

Nutritional quality of the  
**white worm**  
(*Agathymus remingtoni* Stallings & Turner Lepidoptera: HesperIIDae)  
of maguey lechuguilla

(*Agave lechuguilla* Torrey)

pág. 69

Año 13 • Volumen 13 • Número 8 • agosto, 2020

Evaluation of growth parameters in "cabezona" pineapple ( <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.) in response to NPK fertilization	3
Effect of the breed of the meat bull on the sperm quality of thawed semen	11
Meat quality in lambs supplemented with three concentrations of zinc in an energy diet	13
Early weaning and productive response after weaning of calves fed starter in the tropics	19
Effect of stocking density on behaviour and productive performance in growing lambs	25
Specialization and competitiveness in the Mexican agricultural sector: strawberry case	31

y más artículos de interés...

3	Evaluation of growth parameters in "cabezona" pineapple ( <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.) in response to NPK fertilization / Evaluación de parámetros de crecimiento en piña "cabezona" ( <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.) en respuesta a la fertilización NPK
11	Effect of the breed of the meat bull on the sperm quality of thawed semen / Efecto de la raza del toro de carne sobre la calidad espermática de semen descongelado
13	Meat quality in lambs supplemented with three concentrations of zinc in an energy diet / Calidad de la carne en corderos suplementados con tres concentraciones de zinc en una dieta energética
19	Early weaning and productive response after weaning of calves fed starter in the tropics / Destete precoz y respuesta productiva pos destete de becerros alimentados con iniciador en el trópico
25	Effect of stocking density on behaviour and productive performance in growing lambs / Efecto de la densidad de población sobre la conducta e indicadores productivos en corderos
31	Specialization and competitiveness in the Mexican agricultural sector: strawberry case / Especialización y competitividad en el sector agrícola mexicano: caso fresa
39	Supply chain of backyard agricultural products / Cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio
47	Modelling the current and future potential distribution of <i>Maconellicoccus hirsutus</i> (Green, 1908) a pest of importance for Mexico / Modelado de distribución potencial actual y futura de <i>Maconellicoccus hirsutus</i> (Green, 1908) una plaga de importancia para México
53	Nutritional removal of cacao fruit ( <i>Theobroma cacao</i> L.) in Mexico / Remoción nutrimental del fruto de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) en México
61	Multitemporal distribution analysis of <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. by remote sensing in Durango, Mexico
69	Nutritional quality of the white worm ( <i>Agathymus remingtoni</i> Stallings & Turner Lepidoptera: Hesperidae) of maguey lechuguilla ( <i>Agave lechuguilla</i> Torrey)
73	Physiological quality of stored soybeans ( <i>Glycine max</i> L.)
79	Identification of black bean ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) genotypes resistant to anthracnose and rust for Veracruz and Chiapas, Mexico
85	Liquid micronized CaCO <sub>3</sub> : an alternative to correct the pH of an acidic soil and improve pineapple development / CaCO <sub>3</sub> micronizado líquido: una alternativa para corregir el pH de un suelo ácido y mejorar el desarrollo de piña
91	Temporary analysis of land use changes in Pine and mixed forests in Mexico / Análisis temporal de cambios en el uso del suelo de bosques de pino y mixtos en México

## 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<sup>†</sup> — *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.



Año 13, Volumen 13, Número 8, agosto 2020, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Tezcoco Km. 36.5, Montecillo, Tezcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. [www.colpos.mx](http://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 agosto 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, Tezcoco, Estado de México.  
✉ [agroproductividadeditor@gmail.com](mailto:agroproductividadeditor@gmail.com)

### Contacto de soporte

8 Soporte  
☎ 01(595) 928 4703  
✉ [agroproductividadesoporte@gmail.com](mailto: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.

# Evaluation of growth parameters in "cabezona" pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) in response to NPK fertilization

## Evaluación de parámetros de crecimiento en piña "cabezona" (*Ananas comosus* (L.) Merr.) en respuesta a la fertilización NPK

Pérez-Romero, Juventino<sup>1</sup>, Salgado-García, Sergio<sup>1</sup>, Córdova-Sánchez Samuel<sup>2</sup>, Lagunes-Espinoza, Luz del Carmen<sup>1</sup>, Ortiz-García, Carlos Fredy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Producción Agroalimentaria Tropical. Km. 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. <sup>2</sup>Universidad Popular de la Chontalpa - División de Académica de Ciencias Básicas e Ingeniería. Cuerpo Académico de Química Verde y Desarrollo Sostenible (CA-QVyDS). Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500.

\*Autor para correspondencia: salgados@colpos.mx

### ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the effect of NPK fertilization on the accumulation of dry biomass, NDVI, LAI and yield of the Cabezona pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.).

**Design/Methodology/Approach:** the experimental design was a randomized complete block with four replications, 14 treatments and one control. The treatments were generated with the Plan Puebla I matrix; N doses were, 120, 160, 200 and 240 kg ha<sup>-1</sup>, of P were 70, 110, 150 and 190 kg ha<sup>-1</sup>, and for K 150, 200, 250 and 300 kg ha<sup>-1</sup>. The N and P doses were divided into four applications, at two, five, eight, and thirteen months. P was applied in a single exhibition at the beginning of the culture cycle.

**Results:** at the end of the cultivation cycle, all the treatments accumulated a greater quantity of biomass than the control, but no statistical difference was found between fertilization treatments. The NDVI showed no trend during the crop cycle and it was not correlated with biomass, LAI or yield. In Leaf area index (LAI) did not show statistical difference between treatments and control. In yield, a highly significant difference was observed between treatments, being treatments 5 (200-110-250) and 8 (200-150-250) where yields greater than 55 t ha<sup>-1</sup> were obtained.

**Study limitations/implications.** Cabezona pineapple susceptibility to mealybug attack may affect yield observations.

**Findings/Conclusions:** The Cabezona Pineapple accumulated on average 0.80±0.13 g of dry biomass per day, under environmental conditions of the Huimanguillo, Tabasco, savanna. Not relationship was found between NDVI and biomass accumulation in this crop. LAI increases dramatically after flower induction treatment. Fertilization dose recommended 200-110-250, since produced a yield of 55.5 t ha<sup>-1</sup> of fresh fruit, and it is cheaper than others dose tested.

**Keywords:** dry matter accumulation, LAI, NDVI, Yield.

## RESUMEN

**Objetivo:** evaluar el efecto de la fertilización con NPK sobre la acumulación de biomasa, NDVI, IAF y rendimiento en piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) "Cabezona".

**Diseño/Metodología/Aproximación:** el diseño experimental fue en Bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 14 tratamientos y un testigo. Los tratamientos se generaron con la matriz Plan Puebla I, usando niveles de N de 120, 160, 200 y 240 kg ha<sup>-1</sup>, de P: 70, 110, 150 y 190 kg ha<sup>-1</sup>, y de K: 150, 200, 250 y 300 kg ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos fueron fraccionados en cuatro aplicaciones, a los dos, cinco, ocho y trece meses, el P se aplicó en una sola exhibición al inicio del cultivo.

**Resultados:** al finalizar el ciclo de cultivo todos los tratamientos acumularon mayor biomasa que el testigo, pero no se registró diferencia estadística entre tratamientos de fertilización. El NDVI no mostró relación con la biomasa, IAF, o rendimiento durante el ciclo del cultivo. El índice de área foliar (IAF) no mostró diferencia estadística entre tratamientos y testigo. En rendimiento, los tratamientos cinco y ocho ( $\geq 5.5$  t ha<sup>-1</sup>) mostraron diferencia altamente significativa.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** la susceptibilidad de la piña cabezona al ataque de piojos harinosos puede afectar las observaciones de rendimiento.

**Hallazgos/conclusiones:** la piña cabezona acumula en promedio  $0.80 \pm 0.13$  g día<sup>-1</sup> de biomasa seca, bajo las condiciones ambientales de sabana. No mostró relación entre NDVI y acumulación de biomasa. El IAF aumentó drásticamente después del tratamiento de inducción floral. Se sugiere la dosis de fertilización N 200-P 110-K 250.

**Palabras clave:** acumulación de materia seca, IAF, NDVI, rendimiento.

bezona en las condiciones de la sabana de Huimanguillo se evaluó el efecto de la fertilización NPK en la acumulación de materia seca, IAF, NDVI y el rendimiento en piña.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento fue ubicado en el Ejido Pedregal Moctezuma Primera Sección de Huimanguillo, Tabasco (17° 40" N y 93° 38" O) bajo condiciones de temporal. Se estableció en un suelo Acrisol Úmbrico Cutánico (Hiperdístico, Húmico), con pH fuertemente ácido (4.4), sin problema de salinidad ( $3.9 \times 10^{-4}$  dS m<sup>-1</sup>), muy rico en materia orgánica (9.2%), contenidos altos en nitrógeno total (0.31%), medios en fósforo (5.56 mg kg<sup>-1</sup> Olsen) y potasio (0.41 Cmol kg<sup>-1</sup>), muy bajos en calcio (0.71) y magnesio (0.38 cmol kg<sup>-1</sup>), así como una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) (NOM-021-RECNAT-2000; Salgado *et al.*, 2017b). La precipitación durante la fase experimental (jul-2018 a nov-2019) osciló entre 19.2 y 394 mm y la temperatura promedio entre 23.5 y 31.3 °C mensuales. La preparación del suelo consistió en un pase de barbecho de arado de disco y dos pases de rastra cruzada. La siembra (12-jul-2018) se realizó de forma manual en hilera sencilla, con las medidas recomendadas para alcanzar 26,500 plantas ha<sup>-1</sup>. La variedad utilizada fue Cabezona.

### Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completo al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental fue constituida por cinco hileras de 10 m de largo, a una distancia de 0.375 m entre plantas y 1.0 m entre hileras. Entre parcelas experimentales 1.5 m y entre repetición 2.0 m. Este tamaño de parcela y número

## INTRODUCCION

El cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) en México surge a inicios del siglo XX con un enfoque comercial (Uriza *et al.*, 2018). Cerca del 90% de la producción nacional se encuentra distribuida en Veracruz y Oaxaca; sin embargo, en Tabasco se cultivan 1,694 ha, que aportan el 7% de la producción nacional. Los cultivares son Cayena lisa, MD2 y "Cabezona" (SIAP, 2019). La piña cabezona es producida y consumida a nivel estatal (Salgado *et al.*, 2010), registra bajos rendimientos, y la fertilización realizada es de acuerdo con la usada para otros cultivares. Debido a la falta de estudios sobre su comportamiento agronómico, la mayoría de las investigaciones están dirigidas hacia el cv. Cayena lisa o MD2. En la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México, donde se cultiva la piña, los suelos son ácidos, de baja fertilidad, con alta fijación de fósforo, deficiencias de boro, calcio, magnesio, potasio y Zinc, además de presentar un porcentaje alto de saturación de aluminio (Zavala *et al.*, 2014; Salgado *et al.*, 2017a). Ocho dosis de fertilización para piña criolla, Cayena y MD2 se han generado para las regiones que comprenden Estación Chontalpa, Francisco Rueda y Nueva Esperanza en la sabana de Huimanguillo, donde los factores limitantes de esos suelos fueron la acidez, el exceso de humedad y deficiencia de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn Y Mn (Salgado *et al.*, 2017b). Para continuar el estudio sobre comportamiento agronómico de la piña Ca-

de repeticiones son los óptimos para evaluar niveles de NPK según Leonardo *et al.* (2014). Los tratamientos de fertilización fueron generados por la Matriz Plan Puebla I para tres factores controlables (Turrent, 1985) usando niveles de N (Urea 46%): 120, 160, 200 y 240 kg ha<sup>-1</sup>, P (DAP 18-46-0%): 70, 110, 150 y 190 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y K (KCl 60%): 150, 200, 250 y 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Se adicionó un testigo sin fertilizante. Las dosis de N y K se fraccionaron en cuatro aplicaciones a los dos, cinco, ocho y trece meses de crecimiento del cultivo, el total del fósforo se aplicó a los dos meses ya que el fraccionamiento de este nutriente no tiene efecto en la nutrición y rendimiento del cultivo de piña (Teixeira *et al.*, 2002; Spironello *et al.*, 2004).

### Manejo agronómico

El control de malezas consistió en la aplicación del herbicida Ametrex<sup>®</sup> 80 WG (1.3 g L<sup>-1</sup> de agua) en combinación con Galat<sup>TM</sup><sup>®</sup> (1.2 mL L<sup>-1</sup> de agua) como post-emergente dirigido a la maleza, a los 2, 5 y 8 meses de crecimiento del cultivo. La fertilización se realizó de forma manual y superficial, aproximadamente a 5 cm del tallo de las plantas, tomando como referencia los contenidos de humedad del suelo. La inducción floral (TIF) se realizó a los 354 días de desarrollo del cultivo. La cosecha de fruto se realizó a los 18 meses después de haber establecido el experimento.

### Variables de estudio

La medición de las variables inició a los 143 d de establecido el cultivo y posteriormente se tomaron a los 211, 274, 361, 422 y 484 d. En los tratamientos de fertilización 5, 8, 10, 12, 14 y 15 se midió acumulación de biomasa, NDVI y IAF. El rendimiento se determinó al final del ciclo en todos los tratamientos de fertilización. Acumulación de Biomasa (MS). El procedimiento consistió en tomar tres plantas de cada parcela, que se pesaron, picaron y después de homogeneizar se tomó una muestra de 300 g para secar a 60 °C en una estufa con flujo de aire caliente (hasta que su peso fuera constante). A partir de los resultados de porcentaje de humedad por muestra se determinó el contenido de materia seca de las plantas de cada tratamiento.

$$\text{Materia seca} = \frac{(100 - \% \text{humedad})(\text{peso de planta en g})}{100 \text{ g}}$$

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Las mediciones de NDVI se realizaron por triplicado con

un sensor de cultivo "Greenseeker" de la marca Trimble<sup>®</sup>, la lectura se realizó a 0.6 m de altura del dosel de la planta. Índice de área foliar (IAF). Las lecturas del índice de área foliar se realizaron con el medidor LAI 2200C de la marca LI-COR<sup>®</sup>, realizando una lectura fuera del cultivo y tres en el entresurco. Para el rendimiento, se cortaron 56 piñas (frutos) de las hileras centrales de cada tratamiento para determinar el peso promedio por fruto, que fue utilizado para calcular el rendimiento por hectárea con la siguiente fórmula.

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\text{Peso promedio en kg})(26,500)}{1,000} = t \text{ ha}^{-1}$$

Para todas las variables se realizó un ANOVA del diseño de bloques completo al azar, comprobación de supuestos y pruebas de media Tukey a una significancia de 0.05 con el paquete estadístico R studio versión 3.5.1. (Gentleman y Ihaka, 1993).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Acumulacion de biomasa (MS)

A los 143, 211 y 361 d de crecimiento del cultivo no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para acumulación de biomasa (Cuadro 1). A los 274 d, la diferencia entre los efectos de los tratamientos fue altamente significativa, siendo los tratamientos 8 y 14 los que acumularon mayor cantidad de biomasa seca (180 y 206.3 g día<sup>-1</sup> respectivamente) con respecto a los tratamientos 5, 10, 12 y testigo. Los tratamientos 8 y 14 contenían las dosis más altas de potasio (300 y 250 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). A los 422 d de crecimiento se observó diferencia estadística significativa entre tratamientos, siendo nuevamente los de dosis más altas de potasio (K) los que acumularon mayor cantidad de biomasa, corroborando la respuesta del cultivo de piña a este elemento deficiente en el suelo (Salgado *et al.*, 2017b). El Tratamiento testigo (T15) produjo menor cantidad de biomasa seca. La piña Cabezona acumuló la mayor cantidad de biomasa de los 274 a 361 d (91 g d<sup>-1</sup>) y coincide con la finalización de la fase vegetativa (Figura 1). También se observó incremento en la acumulación de biomasa de 93 g de los 422 a 484 d, que correspondieron al periodo de inicio de llenado del fruto que concuerda con lo reportado por Rebolledo *et al.* (2006) para los cultivares Champaka, Oro y Smooth Cayenne.

En general la piña Cabezona acumula en promedio 0.80±0.13 g día<sup>-1</sup> de materia seca, y al finalizar el ciclo

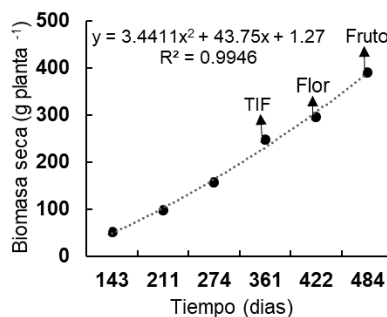
**Cuadro 1.** Acumulación de biomasa por planta ( $\text{g día}^{-1}$  MS) de *Ananas comosus* (L.) Merr. con diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamientos ( $\text{kg ha}^{-1}$ de N, $\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{K}_2\text{O}$ )	Días de crecimiento después de siembra					
	Acumulación de biomasa en ( $\text{g día}^{-1}$ de MS)					
	143	211	274	361	422	484
T5(200-110-250)	50.3a <sup>†</sup>	103.4a	143.9bc	250.7a	269.3b	359.4ab
T8(200-150-250)	58.2a	105.4a	180.5ab	254.8a	318.7ab	388.1ab
T10(240-150-250)	46.3a	93.1a	147.0bc	247.5a	305.7ab	457.6a
T12(200-190-250)	52.8a	110.8a	143.8bc	277.8a	298.0b	374.8ab
T14(200-150-300)	57.5a	107.2a	206.3a	255.1a	348.2a	461.6a
T15(00-00-00)	44.1a	69.5a	118.1c	199.4a	238.1c	294.4c
C.V (%):	11.2	15.6	20.1	10.5	13.0	16.2
Media	51.5	98.2	156.6	247.6	296.3	389.3
DMS	18.10	79.69	59.34	91.17	99.51	145.61
Prob. De F.	0.12 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.0032 <sup>***</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>*</sup>	0.02 <sup>*</sup>

<sup>†</sup>Medias con la misma literal son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). C.V.=coeficiente de variación, Prob. De F.=probabilidad de Fisher; ms=materia seca. DMS=diferencia mínima significativa.

del cultivo, registró  $389.3 \text{ g día}^{-1}$  de materia seca, cantidad menor comparado con los 800 g de materia seca por planta del cultivar Smooth Cayenne la cual, fue fertilizada con la dosis  $700\text{-}480\text{-}700 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  en Isla, Veracruz, México (Rebolledo *et al.*, 2005).

La mayor acumulación de materia seca se podría explicar por la mayor cantidad de N y K aplicado (Del Ángel *et al.*, 2011), lo cual concuerda con lo que encontró Silva *et al.* (2012) donde al pasar de 100 a  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de N la planta gana 26% de peso fresco. Spironello *et al.* (2004) también observaron ganancia de peso fresco de la planta al pasar de 394 a  $498 \text{ kg ha}^{-1}$  de N; sin embargo, en este trabajo al aumentar el suministro de nitrógeno se registró una reducción de sólidos solubles totales y acidez titulable de la pulpa de fruta. En Piña Cabezona también se observó buena correla-

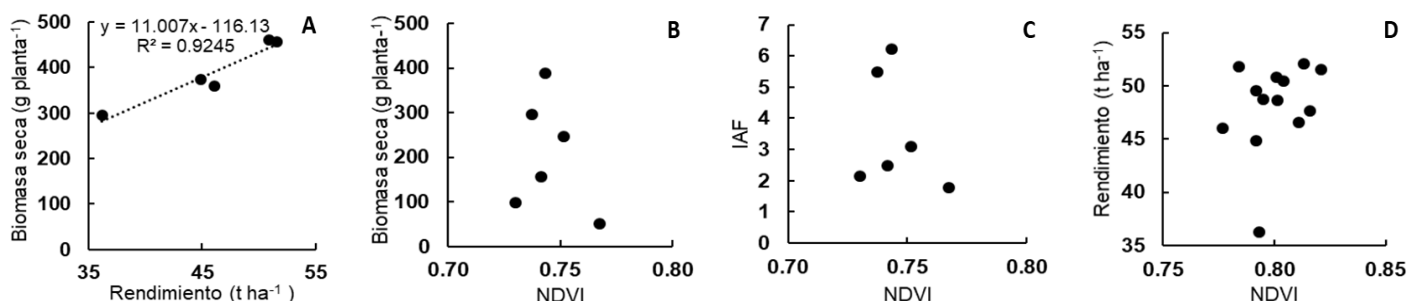


**Figura 1.** Acumulación de biomasa total base seca de la piña Cabezona *Ananas comosus* (L.) Merr. durante su ciclo de cultivo.

ción entre materia seca y rendimiento de fruto fresco obtenido (Figura 2a). Lo cual es similar a lo reportado por Ángel *et al.* (2011), donde menciona que existe una relación directa entre el peso fresco de la planta y peso del fruto, a mayor peso fresco de planta al momento del tratamiento de inducción floral, mayor será el peso del fruto obtenido (Del Ángel *et al.*, 2011).

### NDVI

Respecto al Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), no se registraron diferencias significativas del NDVI con respecto a los tratamientos de fertilización y entre fechas de muestreo (Cuadro 2). Las medias de NDVI oscilaron entre 0.71 y 0.80 a través del crecimiento del cultivo. El mayor valor de NDVI (0.82) se observó a los 211 d después de la siembra con el T10, es decir antes de la etapa de mayor acumulación de biomasa aérea, sin importar la dosis de fertilizante



**Figura 2.** Correlaciones, A) biomasa seca y rendimiento de piña, B) biomasa seca y NDVI, C) IAF y NDVI, y D) rendimiento y NDVI.



**Cuadro 2.** NDVI durante el crecimiento del cultivo de piña cabezona (*Ananas comosus* (L.) Merr.) con diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamientos (kg ha <sup>-1</sup> de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O)	Valores de NDVI a través del tiempo (dds)					
	143	211	274	361	422	484
T5 <sub>(200-110-250)</sub>	0.71a <sup>†</sup>	0.78a	0.72a	0.79a	0.76a	0.77a
T8 <sub>(200-150-250)</sub>	0.73a	0.79a	0.73a	0.77a	0.76a	0.73a
T10 <sub>(240-150-250)</sub>	0.69a	0.82a	0.74a	0.76a	0.77a	0.74a
T12 <sub>(200-190-250)</sub>	0.71a	0.79a	0.71a	0.77a	0.73a	0.75a
T14 <sub>(200-150-300)</sub>	0.71a	0.80a	0.71a	0.79a	0.74a	0.74a
T15 <sub>(00-00-00)</sub>	0.66a	0.79a	0.75a	0.78a	0.70a	0.74a
C.V. (%):	2.99	1.70	2.71	1.65	2.81	2.58
Media	0.71	0.80	0.74	0.77	0.76	0.76
DMS	0.10	0.82	0.15	0.059	0.09	0.09
Prob. De F.	0.43ns	0.70ns	0.95ns	0.33ns	0.25ns	0.39ns

dds=días después de siembra; <sup>†</sup>Medias con la misma literal son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). C.V=coeficiente de variación, Prob. De F.=probabilidad de Fisher. DMS=diferencia mínima significativa.

aplicada. El suelo suministro parcialmente el N, P y K que el cultivo requirió en el T15, quien no recibió fertilizante. Los valores que se obtuvieron en piña fueron similares a los reportados por Balasundram-Kumar *et al.* (2013) en piña MD2 (0.65 a 0.85). Así mismo, estos autores tampoco reportaron correlación con la biomasa, tal como ocurrió en este trabajo (Figura 2b).

### Índice de área foliar (IAF)

No se registró diferencia estadística significativa del índice de área foliar (IAF) entre tratamientos de fertilización a los 143, 211, 274 y 484 d de crecimiento del cultivo (Cuadro 3). A los 361 d hubo diferencia estadística entre tratamientos, sobresaliendo los T12, T14 y T15; y a los 422 d, se observó reducción significativa del LAI en T14 y T15,

etapa en que inicia el llenado del fruto, atribuido a mayor movilidad de reservas de la hoja (Salgado *et al.*, 2010). Los tratamientos de fertilización siguieron la misma tendencia al incrementar drásticamente el IAF de los 361 a 484 d de crecimiento, los cuales correspondieron al periodo de desarrollo del fruto. El máximo valor de LAI observado de 6.22 a los 484 d pudo deberse a la disminución del ángulo de inclinación de las hojas, provocado por la inflorescencia. Este incremento de LAI, también fue reportado por Rebolledo *et al.* (2005), quienes observaron que los cultivares Champaka, Oro y Smooth Cayenne, al término de la fase vegetativa y después del tratamiento de inducción floral el IAF incrementa drásticamente a 10, aun cuando las densidades evaluadas fueron mayores a 35,000 plantas ha<sup>-1</sup> comparado con las 26,500 plantas

**Cuadro 3.** Índice de área foliar (IAF) durante el crecimiento del cultivo de piña Cabezona (*Ananas comosus* (L.) Merr.) con diferentes tratamientos de fertilización

Tratamientos (kg ha <sup>-1</sup> de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O)	IAF a través del tiempo (dds)					
	143	211	274	361	422	484
T5 <sub>(200-110-250)</sub>	1.90a	1.96a	2.06a	2.56b	5.27a	5.64a
T8 <sub>(200-150-250)</sub>	1.62a	1.96a	2.24a	2.53b	5.34a	6.39a
T10 <sub>(240-150-250)</sub>	1.53a	1.78a	2.18a	3.18a	5.40a	5.97a
T12 <sub>(200-190-250)</sub>	1.85a	2.05a	2.34a	3.16a	5.32a	6.28a
T14 <sub>(200-150-300)</sub>	2.15a	2.36a	2.54a	3.32a	4.89ab	6.21a
T15 <sub>(200-150-300)</sub>	1.82a	2.15a	2.45a	2.81a	5.45ab	5.94a
C.V. (%):	9.87	9.42	10.32	12.68	6.14	4.13
Media	1.79	2.15	2.50	3.10	5.47	6.22
DMS	1.17	1.18	1.16	1.28	1.20	1.10
Prob. De F.	0.87 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.01*	0.04*	0.20 <sup>ns</sup>

dds=días después de siembra; <sup>†</sup>Medias con la misma literal son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). C.V=coeficiente de variación, Prob. De F.=probabilidad de Fisher; dds=días después de la siembra. DMS=diferencia mínima significativa.

ha<sup>-1</sup> usada para piña Cabezona. No se encontró correlación entre IAF y NDVI (Figura 2c), ya que el NDVI tiende a disminuir en la etapa de desarrollo del fruto y el LAI a incrementarse (Cuadro 2 y 3).

**Rendimiento**

Se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos de fertilización (Cuadro 4). Si el cultivo de piña Cabezona no se fertiliza el rendimiento se reduce en 8 t ha<sup>-1</sup>. La prueba de Tukey establece dos grupos con diferencias significativas, donde el menor rendimiento se obtuvo en T15, y los mayores en T6 y T8 con más de 55 t ha<sup>-1</sup>, lo que coincide con lo reportado para la región de estudio (Salgado *et al.*, 2010). El tamaño de fruto de 2.09 kg se considera medio y es similar a lo reportado para los cultivares Perola, Gold, Jupi, Smoth Cayenne e imperial cultivadas en Brasil (Sampaio *et al.*, 2011; Gusmao *et al.*, 2012), considerando que en la región los frutos grandes son de 5 kg. Una posible explicación a este bajo rendimiento puede ser la deficiencia de Ca, Mg y micronutrientes en el suelo, ya que, al suministrar estos nutrientes de forma creciente, aumenta el peso y diámetro del fruto de piña (Amorin *et al.*, 2011; Uriza *et al.*, 2018). No se encontró correlación entre el rendimiento y NDVI (Figura 2d).

