frutos de tomate cosechados no mostraron esta fisiopatía. También la adición de N (Hu y Schimdhalter, 2005) y K (Satti-Sme et al., 1994) en tomates mejoró el crecimiento y rendimiento. Además, el contenido de potasio en el tomate suele asociarse a la calidad de sus frutos en términos de peso por fruto y cualitativos (Bugarín-Montoya et al., 2002). La aplicación de gallinaza no registró estadísticamente algún efecto significativo durante el experimento.

CONCLUSIONES

Los índices fisiológicos TAN (a los 53, 63 y 83 ddt) y TCC (sólo a los 63 ddt) fueron afectados significativamente por la aplicación de azufre (750 kg ha⁻¹). La mayor tasa de producción de materia seca (TMS) de tomate, en plantas bajo el tratamiento S₁, ocurrió entre los 63 y 83 ddt (196.7 g pt⁻¹ d⁻¹). Asimismo, se obtuvo la más alta producción de MST (kg ha⁻¹) durante todo el ciclo de crecimiento, superando en 42.2% a la obtenida bajo el tratamiento S₂. En este último, la TMS se determinó entre los 83 y 89 ddt (110.9 g planta⁻¹) y fue menor significativamente. La mayor producción en fruto fresco total comercial acumulado, obtenido bajo el tratamiento de 750 kg ha⁻¹ de azufre (S₁) fue de 162.9 t ha⁻¹, superando en 19% (30.6 t) al tratamiento de 1500



kg ha⁻¹ (S₂). El IP en el tratamiento S₁ fue de 43.1 kg de fruto m³, mientras que en S₂ disminuyó significativamente a 34.9 kg m³.