La Figura 3a muestra el cambio de respuesta de la curva N-110-200 (bajas dosis de N) a la curva de respuesta N-150-250 (altas dosis de N), se debe a la interacción po-

**Cuadro 4.** Rendimientos de frutos de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) con diferentes tratamientos de fertilización NPK.

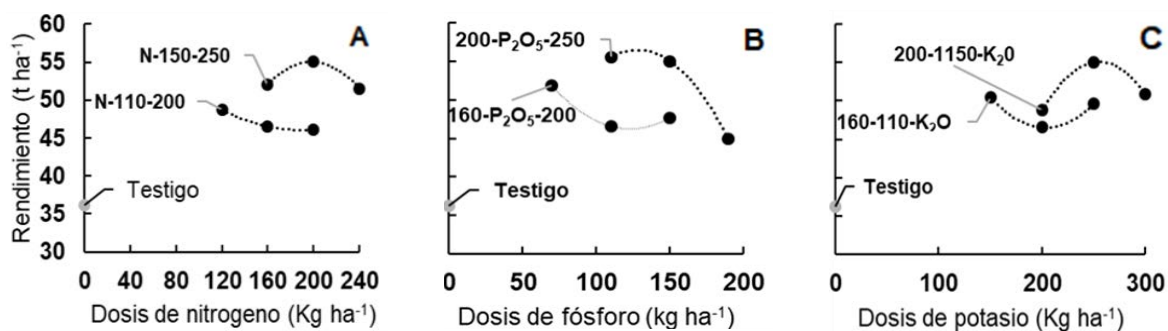
Tratamientos (kg ha <sup>-1</sup> de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
T1 <sub>(160-110-200)</sub>	46.6 ab <sup>†</sup>
T2 <sub>(160-110-250)</sub>	49.5 a
T3 <sub>(160-150-200)</sub>	47.7 ab
T4 <sub>(160-150-250)</sub>	52.1 a
T5 <sub>(200-110-250)</sub>	46.1 ab
T6 <sub>(200-110-250)</sub>	55.5 a
T7 <sub>(200-150-250)</sub>	48.8 ab
T8 <sub>(200-150-250)</sub>	55.0 a
T9 <sub>(120-110-200)</sub>	48.7 a
T10 <sub>(240-150-250)</sub>	51.6 a
T11 <sub>(160-70-200)</sub>	51.8 a
T12 <sub>(200-190-250)</sub>	44.9 ab
T13 <sub>(160-110-150)</sub>	50.4 a
T14 <sub>(200-150-300)</sub>	50.9 a
T15 <sub>(000-000-000)</sub>	36.2 b
C.V (%)	9.52
Media	49.04
DMS	12.2
Prob. De F.	0.0006**

<sup>†</sup>Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). C.V=coeficiente de variación; Prob. De F.=probabilidad de Fisher. DMS=diferencia mínima significativa.

sitiva que es indicativa de respuesta a la fertilización del cultivo de piña. Se observa que la curva de respuesta N-150-250, con 200 kg ha<sup>-1</sup> de N Indica el máximo rendimiento de fruto. Esto difiere con lo reportado por Spironello *et al.* (2004), Spejorin *et al.* (2011), del Ángel *et al.* (2011), Silva *et al.* (2012) y Uriza *et al.* (2018) quienes reportan dosis para el cultivo de piña que van desde 400 a 1000 kg ha<sup>-1</sup> de N obteniendo rendimientos de 36 a 70 t ha<sup>-1</sup> en diversas variedades. Con respecto al fósforo se observó una interacción positiva al pasar de la curva de respuesta 160-P-200 a la curva 200-P-250 (Figura 3b). Con 100 kg ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se obtuvo 0.5 t ha<sup>-1</sup> más de fruto, pues al aumentar la dosis, el rendimiento se reduce, corroborando la ley de los rendimientos decrecientes y confirmando que la respuesta del cultivo de piña a la aplicación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es pequeña, incluso en condiciones bajas de P de suelo (Spironello *et al.*, 2004). El cambio de la curva 160-110-K a la 200-150-K en el rendimiento de fruto se debe a la interacción positiva del K (Figura 3c), corroborando que el suelo es pobre en este nutriente. En este caso con 250 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O se satisface el requerimiento de K. Estos resultados son la mitad de lo recomendado para piña por Veloso *et al.* (2001), del Ángel *et al.* (2011) y Uriza *et al.* (2018).

**CONCLUSIONES**

La piña Cabezona acumuló 389.3 g de materia seca durante su ciclo de



**Figura 3.** Respuesta del cultivo de piña Cabezona (*Ananas comosus* (L.) Merr.) a la fertilización con NPK.

crecimiento, promediando  $0.80 \pm 0.13$  g día<sup>-1</sup> de materia seca. Se observó buena relación entre biomasa seca y rendimiento, ya que a mayor biomasa acumulada mayor fue el rendimiento obtenido. El cultivo resultó poco sensible al NDVI, no mostró relación con la biomasa acumulada, IAF o rendimiento. El IAF se incrementa drásticamente después del tratamiento de inducción floral, debido a la disminución del ángulo de inclinación de las hojas, provocado por la inflorescencia. Se recomienda utilizar la dosis de fertilización N200-P110-K250, ya que resulta más económica que N200-P150-K250 y permite obtener rendimiento de 55.5 t ha<sup>-1</sup> de fruta fresca.

## LITERATURA CITADA

- Amorin, V.A., Feitosa, De L.C., Herbster, M.C.F., and G.F.E. (2011). Fruit size and quality of pineapples cv. vitória in response to micronutrient doses and way of application and to soil covers. *Rev. Bras. Frutic.* 33(Esp. 1): 505-510. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500068>.
- Balasundram-kumar, S., Abu-Kassim, F., Vadamalai, G., and Mohd-Hanif, A.H. (2013). Estimation of red tip disease severity in pineapple using a non-contact sensor approach. *Agricultural Sciences* 4(4): 206-208. DOI: 10.4236 / as.2013.44029.
- Del Ángel, P.A.L., Rebolledo, M.A., Uriza, A.D.E., Rebolledo, M.L. y Zetina, L.L. (2011). La piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 233 p. ISBN 978-607-425-547-8.
- Gentleman, R., and Ihaka, R. (1993) R Studio (Version 3.5.1). Departamento de Estadística de la Universidad de Auckland.
- Gusmão, S.R., Aguilar, R.A., Silva, A.M., De Oliveira, F., & Rodrigues, M. (2012). Abacaxi 'turiacu': cultivar tradicional nativa do maranhão. *Rev. Bras. Frutic.* 34(4): 1270-1276. <https://www.scielo.br/pdf/rbf/v34n4/37.pdf>
- Leonardo, P.F.A., Pereira, E.W., Silva, M.S., Araújo, C.R., & Mendonça, N.R.M. (2014). Tamanho ótimo da parcela experimental de abacaxizeiro 'vitória'. *Rev. Bras. Frutic.* 36(4): 909-916. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-396/13>.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002. 85 p. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Rebolledo, M.A., del Angel, P.A.L., Becerril, R.A.E. y Rebolledo, M.L. (2005). Growth analysis for three pineapple cultivars grown on plastic mulch and bare soil. *Interciencia* 30(12): 758-763. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911107.pdf>
- Rebolledo, M.A., del Ángel, P.A.L., Rebolledo, M.L., Becerril, R.A.E. y Uriza, A.D.E. (2006). Rendimiento y calidad de fruto de cultivares de piña en densidades de plantación. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(1): 55-62. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61029108.pdf>
- Salgado, G.S., Palma, L.D.J., Zavala, C.J., Ortiz, G.C.F., Lagunes, E.L.C., Ortiz, C.A.I., Córdova, S.S. y Salgado, V.S. (2017a). Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México. *Agroproductividad* 10(12): 16-21. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/31/25>
- Salgado, G.S., Palma, L.D.J., Zavala, C.J., Ortiz, G.C.F., Lagunes, E.L.C., Castelan, E.M., Guerrero, P.A., Ortiz, C.A.I. & Córdova, S.S. (2017b). Integrated system for recommending fertilization rates in pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) crop. *Acta Agron.* 66(4): 566-573. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v66n4.62257>
- Salgado, G.S., Palma, L.D.J., Zavala, C.J., Ortiz, G.C.F., Lagunes, E.L.C., Castelan, E.M., Guerrero, P.A., Ortiz, C.A.I. y Córdova, S.S. (2010) Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 81 p.
- Sampaio, C.A., De Fatima, F.T., & Leonel, S. (2011). Crescimento vegetativo e características dos frutos de cinco cultivares de abacaxi na região de bauru-sp. *Rev. Bras. Frutic.* 33(3): 816-822. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000101>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por estado. Consultado el 28 de noviembre de 2019 de [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do)
- Silva, P.A.L., Silva, P.A., Souza, Pereira de A., Djail, S., Silva, de M.S., & Silva, B.V. (2012). Resposta do abacaxizeiro 'vitória' a doses de nitrogênio em solos de tabuleiros costeiros da paraíba. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 36(2): 447-456. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200014>.
- Spiegiorin, L., Salatier, M.A., & Dos Santos, J. (2011). Produtividade e qualidade de abacaxizeiro cv. Smooth Cayenne, cultivado com aplicação de doses e parcelamentos do nitrogênio, em guaraçai-sp. *Rev. Bras. Frutic.* 33(3): 1004-1014. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000080>.
- Spironello, A., Quaggio, J.A., Teixeira, J.L.A., Furlani, P.R., & Monteiro, S.J.M. (2004). pineapple yield and fruit quality effected by npk fertilization in a tropical soil. *Rev. Bras. Frutic.* 26(1): 155-159. <https://doi.org/10.1590/S0100-294852004000100041>.
- Teixeira, J.L.A., Spironello, A., Furlani, P.R., & Sigríst, M.J.M. (2002). Parcelamento da adubação NPK em abacaxizeiro. *Rev. Bras. Frutic.* 24(1): 219-224. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100047>.
- Turrent, A. (1985). El método gráfico-estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la matriz Plan Puebla I. Colegio de Posgraduados Chapingo. 65 p.
- Uriza, A.D., Torres, A.E.A., Aguilar, A.J., Santoyo, C.V.H., Zetina, L.R. y Rebolledo-Martínez, A. (2018). La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACH. 479 p. ISBN: 978-607-12-0511-7.
- Veloso, C.C.A., Oeiras, L.A.E., Carvalho, M.E.J., & De Souza, S.F.R. (2001). Resposta do abacaxizeiro à adição de nitrogênio, potássio e calcário em latossolo amarelo do Nordeste Paraense. *Rev. Bras. Frutic.* 23(2): 396-402. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452001000200040>.
- Zavala, C.J., Salgado, S.G., Marín, A.A., Palma, L.D.J., Castelan, E.M. y Ramos, R.R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1(2): 123-137. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282014000200004&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200004&lng=es).



## Effect of the breed of the meat bull on the sperm quality of thawed semen

### Efecto de la raza del toro de carne sobre la calidad espermática de semen descongelado

Córdova-Izquierdo, A.<sup>1\*</sup>; Guerra-Liera, J.E.<sup>2</sup>; Iglesias-Reyes, A.E.<sup>1</sup>; Huerta-Crispín, R.<sup>3</sup>; Méndez-Mendoza, M.<sup>3</sup>; Gómez-Vázquez, A.<sup>4</sup>; Sánchez-Sánchez, R.<sup>5</sup>; Bedolla-Cedeño, J.L.C.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, Coyoacán. C.P. 04960. <sup>2</sup>Facultad de Agronomía. Universidad autónoma de Sinaloa, México. <sup>3</sup>Facultad de Veterinaria. Benemérita Universidad autónoma de Puebla, México. <sup>4</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. <sup>5</sup>Departamento de Reproducción. INIA. Madrid, España. <sup>6</sup>Universidad de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.

**Autor de correspondencia:** [acordova@correo.xoc.uam.mx](mailto:acordova@correo.xoc.uam.mx)

---

#### ABSTRACT

**Objetivo:** the objective of this work was to assess the effect of bull breed on sperm quality after thawing semen.

**Design/methodology/approach:** ten plastic straws of 0.5 mL of frozen semen from three different breeds of bull were used, which were purchased from a commercial company. The bull breeds used were Charolais, Brahman and Simbrah. The straws were thawed at 37 °C for 40 s. Immediately afterwards motility, viability and acrosomal integrity (NAR) were assessed.

**Results:** the results were for motility 75.0, 87.5 and 85%; for viability 74.5, 74.5 and 72.5%; and for NAR 97.1, 96.9 and 96.9% for the Charolais, Brahman and Simbrah races, respectively.

**Limitations/implications:** the straws used were obtained from a commercial company dedicated to the sale of frozen bovine semen.

**Findings/conclusions:** the three bull breeds showed good sperm quality after thawing, which can be recommended to be used in artificial insemination without any problem.

**Keywords:** Breed, bull, thawed semen, sperm quality.

#### RESUMEN

**Objetivo:** valorar el efecto de la raza del toro sobre la calidad espermática del semen descongelado.

**Diseño/metodología/aproximación:** se utilizaron 10 pajillas plásticas de 0.5 mL de semen congelado de tres diferentes razas de toro, las cuales se adquirieron en una empresa comercial. Las razas fueron Charolais, Brahman y Simbrah. Las pajillas fueron descongeladas a 37 °C durante 40 s. Inmediatamente después se valoró motilidad, viabilidad e integridad acrosomal (NAR).

**Resultados:** la motilidad fue 75, 87.5 y 85%; para viabilidad 74.5, 74.5 y 72.5%; y para NAR 97.1, 96.9 y 96.9% para las razas Charolais, Brahman y Simbrah respectivamente.

**Limitaciones/implicaciones:** Las pajillas utilizadas se obtuvieron de una empresa comercial dedicada a la venta de semen congelado de bovino.

**Hallazgos/conclusiones:** las tres razas de toros mostraron buena calidad espermática después de la descongelación, las cuales pueden ser recomendadas para ser utilizadas en la inseminación artificial sin ningún problema.

**Palabras clave:** Raza, toro, semen descongelado, calidad espermática.

---

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 8, agosto. 2020. pp: 11-12.

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

## INTRODUCCIÓN

La congelación y descongelación de espermatozoides es un proceso complejo que induce varias formas de lesiones celulares (Amann y Pickett, 1987). Estas lesiones se han atribuido a un golpe de frío, cristales de hielo intercelulares, alteración de la membrana, y cambios osmóticos (Isachenko, 2003), lo que puede disminuir la motilidad, viabilidad y capacidad de fertilización del espermatozoide después de la inseminación artificial (Matsuoka *et al.*, 2006). Los procesos de congelación-descongelación conducen a la generación de especies de oxígeno reactivo (ROS) que deterioran los espermatozoides, la motilidad, integridad de la membrana, y el potencial de fertilización. Para contrarrestar los efectos destructivos de ROS, el plasma seminal tiene sistemas antioxidantes compuestos del superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión reducido (GSH), y glutatión peroxidasa, (Aitken y Baker, 2004). La membrana espermática tiene un gran contenido de ácidos grasos insaturados y carece de un componente citoplasmático que contiene antioxidantes significativos, y es particularmente susceptible a los lípidos de peroxidación (LPO), lo que lleva a la alteración de la función celular y disminución de la motilidad de espermatozoides (Bucak *et al.*, 2007). Las características de los espermatozoides, tales como la motilidad o el porcentaje de espermatozoides normales, forman una relación positiva con la fertilidad, y cuando se obtiene más de 70% aumenta la tasa de fertilidad. Es importante tener semen de alta calidad por esta se correlaciona positivamente con la fertilidad en los bovinos. Para que un espermatozoide sea capaz de fecundar a un ovocito ha de reunir una serie de requisitos, entre ellos, tener motilidad progresiva. Dicho parámetro ha sido y sigue siendo el más utilizado para valorar la calidad de un eyaculado o de una dosis seminal. El objetivo fue valorar el efecto de la raza del toro sobre la calidad espermática después de la descongelación del semen.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se descongelaron 10 pajillas plásticas de 0.5 mL provenientes de semen congelado de las razas de toro Charolais, Brahman y Simbrah. Las pajillas fueron descongeladas a 37 °C por 40 s, inmediatamente se procedió a la valoración de motilidad, viabilidad y integridad acrosomal (NAR). La motilidad y viabilidad se valoraron observando una gota de semen al microscopio y el resultado fue reportado en porcentaje. Para NAR se utilizó la técnica de Giemsa, y para el análisis de los resultados se utilizó el ANDEVA (Vicéns *et al.*, 2005).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados fueron para motilidad 75, 87.5 y 85%; para viabilidad 74.5, 74.5 y 72.5%; y para NAR 97.1, 96.9 y 96.9% para las razas Charolais, Brahman y Simbrah respectivamente. La motilidad varió de acuerdo a la raza, la Charolais presentó menor porcentaje con 75%; la Brahman y la Simbrah tuvieron 87.5% y 85% respectivamente. Estos resultados son parecidos a los reportados por Cabrera y Pantoja (2012), quienes encontraron una motilidad de 77 a 85% al trabajar con toros de doble propósito. En cuanto a la viabilidad, los resultados fueron superiores a los reportados por Ribeiro *et al.* (2014), quienes indicaron una viabilidad de 60% al trabajar con semen descongelado procedente de epidídimo. Los presentes resultados de NAR fueron superiores a los reportados por Cabrera y Pantoja (2012), quienes reportaron entre 60

y 73% de NAR al trabajar con toros nacionales del Perú.

## CONCLUSIONES

Los toros de las tres razas evaluadas mostraron buena calidad espermática después de la descongelación, las cuales pueden ser recomendadas para ser utilizadas en la inseminación artificial sin ningún problema.

## LITERATURA CITADA

- Aitken, R. J., and M. A. Baker. (2004). Oxidative stress and male reproductive biology. *Reprod. Fertil. Dev.* 16(5):581-8.
- Amann, R., Pickett, B. (1987). Principles of cryopreservation and a review of stallion spermatozoa. *J. Equine Vet. Sci.* 7:145-73.
- Cabrera, P. y Pantoja, C. (2012). Viabilidad espermática e integridad acrosomal en semen congelado de toros nacionales. *Revista de investigaciones Veterinarias del Perú* 23 (2): 192-200.
- Bucak, M. N., A. Ateşşahin, Ö. Varışlı, A. Yüce, N. Tekin, and A. Akçay. (2007). The influence of trehalose, taurine, cysteamine and hyaluronan on ram semen: Microscopic and oxidative stress parameters after freeze-thawing process. *Theriogenology* 67(5):1060-7.
- Isachenko, E. (2003). Vitrification of mammalian spermatozoa in the absence of cryoprotectants: from practical difficulties to present. *Reprod. Biol.* 6:191-200.
- Matsuoka, T., H. Imai, H. Kohno and Y. Fukui. (2006). Effects of bovine serum albumin and trehalose in semen diluents for improvement of frozen-thawed ram spermatozoa. *J. Reprod. Dev.* 52:675-683.
- Ribeiro-Peres, A., Munita-Barbosa, L., Yumi-Kanazawa, M., Mello-Martins, M. I., & Ferreira de Souza, F. (2014). Criopreservación de espermatozoides bovinos extraídos de la cola del epidídimo utilizando los métodos convencional y automatizado. *Archivos de medicina veterinaria*, 46(1), 31-38.
- Vicéns Otero José, Herrarte Sánchez Ainhoa, Medina Moral Eva. (2005). Análisis de la varianza (anova). Libro.

## Meat quality in lambs supplemented with three concentrations of zinc in an energy diet

### Calidad de la carne en corderos suplementados con tres concentraciones de zinc en una dieta energética

Lira-Casas, Raymundo<sup>1</sup>; Ramírez-Briebesca J. Efrén<sup>1</sup>; Rayas-Amor, Adolfo A.<sup>2</sup>; Díaz-Ramírez, Mayra<sup>2</sup>; León-Espinosa Erika B.<sup>2</sup>; Jiménez-Guzmán, Judith<sup>2</sup>; Fabela-Morón, Miriam F.<sup>2</sup>; Cruz-Monterrosa, Rosy G.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Programa de Ganadería. Campus Montecillo. <sup>2</sup>Universidad 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: r.cruz@correo.ler.uam.mx

#### ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the effect of three doses of Zn supplemented in the diet on the quality and concentration of Zn in meat.

**Design/methodology/approach:** Three doses of Zn were supplemented: a) 21 mg Zn/Kg of dry matter (DM) comes only from the diet, b) Zn80 (diet (a) + ZnSO<sub>4</sub>) and c) Zn400 (diet (a) + ZnSO<sub>4</sub>). Twelve Katahdin breed lambs randomly distributed into three groups, with a weight of 29.72±2.16 Kg and an age of 9±1 months. The DM consumed was restricted for all lambs to 718.62±10.84 g.

**Results:** The luminosity of the *psaos major* muscle was Zn21=36.50, Zn80=38.14 and Zn400=35.35 (quadratic effect, P<0.01). The redness of the *psaos major* muscle was between 18.81 to 19.72 and the intensity of the yellow color was from 3.63 to 3.82. The pH of the *gracilis* and *psaos major* muscles were 6.21 and 6.91. There were no differences in pH, luminosity and hardness. The water retention capacity of the *gracilis* muscle was Zn21=63.68%, Zn80=65.32% and Zn400=83.80% (linear effect, P<0.05). The Zn content in the muscle was 180 to 242 mg/kg DM.

**Study limitations/implications:** The number of lambs per treatment was limited. It is unknown whether high doses of Zn in the diet affect voluntary consumption by animals.

**Findings/conclusion:** There were no physicochemical changes in the meat with the doses of Zn. The amount of 80 mg/kg of Zn in the diet can be used in lambs for fattening.

**Key words:** Zinc, dose, lambs, meat quality.

#### RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar el efecto de tres dosis de Zn suplementado en la dieta sobre la calidad y concentración de Zn en la carne.

**Diseño/metodología/aproximación:** Se suplementaron 3 dosis de Zn: a) 21 mg Zn/Kg de materia seca (MS) proviene solo de la dieta, b) Zn80 (dieta (a) + ZnSO<sub>4</sub>) y c) Zn400 (dieta (a) + ZnSO<sub>4</sub>). Doce corderos de raza Katahdin distribuidos aleatoriamente en tres grupos, con peso de 29.72±2.16 Kg y edad de 9±1 meses. La MS consumida fue restringida para todos los corderos a 718.62±10.84 g.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 8, agosto. 2020. pp: 13-17.

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

**Resultados:** La luminosidad del músculo *psaos major* fue  $Zn_{21}=36.50$ ,  $Zn_{80}=38.14$  y  $Zn_{400}=35.35$  (efecto cuadrático,  $P<0.01$ ). El enrojecimiento del músculo *psaos major* fue entre 18.81 a 19.72 y la intensidad del color amarillo fue de 3.63 a 3.82. El pH de los músculos *gracilis* y *psaos major* fueron de 6.21 y 6.91. No hubo diferencias en el pH, luminosidad y dureza. La capacidad de retención de agua del músculo *gracilis* fue  $Zn_{21}=63.68\%$ ,  $Zn_{80}=65.32\%$  y  $Zn_{400}=83.80\%$  (efecto lineal,  $P<0.05$ ). El contenido de Zn en el músculo fue de 180 hasta 242 mg/kg BS.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** El número de corderos por tratamiento fue limitado. Se desconoce si altas dosis de Zn en la dieta afectan el consumo voluntario de los animales.

**Hallazgos/conclusión:** No hubo cambios fisicoquímicos en la carne con las dosis de Zn. La cantidad de 80 mg/kg de Zn en la dieta puede ser utilizada en los corderos en engorda.

**Palabras clave:** Zinc, dosis, corderos, calidad de la carne.

## INTRODUCCIÓN

La deficiencia de zinc (Zn) es un problema relevante de salud para los animales, plantas y humanos (Nielsen, 2012). Hace 53 años que se conoce la deficiencia de Zn y se calcula que afecta alrededor de dos billones de personas en países en vías de desarrollo (Prasad, 2012). Las proteínas están estrechamente relacionadas con el Zn, y el 69% de éstas son consumidas en productos de origen animal (Camilleri *et al.*, 2013), esto indica que el requerimiento de Zn no se cubre, ya que la dieta de los humanos carece de proteínas. El Zn tiene tres funciones principales en las enzimas como catalítica, co-catalítica y estructural (Vallee y Auld, 1993). Se sabe que el Zn es modulador del sistema inmune (Stenberg y Roth, 2015), actúa en la transcripción, transducción y modificaciones post-traduccionales en proteínas, tales como los dedos de Zn (Maret, 2013), además de otras funciones no explicadas, como la formación de complejos con péptidos de actividad protectora y antioxidante durante la digestión (Wang *et al.*, 2015). Factores

como la baja concentración de microelementos minerales, alta concentración de fitatos, fósforo y calcio son causa de deficiencia de Zn (Bel-Serrat *et al.*, 2013). Los requerimientos de Zn en la dieta para corderos en crecimiento es de 20 a 24 mg Zn  $kg^{-1}$  de MS (NRC, 2007); este rango es bajo, debido a que el Zn tiene funciones metabólicas indispensables para las bacterias del rumen y del propio animal, considerando que la dieta de los rumiantes contiene agentes quelantes y antagonistas de la absorción del Zn.

En México y en otros países en vías de desarrollo aún prevalece la deficiencia moderada de Zn en las poblaciones urbanas y rurales, debido a un desequilibrio en la dieta diaria que causa deficiencias de micro minerales y sin duda repercute en el desarrollo corporal, reproductivo, inmunológico y cognoscitivo (Rivera-Dommarco, 2012). Existe un estudio donde se evaluaron los niveles de Zn plasmático en las poblaciones urbana y rural, y como resultado, las personas de la población rural absorben menor cantidad de Zn a pesar del mismo consumo que la población urbana (Villalpando *et al.*, 2003). La baja ingestión de Zn no parece ser el único problema que predispone a la deficiencia. La dieta rural se compone en su mayoría de alimentos de origen vegetal, los cuales contienen potentes inhibidores de la absorción de Zn, tales como el ácido fítico, la fibra dietética y el calcio. El fósforo fítico es abundante en los vegetales, y el calcio es elevado en la dieta, principalmente por la tortilla, debido al proceso de nixtamalización del maíz con hidróxido de calcio (Rosado, 1998). Como objetivo del estudio se plantea que aumentar la dosis de Zn en la dieta de los corderos, mejorará el contenido y la biodisponibilidad del mineral en la carne destinada para consumo humano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 12 corderos de la raza Katahdin con un peso de  $29.72 \pm 2.16$  Kg, edad de  $9 \pm 1$  mes. Los animales fueron adaptados 21 d antes de iniciar el experimento a las jaulas individuales de  $0.62 \times 0.80$  m, con piso perforado. Las jaulas permanecieron dentro de la unidad metabólica en el Colegio de Postgraduados (Texcoco, México), Campus Montecillo. Los corderos se vacunaron contra enfermedades clostridiales (Triangle<sup>®</sup> Bac 8 V, Fort Dodge Animal Health, S. de R.L. de C.V.) y fueron tratados contra parásitos internos y externos (Ivomec-F<sup>®</sup> Merial Argentina S. A. y Valbazen<sup>®</sup> 2.5 %, Pfizer, S.A. de C.V.) antes de iniciar el experimento. Los cuidados de los animales durante el experimento



y sacrificio se realizaron de acuerdo a las directrices del Consejo Mexicano sobre Cuidado de los Animales, especificado en la normas NOM-062-ZOO-1999, NOM-051-ZOO-1995 y NOM-033-ZOO-1995 (SENASICA, 2015).

Las dietas experimentales (tratamientos) se muestran en el Cuadro 1. Los corderos de los tres tratamientos se alimentaron con una dieta basal con 11.19 % de PC/kg de MS y 21 mg Zn/kg de MS, a la cual se adaptaron durante 21 días. Los tratamientos fueron Zn21 (con 21 mg Zn kg<sup>-1</sup> de MS proveniente de la dieta solamente); Zn80 (con 21 mg Zn kg<sup>-1</sup> de MS proveniente de la dieta y la adición de 14 mL de una solución con 8.11 mg de ZnSO<sub>4</sub> monohidratado mL<sup>-1</sup>); Zn400 (21 mg Zn kg<sup>-1</sup> de MS proveniente de la dieta y la adición de 14 mL de una solución con 52.12 mg ZnSO<sub>4</sub> monohidratado mL<sup>-1</sup>). La MS consumida fue restringida para los borregos a 718.62±10.84 g a lo largo del experimento.

### Análisis de laboratorio

Las muestras de carne (músculos *psaos major* y *gracilis*) se descongelaron por la noche a temperatura ambiente. Para determinar la MS parcial, todas las muestras fueron colocadas en contenedores de plástico individuales dentro de una estufa a 60 °C por 3 d, las muestras fueron pesadas antes y después de secarlas. Después de determinar la MS parcial las muestras se molieron y tamizaron con una criba de 1 mm de espesor en un molino (Christy y Norris Ltd., Chelmsford, England<sup>®</sup>). La MS total fue determinada para calcular el porcentaje de MO de la carne y el alimento. Para determinar la MO se colocó 0.1 g de muestra en un crisol dentro de una estufa a 95 °C por 12 h y los residuos se pesaron.

La cuantificación de Zn se realizó con absorción atómica con el equipo Varian SpectrAA 220<sup>®</sup>. Inicialmente se preparó la curva en un rango de 0 hasta 2 mg L<sup>-1</sup> en una matriz de H<sub>2</sub>O y se leyó a una longitud de onda de 214 nm.

El pH de la carne fue medido 4 h después de matar a los corderos con un potenciómetro pH 1100<sup>®</sup>, en los músculos *gracilis* y *psaos major*, y se realizaron tres mediciones por cada muestra.

**Cuadro 1.** Composición y tratamientos (dieta) para los corderos.

Ingrediente (%)	Tratamientos [mg Zn kg <sup>-1</sup> de MS]		
	21	80	400
Melaza de caña ( <i>Sacharum officinarum</i> )	7.13	7.13	7.13
Maíz amarillo	31.59	31.59	31.59
Harina de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	26.82	26.82	26.82
Aceite de maíz ( <i>Zea mays</i> )	1.83	1.83	1.83
Urea	1.38	1.38	1.38
Paja de trigo	12.67	12.67	12.67
Pulpa de cítrico ( <i>Citrus sinensis</i> )	15.80	15.80	15.80
Sales minerales totales <sup>a</sup>	2.77	2.77	2.77
Sulfato de Zn mg	0.00	113.59	729.65
<b>Composición nutritiva en base MS</b>			
<i>Energía Neta, Mcal/Kgb</i>			
Mantenimiento	1.82	1.82	1.82
Ganancia	1.21	1.21	1.21
Proteína cruda, (%)	11.19	11.19	11.19
Extracto etéreo, (%)	4.70	4.70	4.70
Fibra detergente neutra, (%)	17.22	17.22	17.22
Calcio, (%)	0.46	0.46	0.46
Fosforo, (%)	0.31	0.31	0.31

<sup>a</sup>Microelementos contenidos en las sales minerales totales: FeSO<sub>4</sub> heptahidratado 0.0128 %, CuSO<sub>4</sub> pentahidratado 0.053 %, CoCl<sub>2</sub> hexahidratado 0.022 %, MnO<sub>2</sub> 0.055 %, Etilendiaminohidroxidide (EDDI) 0.003 %, y Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> monohidratado 0.005 %.

<sup>b</sup>Basado en los valores de los ingredientes individuales tabulados (NRC, 2007).

La dureza de la carne del músculo *gracilis* fue medida dos días después de matar a los corderos. Para esta técnica se utilizó el texturómetro TA-XT2, Texture Technologies<sup>®</sup> y una navaja Warner-Bratzler<sup>®</sup>. Las muestras de carne fueron cortadas en tiras con un espesor de 1 cm de alto y de ancho con una velocidad de corte de 5.0 mm s<sup>-1</sup>.

**Capacidad de retención de agua en la carne:** La capacidad de retención de agua fue determinada en 2 g de músculo *gracilis* finamente picado mezclado con 5 mL de una solución de NaCl 0.6 M dentro de tubos Falcon<sup>®</sup>. Las muestras fueron mezcladas con el vortex por 1 min, la mezcla se dejó reposar por 30 min a 4 °C, y después se centrifugó por 15 min a 10,000 rpm y el sobrenadante fue medido con una probeta. El análisis se realizó por triplicado y la cantidad de agua retenida fue calculada y reportada para 100 g de carne.

Para la Colorimetría en la carne, se midió su luminosidad, rojez y amarillez medida con un cromómetro portable Cr-410 Konica Minolta<sup>®</sup>, calibrado con un mosaico de referencia L\*=94.70, a\*=0.31, b\*=0.32 y las mediciones se realizaron por triplicado sobre la superficie

del músculo desprovisto de grasa y tejido conjuntivo fibroso.

### Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde los datos fueron sometidos a un análisis de varianza con el procedimiento GLM. El modelo estadístico fue el siguiente:

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

donde  $Y_{ij}$  es la variable respuesta correspondiente al  $i$ -ésimo tratamiento en la  $j$ -ésima repetición,  $\mu$  es la media general,  $\tau_i$  efecto  $i$ -ésimo tratamientos,  $\varepsilon_{ij}$  error experimental del tratamiento  $i$  en la repetición  $j$ , teniendo en cuenta que  $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ . Los efectos experimentales fueron analizados por efectos lineales o cuadráticos con polinomios ortogonales (SAS, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Calidad de la carne:** Los estudios de calidad de la carne fueron realizados en los músculos *psoas major* y *gracilis*. El pH y la reflectancia fue analizada en los dos músculos, pero la capacidad de retención de agua y dureza solo se analizaron en el músculo *gracilis*. Los datos de calidad de la carne se muestran en el Cuadro 2.

El músculo *psoas major* no registró efectos significativos ( $P > 0.05$ ) en los valores del pH, enrojecimiento y amarillamiento. El pH del músculo *psoas major* varió entre 6.21 y 6.91, el enrojecimiento entre 18.81 y 19.72 y el amarillamiento de 3.63 a 3.82. La luminosidad del músculo *psoas major* fue  $Zn_{21} = 36.50$ ,  $Zn_{80} = 38.14$  y  $Zn_{400} = 35.35$  (Efecto cuadrático,  $P < 0.01$ ). El músculo *gracilis* no tuvo efectos significativos ( $P > 0.05$ ) en el

**Cuadro 2.** Medias del efecto del consumo de Zn sobre su contenido y calidad de la carne de cordero.

Características	Tratamientos mg/kg Zn			EEM	P value <sup>a</sup>	
	21	80	400		Lineal	Cuadrático
<i>Músculo Psoas major</i>						
pH	6.21	5.91	5.90	0.12	0.11	0.37
Color reflectancia						
Luminosidad	36.507	38.14	35.35	0.49	0.11	<0.01
Enrojecimiento	19.72	19.46	18.81	0.48	0.19	0.74
Amarillamiento	3.62	3.73	3.82	0.50	0.78	0.99
<i>Músculo gracilis</i>						
Ph	6.30	6.22	6.21	0.11	0.64	0.75
Color reflectancia						
Luminosidad	39.27	38.94	38.48	0.70	0.43	0.95
Enrojecimiento	21.97	21.47	19.93	0.72	0.06	0.56
Amarillamiento	3.96	3.62	2.62	0.50	0.07	0.59
CRA <sup>b</sup>	63.68	65.32	83.80	6.06	0.03	0.27
Dureza (Fuerza media kg)	2.36	2.21	2.14	0.09	0.25	0.22
Zn en músculo mg/kg	180.18	219.64	242.59	14.07	0.01	0.64

<sup>a</sup>Basado en contrastes ortogonales por tratamiento.

<sup>b</sup>Capacidad de retención de agua.

pH, luminosidad, enrojecimiento amarillamiento y dureza de la carne. El pH del músculo *gracilis* varió entre 6.21 y 6.30, la luminosidad de 38.48 a 39.27 El enrojecimiento del músculo *gracilis* varió de 19.93 a 21.97. El amarillamiento del musculo *gracilis* osciló de 2.62 a 3.96 y la dureza de la carne varió de entre 2145.4 a 2362.8 kg. Capacidad de retención de agua del musculo *gracilis* fue  $Zn_{21} = 63.68\%$ ,  $Zn_{80} = 65.32\%$  y  $Zn_{400} = 83.80\%$  (efecto lineal,  $P < 0.05$ ). El pH promedio del músculo *psoas major* y *gracilis* fue de 6.2. Autores como Karabacak *et al.* (2015) reportaron un pH de 5.56. El pH en la carne fue medido cuatro horas después de haber muerto los corderos, y es una variable que decrece desde 7.1 hasta 5.6 alrededor de las 24 h, y depende de la maduración de la carne (Boles y Pegg, 1999). Para los corderos que fueron alimentados con 80 mg Zn  $kg^{-1}$  de MS, la luminosidad del músculo *psoas major* incrementó hasta 38% en comparación a los tratamientos de 21 y 400 mg Zn  $kg^{-1}$  de MS. Con el uso de Zn aumentó la capacidad de retención de agua en el músculo *gracilis*. Esto significa que la carne de corderos alimentados con dietas con al menos con 80 mg Zn  $kg^{-1}$  de MS, la carne es más jugosa y brillante. Estas dos características que son afectadas por la suplementación de Zn, son virtudes en la aceptabilidad de la carne (Cheng and Sun, 2008).

Respecto al Zn en carne, la concentración en músculo aumentó de 180 a Zinc en músculo: El contenido de Zn en el músculo fue desde 180 hasta 242 mg/kg BS en este estudio. Sin embargo, otros trabajos realizados en los músculos de corderos (Schricker *et al.*, 1982) y bovinos (Valenzuela *et al.*, 2008) reportan cantidades de Zn en los rangos de 28.2-37 y 21.4-53.2 mg/kg BS, respectivamente para cada especie. Estas cantidades de Zn son

muy bajas con lo que se reporta en la presente investigación; aunque ambos estudios no mencionan la cantidad de Zn en las dietas consumidas por estos animales. Por otro lado, Rojas *et al.* (1995) reporta la cantidad de 207 mgZn/kg en músculo, cuando los corderos se alimentaron con una dieta a 360 mg Zn/kg MS. Lógicamente, un alto consumo de Zn en la dieta conlleva a almacenarse más mineral en los tejidos. Lo relevante y poco aclarado en este estudio, fue la cantidad mayor de Zn en músculo con cantidades menores en la dieta. Posiblemente esta mayor acumulación dependió del tiempo de consumo.

## CONCLUSIONES

Las dosis de 80 y 400 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de MS en la dieta, mejoraron la disponibilidad de Zn en carne en comparación al tratamiento con 21 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de MS en la dieta. El ZnSO<sub>4</sub> resultó una fuente apropiada que mejora la disponibilidad de Zn para los corderos.

## LITERATURA CITADA

- Bel-Serrat, S.; Stammers, A.-L.; Warthon-Medina, M.; Moran, V.H.; Iglesia-Altaba, I.; Hermoso, M.; Moreno, L.A. and Lowe, N.M. (2013). Factors that affect zinc bioavailability and losses in adult and elderly populations. *Nutrition Review*. 72, 334–352. doi:10.1111/nure.12105
- Boles, J.A. and Pegg, R. (1999). *Meat Color*. University of Saskatchewan Department of Applied Microbiology Food Science. Technology Bulletin. Saskatoon. SK.
- Camilleri, M.; Verger, E.O. and Carpentier, F. (2013). Plant and Animal Protein Intakes Are Differently Associated with Nutrient Adequacy of the Diet of French Adults. *Journal of Nutrition*. 143, 1466–1473. doi:10.3945/jn.113.177113.requirements
- Cheng, Q. and Sun, D. (2008). Factors Affecting the Water Holding Capacity of Red Meat Products : A Review of Recent Research Advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48, 37–41. doi:10.1080/10408390601177647
- Karabacak, A.; Aytakin, I. and Boztepe, S. (2015). Fattening performance and carcass characteristics of Akkaraman lambs in different housing systems. *Indian Journal of Animal Research*. 49, 515–522. doi:10.5958/0976-0555.2015.00055.2
- Maret, W. (2013). Zinc Biochemistry : From a Single Zinc Enzyme to a Key Element of Life. *Advances of Nutrition*. 4, 82–91. doi:10.3945/an.112.003038.82
- Nielsen, F.H. (2012). History of zinc in agriculture. *Advances of Nutrition*. 3, 783–789. doi:10.3945/an.112.002881
- NRC. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids*, The Nation. ed. Washington, D C.
- Prasad, A.S. (2012). Discovery of human zinc deficiency: 50 years later. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 26, 66–69. doi:10.1016/j.jtemb.2012.04.004
- Rivera-Dommarco, J.A. (2012). Deficiencias de micronutrientes en México: un problema invisible de salud pública. *Salud Pública México*. 54, 101-102. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342012000200001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342012000200001)
- Rojas, L.X.; McDowell, L.R.; Cousins, R.J.; Martin, F.G.; Wilkinson, N.S.; Johnson, A.B. and Velasquez, J.B. (1995). Relative bioavailability of two organic and two inorganic zinc sources fed to sheep. *Journal of Animal Science*. 73, 1202–1207.
- Rosado, J.L. (1998). Zinc deficiency and its functional implications. *Salud Publica Mexico*. 40, 181–188.
- Schricker, B.R., Miller, D.D., Stouffer, J.R. (1982). Content of Zinc in Selected Muscles from Beef, Pork, and Lamb. *Journal of Food Science*. 47, 1020. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb12772.x>
- SENASICA. (2015). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [WWW Document]. URL <http://www.senasica.gob.mx/> (accessed 6.8.14).
- Stenberg, P., Roth, B. (2015). Zinc is the modulator of the calcium-dependent activation of post-translationally acting thiol-enzymes in autoimmune diseases. *Medical Hypotheses* 84, 331–335. doi:10.1016/j.mehy.2015.01.022
- Vallee, B.L., Auld, D.S. (1993). Cocatalytic zinc motifs in enzyme catalysis. *Proceedings of National Academic Science. U. S. A.* 90, 2715–2718. doi:10.1073/pnas.90.7.2715
- Valenzuela, C., Letelier, M.M., Olivares, M., Arredondo, M., Pizarro, F. (2008). Determinación de hierro, zinc y cobre en carne de bovino. *Revista Chilena de Nutrición*. 35, 139-146.
- Villalpando, S., García-Guerra, A., Ramírez-Silva, C.I., Mejía-Rodríguez, F., Matute, G., Shamah-Levy, T., Rivera, J.A. (2003). Iron , zinc and iodide status in Mexican children under 12 years and women 12-49 years of age . A probabilistic national survey. *Salud Publica Mexico*. 45, S520 – S529.
- Wang, C., Li, B., Wang, B., Xie, N. (2015). Degradation and antioxidant activities of peptides and zinc-peptide complexes during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*. 173, 733–740. doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.066



## Early weaning and productive response after weaning of calves fed starter in the tropics

### Destete precoz y respuesta productiva pos destete de becerros alimentados con iniciador en el trópico

Guerra-Medina, Cándido Enrique<sup>1\*</sup>; Maldonado-Méndez, José de Jesús<sup>1</sup>; Ley de Coss Alejandro<sup>2</sup>; López-Gómez, Pablo<sup>1</sup>; Montañez-Valdez, Oziel Dante<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental, Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. <sup>2</sup>Desarrollo Agropecuario Sustentable, Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V, UNACH, Villaflores, Chiapas, México. <sup>3</sup>Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, Ciudad Guzmán, Jalisco, México.

\*Autor para correspondencia: eguerranutricion@gmail.com

#### ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the effect of starter feed consumption on the post-weaning productive response of calves of the dual-purpose system.

**Design/methodology/approach:** ten calves with an average live weight at birth of  $34.5 \pm 4.8$  kg were distributed in two treatments: CM=calves fed milk + Taiwan grass (*Pennisetum purpureum*) weaned at seven months of age; CMS=calves fed milk + Taiwan grass + starter feed, weaned at 90 days. A completely randomized design with five repetitions per treatment was used, the experimental phase was made from birth to one year of age. Starter feed intake, live weight (LW), daily weight gain, (DWG), rump height (RH), withers (W), length (L) and thoracic perimeter (TP) were evaluated in the periods of one to three months old, four to seven and eight to 12.

**Results:** the consumption of starter feed from one to three months was  $482.33 \text{ g calf}^{-1} \text{ d}^{-1}$  and from four to seven months  $1895.0 \text{ g calf}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ; the LW, RH, W, L and TP at seven and 12 months was greater in CMS ( $P < 0.05$ ), the DWG was greater in CMS ( $P < 0.05$ ) in the period of four to seven months.

**Study limitations/implications:** milk consumption was not measured, it could affect DWG in the period of one to three months.

**Findings/Conclusions:** starter feed consumption allowed calves to be weaned at three months of age with the highest response in LW and zoom measurements at seven and 12 months.

**Key words:** beef cattle, ruminal development, zoom measurements.

#### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar el efecto del consumo de iniciador en la respuesta productiva pos-destete de becerros del sistema de doble propósito.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 8, agosto. 2020. pp: 19-24.

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

**Diseño/metodología/aproximación:** diez becerros con peso vivo promedio al nacimiento de  $34.5 \pm 4.8$  kg fueron distribuidos en dos tratamientos: BL=becerros alimentados con leche+pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) destetados a siete meses de edad; BLI=becerros alimentados con leche+pasto Taiwán+alimento iniciador, destetados a 90 d. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento, la fase experimental se hizo desde el nacimiento hasta un año. Se evaluó consumo de iniciador, peso vivo (PV), ganancia diaria de peso, (CI), alzada a la grupa (AG), a la cruz (AC), largo (L) y perímetro torácico (PT) en los periodos de 1 a 3 meses, de 4 a 7, y de 8 a 12.

**Resultados:** el consumo de iniciador de uno a tres meses promedió en  $482.33$  g becerro<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> y de cuatro a siete meses de  $1895.0$  g becerro<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; el PV, AG, AC, L y PT a siete y doce meses fue mayor en BLI ( $P < 0.05$ ), la mayor GDP se observó en BLI ( $P < 0.05$ ) en el periodo de cuatro a siete meses.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** no se midió consumo de leche, pudo afectar la GDP en el periodo de uno a tres meses.

**Hallazgos/conclusiones:** El consumo de iniciador permitió destetar los becerros a tres meses de edad con mayor respuesta en PV y medidas zoométricas a siete y doce meses.

**Palabras clave:** bovinos carne, desarrollo ruminal, medidas zoométricas.

del epitelio ruminal para que el becerro pueda ser destetado a temprana edad sin afectar la respuesta productiva pos-destete (Drackley, 2008). Cuando los becerros consumen dietas con alto contenido de almidón, puede afectarse el establecimiento de las poblaciones microbianas y el desarrollo ruminal (Plainzier *et al.*, 2012), por ello es necesario incluir ingredientes que favorezcan el establecimiento y actividad microbiana (Abubackr *et al.*, 2014), para que la transición de una dieta líquida a sólida, basada en forraje, sea adecuada y permita el destete temprano sin afectar la ganancia diaria de peso (Sosa *et al.*, 2017). El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del consumo de iniciador en la respuesta productiva pos-destete de becerros del sistema de doble propósito destetados a tres meses de edad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una unidad de producción de doble propósito (SDP), ubicado en Tapachula, Chiapas ( $14^{\circ} 91' 36''$  N, y  $92^{\circ} 32' 55''$  O). El clima es cálido húmedo con lluvias abundantes en verano, y la temperatura oscila entre  $18^{\circ} \text{C}$  y  $34.5^{\circ} \text{C}$  (INEGI, 2017). Las determinaciones químicas de alimento y forraje se realizaron en el Laboratorio de Nutrición del Centro Universitario del Sur, de la Universidad de Guadalajara, ubicado en Ciudad Guzmán, Jalisco, México

### Animales y tratamientos

Se utilizaron 10 becerros machos de tipo racial Brahman  $\times$  Suizo Americano con peso vivo al nacimiento de  $34.5 \pm 4.8$  kg, se distribuyeron de manera aleatoria en dos tratamientos, cinco animales por tratamiento: BL=becerros alimentados con leche + pasto Taiwán destetados a

## INTRODUCCIÓN

La ganadería de doble propósito representa 78% de la producción de los bovinos en la región tropical de Latinoamérica, se estima que la mayoría de los becerros destinados a la producción de carne proceden de este sistema (Calderón *et al.*, 2012), el peso de becerros al destete a siete meses de edad sin restricción de leche es de 163 kg (Pereda *et al.*, 2005) y 188 kg (Hernández *et al.*, 2015); sin embargo, en becerros del sistema de doble propósito, el peso al destete pudiera ser menor debido a la restricción de leche (Segura *et al.*, 2017). La alimentación es a base de leche y pastos (Castillo *et al.*, 2018); sin embargo, este manejo limita el desarrollo y funcionalidad del rumen, y al momento del destete no tiene la capacidad suficiente para aprovechar los nutrientes del forraje y se afecta la ganancia de peso (Simeone y Beretta, 2016). El desarrollo de los becerros pre destete es fundamental para incrementar la productividad en etapas posteriores, por ello, el tipo de alimentación que reciben es determinante. El consumo de alimento iniciador a temprana edad de manera constante y en cantidad suficiente, ha mostrado efectos positivos en el desarrollo ruminal, ya que al ser fermentado en el rumen produce ácidos grasos volátiles, tales como propionato y butirato (Khan *et al.*, 2016); donde este último actúa localmente en la pared ruminal para estimular su desarrollo (Xie *et al.*, 2014).

La composición del iniciador debe proveer los elementos que favorezcan el establecimiento y actividad de las especies microbianas del rumen para maximizar la producción de propionato, butirato, y favorecer el desarrollo

siete meses de edad; BLI=becerros alimentados con leche + pasto Taiwán + alimento iniciador, destetados a 90 d de edad.

Desde los 21 d de edad y hasta los siete meses, los becerros fueron alojados en corrales individuales de 2×3 m con comedero y bebedero. De ocho a doce meses de edad permanecieron en pastoreo intensivo en una pradera de pasto Taiwán. El alimento iniciador se formuló de acuerdo con los requerimientos nutricionales de bovinos para carne (NRC, 1996), la proporción de los ingredientes en base tal como se ofrece se muestra en el Cuadro 1.

### Análisis químico del alimento y pasto Taiwán

Al alimento iniciador, crecimiento y pasto Taiwán, se determinó materia seca total (MST), proteína cruda (PC) mediante el método Kjeldahl, extracto etéreo (EE) por el método Soxhlet, fibra cruda (FC) por el método de Weende, cenizas (C) y materia orgánica (MO) por diferencia, todos mediante las técnicas descritas por la AOAC (2012). La determinación de las fracciones de fibra (FDN y FDA) se realizó con alfa amilasa sin la corrección de la ceniza de acuerdo con lo especificado por Van Soest et al. (1991). La composición química del alimento iniciador, alimento de crecimiento y pasto Taiwán se muestran en el Cuadro 1.

### Manejo y alimentación

Los becerros tomaron calostro de la madre en las primeras 3 h de vida, antes de 24 h se registró el peso con una báscula digital con capacidad para 300 kg y precisión de 0.1 kg, permanecieron con la madre durante los primeros 20 d todo el tiempo, a partir del día siete se inició el ordeño de la leche residual después de

amamantar los becerros. Del día 21 en adelante después del ordeño por la mañana (7:00 am), se permitió a todos los becerros se amamantarán durante 30 min y posteriormente se separaban de la madre hasta el día siguiente, los becerros de BL se destetaron a 210 d de edad y los de BLI a 90 d de edad. A estos últimos, el iniciador se ofreció a libre acceso a las 8:00 am y 13:00 pm, todos los animales tuvieron acceso libre a agua limpia y pasto Taiwán picado de 45 d de edad al corte todo el tiempo. A 90 d de edad se administró vía oral un endoparasiticida, 2 mL×45 kg de peso vivo (cada 100 mL contienen albendazol 13.0 g, sulfato de cobalto 1.0 g), y 5 mL de vitaminas vía intramuscular (cada mL contiene vitamina A palmitato 500,000 UI, vitamina D3 calciferol 75,000 UI, vitamina E tocoferol 50 UI, fósforo 1,560 µg). De ocho a 12 meses de edad, cada grupo de becerros, permaneció en una pradera de pasto Taiwán con manejo de pastoreo intensivo, un día de ocupación y 45 d de recuperación, con una carga animal promedio de 5.5 Unidades Animal ha<sup>-1</sup>, tuvieron acceso a agua limpia todo el tiempo y se ofreció 2400 g becerro<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de alimento de crecimiento, la mitad a las 8:00 am y la otra mitad a las 13:00 pm.

### Variables evaluadas

**Consumo de alimento.** El consumo de iniciador se midió en los meses 2, 3, 4 y 5 de edad cada siete días, para ello el alimento ofrecido se pesó asignando 20% más del consumo observado un día previo. Posteriormente, se pesó el rechazado 24 h después y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo (g)} = \text{g de alimento ofrecido} - \text{g de alimento rechazado}$$

el consumo promedio de cada mes (g) se obtuvo del promedio de las cuatro semanas; en los meses seis y siete se asignaron 2000 y 2100 g de alimento de crecimiento animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de manera respectiva, la mitad por la mañana

**Cuadro 1.** Proporción de ingredientes y composición química del alimento iniciador, crecimiento, y pasto *Pennisetum purpureum* cv. Taiwán.

Ingrediente	Iniciador	Crecimiento	Pasto Taiwán
	Proporción de ingredientes (g por cada 100 g)		
Pasta de soya 44	27.00	18.00	
Maíz molido	48.70	40.00	
Harina de palmiste	22.00	38.70	
Mezcla mineral <sup>1</sup>	2.00	2.00	
Cultivo de levaduras <sup>2</sup>	0.30	0.30	
Urea	0.00	1.00	
Determinación	Composición química (g por cada 100 g en base seca)		
Proteína cruda	17.46	19.55	7.99
Grasa cruda	3.38	3.89	0.96
Fibra cruda	12.52	13.07	38.19
Cenizas	5.73	5.53	21.33
Fibra detergente neutro	ND	75.39	61.09
Fibra detergente ácido	ND	16.32	43.4

ND: no determinado; <sup>1</sup>: por cada 100 g (sodio 9.6 g, cloro 14.4 g, calcio 21.14 g, azufre 5.2 g, magnesio 0.8 g, zinc 0.42 g, manganeso 0.26 g, cobalto 10.0 mg, yodo 4.64 mg selenio 0.4 mg); <sup>2</sup>: células de levadura viva *Saccharomyces cerevisiae* 2.0×10<sup>9</sup> UFC g<sup>-1</sup>.