LITERATURA CITADA

- Aguayo, E., Escalona, V.H., Artés, F. 2001. Procesado en fresco y conservación en atmósfera modificada de 16 variedades de tomate. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 160: 127-132.
- Álvarez-Sánchez, M. E.; Cristóbal-Acevedo, D.; Álvarez-Sánchez, M. E.; Hernández-Acosta, E.; Améndola-Massiotti, R. Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional *Terra Latinoamericana*, vol. 29, núm. 3, julio-septiembre, 2011, pp. 325-332 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- D.W. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p
- Bar Yosef, B. 1999. *Advances in fertigation*. *Advances in Agroomy* 65: 1-77
- Barraza, F.V. 2004. Crecimiento del Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 142 p.
- Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA,1973). Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S. Soil Salinity Laboratory).
- Bugarín Montoya, R.; Galvis Spinola, A.; Sánchez García, P.; García Paredes, D. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra Latinoamericana*, vol. 20, núm. 4, octubre-diciembre, 2002, pp. 391-399
- Bustomi Rosadi RA, Senge MSTR, Suhandy D, Tusi A. 2014. The effect of EC levels of nutrient solution on the growth, yield, and quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under the hydroponic system. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology* 2(1):7-12.
- Casierra-Posada, F., D.I. Hernández, P. Lüdders y G. Ebert. 2003. Crecimiento de frutos y ramas de manzano Anna (*Malus domestica* Borkh.) cultivado en los altiplanos colombianos. *Agron. Colomb.* 21(1-2), 69-74.
- Casierra-Posada, F.; V.E. Barreto y O.L. Fonseca. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. Conservero) en los altiplanos colombianos. *Agron. Colomb.* 22(1), 40-45.
- Casierra-Posada, F., Cardozo, M.C. y Cárdenas-Hernández, J.F 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agron. Colomb.* 25(2), 299-305
- Casierra-Posada, F.; Cardozo-Constanza, M. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín* 62(1): 4815-4822. 2009
- Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu JK. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci*, 45: 437-448
- Cox, L., and Koenig, R. 2010. Solutions to Soil Problems ii. High pH (Alkaline Soil).
- Cuadrado-García, L., López-Roa, E., Bojacá-Aldana, C., Almanza-Merchan, P., 2014. Influencia del nitrógeno en la producción del tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) sembrado en sustrato en Sutamarchá (Bocayá). *Ciencia y Agricultura* Vol. 11 - Nº. 1 - enero - junio 2014, p.85-90 ISSN 0122-8420.
- De La Cruz, L. E.; Estrada, B. M. A.; Robledo, T. V.; Osorio, O. R.; Márquez, H. C. y Sánchez, H. R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*. 25:59-67.
- Escalante-Estrada, J. A. S. y Kohashi-Shibata, J. 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Un manual para toma de datos. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Fisher K., J. 1977. Competition effect in fruit trusses of tomato. *Science Horticulturae* 7: 37-42.
- Gandica-Omaña, H., Peña, H. 2015. Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido.
- García, A. y Castillo, L.E. 1993. Oxidación del azufre en suelos alcalinos del Valle del Cauca. En: *Fertilidad de Suelos: Diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, pp: 473-505.
- Garrido, F. 1994. Comentarios sobre la acidez de los suelos forestales En: *Bosques y Futuro*. II (Enero/Abril). P. 18-19
- Grange, R.I., Andrews-Growth, J. 1993. A rates of glasshouse tomato fruit in relation to final size. *Hortic. Sci.*, 68.pp. 747-754
- Guichard, S., Bertin, N., Leonardi, C., Gary, C., 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie*. 21: 385-392.
- Hermann, K. 2001. *Inhaltsstoffe von obst und gemüse*. Verlag Ulmer, Stuttgart. 200 p.
- Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Ann. Bot.* 83:413-422
- Jamal A, Moon YS, Abdin MZ 2010. Enzyme activity assessment of peanut (*Arachis hypogea*) under slow-release sulphur fertilization. *Aust J Crop Sci* 4(3):169-174
- Marcelis, L. F. M.; Elings, A.; Dieleman, J. A.; De Visser, P. H. B.; Bakker, M. J. and Heuvelink, M. J. 2006. Modeling dry matter production and partitioning in sweet pepper. *Acta Hort.* 718:121-128.
- Monselise, S.P. 1979. The use of growth regulators in citriculture; a review Author links open overlay panel. *Scientia Horticulturae* Volume 11, Issue 2, September 1979, Pages 151-162.
- Moreno R., A., Gómez F., P. L., Cano R., P., Martínez, C.V., Carrillo, J. L. y Márquez, C. H. 2004 Comportamiento de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en mezclas de vermicomposta y arena bajo condiciones de invernadero. In: *Memorias de la XV Semana. Internacional de Agronomía FAZ-UJED en Gómez Palacio Durango*. Septiembre 2004.
- Pavón-Chocano A.B. 2003. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Anejo III: Análisis de suelo. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España. https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejosIII.pdf
- Preciado, R. P.; Fortis, H. M.; García, H. J. L.; Rueda, P. E.; Esparza, R. J. R.; Lara, H. A.; Segura, C. M. A. y Orozco, V. J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*. 36(9):689-693.
- Rodríguez, J., Pinochet, D. y Matus, F. 2001. La Fertilización de los cultivos. Ediciones LOM. Santiago, Chile. 117 p.
- Santiago, J.; Mendoza M.; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 9(1): 59-65. 1998

- SAS, Statal Analysis System (1989) User's Guide: Basic. Versión JMP 3.2.5. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Satti-Sme; Ibrahim-Aa; Al-Kindi-Sm. 1994. Enhancement of salinity tolerance in tomato: implications of potassium and calcium in flowering and yield. *Communications-in-Soil-Science-and-Plant-Analysis*. 25 (15-16): 2825-2840.
- Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Segunda edición. DOF martes 31 de diciembre. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2000. *Physiologie der pflanzen*. pp. 445- 485. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 773 p.
- Taylor-Mattew, D.; Locassio-Salvadore J. 2004. Blossom-end rot: A calcium deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 27 (1): 123-139.
- Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., Díaz -Valdés T., Velázquez-Alcaraz, T., Bojórquez-Bojórquez, G., Enciso-Osuna, T. 2014 Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol. 5 Núm. 5 p. 807-818.
- Werner, R. y D. Leihner. 2005. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 4-20. Villalobos R.E. (ed.). Volumen siete. Editorial Universidad de Costa Rica, Turrialba. 41 p.
- Wolf, S. y J. Rudich. 1988. The growth rates of fruits on different parts of tomato plants and the effect of water stress on dry weight acumulation. *ScienceHorticulturae* 34: 1-11.