(8:00 am) y la mitad por la tarde (13:00 pm); del consumo promedio de cada mes se calculó el consumo promedio en los periodos de uno a tres y de cuatro a siete meses de edad.

**Respuesta productiva.** El peso de los becerros al nacimiento y a tres meses de edad se registró por la mañana (7:00 am) con una báscula con capacidad para 300 kg y precisión de 100 g, mientras que a los 7 y 12 meses de edad se registró con una báscula con capacidad para 1000 kg y precisión de 0.1 kg. La ganancia de diaria de peso (GDP) se calculó con la siguiente ecuación:

$$GDP = \frac{(\text{Peso vivo final} - \text{peso vivo inicial})}{\text{número de días transcurridos entre las dos pesadas}}$$

**Medidas zoométricas.** Se hicieron mediciones de alzada a la grupa (AG), desde el piso hasta la región de la grupa; alzada a la cruz (AC), desde el piso hasta la región de la cruz, largo (L), desde la cruz hasta la grupa y perímetro torácico (PT) por detrás de la espalda, a tres, 7 y 12 meses de edad con una cinta métrica de 3.0 m y precisión de 1.0 mm.

Se utilizó un diseño completamente al azar, dos tratamientos y cinco repeticiones para las variables PV, GDP, AG, AC, L y PT; para el análisis de los datos obtenidos se utilizó Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía mediante el procedimiento del modelo general lineal (GLM) y la comparación de medias con el procedimiento de Tukey; para la correlación de las medidas zoométricas con el PV se realizó un análisis de correlación simple entre AG×PV, AC×PV, L×PV y PT×PV (Statistical Analysis System [SAS], 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química del alimento iniciador (Cuadro 1), muestra que el contenido de PC es de 17.46%. Se ha evaluado el efecto del nivel de PC en la respuesta productiva de becerros lactantes, no se ha observado diferencia en cambio de peso vivo, GDP y consumo de materia seca, en becerros alimentados con iniciador que contiene 18% o 22% de PC (Ozkaya y Toker, 2012). Lohakare *et al.* (2006) no encontraron diferencia en GDP al comparar becerros que consumieron iniciador con 16.22%, 19.46% y 24.81%, y se ha demostrado que la proporción óptima entre proteína y energía tiene mayor relevancia en la respuesta productiva de becerros lactantes (Hill *et al.*, 2013) porque se optimiza la

eficiencia de utilización de la proteína y se reduce la excreción de N. Esto debe ser considerado en las regiones tropicales debido a que es necesario disminuir la dependencia de insumos externos utilizados como fuente de proteína y energía para la alimentación de los rumiantes, tales como la pasta de soya (*Glycine max* L.) y maíz (*Zea mays* L.).

El consumo de alimento iniciador promedio en el periodo de uno a tres meses de edad fue de 482.33 g (Cuadro 2), y el consumo a 90 d de edad fue de 990.0 g. De acuerdo con la National Research Council (NRC, 1996) de bovinos para carne, un becerro de entre 10 a 22 sem de edad, debe consumir 2.5% a 3.0% del PV de alimento. Se ha sugerido que, para lograr una transición adecuada, sin afectar la GDP pos-destete, el consumo de iniciador debe mantenerse en 1.2 kg d<sup>-1</sup> (Sweeney *et al.*, 2010), debido a la correlación que existe entre ambas variables (Haisan *et al.*, 2019). De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la cantidad de alimento consumido fue suficiente, ello permitió realizar el destete a tres meses de edad, sin afectar la GDP en este periodo (Cuadro 3). En el periodo de cuatro a siete meses de edad el consumo de alimento aumentó a 1895.0 g becerro<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, lo cual permitió que la GDP fuera mayor (P<0.05) durante este periodo y peso vivo a siete meses.

El peso vivo de los becerros a tres meses de edad (Cuadro 3) fue similar entre tratamientos (P>0.05), mientras que a 7 y 12 meses de edad fue mayor (P<0.05) en los becerros que consumieron iniciador, con una diferencia de 52.3 kg y 68.4 kg más en estos últimos respectivamente. Los resultados sugieren que la diferencia en el peso vivo fue por efecto del consumo de iniciador, debido a que fueron destetados desde los tres meses de edad. Los resultados de este estudio muestran que becerros alimentados con iniciador desde los 21 d de edad, destetados a tres meses, tienen mayor peso a siete meses que aquellos que no consumieron (P<0.05).

**Cuadro 2.** Consumo de alimento en becerros del sistema de doble propósito en los periodos del nacimiento a 12 meses de edad.

Periodo (meses de edad)	Beceros sin iniciador	Beceros con iniciador
	Consumo de alimento (g becerro <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	
Uno a tres	0.00	482.33
Cuatro a siete	0.00	1895.00
Ocho a 12	2400.00	2400.00



**Cuadro 3.** Peso vivo y ganancia diaria de peso de becerros del sistema de doble propósito a 3, 7 y 12 meses de edad.

Edad (meses)	Beceros sin iniciador	Beceros con iniciador	EEM
	Peso vivo (kg)		
Nacimiento	34.28a	35.44a	3.6
Tres	83.16a	81.00a	13.84
Siete	122.70b	175.00a	16.24
12	218.00b	286.40a	18.35
Período	Ganancia diaria de peso (g becerro <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )		
Nacimiento a 3 meses	543.00a	516.60a	170.06
4 a 7 meses	329.40b	775.60a	77.48
8 a 12 meses	680.80a	795.80a	199.47

a, b: literales diferentes en la misma hilera indican diferencia estadística entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey; EEM: error estándar de la media.

La GDP fue similar entre tratamientos en el periodo de uno a tres meses de edad ( $P > 0.05$ ), y fue mayor en los animales del tratamiento BLI en el periodo de cuatro a siete meses ( $P < 0.05$ ). En este estudio, el efecto del consumo de alimento iniciador permitió destetar los becerros a 90 d de edad y mejoró la GDP en la etapa pos-destete en el periodo de cuatro a siete meses de edad, mientras que en el periodo de 7 a 12 meses de edad, la GDP fue similar entre tratamientos ( $P > 0.05$ ), esto pudo deberse a que ambos grupos tuvieron el mismo consumo de alimento y libre acceso a pasto Taiwán de la misma calidad.

En las medidas zoométricas AG, AC, L y PT, no hubo diferencia entre tratamientos ( $P > 0.05$ ) a tres meses de edad (Cuadro 4), mientras que a 7 y 12 meses de edad AG, AC, LT y PT fue mayor ( $P < 0.05$ ) en los becerros que consumieron iniciador, esto sugiere que el destete de becerros para carne provenientes del sistema de doble propósito a tres meses de edad no afectó a estas medidas de desarrollo y mejora la respuesta en la etapa pos-destete cuando los becerros son complementados con iniciador.

La evaluación de las medidas corporales es importante debido a que muestra los cambios en la conformación del animal y pueden servir de referencia para predecir el peso vivo. Al respecto el análisis de correlación entre  $AG \times PV$ ,  $AC \times PV$ ,  $L \times PV$  y  $PT \times PV$  fue de 0.869, 0.870, 0.908 y 0.926 respectivamente; donde la ma-

yor correlación observada fue entre el perímetro torácico y el PV. Autores como Mahecha et al. (2002), observaron que al determinar la correlación entre altura corporal, longitud corporal y perímetro torácico con peso vivo, éste último mostró la mayor correlación (0.978).

## CONCLUSIONES

El consumo de alimento iniciador por becerros del sistema de doble propósito, a partir de los 21 d de edad permitió el destete a 90 d, mejoró la ganancia de peso en el periodo de 4 a 7 meses, así como el peso vivo y las medidas zoométricas a 7 y 12 meses.

## LITERATURA CITADA

- Abubackr, A., Alimon, A. R., Yaakub, A. R., Abdullah, N., Ivan, M. (2014). Effect of feeding palm oil by-products based diets on total bacteria, cellulolytic bacteria and methanogenic archaea in the rumen of goats. PLOS ONE, 9(4): e95713. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095713>.
- AOAC (2012). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2012. Official Methods of Analysis (19th Edition). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. Chapter 4: 1-44.
- Calderón, J., Nahed, J., Sánchez, B., Herrera, O., Aguilar, R. y Parra, M. (2012). Estructura y función de la cadena productiva de carne

**Cuadro 4.** Medidas zoométricas de becerros del sistema de doble propósito a 3, 7 y 12 meses de edad.

Medida (cm)	Beceros sin iniciador	Beceros con iniciador	EEM
Tres meses de edad			
Alto a la grupa	98.00a	101.33a	4.43
Alto a la cruz	93.50a	95.00a	4.34
Largo total	47.33a	50.00a	2.94
Perímetro torácico	102.33a	105.66a	3.36
Siete meses de edad			
Alto a la grupa	107.20b	115.60a	4.69
Alto a la cruz	101.60b	111.40a	4.09
Largo total	55.60b	64.00a	5.08
Perímetro torácico	113.80b	127.40a	5.97
12 meses de edad			
Alto a la grupa	120.40b	134.80a	6.24
Alto a la cruz	116.20b	127.60a	5.09
Largo total	65.60a	73.20a	6.04
Perímetro torácico	140.00b	160.20a	7.97

a, b: literales diferentes en la misma hilera indican diferencia estadística entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey; EEM: error estándar de la media.

- de bovino en la ganadería ejidal de Tecpatán, Chiapas, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(2): 45-61.
- Castillo, O. J. O., Guerra, M. C. E., Ley, C. A., Montañez, V. O. D., Reyes, G. J. A., Escobar, E. J. C. (2018). Respuesta productiva de becerros lactantes suplementados con alimento iniciador más cultivo de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*). *Acta Universitaria*, 28(1). 1-7: Doi 10.15174/au.2018.1709.
- Drackley, J. K. 2008. Calf nutrition from birth to breeding. *Vet Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 24: 55-86.
- Haisan, J., Steele, M. A., Ambrose, D. J. and Oba, M. (2019). Effects of amount of milk fed and starter intake. On performance of group-housed dairy heifers during the waning transition. *Applied Animal Science* 35: 88-93.
- Hernández, H. N., Martínez, J. G., Parra, J. G., Ibarra, M. H., Briones, F. E., Saldaña, P. C., Ortega, E. R. (2015). Non-genetic effects on growth characteristics of Brahman cattle. *Revista M. V. Z. Córdoba* 20(1): 427-435.
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Quigley, J. D., Aldrich, J. M., Scholopferbeck, J. M. and Heinrichs, A. J. (2013). Review: New information on the protein requirements and diet formulation for dairy calves and heifers since the Dairy NRC 2001. *The Professional Animal Scientist*. 29: 199-207.
- INEGI. Anuario estadístico y geográfico de Chiapas [en línea]. 2017. 736 p. URL disponible en: [http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/CHIS\\_ANUARIO.PDF](http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/CHIS_ANUARIO.PDF). [fecha de acceso 05 de noviembre de 2019]
- Khan, M. A., Bach, A., Wary, D. M., Von Keyserlingk, M. A. G. (2016). Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 99: 885-902.
- Lohakare, J. D., Pattanaik, A. K., Khan, S. A. (2006). Effect of dietary protein levels on the performance, nutrient balance, metabolic profile and thyroid hormones of crossbred calves. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 19 (11): 1588-1596.
- Mahecha, L., Angulo, J., Manrique, L. P. (2002). Estudio bovinométrico y relaciones entre medidas corporales y el peso vivo en la raza Lucerna. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 15(1): 80-87.
- National Research Council (NRC). (1996). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th Ed. Washington, D. C. The National Academies Press. 232 pp.
- Ozakaya, S., Toker, M. T. (2012). Effect of amount of milk fed, weaning age and starter protein level on growth performance in Holstein calves. *Archiv Tierzucht/Archiv. Anim. Breed.* 55(3): 234-244.
- Pereda, S. M. E., González, M. S. S., Arjona, S. E., Bueno, A. G., Mendoza, M. G. D. (2005). Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para bovinos Brahman en Tamaulipas, México. *Agrociencia*, 39(1): 19-27.
- Plainzier, J. C., Khafipour, E., Li, S., Gonzho, G. N., Krause, D. O. (2012). Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 172: 9-21.
- Segura, C. J. C., Magaña, M. J. G., Aké, L. J. R., Segura, C. V. M., Hinojosa, C. J. A. and Osorio, A. M. M. (2017). Breed and environmental effects on birth weight, weaning weight and calving interval of cebu cattle in southeastern México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 20: 297-305.
- Sweeney, B. C., Rushen, J., Weary, D. M. and De Pasillé, A. M. (2010). Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. *J. Dairy Sci.* 93: 148-152.
- SAS. Institute, Inc. 2011. *Statistical Analysis System, SAS/STAT. Versión 9.3. User's Guide: SAS Inst., Cary, NC.* pp 177-178.
- Simeone, A., Beretta, V. (2016). Early weaning: an efficient and effective technological alternative for calf rearing corrals in grassland. *Cattle Systems in Latin América. Rev. Cub. Cienc. Agric.* 50(1): 39-49.
- Sosa, U. M., Martínez, F. E., Espinosa, J. A., Buendía, R. G. (2017). Contribución del sector pecuario a la economía mexicana. Un análisis de la matriz Insumo Producto. *Rev. Mex. Cien. Pec.* 8(1): 31-41.
- Van Soest, P. J., Robertson, B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Journal of Dairy Science.* 74: 3583-3597.
- Xie, X. X., Meng, Q. X., Liu, P., Wu, P., Li, S. R., Ren, L. P. and Li, X. Z. (2014). Effects of a mixture of steam flaked corn and extrudes soybean on performance, ruminal development, ruminal fermentation, and intestinal absorptive capability in veal calves. *J. Anim. Sci.* 91: 4315-4321.

# Effect of stocking density on behaviour and productive performance in growing lambs

## Efecto de la densidad de población sobre la conducta e indicadores productivos en corderos

Castillo-Trujillo, Omar<sup>1</sup>; Santos-Ricalde, Ronald<sup>1\*</sup>; Camara-Sarmiento, Ramón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. km 4.5 carretera Mérida-Xmatkuil, C.P. 4-119, Itzimna, Mérida, Yucatán.

\*Autor de correspondencia: rsantos@correo.uady.mx

### ABSTRACT

**Introduction:** intensive production is characterized by raising a high number of animals per unit of space, which affects their behaviour and productive performance. The objective of this study was to evaluate the effect of three space allowances on the behaviour and productive performance of growing hair lambs.

**Methodology:** the three space allowances evaluated were: A) 2.4, B) 1.2 and C) 0.6 m<sup>2</sup> lamb<sup>-1</sup>. The space allowances were met by housing 5, 10 and 20 lambs, respectively per pen. The lambs were weighed every 10 d for 30 d. Twice a week the evaluated behaviours were recorded.

**Results:** the last 10 days weight gain reduced significantly by 22% in treatment C, compared to treatments A and B (P<0.05); feed conversion was significantly higher in treatment C (6.4) than in treatment A (5.6) and B (4.7) (P>0.05) and feed consumption was approximately 8% lower in treatments B and C in comparison to A (P<0.05). The behaviour associated with food consumption was more frequently in treatments A and B (0.34 and 0.33, respectively) than in treatment C (0.29) (P<0.05). Standing animals were observed more frequently in treatment C (0.30) than in the other treatments (0.26 and 0.27, for treatment A and B, respectively) (P<0.06). More aggressions (P<0.06) were also observed in treatments B and C (0.71 and 0.81, respectively) than in treatment A (0.53).

**Conclusion:** productive performance and comfort of the animals were affected negatively as stocking density increase in the pens.

**Keywords:** Growing lambs, stoking density, behavior, productive performance.

### RESUMEN

**Introducción:** la producción intensiva se caracteriza por criar una gran cantidad de animales por unidad de espacio, lo que les causa stress y deprime los indicadores productivos. Se evaluó el efecto de tres densidades de población sobre la conducta y el rendimiento productivo de corderos de pelo en crecimiento.

**Metodología:** las tres densidades de población evaluadas fueron A) 2.4, B) 1.2 y C) 0.6 m<sup>2</sup>/cordero. Las asignaciones de espacio se cumplieron al alojar 5, 10 y 20 corderos, respectivamente por corral. Las variables productivas se midieron cada 10 d durante 30 d. Los comportamientos conductuales se registraron dos veces por semana.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 8, agosto. 2020. pp: 25-30.

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

**Resultados:** en los últimos 10 d, la ganancia de peso se redujo 22% en el tratamiento C en comparación con los otros ( $P < 0.05$ ); la conversión alimenticia aumento en el tratamiento C (6.4) en comparación con A (5.6) y B (4.7) ( $P > 0.05$ ) y el consumo de alimento fue 8% menor en los tratamientos B y C en comparación con el A ( $P < 0.05$ ). Las conductas alimenticias fueron más frecuentes en los tratamientos A y B (0.34 y 0.33, respectivamente) que en C (0.29) ( $P < 0.05$ ). Animales de pie se observaron con mayor frecuencia en el tratamiento C (0.30) que en los otros (0.26 y 0.27, para A y B, respectivamente) ( $P < 0.06$ ). Se observaron más conductas agresivas ( $P < 0.06$ ) en los tratamientos B y C (0.71 y 0.81, respectivamente) que en el A (0.53).

**Conclusión:** los parámetros productivos y de confort se afectaron negativamente cuando se aumentó la densidad de población en los corrales.

**Palabras clave:** Corderos de engorda, carga animal, conducta, comportamiento productivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una granja de ovejas, ubicada en el km 4.5 de la carretera Umán-Xtepén, en Yucatán, México. El clima es cálido subhúmedo, con temperatura promedio anual de 26 °C, temperatura máxima promedio de 36 °C y mínimo promedio de 16 °C. Su precipitación estacional promedio es de 1100 mm por año, las lluvias ocurren en verano entre junio y octubre. Los corderos utilizados fueron destetados a los 60 d de edad aproximadamente y tuvieron 15 d de adaptación después del destete en jaulas elevadas de engorda. El experimento se realizó en dos periodos (octubre-noviembre, y noviembre-diciembre). En cada periodo, hubo dos repeticiones para cada tratamiento. Se utilizaron un total de 70 corderos cruzados (Pelibuey×Katahdin) en cada periodo. Se alojaron 20, 10 y 5 corderos en jaulas de 12 m<sup>2</sup>, lo que correspondió a tres cantidades de espacio disponible por cordero: A) 0.6, B) 1.2 y C) 2.4 m<sup>2</sup> cordero<sup>-1</sup> respectivamente. Todos los animales fueron identificados individualmente, desparasitados y vacunados. Se alimentaron con una dieta balanceada ofrecida *ad libitum* y 1.0 kg de forraje fresco de Taiwán (*Pennisetum purpureum*) por animal día<sup>-1</sup>.

El experimento duró treinta días, e inició con el pesaje de los corderos. Posteriormente se pesaron a los 10, 20 y 30 d posteriores al inicio del experimento y se calculó la ganancia diaria de peso (GDP). Se registró el consumo de alimento (CDA) pesando el alimento ofrecido y rechazado del día 1 al 10, del 11 al 20, del 21 al 30 y del día 1 al 30. La conversión alimenticia (CA) se calculó dividiendo el CDA entre el aumento de peso

## INTRODUCCIÓN

**El aumento** en la densidad de población del ganado por unidad de superficie caracteriza a la producción animal intensiva. Ese manejo afecta el bienestar animal y la productividad a mediano y largo plazo (Caroprese *et al.*, 2009). Imponer limitaciones espaciales influyen en el tiempo de descanso, patrón de ingesta de alimentos, cohesión grupal e incrementa la agresividad entre los animales. El aumento de la densidad poblacional no permite a los animales expresar sus conductas normales, creando situaciones de estrés constante que los afecten mental y físicamente (Jorgensen *et al.*, 2009, Centoducati *et al.*, 2015). Idealmente, cada miembro del grupo debe tener un área de espacio para acostarse, descansar y alimentarse, entre otras actividades dependiendo de la edad de los animales (Estevez *et al.*, 2007). Estas situaciones de estrés constante comprometen no solo el bienestar animal, sino también los indicadores productivos. El hacinamiento provoca mortalidad y morbilidad, pérdida de peso, menor ingesta de alimentos y lesiones corporales. Las características organolépticas de la carne, tales como el color, sabor y aroma, entre otras variables, se puede ver afectadas negativamente. El pH de la carne baja y aumentan las pérdidas por goteo (Liu *et al.*, 2016, Zaboli *et al.*, 2019). Por lo tanto, garantizar el bienestar animal mejora la salud de los animales y también promueve la productividad y la calidad de la carne (Zaboli *et al.*, 2019). La información mencionada anteriormente indica la importancia de identificar el efecto del espacio vital asignado a los animales en los corrales de engorda sobre los patrones de comportamiento y los indicadores productivos de los corderos. Este conocimiento permitirá tomar decisiones para mejorar la rentabilidad de la engorda de corderos, sin dejar de lado el bienestar de los animales. Además, esta información es escasa en condiciones de producción tropical. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de tres densidades de población (0.6 m<sup>2</sup>, 1.2 m<sup>2</sup> y 2.4 m<sup>2</sup> cordero<sup>-1</sup>) sobre los patrones de conducta y el rendimiento productivo en corderos de pelo en crecimiento criados en condiciones intensivas.

vivo registrado en los intervalos de tiempo mencionados anteriormente.

### Observación conductual

Los corderos fueron grabados en video de 6:00 am-18:00 pm, usando una cámara de vigilancia para cada corral, dos veces por semana (martes y viernes). Se tomó el registro de los patrones de comportamiento de las grabaciones de video. Se registraron las conductas alimentarias, de reposo y de descanso cada 10 min. Las conductas asociadas con agresiones se registraron cada 20 min durante un minuto. Se estimó la frecuencia de las conductas observadas cada día y en cada punto de muestreo, tales como la proporción de animales, realizando cada una de ellas con relación al número de animales en cada jaula. El etograma de las conductas observadas se presentan en el Cuadro 1.

### Análisis estadístico

La normalidad de la distribución de todas las variables evaluadas se probó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El experimento fue bloqueado por período. En cada período, hubo dos repeticiones por tratamiento. El primer período fue de octubre a noviembre, y el segundo de noviembre a diciembre. Las medias de GDP, CDA y CA del día 1 al 10, del 11 al 20, del 21 al 30 y del día 1 al 30 se sometieron a un análisis de varianza de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento utilizando el programa estadístico SAS (2010). Las variables

conductuales se analizaron como las frecuencias promedio de cada comportamiento observado cada día, por corral, dos veces por semana. Los datos se sometieron a un análisis de varianza de bloque al azar para medidas repetidas utilizando el paquete estadístico SAS (2010). Los datos se compararon mediante la prueba de Tukey cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados sobre el rendimiento productivo y las conductas evaluadas en este trabajo se muestran en los Cuadros 2 y 3 respectivamente.

Se observó que los tratamientos con más espacio de corral por cordero ganaron más peso del día 21 al 30 (tratamiento A y B) en comparación con el tratamiento con menos espacio disponible (tratamiento C) ( $P < 0.05$ ). Lo anterior coincide con los informes de Muñoz-Osorio et al. (2015), quienes observaron que en las granjas donde había más corderos por corral y menos espacio disponible por animal ganaban menos peso. La reducción de la GDP observado en los tratamientos con menor espacio disponible (tratamientos B y C), se asoció directamente con la disminución de la ingesta diaria de alimento (1.08 y 1.07 kg de alimento día<sup>-1</sup> respectivamente) con respecto al tratamiento con más espacio disponible (1.17 kg de alimento día<sup>-1</sup> en el tratamiento A) del día 1 al 30 ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 1.** Etograma para las observaciones de corderos alojados en tres densidades de población.

Categoría	Conductas	Definición	Medición, tipo de muestreo y registro
<b>Estados</b>			
Descanso	Acostado	Con el cuerpo en decúbito esternal o lateral en descanso	Muestreo de barrido por intervalos de tiempo De 6:00 am - 18:00 pm, cada 10 min (72 puntos de muestreo).
	Parado	En cuadrípedación o desplazamiento sin realizar comportamiento de alimentación	
Conductas alimenticias	Ingesta de alimento	Parado en el comedero, ingiriendo alimento	Muestreo de barrido por intervalos de tiempo. De 6:00 am - 18:00 pm cada 10 min, durante un minuto (72 puntos de muestreo).
<b>Eventos</b>			
Conductas de agresión, dominancia	Cabezazos y patadas.	Golpes a otros corderos usando la cabeza y extremidades	Muestreo focal por intervalos de tiempo. De 6:00 am - 18:00 pm, cada 20 min, durante un minuto (36 puntos de muestreo).
	Desplazamientos por recursos	Forzar a otro cordero a alejarse del comedero o bebedero	
	Desplazamientos por zona de descanso	Forzar a otro cordero a alejarse de espacios de descanso	
	Mordiscos	Realizar una mordida a un compañero, para obtener recursos o espacio	

**Cuadro 2.** Medias de ganancia de peso, consumo voluntario y conversión alimenticia, de los corderos alojados en tres densidades de población.

Variables	Tratamientos		
	A (2.4 m <sup>2</sup> cordero <sup>-1</sup> )	B (1.2 m <sup>2</sup> cordero <sup>-1</sup> )	C (0.6 m <sup>2</sup> cordero <sup>-1</sup> )
Ganancia diaria de peso (kg)			
Día 1-10	0.23±0.108	0.26±0.037	0.26±0.038
Día 11-20	0.25±0.095	0.23±0.052	0.28±0.042
Día 21-30	0.23 <sup>a</sup> ±0.024	0.25 <sup>a</sup> ±0.027	0.18 <sup>b</sup> ±0.110
Día 1-30	0.25±0.015	0.24±0.010	0.23±0.007
Consumo de alimento (kg día <sup>-1</sup> )			
Día 1-10	0.96±0.062	0.90±0.050	0.97±0.053
Día 11-20	1.25 <sup>a</sup> ±0.0104	1.16 <sup>ab</sup> ±0.050	1.11 <sup>b</sup> ±0.068
Día 21-30	1.30±0.214	1.20±0.158	1.15±0.052
Día 1-30	1.17 <sup>a</sup> ±0.099	1.08 <sup>ab</sup> ±0.076	1.07 <sup>b</sup> ±0.027
Conversión alimenticia			
Día 1-10	4.14±1.241	3.46±0.415	3.74±0.694
Día 11-20	5.35±1.274	5.59±1.429	4.25±0.913
Día 21-30	5.55 <sup>a</sup> ±0.591	4.74 <sup>b</sup> ±0.211	6.42 <sup>c</sup> ±0.625
Día 1-30	4.96±0.953	4.60±0.603	4.80±0.428

<sup>a, b, c</sup> Valores con literales diferentes en la misma línea, no son estadísticamente iguales a P<0.05.

También se observó que la conversión alimenticia fue significativamente mayor en el tratamiento C, seguido del tratamiento A y B, respectivamente (P<0.05). La disminución de la GDP, CDA y aumento de la CA observada en el tratamiento con menos espacio disponible (Tratamiento C), podría estar relacionada con aumentos en la tensión social y competencia por los recursos cuando aumenta el número de animales en los corrales (Dwyer y Bornett, 2004; Estevez et al., 200; Petherick, 2007; Van et al., 2007; Muñoz-Osorio et al., 2015). De acuerdo con Estevez et al., 2007

y Van et al., 2007, la reducción en la asignación de espacio disminuye el acceso a los recursos alimenticios y disminuye la ganancia de peso vivo de los animales. En animales estresados, se ha observado aumento del nivel de glucocorticoides en sangre, los cuales reducen el metabolismo energético en el músculo y tejido adiposo; en consecuencia, el crecimiento y la conversión alimenticia se afectan negativamente (Kuo et al., 2015). En este trabajo se observó en menor frecuencia comiendo a los corderos con menor espacio disponible (tratamiento C, 0.29) que a los corderos de tratamientos A y

B (0.34 y 0.33 respectivamente) (P<0.06). Esta conducta guarda relación con la disminución del CDA registrada en el tratamiento C con respecto a los demás tratamientos. Como se mencionó anteriormente el aumento de la competencia por los recursos disponibles, disminuye el acceso a los mismos (Estevez et al., 2007 y Van et al., 2007).

La conducta de reposo observada en este experimento no fue significativamente diferente entre los tratamientos evaluados (P>0.05). Sin embargo, se encontró un aumento en la frecuencia de animales de pie (P<0.05) y comportamientos agresivos más frecuentes (P<0.06) en los corderos más densamente alojados. Esos resultados concuerdan con otros informes en los que el tiempo de permanencia de pie aumentó cuando las asignaciones de espacio se redujeron en terneros lecheros (Shuterland et al., 2014) y novillas de carne (Keane et al., 2017). Al respecto, Van et al. (2007) y Averós et al. (2014) observaron más agresiones cuando aumentaron el tamaño del grupo y disminuyeron la asignación de espacio en corderos de engorda. Ese comportamiento se atribuyó a las confrontaciones para obtener espacio para descanso y acceso al comedero.

Como se mencionó al principio, las ganancias de peso se redujeron significativamente en el último periodo de medición (día 21 al 30) en el tratamiento con más densidad de población (tratamiento C). A medida que aumentó el peso de los animales, también se

**Cuadro 3.** Medias ajustadas de las frecuencias de comportamientos observadas en corderos alojados en tres densidades de población.

Conductas	Tratamientos			Error estándar	P<
	A (2.4 m <sup>2</sup> cordero <sup>-1</sup> )	B (1.2 m <sup>2</sup> cordero <sup>-1</sup> )	C (0.6 m <sup>2</sup> cordero <sup>-1</sup> )		
Parado	0.26 <sup>a</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.0105	0.0541
Acostado	0.41	0.40	0.41	0.0104	0.8665
Comiendo	0.34 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.29 <sup>b</sup>	0.0059	0.0026
Agresión	0.53 <sup>a</sup>	0.71 <sup>ab</sup>	0.81 <sup>b</sup>	0.0641	0.0557

<sup>a, b, c</sup> Valores con literales diferentes en la misma línea, no son estadísticamente iguales a P<0.05.

incrementó la cantidad en kilogramos de cordero por m<sup>2</sup> en el corral, y en consecuencia, el espacio disponible de comedero y descanso al final del experimento. Probablemente por esa razón, no se observaron diferencias significativas en las variables productivas evaluadas de los días 1 al 10 y 11 al 20, cuando el peso de los animales fue menor. Sin embargo, cuando el peso de los animales aumentó en los últimos 10 d del experimento, la reducción del espacio disponible por animal fue menor, y en consecuencia el consumo de alimento y ganancia diaria de peso se redujeron, afectando la conversión alimenticia.

En contraste, varios autores han informado que la asignación de espacio no afecta la GDP (Van et al., 2007; Jongman et al. 2017; Norouzian, 2017). No obstante, es de esperarse que conforme aumenta el peso de los animales, el efecto negativo de la densidad de población sobre la ganancia diaria de peso sea mayor, por lo que es necesario considerar los kilogramos de cordero por m<sup>2</sup> al final del periodo de engorda y no solo el número de animales por m<sup>2</sup>. A medida que aumenta el peso de los animales, aumenta también la cantidad de alimento que necesitan y el tiempo requerido para consumirlo; por lo que es importante considerar también el espacio de comedero disponible por animal durante todo el periodo de engorda. Aun cuando, en este trabajo, la GDP fue menor en el tratamiento C, se obtuvo al final mayor producción de kg de cordero finalizado por m<sup>2</sup> (9.8, 18.9 y 37.8 kg m<sup>2-1</sup> en los tratamientos A, B y C respectivamente). Estos resultados sugieren que es más rentable utilizar una densidad alta de corderos por corral durante la engorda, pero a pesar de esto, no se debe dejar a de lado las implicaciones que la densidad de corderos en los corrales tiene sobre el bienestar animal y el impacto negativo que el estrés tiene sobre la calidad de la carne.

## CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el aumento de la densidad de corderos en los corrales disminuyó el rendimiento productivo, especialmente cuando los corderos fueron más pesados. Las conductas agresivas y la frecuencia de corderos de pie también aumentó, y las conductas asociadas con la alimentación disminuyeron.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa "Granjas Paraiso" por las facilidades prestadas para la realización de este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Averós, X., Lorea, A., de Heredia, I. B., Ruiz, R., Marchewka, J., Arranz, J. (2014). The behaviour of gestating dairy ewes under different space allowances. *Applied Animal Behaviour Science*. 150: 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.11.002>
- Caroprese, M., Annicchiarico, G., Schena, L., Muscio, A., Migliore, R., Sevi, A. (2009). Influence of space allowance and housing conditions on the welfare, immune response and production performance of dairy ewes. *Journal of Dairy Research*, 76: 66-73. <https://doi.org/10.1017/S0022029908003683>
- Centoducati, P., Maggiolino, A., De Palo, P., Milella, P., Tateo, A. (2015). Semiextensively reared lactating ewes: Effect of season and space allowance reduction on behavioral, productive, and hematologic parameters. *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research*. 10:73-77. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2015.02.005>
- Dwyer, C.M., Bornett, H.L.I. (2004). Chronic stress in sheep: assessment tools and their use in different management conditions. *Animal Welfare*. 13: 293-304. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/ufaw/aw/2004/00000013/00000003/art00004>
- Estevez, I., Andersen, L.I., Naevdal, E. (2007). Group size, density and social dynamics in farm animals. *Applied Animal Behaviour Science*. 103: 185-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.025>
- Jongman E.C., Rice, M., Campbell, A.J.D., Butler, K.L., Hemsworth, P.H. (2017). The effect of trough space and floor space on feeding and welfare of lambs in an intensive finishing system. *Applied Animal Behaviour Science*. 186: 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.10.015>
- Jorgensen, G. H. M., Andersen, I. L., Berg, S., y Boe, K. E. (2009). Feeding, resting and social behaviour in ewes housed in two different group sizes. *Applied Animal Behaviour Science*, 116(2-4), 198-203. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.08.014>
- Keane, M.P., McGee, M., O'Riordan, E.G., Kelly, A.K., Early, B. (2017). Effect of space allowance and floor type on performance, welfare and physiological measurements of finishing beef heifers. *Animal*. 11: 2285-2294. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001288>
- Kuo, T., McQueen, A., Chen, T.C., Wang, J.C. (2015). Regulation of Glucose Homeostasis by Glucocorticoids. In: Wang J.C., Harris C. (eds) *Glucocorticoid Signaling. Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol 872. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2895-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2895-8_5)
- Liu, H., Li, K., Mingbin, L., Zhao, J., Xiong B. (2016). Effects of Chesnut tannins on the meat quality, welfare, and antioxidant status of heat-stressed lambs. *Meat Science*. 116: 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.024>
- Muñoz-Osorio G.A., Aguilar-Caballero A.J., Sarmiento-Franco L.A., Wurzinger M., Gutiérrez-Reynoso, G.A. (2015). Factors influencing on some productive variables in lambs fattening in raised slatted floor cages. *Nova Scientia*. 7: 285-296. <http://novascientia.delasalle.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/342/240>
- Norouzian, M.A. (2017). Effect of floor area allowance on behavior and performance of growing lambs. *Journal of Veterinary Behavior*. 19: 102-104. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.03.002>
- Petherick, J.C. (2007). Spatial requirements of animals: Allometry and beyond. *Journal of Veterinary Behavior*. 2: 197-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jveb.2007.10.001>

- SAS. (2010). SAS User's Guide: Statistics. Ver 9.3. 4th ed. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 2340p.
- Shuterland, M.A., Worth, G.M., Stewart, M. (2014). The effect of rearing substrate and space allowance on the behavior and physiology of dairy calves. *Journal of dairy Science*. 97: 4455-4463. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7822>
- Van D.T.T., Thi M.N., Ledin I. (2007). Effect of group size on feed intake, aggressive behaviour and growth rate in goat kid and lambs. *Small Ruminant Research*. 72: 187-196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.010>
- Zaboli, G., Huang, X., Feng, X., Ahn, D.U. (2019). How can heat stress affect chicken meat quality? – a review. *Poultry Science*. 98: 1551–1556. <https://doi.org/10.3382/ps/pey399>





# Specialization and competitiveness in the Mexican agricultural sector: strawberry case

## Especialización y competitividad en el sector agrícola mexicano: caso fresa

Bustamante-Lara, Tzatzil Isela<sup>1</sup>; Vargas-Canales, Juan Manuel<sup>1</sup>; Díaz-Sánchez, Fernanda<sup>2</sup>; Rosas-Vargas, Rocío<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Boulevard Bicentenario S/N carretera Salvatierra-Acámbaro, Salvatierra, Guanajuato, México, C.P 38141 <sup>2</sup>Asistente de Investigación en 2020 y egresada de la Licenciatura en Agronegocios por la Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Boulevard Bicentenario S/N carretera Salvatierra-Acámbaro, Salvatierra, Guanajuato, México, C.P 38141.

\*Autora para correspondencia: ti.bustamante@ugto.mx

### ABSTRACT

**Objective:** measure the level of competitiveness in strawberry (*Fragaria ananassa* D.) production in Mexico for the period from 1980 to 2019 and with it, generate strategies that have a positive impact on increasing specialization.

**Design/methodology/approach:** the methodology consists of the application of three indicators related to competitiveness and specialization at the macroeconomic and mesoeconomic levels, such as the location quotient, the Lafay International Specialization Indicator, and the Revealed Trade Advantage Index of Exports for the period. It includes from 1980 to 2017, for each of the states of the Mexican Republic and in comparison, with the United States.

**Results:** strawberry production in Mexico is specialized since it has comparative advantages that the different states take advantage of and which allow the country, positioning itself as a net exporter and with a significant degree of importance within the country's strawberry exports to the United States market.

**Limitations of the study/implications:** no limitations were found in terms of the data obtained from the secondary information sources necessary for the application of the methodology. However, the results are limited to the analysis of a single aspect that impacts competitiveness such as trade, and it would be interesting to study more variables that impact specialization and therefore improve competitiveness.

**Findings/conclusions:** despite the favorable results in the calculation of the indicators, it is necessary to apply strategies that favor the increase in the specialization and competitiveness of strawberry production in Mexico and increase the profitability of producers.

**Keywords:** Indicators, production structure, international trade.

### RESUMEN

**Objetivo:** medir el nivel de competitividad en la producción de fresas (*Fragaria ananassa* D.) en México para el periodo de 1980 a 2019 y con ello generar estrategias que tengan un impacto positivo en el aumento de la especialización.

**Diseño/metodología/enfoque:** la metodología consiste en la aplicación de tres indicadores relacionados con la competitividad y especialización a nivel macroeconómico y mesoeconómico como lo son el cociente de localización, el Indicador de Especialización Internacional de Lafay y, el Índice de Ventaja Comercial Revelada de las Exportaciones para el periodo que comprende de 1980 a 2017, para cada uno de los estados de la república mexicana y en comparación con Estados Unidos.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 8, agosto. 2020. pp: 31-37.

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

**Resultados:** la producción de fresas en México es especializada ya que cuenta con ventajas comparativas que los diferentes estados aprovechan y permiten al país, posicionarse como exportador neto con importante grado de importancia dentro de las exportaciones de fresa del país hacia el mercado estadounidense.

**Limitaciones en el estudio/implicaciones:** los resultados se limitan al análisis de un solo aspecto que impacta en la competitividad (comercio) y sería interesante estudiar más variables que impactan a la especialización y por ende mejoran la competitividad.

**Hallazgos/conclusiones:** a pesar, de los resultados favorables en el cálculo de los indicadores, es necesario aplicar estrategias que favorezcan el incremento en la especialización y competitividad de la producción de fresas en México que incrementen la rentabilidad para los productores.

**Palabras clave:** Indicadores, estructura productiva, comercio internacional.

(SIAP 2018). Los principales destinos de exportación son Chile, Canadá, EE.UU, Países Bajos, Japón y Reino Unido, cabe destacar que el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) indica que las zonas potenciales o las zonas de oportunidad para incrementar las exportaciones de fresa de México son Portugal, Polonia y Suiza (SIAP, 2018). La fresa es una actividad agrícola importante para el sector primario de México, por consiguiente, es importante llevar a cabo un estudio sobre la especialización en la producción de este cultivo con el fin de incrementar la competitividad del sector, tomando en cuenta la premisa de que el aumento en la especialización llevará de forma inmediata al crecimiento en la competitividad a través del aumento en la producción; la reducción de los costos; generación de divisas obtenidas por el incremento en la cantidad y el valor de las exportaciones; así como, la generación de empleos directos e indirectos entre otros, lo que se traduce en un mayor bienestar social y desarrollo del sector rural.

Por lo tanto, la hipótesis del trabajo implica que el inicio del TLCAN ha traído como consecuencia una mayor especialización y competitividad en la producción de fresas en México. Para esto se requiere, realizar una medición que permita conocer el nivel de competitividad de la actividad y con ello, generar estrategias que impacten positivamente en el aumento de la especialización.

La especialización, implica la existencia de factores y ventajas que incrementan la capacidad productiva (Rodríguez-Braun, 2015). Mientras que la competitividad se considera como la capacidad de conquistar, mantener o incrementar

## INTRODUCCIÓN

Uno de los países con mayor oferta alimentaria a nivel mundial es México, ocupando el decimosegundo lugar en la producción de alimentos y 3<sup>er</sup> lugar en Latinoamérica (SIAP 2018). Respecto a la producción de cultivos agrícolas México es el 11<sup>vo</sup> productor a nivel mundial. Entre sus principales productos están: el aguacate, el jitomate, las berries, el chile, nuez, pepino, limón, cebolla, calabaza, trigo y maíz (SIAP 2018). En cuanto a la relación de estos productos dentro del comercio internacional, en conjunto con algunos otros productos generaron para 2016 divisas por 28, 971 millones de dólares (mdd) (SIAP 2018). En términos de comercio internacional, México cuenta con 12 tratados comerciales donde destaca su participación con Canadá y Estados Unidos (EE.UU) a través del TLCAN (Rangel, 2017), el cual ha permitido a México posicionarse como uno de los principales proveedores de frutas y hortalizas frescas (Avila-Arce y González-Milán, 2012), generando con ello un importante desempeño en término del flujo comercial para el país.

El comercio de frutas y hortalizas durante 2016, posicionó a México en el 4<sup>to</sup> lugar de producción de berries (dentro de las berries se consideran el arándano azul (*Vaccinium spp.*), arándano rojo (*Vaccinium macrocarpon* Aiton), fresa (*Fragaria ananassa* D.), frambuesa (*Robus idaeus*), grosella (*Ribes rubrum*), zarzamora (*Rubus ulmifolius*), murta moras, uva-espina, aguaymanto y pineberry (SIAP, 2018) a nivel mundial (SIAP, 2018). La exportación de berries, generó divisas al país por 1,746 mdd en 2016 (SIAP, 2018). Durante ese mismo año, el máximo valor de volumen cosechado lo obtuvo la fresa (*Fragaria ananassa* D.) con 468,248 t, seguido de la zarzamora con 248,512 t, la frambuesa y el arándano azul con 112,661 y 29,067 t que en conjunto generan un volumen de producción de 858,488 t (SIAP, 2018).

En relación con la fresa, a nivel mundial durante 2016, China y EE.UU aportaron 55.3% del volumen de producción total mundial, y México se posicionó en 3<sup>er</sup> lugar con 458,972 t (SIAP 2018). Esta representa el 13.8% del total mundial

la participación en los mercados nacionales e internacionales (Gómez Tenorio et al., 2010). Además de esto, es importante generar una ventaja a través del precio de los factores de producción (Stolper y Samuelson, 1941). Existe una fuerte relación entre la ventaja y la apertura comercial, indicando que la especialización se origina a través del aumento en la producción que se fomenta mediante el comercio internacional. A medida que aumenta la complejidad de las sociedades también lo hace el grado de especialización de las unidades económicas que las integran, entonces, una mayor especialización no sólo permite una asignación eficiente de los recursos productivos, sino que además hace que la sociedad disponga de un mayor número de bienes y servicios. Esto redundaría en una mejora del nivel de vida (Bajo, 1991). El objetivo fue medir el nivel de competitividad en la producción de fresas (*Fragaria* × *ananassa*) en México para el periodo de 1980 a 2019 y con ello generar estrategias que tengan un impacto positivo en el aumento de la especialización.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue de corte longitudinal con información de fuentes secundarias tales como la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Se obtuvieron datos a nivel mundial y nacional para el caso de México y EE.UU para el periodo 1981-2017 a fin de medir tres indicadores.

### Cociente de localización ( $Q_{ij}$ )

Es una medida estática que se refiere a la realidad en la situación de una actividad en determinado sector. Este cociente compara el tamaño relativo de un sector en una región respecto al tamaño relativo del mismo sector a nivel nacional (Boisier, 1980), se puede determinar en termino de actividades y su expresión algebraica es:

$$Q_{ij} = \frac{V_{ij}}{\sum_i V_{ij}} : \frac{\sum_j V_{ij}}{\sum_i \sum_j V_{ij}}$$

Donde:

$Q_{ij}$ =Valor del cociente de localización del sector  $i$  en la región  $j$ .

$V_{ij}$ =Valor de la variable  $V$  correspondiente al sector  $i$  de la región  $j$ .

$\sum_i V_{ij}$ =Valor de  $V$  correspondiente al total regional.

$\sum_j V_{ij}$ =Valor de  $V$  correspondiente al total sectorial.

$\sum_i \sum_j V_{ij}$ =Valor de  $V$  correspondiente al total nacional.

En el caso de esta investigación, el valor de "V" hace referencia al valor de la producción en miles de dólares estadounidenses, de una actividad "i" que es la producción de fresa para la región "j" que incluye a cada uno de los 32 estados de la república mexicana.

El cálculo de este cociente genera tres resultados: si  $Q_{ij}<1$ , el tamaño relativo de la región es menor que en el país por lo tanto no hay especialización; si  $Q_{ij}=1$ , el tamaño relativo del sector en la región es idéntico al tamaño relativo del mismo sector en todo el país, por lo tanto, no existe una especialización en la actividad dentro de la región y; si  $Q_{ij}>1$ , el tamaño relativo de la región es mayor al tamaño nacional, por lo tanto, hay una especialización regional para la actividad o sector que se estudie (Boisier 1980).

En este caso, las actividades comparativas para el cálculo del cociente son, los valores en miles de dólares de la producción de aguacate y limón puesto que son las principales actividades que se desarrollan dentro de la horticultura mexicana, por lo tanto, se dice que son actividades comparativas.

### Indicador de Especialización Internacional de Lafay ( $IL^k$ )

Este hace referencia a la especialización, y mide el grado en el que un país tiene una ventaja comparativa sobre determinado rubro permitiéndole ser un exportador natural (Durán Lima y Alvarez, 2008). La manera en que este indicador se obtiene es:

$$IL^k = \frac{Pd}{Pd + M - X}$$

Donde:

$IL^k$ =Indicador de Especialización Internacional de Lafay.

$Pd$ =Es la producción de un bien.

$M$ =Importaciones de dicho bien.

$X$ =Exportaciones de dicho bien.

La interpretación de los resultados posteriores al cálculo del indicador de Lafay muestran las siguientes situaciones: si  $IL>1$ , el país es un exportador neto del bien, por lo tanto ésta situación aumenta conforme lo hacen las exportaciones como destino de la producción; si  $IL<1$ , el país no es exportador neto del bien, por lo tanto su producción debería enfocarse más hacia las

exportaciones (Durán Lima y Alvarez, 2008). Para el caso de este trabajo solo se considera el valor de la producción, de las importaciones y las exportaciones de fresa en México (miles de dólares) para el periodo de 1981-2016.

### Índice de Ventaja Comercial Revelada de las Exportaciones (IVCRE)

Mide el grado de importancia de determinado producto en las exportaciones de un mercado a otro contra la importancia de las exportaciones de dicho producto hacia el mundo (Durán Lima y Alvarez, 2008), la fórmula para llevar a cabo su cálculo es:

$$IVCRE_{ij}^k = \frac{X_{ij}^k / XT_{ij}}{X_{iw}^k / XT_{iw}}$$

Donde:

$X_{ij}^k$  = Exportaciones del producto  $k$  realizadas por el país  $i$  hacia el país  $j$ .

$XT_{ij}$  = Exportaciones totales del país  $i$  al país  $j$ .

$X_{iw}^k$  = Exportaciones del producto  $k$  realizadas por el país  $i$  hacia el mundo  $w$ .

$XT_{iw}$  = Exportaciones totales del país  $i$  al mundo  $w$ .

Para interpretar los resultados obtenidos del indicador se utilizan tres escalas; si el,  $IVCRE \geq 0.33 \leq 1$ , existe ventaja para el país, si el  $IVCRE \geq -0.33 \leq -1$ , existe desventaja para el país y, si el  $IVCRE$  está entre  $-0.33$  y  $0.33$  existe tendencia hacia un comercio intraproducto (Durán Lima y Alvarez, 2008). En el caso de este trabajo el país  $i$  es México; el país  $j$  la producción de fresa de 180 a 2016, expresada en miles de dólares al igual que el caso de las exportaciones e importaciones.

Con la aplicación de esta metodología, se determinaron las regiones cuyo tamaño relativo respecto a la producción de fresa es mayor que el tamaño relativo del país en general; el grado de concentración y especialización a través de los años para todas las entidades de México, y si existe especialización para el cultivo de fresa dentro del ámbito internacional a fin de estipular si la especialización es un factor que deriva en la competitividad de fresas en México.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis del cociente de localización se obtuvo una división de dos categorías que son, los estados especializados y no especializados. Los estados que se presentan en el Cuadro 1, indican que, el tamaño relativo de la actividad hortícola respecto a la producción de fresa en cada estado de la república mexicana es idéntico al tamaño relativo de la producción de fresa

a nivel nacional, por lo tanto, no existe una especialización en la actividad dentro de la región.

El resultado que estos estados obtuvieron dentro del cociente de localización indica que, aunque la concentración en la producción de estos estados actualmente no se enfoca en el cultivo de fresa, estos podrían especializarse en algún momento, aumentando su participación dentro de la producción de fresa a nivel nacional y su tamaño relativo en relación con el tamaño relativo nacional. En este caso se encuentran las regiones mostradas en el Cuadro 2.

Esto implica que la concentración de la producción de fresa

**Cuadro 1.** Resultados del CL=1, estados no especializados (1981-2016).

Estado	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Aguascalientes				1.0		1.0		1.0	
Baja California		1.0							
Baja California Sur				1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Chihuahua					1.0	1.0		1.0	1.0
Coahuila							1.0		
Durango					1.0	1.0	1.0		
Estado de México		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Guanajuato						1.0	1.0	1.0	1.0
Jalisco	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Querétaro	1.0	1.0	1.0						
Morelos				1.0	1.0	1.0	1.0		
Oaxaca			1.0	1.0				1.0	1.0
Puebla								1.0	1.0
Sinaloa	1.0	1.0		1.0			1.0		1.0
Sonora			1.0						
Tlaxcala								1.0	1.0
Veracruz	1.0	1.0				1.0	1.0	1.0	1.0
Zacatecas			1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP (2018).

**Cuadro 2.** Resultados del CL>1, estados especializados (1981-2016).

Estado	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Aguascalientes	1.1								
Baja California					1.1	1.1	1.1	1.2	1.1
Guanajuato	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1				
Michoacán	1.2		1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP (2018).

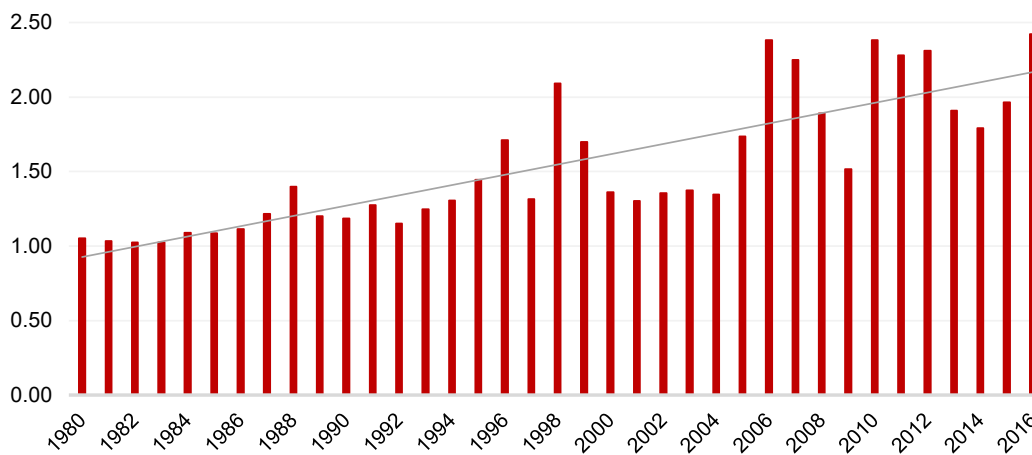
se da en cuatro estados, y que, en los mismos, existe especialización relativa de dicho cultivo en comparación con la producción de aguacate y limón. En lo referente a los resultados del Indicador de Especialización Internacional de Lafay, los resultados se muestran en la Figura 1. Estos indicaron que, a lo largo de los años analizados, México ha presentado ventajas comparativas que ha aprovechado y que lo han llevado a ser un exportador neto de fresa manteniendo una tendencia creciente en su especialización a nivel internacional.

Como lo muestra la figura anterior en ningún año se dio una situación donde el indicador muestre que México tiene un comportamiento diferente al de exportador

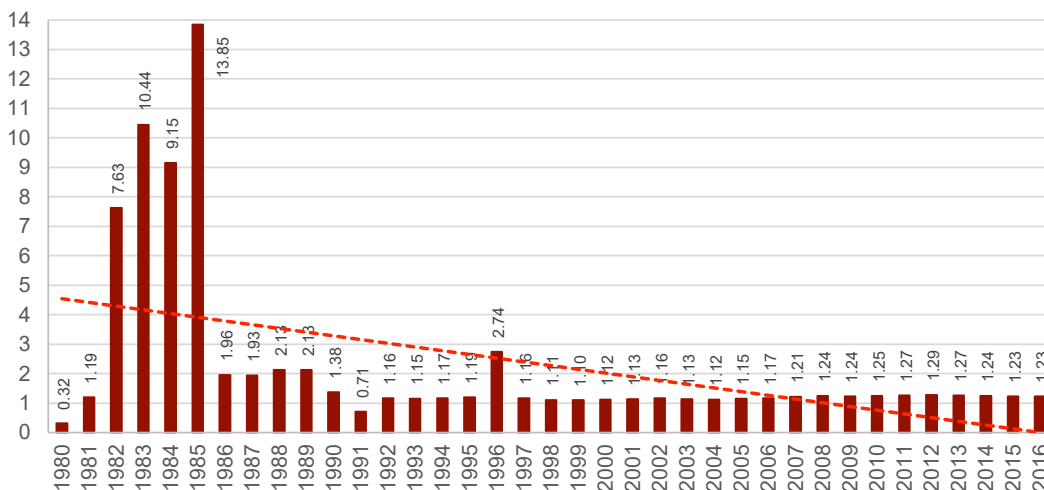
neto en cuanto al comercio de fresas en el ámbito internacional. Este resultado implica que existe una ventaja comparativa para el país en termino de otros países y que su situación respecto a la especialización y competitividad solamente mejoraría al seguir incrementando las exportaciones de este fruto. Haciendo referencia ahora al Índice de Ventaja Comercial Revelada de las Exportaciones, los resultados se han comportado durante los diferentes años de análisis como se muestra en la Figura 2.

Estos resultados muestran nuevamente que la producción de fresa presenta una ventaja para el país y además su producción es de gran importancia dentro de las exportaciones de México a EE.UU en comparación con las exportaciones del mismo bien a nivel mundial. En términos generales el caso de la producción de fresa de estados como: Michoacán, Baja California, Guanajuato, son quienes aprovechan sus ventajas puesto que dentro

Estos resultados muestran nuevamente que la producción de fresa presenta una ventaja para el país y además su producción es de gran importancia dentro de las exportaciones de México a EE.UU en comparación con las exportaciones del mismo bien a nivel mundial. En términos generales el caso de la producción de fresa de estados como: Michoacán, Baja California, Guanajuato, son quienes aprovechan sus ventajas puesto que dentro



**Figura 1.** Resultados del indicador de Lafay (1981 a 2016) Fuente: Elaboración propia con base en SIAP (2008) y Durán Lima (2008).



**Figura 2.** Resultados del Índice de Ventaja Comercial Revelada de las Exportaciones (1981 a 2016). Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP (2018).

del análisis destacan como especializados. Cabe destacar que estas y otras cinco regiones en conjunto produjeron 99.79% de la fresa en México durante 2017 (SIAP, 2019). Este aprovechamiento se da en términos de cercanía con los principales socios comerciales como EE.UU, su infraestructura, redes de colaboración comercial, uso eficiente de recursos como agua, mano de obra, y características geográficas. Respecto a éstas, se recomienda, para llevar a cabo la producción eficiente de la fresa, una altitud de entre 800 a 2,500 m, factores abióticos tales como temperatura de 15 a 20 °C, lluvia de 700 a 1,500 mm, y condiciones edafológicas con características de suelo franco-arenoso profundo con, pH de 5.5 a 6.5 (SIAP, 2018) las cuales son favorables para la producción de fresa. Las regiones de Aguascalientes, Baja California Sur, Jalisco y Estado de México, aunque no repuntan como altamente especializados, se sugiere que un aumento en su producción y el aprovechamiento de sus recursos enfocados a la producción de fresa los posicionarían como especializados. Además, existen estados como Tamaulipas y Chiapas que cuentan con las características geográficas adecuadas para la producción de fresa; sin embargo, están desaprovechando su ventaja competitiva lo cual sin duda significaría un espacio de oportunidad agrícola a considerar (SIAP, 2018), este aprovechamiento podría subirlos en el peldaño y pasar de una especialización media a una especialización alta en la producción de fresa.

Aunado al aprovechamiento de las ventajas, si a estos lugares se les brindarán técnicas para llevar a cabo una producción especializada de fresa, la actividad productora incrementaría, generando la posibilidad de ampliar el mercado de exportación. Esto a su vez, permearía en un aumento en la competitividad de la fresa mexicana incrementando su participación a nivel nacional ya que

actualmente solo aporta el 3.0% de la producción de frutos (SIAP, 2019). El incremento de la competitividad también recaería en una mayor participación a nivel internacional. Entre los beneficios directos que esto provoca es, un saldo favorable en la balanza comercial de los productos agrícolas. Actualmente, el comportamiento de la fresa mexicana en el comercio internacional ha sido creciente como se muestra en la Figura 3.

Este comportamiento entre ambas variables macroeconómicas indica una mejora en la competitividad y aprovechamiento de las ventajas comparativas de esta actividad lo que se relaciona de manera directa con los resultados favorables obtenidos en los indicadores anteriores.

### CONCLUSIONES

La especialización en la producción de fresas es una fuente de incremento en la competitividad del sector agrícola mexicano y el aprovechamiento de las ventajas comparativas para los estados especializados han posicionado al país como exportador neto en el mercado mundial. Esto muestra la importancia de la apertura comercial la cual desde su implementación ha permitido que los niveles de especialización y competitividad sean crecientes por lo tanto, no se rechaza la hipótesis ya que en efecto el comercio internacional incentiva el aumento de la especialización en la producción de fresas a nivel nacional a través de la producción y con ello la participación en el comercio internacional aumentando a la vez la competitividad y permitiéndole al país generar entrada de divisas.

Sin embargo, para asegurar la permanencia de la fresa mexicana en el comercio internacional, es necesario tener una visión y diversificación de destinos de exportación que permitan aprovechar los acuerdos comerciales



**Figura 3.** Comportamiento del comercio de fresa de México de 1981 a 2016 (miles de dólares). Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP (2018).

con países catalogados como clientes potenciales que en el caso de fresa son Portugal, Polonia y Suiza.

## LITERATURA CITADA

- Avila-Arce, A., & González-Milán, D. D. J. (2012). La competitividad de las fresas (*Fragaria* spp.) mexicanas en el mercado nacional, regional y de Estados Unidos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(1), 17–27. Retrieved from <http://www.colpos.mx/asyd/volumen9/numero1/asd-11-017.pdf>
- Bajo, O. (1991). *Teorías del comercio internacional*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Boisier, Sergio. 1980. "Técnicas de Análisis Regional Con Información Limitada." *Cuadernos Del ILPES*, 1–184. [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/9361/S8000626\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/9361/S8000626_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Durán Lima, José E., and Mariano Alvarez. 2008. "Indicadores de Comercio Exterior y Política Comercial: Mediciones de Posición y Dinamismo Comercial." *Comisión Económica Para America Latina y El Caribe, Colección de Documentos de Proyectos*. [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3690/1/S2008794\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3690/1/S2008794_es.pdf).
- Gómez Tenorio, Germán, Samuel Rebollar Rebollar, Juvencio Hernández Martínez, Felipe de J González Razo, and Esús. 2010. "Análisis de La Competitividad Para La Producción Porcina Entre México y Estados Unidos." In *Los Grandes Retos Para La Ganadería: Hambre, Pobreza y Crisis Ambiental*, edited by Beatriz A. Cavallotti Vázquez, Carlos F. Marcof Álvarez, and Benito Ramírez Valverde, Universida. Texcoco, Estado de México. [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33598731/38.\\_Cipriano\\_2010\\_Percepcion\\_de\\_los\\_beneficios.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1530805790&Signature=wP0EfZPqENi%252Bvut5RjaFS6clp4A%253D&response-content-disposition=inline%253Bfilename%253](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33598731/38._Cipriano_2010_Percepcion_de_los_beneficios.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1530805790&Signature=wP0EfZPqENi%252Bvut5RjaFS6clp4A%253D&response-content-disposition=inline%253Bfilename%253).
- Krugman, Paul, and Maurice Obstfeld. 2006. *Economía Internacional: Teoría y Política*. Séptima ed. Madrid, España: Addison Wesley. <https://doi.org/978-84-7829-101-4>.
- Rangel, A. . (2017). *Principales tratados comerciales de México en el mundo*, (Junio), 1–11.
- Rodríguez Braun, Carlos. 2015. *La Riqueza de Las Naciones*. Edited by Titivillus. Traducción Carlos Rodríguez Braun (1996). ePubLibre. <http://ceiphistorica.com/wp-content/uploads/2016/04/Smith-Adam-La-Riqueza-de-las-Naciones.pdf>.
- SIAP. 2018. "Atlas Agroalimentario 2017."
- SIAP. 2019. "Panorama Agroalimentario 2019."
- Stolper, W. F., & Samuelson, P. A. (1941). Protection and real wages. *The Review of Economic Studies*, 9(1), 58-73.







# Supply chain of backyard agricultural products

## Cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio

Sánchez-Galván, Fabiola<sup>1,2</sup>; Bautista-Santos, Horacio<sup>1,3,\*</sup>; Martínez-Flores, José L.<sup>2</sup>; Ireta-Paredes, Arely del R.<sup>4</sup>; Sánchez-Partida, Diana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Tantoyuca, Veracruz, México. C.P. 92100. <sup>2</sup>Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México, C.P. 72410. <sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Chicontepec. Chicontepec, Veracruz, México. C.P. 92709. <sup>4</sup>Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán, San Andrés Tlayehualancingo, Ahuacatlán, Puebla, México. C.P. 73330.

\*Autor para correspondencia: horacio.bautista@itsta.edu.mx

### ABSTRACT

**Objective:** this study aims to analyze the backyard agricultural production system with a logistical focus, assuming that the knowledge of the links that make up the supply chain will contribute to developing productive and operational strategies that link backyard producers with short agro-food chains.

**Design/methodology/approach:** the case study of the highly marginalized localities and indigenous presence of the municipalities of Chontla and Tempoal, Veracruz, Mexico, is presented. The supply chain of backyard agricultural products was analyzed from a generic model identifying the products, furthermore making an annualized economic projection. The information was collected with opportunity sampling through surveys of backyard producers, intermediaries, retail and wholesale marketers, municipal agents, and local authorities.

**Results:** five echelons define the backyard agricultural products supply chain of the case study: raw materials production, processing, manufacturing, product presentation, and the final consumer. It has a semi-structured marketing scheme between traditional and short commercialization circuits. Four opportunity areas were identified: non-standardized product processing, inappropriate storage conditions, production records absence, and poor distribution and marketing channels.

**Limitations on study/implications:** the annualized economic projection indicated that 35.8% of the products are destined for self-consumption, 21.2% are commercialized in local and municipal markets, and 43% of the production is not commercialized.

**Findings/conclusions:** this study proposes to locate strategically (in each municipality) collection, and distribution centers for backyard agricultural products to reduce the amount of non-commercialized products and link backyard agricultural producers in short agri-food chains and thereby contribute to strengthening the local economy.

**Keywords:** Agriculture, short agro-food supply chain, short distributions circuits.

### RESUMEN

**Objetivo:** estudiar el sistema de producción agrícola de traspatio con un enfoque logístico, asumiendo que el conocimiento de los eslabones que componen la cadena de suministro contribuirá a desarrollar estrategias productivas y operacionales que vinculen a los productores con cadenas agroalimentarias cortas.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 8, agosto. 2020. pp: 39-46.

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

**Diseño/metodología/aproximación:** se presenta el caso de estudio de las localidades de alta marginación y presencia indígena de los municipios de Chontla y Tempoal, Veracruz, México. Se analizó la cadena de productos agrícolas de traspatio a partir de un modelo genérico identificando los productos del caso de estudio y realizando una proyección económica anualizada. La información se recolectó con muestreo de oportunidad mediante encuestas a productores de traspatio, intermediarios, comercializadores minoristas y mayoristas, agentes municipales y autoridades locales.

**Resultados:** la cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio está definida por cinco eslabones: producción de materias primas, procesamiento, manufactura, presentación del producto y consumidor final; el esquema de comercialización es semiestructurado entre tradicional y de circuitos cortos. Se identificaron cuatro áreas de oportunidad: procesamiento no estandarizado, condiciones inapropiadas de almacenamiento, ausencia de registros y deficientes canales de distribución y comercialización.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** la proyección económica indicó que 35.8% de los productos se destina al autoconsumo, 21.2% se comercializa en mercados locales y municipales y el 43% de la producción no se comercializa.

**Hallazgos/conclusiones:** para disminuir la cantidad de producto no comercializado y fortalecer la economía local, se propone ubicar estratégicamente centros de acopio para vincular a los productores en cadenas agroalimentarias cortas.

**Palabras Clave:** Agricultura, cadenas de suministro agroalimentarias, circuitos cortos de comercialización.

campo, fomentar la competitividad en el mercado rural (Maletta, 2011), así como favorecer la seguridad alimentaria y la economía de las familias rurales (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017). La actividad agrícola de traspatio en México ha sido estudiada desde la perspectiva económica (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2017), contextual (Maletta, 2011; González-Ortiz *et al.*, 2013; Jarquín *et al.*, 2017), agroecológica (Duché-García *et al.*, 2017), agrobiodiversidad (Salazar-Barrientos *et al.*, 2015), de sobrevivencia (López-González *et al.*, 2013), como parte de la seguridad alimentaria (Olvera-Hernández *et al.*, 2017), como alternativa sustentable (Bernal y Díaz, 2013) y fomento de participación femenina (Vieyra *et al.*, 2004).

Las cadenas de suministro alimentarias y la creación de redes empresariales sostenibles y eficientes, promueven el empoderamiento de organizaciones campesinas en términos de productividad, resiliencia, viabilidad económica, equidad social, cultural, diversidad y conservación de recursos naturales (Altieri *et al.*, 2012; Velázquez-Avenidaño y Perezgrovas-Garza, 2017). El objetivo de esta investigación fue estudiar la agricultura de traspatio con un enfoque logístico que permitiera analizar su cadena de suministro a través del modelo jerárquico propuesto por Stringer y Hall (2007), priorizando a los productores agrícolas de traspatio que aportan fuerza laboral, conocimientos empíricos, recursos naturales y frutos exóticos de la región como ventajas competitivas (Sánchez-Galván *et al.*, 2019). Se plantea la hipótesis de que el conocimiento de los agentes económicos y eslabones que componen la cadena de suministro contribuirá al desarrollo de estrategias productivas

## INTRODUCCIÓN

Uno de los retos de mayor relevancia para los países es asegurar el abastecimiento alimentario para sus poblaciones (FAO, 2014). Ante los desafíos del proceso de globalización, reducir la importación de alimentos y garantizar la seguridad alimentaria, se hace prioritario (Salazar *et al.*, 2014), insertar a los pequeños productores en un modelo de agricultura sustentable (López, 2011), formalizando alianzas entre consumidores y campesinos, y promover cambios rápidos en los circuitos de distribución (Boucher y Poméon, 2010; Boisier, 2005).

El crecimiento del mercado orgánico regional requiere cadenas de suministro cortas (Blanc, 2009) que integren a los agricultores locales con agentes económicos que componen la cadena de suministro (Bosona y Gebresenbet, 2011), incluidos los proveedores de insumos y servicios, transformación, industrialización, transporte, logística y servicios de apoyo (García-Winder *et al.*, 2009; Bautista-Santos *et al.*, 2015).

El mercado de alimentos frescos ofrece a los agricultores locales la oportunidad de contribuir a su desarrollo social para formar ciudades sostenibles (Flores y Villalobos, 2018), de ahí el interés de los gobiernos por generar políticas públicas que contribuyan a generar fuentes de trabajo en el

y operacionales que vinculen a los productores de traspatio con cadenas agroalimentarias cortas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se centra en el subsistema agroproductivo de agricultura familiar y circuitos cortos de producción y consumo (Rodríguez y Riveros, 2016). Se presenta como caso de estudio a los municipios de Chontla y Tempoal, Veracruz, México, considerando a productores de traspatio que priorizan el autoconsumo, que tienen sembrados hortalizas, árboles frutales y cultivos como maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y que vive en zonas rurales (Bernal y Díaz, 2013).

La investigación se desarrolló en cuatro etapas: 1) trabajo de campo para la recolección de datos, 2) análisis de la cadena de suministro y definición de su esquema de comercialización, 3) detección de áreas de oportunidad en la cadena de suministro, y 4) identificación de los productos del caso de estudio para realizar una proyección económica anualizada de la producción agrícola de traspatio.

La recolección de datos se realizó mediante entrevistas semiestructuradas con productores de traspatio, intermediarios, autoridades municipales, comercializadores minoristas y mayoristas, además de locatarios de mercados, se contó con el apoyo de los departamentos de Fomento Agropecuario de cada Ayuntamiento. Se diseñó una encuesta como instrumento de recolección de datos con el propósito de identificar los diferentes cultivos, árboles frutales y hortalizas existentes en el traspatio, la cantidad producida, precio, unidad de medida, tipo de terreno, tiempos de cosecha, destino de la producción (ventas, autoconsumo y cantidad de producto no comercializado).

El tamaño de la muestra se calculó con varianza máxima (95% de confianza, 5% de error y 50% de heterogeneidad). El tamaño de la población se definió por el número de viviendas reportadas por INEGI en el censo del año 2010 (4227 viviendas en Chontla y 10193 en Tempoal) (INEGI, 2010). Se recolectaron n=370 encuestas en Chontla y n=391 en Tempoal.

Se utilizó muestreo por oportunidad (Hernández et al., 2014), aprovechando las reuniones que el agente municipal tiene con integrantes de su localidad para tratar asuntos relacionados con su bienestar. Las encuestas se aplicaron en las localidades de Arranca Estacas, Las

Cruces, San Francisco, San Juan Otontepec, Tezital y Xochitlán del municipio de Chontla, y en las localidades de Agua Nueva, Dos Rayas, Ejido Armadillo, El Armadillo Congregación Buena Vista, El Cantarito, El Ranchito, El Sauce, Llano Grande, Tanchenche y Zapotal de Tempoal.

La cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio y la identificación de áreas de oportunidad se analizaron con la información recolectada y la aplicación del modelo jerárquico para cadenas de suministro de alimentos propuesto por Stringer y Hall (2007), analizando la cadena de suministro en tres niveles: etapas, pasos operativos y actividades unitarias.

La caracterización y definición del esquema de comercialización se realizó con la tipología propuesta por Rodríguez y Riveros (2016) que evalúa criterios como la organización de los productores, diferenciación de los productos, distancia física y proximidad social entre el productor y consumidor final, además del nivel de formalización de las relaciones de compraventa. La proyección económica anualizada, se realizó mediante el diseño y programación de una aplicación computacional en lenguaje PHP/5.4.16, MySQL/5.5.32 como gestor de base de datos y Servidor Apache/2.4.4 (Win32) OpenSSL/0.9.8. Para cuantificar la cantidad de cada producto se tomaron las unidades de medida que los productores de traspatio utilizan en el contexto local (árbol, cubeta, rollo, cuartillo, pieza, reja, litro) y se determinó el peso promedio en kilogramos; se calculó el importe total considerando el precio de venta de cada producto en el mercado local y la cantidad de cosechas esperadas por año.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del total de encuestas aplicadas en municipio de Tempoal, destacó que las actividades agrícolas y pecuarias son la principal característica del municipio. El 58.82% de los productores de traspatio encuestados se dedican a la agricultura, 14.71% a la actividad pecuaria y 26.47% a ambas actividades. Los principales motivos porque las desempeñan son la herencia familiar (42.2%), alternativa laboral (24.5%), fuente extra de ingresos económicos (16.7%), autoconsumo (12.7%) y otros (3.9%).

Del total de encuestas aplicadas en el municipio de Chontla, se registró que 75% de los productores de traspatio se dedican solamente a la agricultura, 15% a actividades agrícolas y pecuarias, 7.0% a la agricultura y elaboración de artesanías, 1.0% a la ganadería y 2.0% a la realización de las tres actividades. Los principales motivos

para desarrollar las actividades agropecuarias son fuente extra de ingresos (39%), autoconsumo (14%), alternativa laboral (16%), herencia familiar (14%) y otros (7.0%).

### Agentes económicos

Se identificaron cuatro agentes económicos en la cadena de suministro: el productor de traspatio, proveedor, intermediario y consumidor final. El productor de traspatio refiere a uno o más miembros de familia rural organizados informalmente. El proveedor refiere a tiendas locales que surten materias primas. Intermediarios refiere a quien compra los productos traspatio y los comercializa.

### Cadena de suministro

La cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio está definida por cinco eslabones: la producción de materias primas, procesamiento de productos, manufactura, presentación del producto y consumidor final (Figura 1).

El primer eslabón representa la producción de materias primas, en el que se realizan actividades de limpieza y preparación del terreno (ejidal, comunal o propiedad privada) con técnicas empíricas. Las semillas (que en su mayoría son obtenidas de cosechas previas) y los fertilizantes (que son adquiridos en tiendas locales) son sus principales insumos. Las tiendas locales asumen el papel de proveedores. Los productos recolectados pueden clasificarse en cultivos, hortalizas, frutales y frutos exóticos. La recolección la realiza uno o más integrantes de la familia, y para su traslado y almacenamiento se utilizan costales, bolsas, cubetas y canastos de palma o de ma-

dera; la casa y terreno del productor es utilizado como almacén.

En el segundo eslabón que incluye el procesamiento de productos, se clasifican de acuerdo a su tamaño, forma y color, y el producto defectuoso se separa mediante inspección visual por algún integrante de la familia. La producción defectuosa y el exceso de producción son clasificados por los productores como residuos agrícolas. Algunos productos se almacenan en costales, otros son embalados en bolsas de plástico, o en forma de rollos que son amarrados con hilos fabricados a base de plantas locales como el ixtle (*Agave spp*), izote (*Yucca gigantea*) y palma (*Arecaceae*); dichas actividades se realizan en el hogar o terreno del agricultor.

El tercer eslabón referente a la manufactura aplica para algunos productos, por ejemplo: ajonjolí (*Sesamum indicum*), cacahuete (*Arachis hypogaea*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*) y chile (*Capsicum spp.*); éstos son limpiados, eliminando la suciedad u objetos extraños, y son sometidos a un proceso de secado antes de su almacenamiento. En el caso del ajonjolí es molido con molino de mano, y se vende mezclado con chile o puro, en bolsa de plástico. El chile es puesto a secar al sol durante días y es presentado en bolsa de plástico.

El cuarto eslabón (presentación del producto) otorga un valor agregado a los productos que son transportados (distribuidos) a los puntos de venta (tiendas de la misma comunidad o mercados municipales). Los productos son exhibidos sobre mesas o en plásticos puestos sobre el piso en calles aledañas a los mercados municipales.

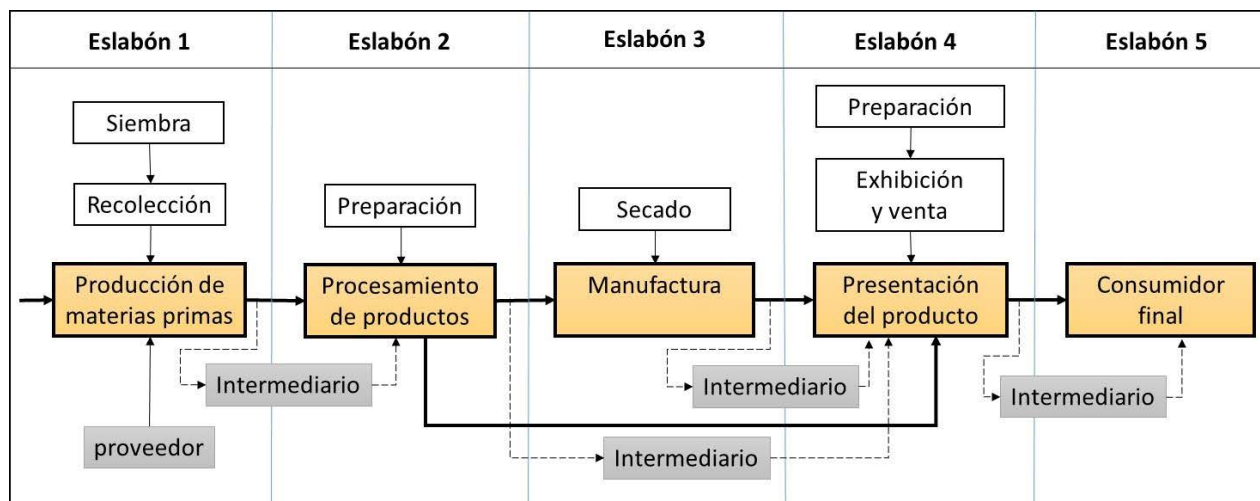


Figura 1. Cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio. Chontla y Tempoal, Veracruz. Fuente: adaptado de Sánchez-Galván et al. (2019).

Su comercialización es informal. En este eslabón, los productos se preparan para su venta, algunas frutas y hortalizas se venden por pieza o por bolsa, otros son picados y presentados en bolsa (como la calabaza (*Cucurbita maxima*) y el nopal (*Opuntia ficus-indica*); el cilantro (*Coriandrum sativum*) y el cebollín chunacate (*Allium schoenoprasum*) son vendidos por rollos.

El último eslabón de la cadena es el consumidor final, éste adquiere los productos en diferentes puntos de venta o a través de otro actor de la cadena (intermediario) quien asume el rol de comprar en los puntos de venta y vender los productos en las distintas colonias de las cabeceras municipales.

El intermediarismo se hace presente en todos los eslabones de la cadena afectando la ganancia de los productores de traspatio, y aparece entre el primer y segundo eslabón adquiriendo la mayor parte de la cosecha directamente en huerta y negociando un precio menor al de mercado. También aparece entre el segundo y cuarto eslabón, o el tercer y cuarto eslabón (dependiendo del producto), el intermediario adquiere los productos procesados o manufacturados. Cuando el productor de traspatio decide trasladar personalmente sus productos a la cabecera municipal, el intermediario lo aborda en las inmediaciones de los puntos de venta y negocia la compra de todo el lote. El traslado de los productos se realiza en el denominado transporte rural mixto, que son vehículos que transitan por los caminos rurales que interconectan a las localidades con la cabecera municipal y que tienen horarios predefinidos por la mañana o tarde.

### Esquema de comercialización

La producción agrícola de traspatio del caso de estudio pertenece al subsistema de agricultura familiar con presencia regional y esquema de comercialización semiestructurado entre el tradicional (en los criterios que definen el tipo de relación entre el productor y el consumidor final) y de circuitos cortos (en los aspectos de organización de los productores, diferenciación del producto y tipo de acuerdo en las transacciones de compra-venta). La proximidad social es distante, no existe una relación de confianza entre el productor local y el consumidor final, no se realiza difusión de los productos que se ofertan, tampoco se difunde el valor de consumir productos locales.

La distancia física entre el productor de traspatio y consumidor es larga, de acuerdo a la definición de Rodríguez y Riveros (2016), ya que puede haber hasta cuatro intermediarios para que el producto llegue al consumidor final. Los productores agrícolas de traspatio no cuentan con vehículo propio para transportar sus productos, se organizan para transportar pequeñas cantidades a la localidad más cercana en el transporte rural mixto o caminando. El intermediario tiene vehículo propio y utiliza rutas establecidas por caminos de terracería y engravados.

Los productores se organizan informalmente, cada familia es un actor de la cadena que asume el rol de productor individual e independiente, los integrantes de la familia son agentes económicos que realizan las actividades de cada eslabón en los tiempos establecidos por la propia naturaleza de los productos; en esta relación informal no existe un contrato previo, ni el compromiso de generar registros de producción,

no se establecen reglas de servicio entre eslabones de la cadena.

Referente al tipo de productos, éstos son frescos con poco valor agregado (productos genéricos) y manufacturados o procesados que se consideran diferenciados por atributos específicos. Ambos productos (genéricos o diferenciados) no cuentan con certificación de terceros. La relación entre productor y comprador es informal, no existen acuerdos previos a la transacción de compraventa.

### Áreas de oportunidad

De acuerdo con la información registrada en campo, se identificaron cuatro áreas de oportunidad en la cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio: el procesamiento de productos no estandarizados, condiciones inapropiadas de almacenamiento, deficientes canales de distribución-comercialización, y nulo manejo de registros e información.

Procesamiento de productos no estandarizado: presenta heterogeneidad en la calidad del producto debido a que no hay homogeneización en los procesos, existen diversas unidades de medida para un mismo producto, se realizan deficientes operaciones de embalaje y existe un manejo inadecuado de desechos que puede aumentar las posibilidades de contaminación y disminuir las condiciones de higiene e inocuidad.

Condiciones inapropiadas de almacenamiento: ocurre en todos los eslabones de la cadena; el producto que se recolecta se almacena en la misma casa o terrero del productor traspatio, el cual carece de un acondicionamiento adecuado para



**Cuadro 1.** Proyección y destino anualizado de la producción. Granos y hortalizas en traspatio.

Producto	Precio <sup>1</sup> (kg)	CE	Chontla					Tempoal				
			T	Valor de la Producción <sup>2</sup>	Destino de la Producción			T	Valor de la Producción <sup>2</sup>	Destino de la Producción		
					Autoconsumo <sup>2</sup>	NC <sup>2</sup>	Venta <sup>2</sup>			Autoconsumo <sup>2</sup>	NC <sup>2</sup>	Venta <sup>2</sup>
Maíz	\$7	1.5	60.8	\$638.73	\$220.85	\$278.91	\$138.97	90.2	\$947.44	\$325.74	\$395.92	\$225.78
Frijol	\$25	1	3.3	\$82.10	\$28.88	\$33.48	\$19.74	56.4	\$1,411.44	\$533.50	\$603.71	\$274.24
Tomate	\$10	2	-	-	-	-	-	25	\$501.24	\$185.40	\$220.57	\$95.28
Nopal	\$40	2	2.6	\$213.27	\$75.84	\$90.71	\$46.72	0.03	\$2.80	\$0.84	\$1.15	\$0.81
Calabaza	\$13	2	5.7	\$150.70	\$51.17	\$67.28	\$32.25	0.4	\$10.76	\$3.55	\$4.30	\$2.91
Cilantro	\$50	4	0.4	\$97.82	\$35.43	\$41.55	\$20.83	0.01	\$2.40	\$0.81	\$1.17	\$0.42
Caña de azúcar	\$22	1	-	-	-	-	-	4.4	\$97.68	\$35.38	\$38.36	\$23.94
Repollo	\$12.50	1	5	\$63.13	\$21.12	\$27.21	\$14.80	-	-	-	-	-
Totales				\$1,245.74	\$433.28	\$539.15	\$273.32		\$2,973.76	\$1,085.21	\$1,265.17	\$623.38

CE - Número de cosechas esperadas por año, T - Tonelada, NC - No Comercializado.

Fuente: elaboración propia a partir de encuestas aplicadas en los meses de mayo de 2017 a noviembre de 2018.

<sup>1</sup>Precio promedio del producto en el mercado local durante el año 2018; <sup>2</sup>Miles de pesos de 2018.

**Cuadro 2.** Proyección y destino anualizado de la producción. Frutales en traspatio.

Producto	Precio <sup>1</sup> (kg)	CE	Chontla					Tempoal				
			T	Valor de la Producción <sup>2</sup>	Destino de la Producción			T	Valor de la Producción <sup>2</sup>	Destino de la Producción		
					Autoconsumo <sup>2</sup>	NC <sup>2</sup>	Venta <sup>2</sup>			Autoconsumo <sup>2</sup>	NC <sup>2</sup>	Venta <sup>2</sup>
Mango	\$10	1	25.0	\$250.08	\$88.28	\$110.35	\$51.45	30	\$300.00	\$109.13	\$125.69	\$65.19
Naranja	\$5	1	30.3	\$151.71	\$50.02	\$66.03	\$35.67	6.6	\$33.12	\$11.01	\$12.48	\$9.62
Limón	\$20	1	1.8	\$37.44	\$13.22	\$16.86	\$7.36	2.6	\$53.14	\$18.98	\$20.71	\$13.45
Plátano	\$8	2	0.3	\$5.12	\$1.77	\$2.11	\$1.24	5.2	\$84.72	\$32.37	\$36.89	\$15.46
Tamarindo	\$30	1	0.2	\$7.20	\$2.38	\$3.14	\$1.68	0.3	\$11.64	\$4.19	\$4.88	\$2.57
Totales				\$451.55	\$155.67	\$198.49	\$97.40		\$482.62	\$175.68	\$200.65	\$106.29

CE - Número de cosechas esperadas por año, T - Tonelada, NC - No comercializado.

Fuente: elaboración propia a partir de encuestas aplicadas en los meses de mayo de 2017 a noviembre de 2018.

<sup>1</sup>Precio promedio del producto en el mercado local durante el año 2018; <sup>2</sup>Miles de pesos de 2018.

**Cuadro 3.** Proyección y destino anualizado de la producción. Frutos exóticos en traspatio.

Producto	Precio <sup>1</sup> (kg)	CE	Chontla (mdp)					Tempoal (mdp)				
			T	Valor de la Producción <sup>2</sup>	Destino de la Producción			T	Valor de la Producción <sup>2</sup>	Destino de la Producción		
					Autoconsumo <sup>2</sup>	NC <sup>2</sup>	Venta <sup>2</sup>			Autoconsumo <sup>2</sup>	NC <sup>2</sup>	Venta <sup>2</sup>
Ciruela	\$20	1	1.04	\$20.80	\$7.02	\$8.54	\$5.24	15.6	\$312.40	\$106.45	\$148.04	\$57.91
Maracuyá	\$30	1	0.6	\$18.00	\$6.19	\$7.31	\$4.50	1.3	\$41.40	\$14.48	\$19.07	\$7.85
Jobo	\$20	1	0.7	\$15.60	\$5.75	\$6.53	\$3.33	1.6	\$33.00	\$11.80	\$12.54	\$8.66
Litchi	\$20	1	0.5	\$10.00	\$3.60	\$3.70	\$2.70	0.6	\$12.50	\$5.00	\$5.25	\$2.25
Carambolo	\$20	1	0.1	\$3.20	\$1.22	\$1.44	\$0.54	0.5	\$11.20	\$4.34	\$5.01	\$1.86
Totales				\$67.60	\$23.77	\$27.52	\$16.31		\$410.50	\$142.06	\$189.91	\$78.53

CE - Número de cosechas esperadas por año, T - Tonelada, NC - No comercializado.

Fuente: elaboración propia a partir de encuestas aplicadas en los meses de mayo de 2017 a noviembre de 2018.

<sup>1</sup>Precio promedio del producto en el mercado local durante el año 2018; <sup>2</sup>Miles de pesos de 2018.

conservar el producto en buen estado, por lo que se deteriora rápidamente debido a la humedad en el ambiente.

Deficientes canales de distribución y comercialización: no existe un canal formal para trasladar el producto agrícola al consumidor final; existe al menos un intermedio entre cada eslabón y los productores se encuentran en un área geográfica dispersa, dificultando la agregación de productos.

Ausencia de registros de producción: no existe ni se comparte información concerniente a los niveles de producción ni de las operaciones de servicio-dispensación-venta entre los agentes económicos de la cadena.

### Proyección económica anualizada

La proyección económica anualizada de la producción demuestra que la agricultura de traspatio combinada con formas de asociación (circuitos cortos de comercialización, encadenamientos productivos o encadenamientos comerciales de productos diferenciados), cooperación, coordinación y colaboración entre integrantes de una comunidad rural representa una oferta de productos agrícolas para mercados municipales, regionales y nacionales. La información mostrada en los Cuadros 1 al 3, representa 96% de la producción total del caso de estudio; el restante 4.0% incluye 28 productos más registrados, pero que por su volumen de producción no fueron considerados en los cuadros.

Se requiere establecer estrategias productivas y sociales que articulen el ámbito territorial a un ecosistema que cuenta con recursos naturales de cierta calidad. Una estrategia de asociación para la mejora de la cadena de suministro debe considerar el establecimiento de centros de acopio de productos agrícolas de traspatio, orientados a mejorar las capacidades de comercialización, a fomentar registros de los niveles de producción y promover servicios de apoyo técnico y capacitación. Las autoridades municipales, estatales y federales deben de fomentar la integración de pequeños productores en asociaciones o cooperativas que permitan convertir la producción de traspatio en grandes volúmenes de producción (agregación).

### CONCLUSIONES

**El modelo** genérico de descomposición de la cadena de suministro agroalimentaria en componentes jerárquicos

permitió analizar la cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio. La proyección anualizada de la producción indicó que 43% no se comercializa, de ahí la importancia de generar acciones para convertir este porcentaje en un ingreso económico para el productor de traspatio, y contribuir al fortalecimiento de la economía local. Para contribuir al fortalecimiento de la economía local se requiere del diseño de estrategias que permitan reducir la cantidad de producto no comercializado, se propone promover la incursión de los productores traspatio en cadenas agroalimentarias cortas, así como el diseñar una red logística, a partir de la creación y localización estratégica de centros de acopio y distribución de productos agrícolas de traspatio.

### AGRADECIMIENTOS

Se hace un extensivo reconocimiento al Tecnológico Nacional de México (TecNM), al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTA) y al Programa para el Desarrollo Profesional Docente que financiaron esta investigación.

### LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A., Funes-Monzote F. R. y Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev.* (32): 1-13.
- Bautista-Santos, H., Martínez-Flores, J. L., Fernández-Lambert, G., Bernabé-Loranca, M. B., Sánchez-Galván, F. y Sablón-Cossío, N. (2015). Integration model of collaborative supply chain. *Dyna* 82(193), 145-154.
- Bernal, H. y Díaz, A. (2013). Agricultura de traspatio y agroindustria rural como alternativas sustentables alimentarias en regiones de bajo desarrollo del campo mexicano. *Revista Asuntos*: 221-236.
- Blanc, J. (2009). Family farmers and major retail chains in the Brazilian organic sector: Assessing new development pathways. A case study in a peri-urban district of Sao Paulo. *Journal of Rural Studies*. 25(3): 322-332.
- Boisier, S. (2005). ¿Hay espacio para el desarrollo local en la globalización?. *Revista de la CEPAL*. 86(1): 47-62.
- Bosona, T. G. y Gebresenbet, G. (2011). Cluster building and logistics network integration of local food supply chain. *Biosystems Engineering*. 108(4): 293-302.
- Boucher, F. y Poméon, T. (2010). Reflexiones en torno al enfoque SIAL: evolución y avances desde la Agroindustria Rural (AIR) hasta los sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL). *International EAAE-SYAL Seminar-Spatial dynamics in agri-food systems*. 116. Parma, Italy. 1-13.
- Duché-García, A., Bernal-Mendoza, H., Ocampo-Fletes, I., Juárez-Ramón D. y Villarreal-Espino, O. (2017). Agricultura de traspatio y agroecología en el proyecto estratégico de seguridad alimentaria (PESA-FAO) del Estado de Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* (14): 263-281.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2014). Marco de Prioridades de País de la FAO en México 2014-2018. Roma, Italia. 15-22 Junio 2014.

- Flores, H. y Villalobos, J. R. (2018). A modeling framework for the strategic design of local fresh-food systems. *Agricultural Systems* (161): 1-15.
- García-Winder, M., H. Riveros, I. Pavez, D. Rodríguez, F. Lam, J. Arias, D. Herrera. (2009). Cadenas agroalimentarias: un instrumento para fortalecer la institucionalidad del sector agrícola y rural. *Agronegocios* 5(1): 26-38.
- González-Ortiz, F., A. Pérez, I. Ocampo, J. A. Paredes, P. de la Rosa. (2013). Contribuciones de la producción en traspato a los grupos domésticos campesinos. *Estudios Sociales* 22(44): 146-170.
- Hernández, R., C. Fernández y M. del P. Baptista. (2014). Metodología de la investigación. 6th ed. Interamericana, ed. México: Mc Graw Hill. 600p.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Censo de población y vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/> (Consulta: Junio de 2017).
- Jaramillo-Villanueva, J. L., J. Morales-Jiménez y V. Domínguez-Torres. (2017). Importancia económica del traspato y su relación con la seguridad alimentaria en comunidades de alta marginación en Puebla, México. *Agroproductividad* 10: 27-32.
- Jarquín, N. H., J.A. Castellanos y D. M. Sangerman-Jarquín. (2017). Pluriactividad y agricultura familiar: retos del desarrollo rural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 949-963.
- López-González, J. L., M.A. Damián-Huato, F. Álvarez-Gaxiola, G. P. Zuluaga-Sánchez, F. Parra-Inzunza y J. A. Paredes-Sánchez. (2013). El traspato de los productores de maíz en San Nicolás de los Ranchos, Puebla-México. *Revista de Sociedad, Cultural y Desarrollo Sustentable* 9(2): 181-198.
- López, D. (2011). Canales cortos de comercialización como elemento dinamizador de las agriculturas ecológicas urbanas y periurbanas. In I Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana. 1-15.
- Maletta, H. (2011). Tendencias y perspectivas de la agricultura familiar en América Latina. Santiago, Chile. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.
- Olvera-Hernández, J. I., N. M. Álvarez-Calderón, E. Aceves-Ruiz y J. de D. Guerrero-Rodríguez. (2017). Perspectivas del traspato y su importancia en la seguridad alimentaria. *Agroproductividad* 10(7): 39-45.
- Rodríguez, D. y H. Riveros. (2016). Esquemas de comercialización que facilitan la articulación de productores agrícolas con los mercados. IICA.
- Salazar-Barrientos, L. de L., M.A. Magaña-Magaña y L. Latournerie-Moreno. (2015). Importancia económica y social de la agrobiodiversidad del traspato en una comunidad rural de Yucatán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 12: 1-14.
- Salazar, F., J. Cavazos, J. y G. Vargas. (2014). Logística Humanitaria: Un enfoque del Suministro desde las Cadenas Agroalimentarias. *Información tecnológica* 25(4): 43-50.
- Sánchez-Galván, F., Bautista-Santos, H., Martínez-Flores, J. L., Sánchez-Partida, D., Ireta-Paredes, A. D. R., & Fernández-Lambert, G. (2019). Backyard Agricultural Production as a Strategy for Strengthening Local Economy: The Case of Chontla and Tempoal, Mexico. *Sustainability*, 11(19), 5400.
- Stringer, M.F. y M.N. Hall. (2007). A generic model of the integrated food supply chain to aid the investigation of food safety breakdowns. *Food Control* 18(7): 755-765.
- Velázquez-Avendaño, J.A. y R. Perezgrovas-Garza. (2017). Caracterización de sistemas productivos de ganado bovino en la región indígena XIV Tulijá-Tseltal-Chol. Chiapas, México. *Agrociencia* 51: 285-297.
- Vieyra, J., A. Castillo, H. Losada, J. Cortés, G. Alonso, T. Ruiz, P. Hernández, A. Zamudio y A. Acevedo. (2004). La participación de la mujer en la producción traspato y sus beneficios tangibles e intangibles. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 53: 9-23.





# Modelling the current and future potential distribution of *Maconellicoccus hirsutus* (Green, 1908) a pest of importance for Mexico

## Modelado de distribución potencial actual y futura de *Maconellicoccus hirsutus* (Green, 1908) una plaga de importancia para México

Rodríguez-Ruiz, Rodolfo<sup>1</sup>; Juárez-Agis, Alejandro<sup>1\*</sup>; García-Sánchez, Silberio<sup>1</sup>; Olivier-Salome, Branly<sup>1</sup>; Zeferino-Torres, Jaqueline<sup>1</sup>; Rivas- González, Mayra<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, Campus Llano Largo (Parcela 56,57 y 58) CP 39906 Acapulco, Guerrero, México.

\*Autor de correspondencia: ajuarezagis@hotmail.com

### ABSTRACT

**Objective:** to model the current and future potential distribution of *Maconellicoccus hirsutus* in order to identify changes in its distribution in Mexico.

**Design/methodology/approach:** to select a final model, 2,154 occurrence points were used and MaxEnt with the help of the Kuenm package implemented in Rstudio. It was projected throughout Mexico, using six possible climate change scenarios with a proposed threshold (0.02).

**Results:** a potential present surface of 1,159,335.5 km<sup>2</sup> was found, corresponding to 59 % of the territory, indicating a greater suitability in coastal areas including the Gulf of Mexico, the entire Pacific slope, and the Yucatan peninsula. All scenarios show an increase in the potential area of up to 1,423,890.18 km<sup>2</sup> in 2050 and 1,537,591.19 km<sup>2</sup> in 2070.

**Study limitations/implications:** predictions for 2050 and 2070 will depend on the climatic conditions that take place at the time, so specific studies in each region should be carried out, considering that the species may have adaptability to new climates which would imply constant monitoring. If an increase is observed in the distribution areas, the species could affect not only agricultural areas but also forest ecosystems.

**Findings/conclusions:** the projections made for scenarios 2050 and 2070 show an increase in the area of infestation and environmental suitability for pink cochineal, mainly in the states of the Pacific watershed, the Yucatan peninsula, and the Gulf of Mexico, with these areas being the most vulnerable.

**Keywords:** pests, potential distribution, MaxEnt, climate change, environmental suitability.

### INTRODUCTION

**Pink cochineal** (*Maconellicoccus hirsutus* Green) is a pest from southern Asia and Australia; in America the infestation probably began from the low region of the California desert in autumn 1999 (Roltsch *et al.*, 2006). Kairo *et al.* (2000) indicate that the pest *M. hirsutus* was reported for the first time in the Caribbean (Grenada) in 1994 as a new pest in the New World. By 2001 it had spread from Venezuela to the Bahamas and Central America, and north toward California in the United States. In Mexico, SEMARNAT (2010) reported it for the first time in 1999 in Mexicali, Baja California, and presently it is reported for Nayarit, Jalisco, Quintana Roo, Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Colima, and Sinaloa. Because of the large number of hosts it is a pest of economic and ecological importance related to exports (Martínez, 2007). This pest affects more than 330 species (Chong *et al.*, 2015), both fruit trees and forest species like lime (*Citrus aurantiifolia*) and guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) (SEMARNAT, 2010). The pink cochineal represents a risk because of the reproductive and propagation speed (NAPPO, 2011).



Geographic information systems together with statistics allow understanding the potential distribution of the species based on biological and environmental data (Guisan and Zimmermann, 2000); therefore, Species Distribution Models (SDM) provide estimations of suitable areas for pest invasion, which allow identifying potentially ideal zones in function of environmental variables (Vicente *et al.*, 2016; and Cobos *et al.*, 2019). One of the most robust methods to model the potential distribution is provided by MaxEnt and it does this by considering environmental variables and presence data (Elith *et al.* 2006), defining the possible distribution of a species which is subject to environmental restrictions (Phillips *et al.*, 2006). Based on this, the need emerges to model the impact that climate will have on the distribution of the pink cochineal considering the risks that it can cause economically and environmentally. This study has the objective of defining the potential distribution of pink cochineal under two scenarios of climate change in Mexico (2050-2070).

## MATERIALS AND METHODS

The study area covered the Mexican Republic and the data of pink cochineal presence were obtained from the National Service of Agricultural Health Innocuousness and Quality (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agrícola, SENASICA), phytosanitary campaign 2018; the points of presence were georeferenced in ArcMap 10.3. Spatially correlated points were eliminated (two points in a pixel) with the SDMTtoolbox-Spatially Rarefy Occurrence tool in SIG (Brown, 2014), reducing the occurrence to a single point within a distance of 1.2 km.

The environmental variables were obtained from WorldClim, with a resolution of 30 seconds (approximately 900 m at the equator), which describe current and future global climate (<http://www.worldclim.org/>). The variables used as scenarios of climate change correspond to those extrapolated with the model HadGEM2-ES, which is used throughout the world both for meteorological prediction and climate research. The projections that were used for 2050 and 2070 are Global Climate Models (GCM) that are adjusted in scale and were calibrated (bias was corrected) using WorldClim 1.4 as the "current" reference climate. These projections used correspond to the scenarios called Representative Concentration Pathways (RCP), RCP 4.5, RCP 6.0 and RCP 8.5; these scenarios project CO<sub>2</sub>

concentrations, precipitation and temperature into the future (ENES, 2015) and are used globally in studies related to the climate.

Before selection of the models and to avoid overadjustment, 12 environmental variables were chosen from the 19 present (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014), BIO8, BIO9, BIO18 and BIO19 were eliminated since they have unequaled spatial artifacts (Raghavan *et al.*, 2019), a correlation table was made, and a Jackknife interactive analysis was carried out in Maxent, eliminating the irrelevant and correlated variables and leaving a final set of environmental variables.

**Set:** mean annual temperature (BIO1), isothermality (BIO3), seasonality of the temperature (BIO4), maximum temperature of the warmest month (BIO5), range of annual temperature (BIO7), mean temperature of the warmest trimester (BIO10), precipitation of the driest month (BIO14), and seasonality of the precipitation (BIO15). Peterson *et al.* (2011) and Radosavljevic and Anderson (2013) argue that the selection of the calibration area (M) is where the species have found favorable conditions; it was defined with a buffer with a 50 km radius in the previously selected points of occurrence, representing the climates where the pest is recorded and a clip was made on them.

For the creation and evaluation of the models, Kuenm was used in R for the development of the MaxEnt models of ecological niches (Cobos *et al.*, 2019), in the Rstudio platform (<https://www.rstudio.com/>); the algorithm MaxEnt 3.4.1 was used to generate the models (Phillips *et al.*, 2017). To create the models the points of presence were separated into three sets of data selected randomly within the M selected, leaving 100 % and 70 % of the occurrences for the creation of candidate models and 30 % for independent presences (Guisan and Zimmermann, 2000).

The evaluation and selection of the candidate models were based on their importance, predictive capacity and complexity. The model's yield was evaluated according to the statistical significance of each "Partial ROC" (Peterson *et al.* 2008 and Manzanilla *et al.*, 2019), the "OR" omission rates (Fielding and Bell, 1997), and the Akaike information criteria corrected for small "AICc" sample sizes (Warren and Seifert, 2011) used through Kuenm\_ceval in R (Cobos *et al.*, 2019).

For the final model, 10 replicas were used through Bootstrap, with a logistic exit format that projected toward all of Mexico in the present and six possible futures (RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 in 2050; RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 in 2070). Finally, a clip threshold was applied with a minimum presence value of training points (minimum training presence) that allows measuring the risk of low to high suitability and to calculate the area in km<sup>2</sup> (Pearson et al., 20007), which was obtained through the extraction of raster values; all the presence points were used and the minimum value was extracted taking as argument that a risk of invasion could happen as of this value, and after this two more thresholds were selected to visualize the data in high, medium and low environmental suitability in Mexico using ArcMap 10.3.

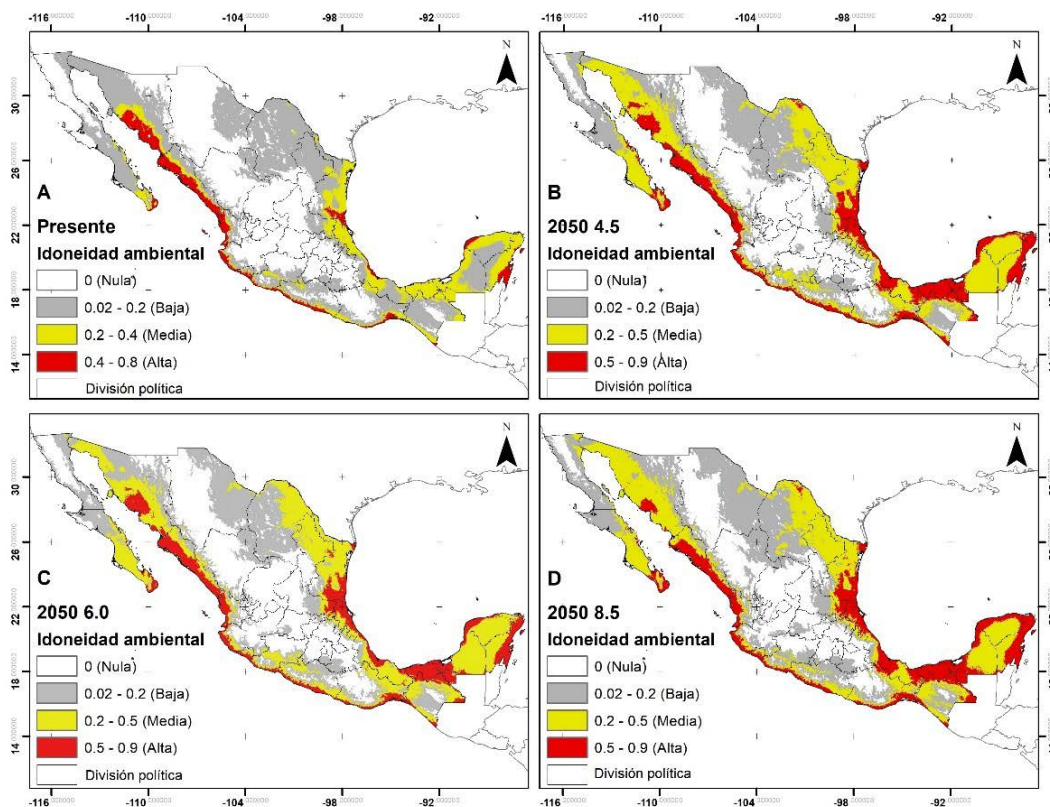
## RESULTS AND DISCUSSION

In total, information was obtained from 19 Mexican states with presence of pink cochineal; 53,358 presence points were found from which 2,154 points were used for creation, calibration and evaluation of the models; 290 candidate models were obtained and only 20 attained the rate of omission and eight the AICc criterion. However, only one fulfilled both criteria, being statistically significant with omission rate ( $p=0.046$ ), and fulfilling the

AICc criteria. The model was adjusted and it was efficient in predicting the present and future potential distribution, presenting a  $\Delta AICc \leq 2$ . The model was linear and created with Set 1 of variables.

The variables with higher contribution to the model were mean annual temperature with 22.6%, mean temperature of the warmest trimester with 21.2%, and seasonality of precipitation with 17%; the ones that obtained a higher importance, which were the mean temperature of the warmest trimester with 37.9% and maximum temperature of the warmest month with 24.7% which agree with the biology of the species (Searcy and Shaffer, 2016), preferring temperatures of 20 to 27 °C (Figure 1 and 2), considering that high (35 °C) or low (15 °C) temperatures damage the species, restricting its distribution in temperate zones of the country (Chong et al., 2015 and García et al. 2014).

The decrease in precipitation influences positively the highest averages of pink cochineal which is why marked droughts could benefit the species (García et al., 2014). This relationship suggests that the classification of the importance of the MaxEnt variables interprets biologically the factors that rule the distribution of the



**Figure 1.** Scenarios until 2050 of *M. hirsutus*, A) present, B) RCP 4.5 scenario, C) RCP 6.0 scenario, D) RCP 8.5 scenario. Source: authors' elaboration.

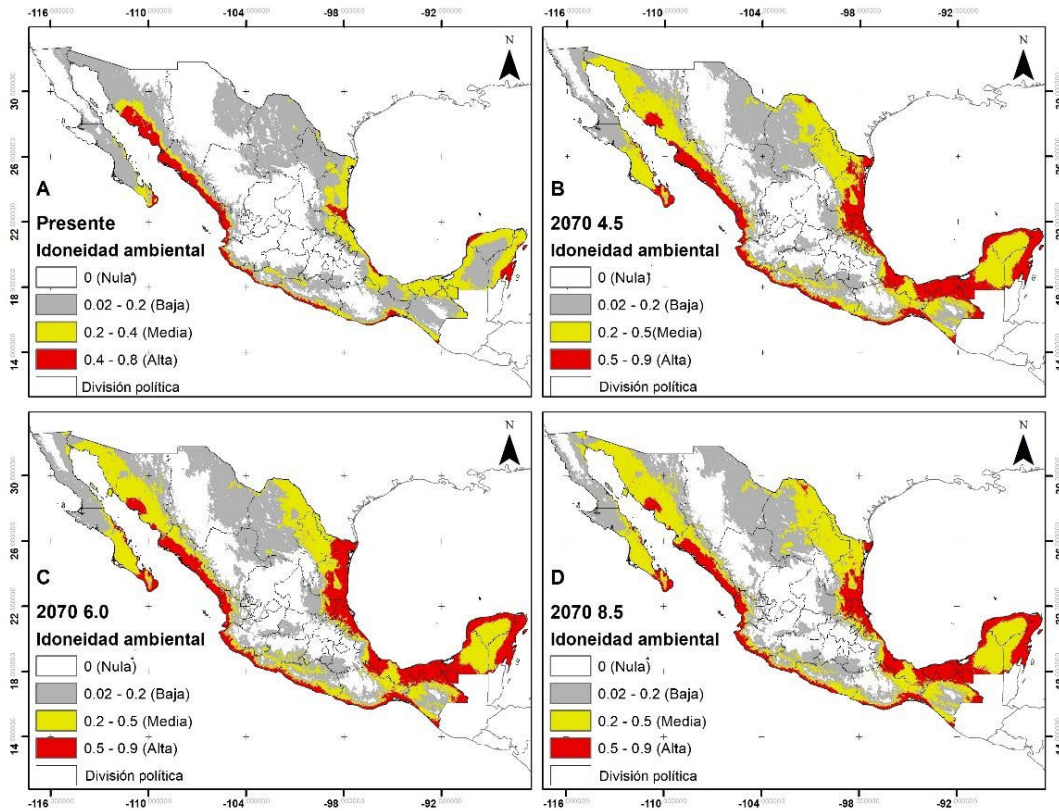


Figure 2 Scenarios to 2070 of *M. hirsutus*. A) present, B) RCP 4.5 C) RCP 6.0, D) RCP 8.5. Source: self made.

species (Searcy and Shaffer, 2016). According to the threshold suggested (0.02), there is a distribution surface present of the species of 1,159,335.50 km<sup>2</sup> (59% of the territorial surface) that is distributed on the entire Pacific watershed, from Baja California to Chiapas (Table 1); a high suitability is observed from southern Tamaulipas to the Yucatan Peninsula (Figura 1D). These results agree with those reported by García *et al.*, 2014: the states of high environmental suitability for the species are Sonora, Sinaloa, Nayarit, Colima, Chiapas, Tabasco and Nayarit.

The RCP 4.5, 6.0 and 8.5 scenarios to 2050 show an increase in the environmental suitability and in the surface compared to the present (Figure 2); the surfaces

of medium irrigation, 0.3 to 0.5, and high risk from 0.5 to 0.9, are in the Yucatan Peninsula, Gulf of Mexico and Sinaloa, while in Morelos and Puebla this suitability is low, of 0.02 to 0.3 (Figure 2D). In all the scenarios to 2050 (4.5, 6 and 8.5) an increase is observed in the percentage of the surface projected (68, 67 and 73%) compared to the surface present (59%) (Table 1). In the projections to 2070 an increase is observed in the surface in all the scenarios compared to the surface present (Table 1), predicting a low risk of invasion for interior zones of Mexico, and medium to high for coastal zones. The high temperatures reflected in the RCP 8.5 indicate an increase in the area of medium and high suitability in the Yucatan Peninsula (Figure 2 D).

Table 1. Areas (km <sup>2</sup> ) and suitability of <i>M. hirsutus</i> in scenarios 2050 and 2070.							
Suitability	Present area (km <sup>2</sup> )	2050			2070		
		4.5	6	8.5	4.5	6	8.5
Low	786,873.77	731,868.09	736,945.34	794,727.16	741,889.95	761,901.18	841,100.26
Half	270,206.14	348,956.57	346,917.45	365,791.97	351,207.79	357,294.84	377,939.60
High	102,255.59	258,825.94	222,494.28	263,371.05	285,047.52	309,333.81	318,551.33
Total	1,159,335.50	1,339,650.60	1,306,357.07	1,423,890.18	1,378,145.26	1,428,529.83	1,537,591.19

Areas in the two scenarios and RCP compared to the total national surface.

An evolution of the surfaces is observed in the two scenarios in all the RCPs, the surface present projected in low suitability ranges from 786,873.77 km<sup>2</sup> to 841,100.26 km<sup>2</sup> in the extreme scenario 2070 RCP 8.5; on the other hand, the surface projected in medium suitability ranges from 270,206.14 to 377,939.60 km<sup>2</sup> in the scenario 2070 RCP 8.5, and the present surface projected of high suitability ranges from 102,255.59 to 318,551.33 km<sup>2</sup>, with increments found in the surfaces projected (Table 1). Laboratory studies show the relation of the pest with temperature and dry periods indicating that the species could invade areas within the thresholds of lower 14.5 °C and higher 35 °C temperature, and the optimal temperature for development of 29 °C (Chong *et al.*, 2015), so the suitability of the species and the change in climate would generate growths in zones of presence of pink cochineal.

## CONCLUSIONS

The high reproductive rates of the species, the broad number of hosts, global warming and droughts constitute indisputable arguments to beware of, in face of the possible changes in the distribution of this pest (Martínez, 2007). It should be considered that the climate conditions projected could vary from one region to another, which is why specific studies must be performed with the conditions of each place. Based on the RCP of the two scenarios, the increase in temperature and the decrease in precipitation provide an increase in the surface projected and in the environmental suitability of pink cochineal in Mexico. In the scenarios (2050 and 2070) an

increase is observed in the surface projected and environmental suitability for *M. hirsutus*, primarily in the states of the Pacific watershed, the Yucatan Peninsula and the Gulf of Mexico, with the latter zones being the most vulnerable, while the northern states and Mexican high plateau present low suitability.

## REFERENCES

- Brown, J. L. (2014). SDM toolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7), 694-700. doi.org/10.1111/2041-210X.12200.
- Chong, J. H., Aristizábal, L. F., y Arthurs, S. P. (2015). Biology and management of *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) on ornamental plants. *Journal of Integrated Pest Management*, 6(1), 5. doi.org/10.1093/jipm/pmv004
- Chong, J. H., Roda, A. L., & Mannion, C. M. (2008). Life history of the mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae), at constant temperatures. *Environmental entomology*, 37(2), 323-332. https://doi.org/10.1093/ee/37.2.323
- Cobos, M. E., Peterson, A. T., Barve, N., y Osorio, L. (2019). Kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7, e6281. doi:10.7717/peerj.6281
- Cruz, G., Villaseñor, J. L., López, L., Martínez, E., y Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(2), 187-201. doi: 10.5154/rchscfa.2013.09.034
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K. S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Sobero'n, J., Williams, S., Wisz, M. S. and Zimmermann, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2), 129-151. doi.org/10.1111/1/j.2006.0906-7590.04596.
- European Network for Earth System modelling (ENES) (2015). Earth System Models and Modelling groups » Met Office Hadley Centre "HadGEM2". Consultado en línea: https://portal.enes.org/models/earthsystem-models/metoffice-hadley-centre/hadgem2-es.
- Fielding, A. H., y Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental conservation*, 24(1), 38-49. doi.org/10.1017/S0376892997000088.
- García, N. C., Urías, M. A., Hernández, L. M., Osuna, J. A., Medina, R., y González, J. A. (2014). Distribución temporal y potencial reproductivo de la cochinilla rosada del hibisco (Hemiptera: Pseudococcidae) en Nayarit, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 5-16. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n1/v5n1a1.pdf
- Guisan A y Zimmermann N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186. doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9
- Kairo, M. T., Pollard, G. V., Peterkin, D. D., y López, V. F. (2000). Biological control of the hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae) in the Caribbean. *Integrated Pest Management Reviews*, 5(4), 241-254. doi.org/10.1023/A:1012997619132. Recuperado de: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1012997619132#citeas.
- Manzanilla, U., Delgado, P., Hernández, J., Molina, A., García, J. J., y Rocha, M. D. C. (2019). Similaridad del nicho ecológico de *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (Pinaceae) en México: implicaciones para la selección de áreas productoras de semillas y de conservación. *Acta botánica mexicana*, (126). doi.org/10.21829/abm126.2019.1398.
- Martínez, M. D. L. Á. (2007). La cochinilla rosada del hibisco, *Maconellicoccus hirsutus* (Green), un peligro potencial para la agricultura cubana. *Revista de Protección Vegetal*, 22(3), 166-182.
- Martínez, M. D. L. Á. (2007). La cochinilla rosada del hibisco, *Maconellicoccus hirsutus* (Green), un peligro potencial para la agricultura cubana. *Revista de Protección Vegetal*, 22(3), 166-182. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v22n3/rpv04307.pdf

- NAPPO, (2011). Organización Norteamericana de Protección a las Plantas. Cambio climático y análisis de riesgo de plagas. Recuperado de: [https://www.nappp.org/files/8614/4042/8107/Climate\\_Change\\_Discussion\\_DocumentRev-07-08-12-s.pdf](https://www.nappp.org/files/8614/4042/8107/Climate_Change_Discussion_DocumentRev-07-08-12-s.pdf)
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., y Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography*, 34(1), 102-117.
- Peterson, A. T., Papeş, M., y Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological modelling*, 213(1), 63- 72. Doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., y Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions* Princeton University Press. Princeton, NJ 328 pp.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., y Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893. doi.org/10.1111/ecog.03049
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., y Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. Doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
- Radosavljevic, A. y Anderson, R. P. (2013). Making better MaxEnt models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, 41, 629-643. doi.org/10.1111/jbi.12227
- Raghavan, R. K., Barker, S. C., Cobos, M. E., Barker, D., Teo, E. J. M., Foley, D. H., Nakao, R., Lawrence, K., Heath, A. C. G. y Peterson, A. T. (2019). Potential spatial distribution of the newly introduced long-horned tick, *Haemaphysalis longicornis* in North America. *Scientific reports*, 9(1), 1-8. Doi.org/10.1038/s41598-018-37205-2.
- Roltsch, W. J., Meyerdirk, D. E., Warkentin, R., Andress, E. R., y Carrera, K. (2006). Classical biological control of the pink hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Green), in southern California. *Biological Control*, 37(2), 155-166. doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.01.006. Recuperado de: <https://pubag.nal.usda.gov/download/1819/PDF>.
- Searcy, C. A., y Shaffer, H. B. (2016). Do ecological niche models accurately identify climatic determinants of species ranges?. *The American Naturalist*, 187(4), 423-435. doi.org/10.1086/685387
- SEMARNAT (2010). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.. Ficha de *Maconellicoccus Hirsutus* Realizado Por: M. en C. Amelia Ojeda Aguilera. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/56098/Cochinilla\\_rosada.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/56098/Cochinilla_rosada.pdf).
- SICAFI, (2018). Sistema de Campaña Fitosanitaria. Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agrícola (SENASICA).
- Vicente J. R., Alagador D., Guerra C., Alonso J. M., Kueffer C., Vaz A. S., Fernandes R. F., Cabral J. A., Araujo M. B., y Honrado J. P. (2016). Cost-effective monitoring of biological invasions under global change: a model-based framework. *Journal of Applied Ecology*, 53(5), 1317-1329. doi.org/10.1111/1365-2664.12631.
- Warren, D. L., y Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological applications*, 21(2), 335-342. doi.org/10.1890/10-1171.1
- WorldClim: URL <http://www.worldclim.org/>). Acceso 15/02/2020.



## Nutritional removal of cacao fruit (*Theobroma cacao* L.) in Mexico

### Remoción nutrimental del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México

Alonso-Báez Moises<sup>1</sup>, Avendaño-Arrazate Carlos Hugo<sup>1\*</sup>, Alonso-López Betsabé L.<sup>2</sup> Iracheta-Donjuan Leobardo<sup>1</sup>,  
Martínez-Bolaños Misael<sup>1</sup>, Ruíz-Cruz Pablo<sup>1</sup>, Ortiz-Curiel Simitrio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Campo Experimental Rosario Izapa. Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahotán, Tuxtla chico, Chiapas. CP. 30870. <sup>2</sup>Instituto Tecnológico Cuenca del Papaloapan. San Juan Bautista, Tuxtepec, Oaxaca, México. C. P. 68446.

\*Autor de correspondencia: fitogeneticarlos@hotmail.com

#### ABSTRACT

**Objective:** To determine the nutritional concentration of the cacao fruit (*Theobroma cacao* L.) in each of its components: shell, mucilage, testa and seed, among different genetic groups.

**Design/Methodology/Approach:** Nutrient removal was determined for three cacao clones: Criollo (Carmelo), Forastero (PMCT 58) and Trinitario (RIM 88). Ten fruits, or pods, from each clone were collected. Each pod was divided into its components: shell, mucilage, testa and seed. Each of the components were placed in a drying oven for 72 h at 65 °C; then they were ground, packaged, labeled, and sent to the laboratory, where the macro and micro nutrients of each component were determined.

**Results:** The nutritional removal of the macro and micro nutrients (N, PK, Ca, Mg, and S) of the different structures (shell, mucilage, testa and seed) and genetic groups (Forastero, Trinitario and Criollo), stayed within a range of acceptable values (0.01<s<0.199).

**Study limitations/Implications:** The main influence on nutrient removal is the genetic group of the cacao and the conditions where it is grown.

**Findings/Conclusions:** The nutritional removal of cacao varies according to its different structures (seed, testa, mucilage and shell) and concentration depends largely on the variety of cacao (Forastero, Trinitario or Criollo). Potassium is the element most absorbed by the shell, followed by calcium, and nitrogen is most absorbed by the seed, followed by phosphorus. In general, the Trinitario cacao (RIM) presented higher nutrient removal in K, N, Mg, and P, followed by the Forastero (PMCT 58) and in lesser quantity the Criollo (Carmelo). For the microelements, the most absorbed were Zn, Fe, and B in Trinitario, Criollo, and Forastero, respectively.

**Keywords:** Nutrition, Criollo, Trinitario, Forastero.

#### INTRODUCTION

**Cacao** (*Theobroma cacao* L.) cultivation in Mexico and on a global scale is representative of one of the more significant economic and social sectors, present as a crop in more than 70 tropical countries and serving as the livelihood for more than five million producers (Tijani *et al.*, 2001; Duguma *et al.*, 2001; Rafflegeau *et al.*, 2015). In Mexico, the largest proportion of cacao is cultivated in the states of Chiapas and Tabasco, currently adding up to a productive surface area of 62,000 ha and benefitting 37,000 producers (SIAP, 2019). The cacao agricultural ecosystem is closed, with constant nutritional recycling, assuming that under those conditions soils have

favorable natural fertility (Hertemink y Donald, 2005; Hartemink y Baligar *et al.*, 2006); however, in order to increase yield, they require high rates of mineral fertilization. (Afrifa *et al.*, 2009; Somarriba *et al.*, 2001; Van *et al.*, 2015). This is a consequence of the harvest residues and agronomic management by products being exposed to intense temperatures, precipitation, and other local climate conditions, all of which accelerate their decomposition with subsequent mineralization and nutritional return to the cacao agroecosystem (Ruf *et al.*, 2015). The cacao agroecosystem is much more complex than that of any other crop, since the interplay between its agronomical management and its nutrition is influenced by factors including shade, high population density, pests, and disease, among others; these factors, however, should not limit the attainment of high yields (Ooi, 1988). Consequently, it can be inferred that potential yield depends additionally on excellent management, soil, and climate, as well as the availability of nutrients for growth promoting high yields (Rufi and Bini, 2012). To this end, understanding the nutritional removal of cacao is necessary because this is the main route through which nutrients are absorbed from the soil and the applied fertilizers (Rodríguez *et al.*, 2001). The objectives of determining nutritional removal are to reach more effective management of nutrients in order to minimize their loss in the environment, and to adequately provide these nutrients to the crop, maximizing their availability through the process of absorption (interception, diffusion, and mass flow). Site-specific rational mineral fertilization entails the consideration of nutrient removal, yet for cacao,

these nutritional standards are not available, and even when certain crop standards exist, this data has not been systematized. Thus, the objective was to determine the nutritional concentration or removal of the harvested pod components (shell, mucilage and testa), and seed of three cacao clones (Criollo, Forastero, and Trinitario).

## MATERIALS AND METHODOLOGY

**Experiment location:** The cacao clones used are found in the Rosario Izapa Experimental Field (CERI), which depends on the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP), in El Soconusco, Chiapas, along the south pacific region of Mexico (15° 19' N and 92° 94' W). It has a Aw<sub>2</sub>(w)ig sub-humid warm climate, with an average temperature of 26 °C, relative humidity above 80%, and an average historical precipitation of 4,300 mm (CONAGUA, 2015). Regarding its soil, it is of volcanic origin of the andosol type, with a sandy, crumbly texture (CONABIO, 2015).

**Experiment materials:** The material consisted of three genetic groups of Criollo cacao (Carmelo), Forastero (PMCT 58), and Trinitario (RIM 88) considered to be stand-out genotypes based on agronomical characteristics such as sanitation, yield, quality, and of fine aroma.

**Sample preparation and analysis:** With the goal of estimating the nutritional standards of cacao by way of its nutritional removal (NR), 10 pods were collected from each clone. Each pod was divided into its components: shell, mucilage, testa

and seeds. These were placed in Petri dishes and left in a drying oven for 72 hours at 65 °C. The mucilage was frozen in liquid nitrogen, crushed, and dried in the oven for one hour at temperatures ranging from 100 °C to 200 °C until dry. After drying the samples, the components were placed in a desiccator for 30 minutes, followed immediately by grinding each component. The various ground portions were sealed in polyethylene bags with capacity of half a kilogram. These samples were duly labeled per clone and its corresponding components, and then sent to the laboratory. There, in accordance with the official guidelines for quality standardization of vegetable sample analysis, the laboratory applied the appropriate methodology for these analyses, determining macro and micro elements for each pod component. Nitrogen (N%) was determined by the Dumas method (Schmitter B.M and T. Rihs. 1989; Thompson *et al.*, 2002), while the macronutrients P and K, as well as micronutrients—Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Na, Mo, and Ni—were determined using ICP-OES equipment (inductively coupled plasma optical emission spectrometry). This multi-element technique allows for simultaneous analysis of a great number of elements (Gray, 1988; Resano *et al.*, 2005; Bosnak *et al.*, 2008).

## RESULTS AND DISCUSSION

The nutritional removal of cacao highlights the importance of the availability of these nutritional standards, as those approximately constant values, added to the nutritional concentration of the soil and the efficiency of applied mineral fertilizers, would permit the formulation of a rational mineral fertilizer dosage for this crop

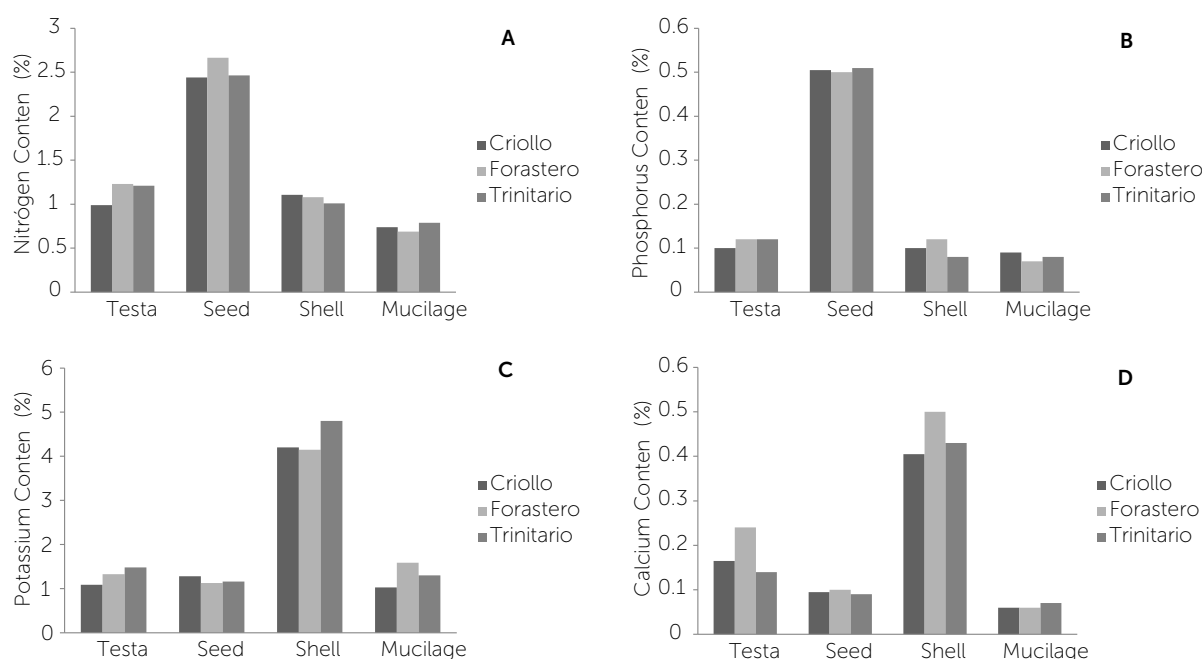


(Pinochet, 1999; Rodríguez et al., 2001). Concerning the nutritional removal of nitrogen, on average the greatest concentration of this element was found in the seed (2.52%), followed by the testa (1.14%), the shell (1.07%), and the mucilage (0.74%). When comparing the genetic groups, Forastero cacao (PMCT 58) presented more N in the seed and in the testa; Criollo (Carmelo) cacao presented more in the shell, while Trinitario cacao presented more in the mucilage (Figure 1A). With respect to the nutritional removal of phosphorous, the greatest average concentration was in the seed (0.51%), followed by the testa (0.11%), shell (0.10%), and mucilage (0.07%). The Forastero genetic group (PMCT 58) presented the highest value in the shell; the three genetic groups generally presented the same quantity in the seed; in the testa, the Forastero and Trinitario genetic groups presented the same quantity on average; and in the mucilage, the Criollo (Carmelo) genetic group had the highest quantity (Figure 1B). In terms of potassium, on average the highest percentage was found in the shell (4.38%), with lower concentrations in the testa (1.30%). When comparing the genetic groups, Trinitario had the highest amount of K in the shell and testa, Forastero had more in the mucilage, and Criollo had the highest amount in the seed (Figure 1C). With respect to calcium, the shell had the highest concentration (0.45%) and the mucilage had the lowest concentration (0.06%). When comparing the genetic groups, Forastero presented the highest values in the shell, testa, and seed, while Trinitario presented them in the seed (Figure 1D). For magnesium, on average the highest concentration was found in the seed (0.39%), followed by the shell (0.32%), testa (0.21%), and mucilage (0.11%). When comparing the genetic groups, Criollo had the highest amount in the seed, Forastero in the shell and mucilage, and Trinitario in the testa (Figure 2A).

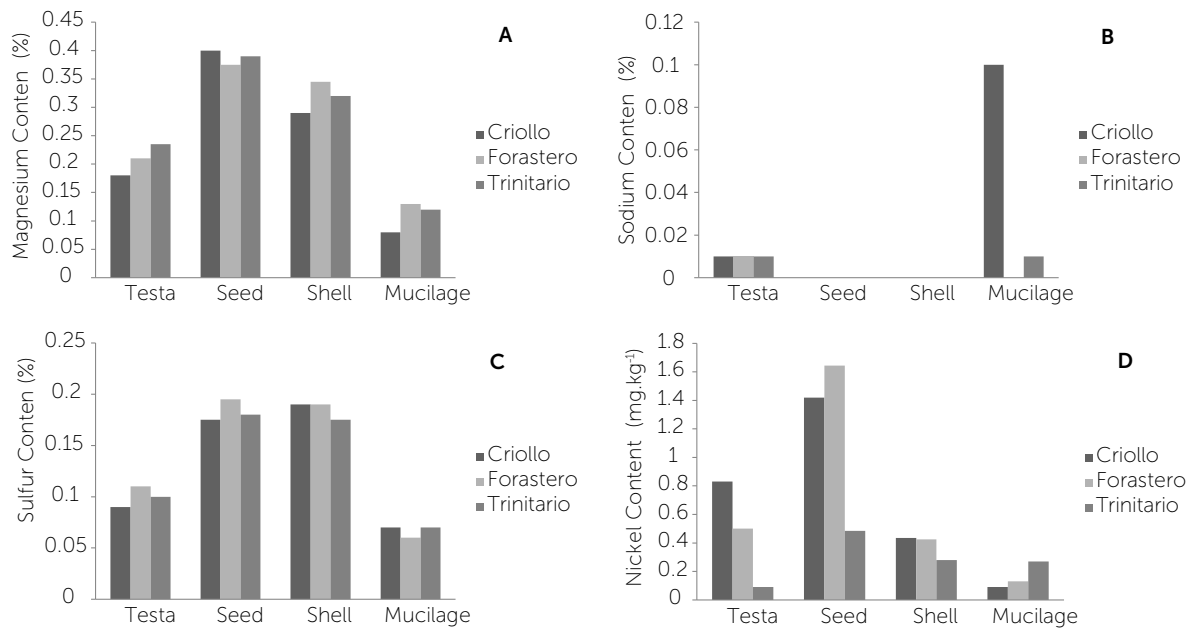
The nutritional removal of sodium only revealed its presence in the mucilage (0.04%) and in the testa (0.01%). When comparing the genetic groups, Criollo

had the highest concentration in the mucilage and the three genetic groups presented the same quantity in the testa (Figure 2B). For sulfur, the shell had the highest amount (0.19%), followed by the seed (0.18%), testa (0.10%), and mucilage (0.07%). When comparing genetic groups, Forastero presented the highest concentrations in the seed and testa, while Criollo and Forastero in the shell, and Trinitario and Criollo in the mucilage (Figure 2C).

Nickel registered the highest average concentration in the seed with  $1.18 \text{ mg kg}^{-1}$ , followed by the testa ( $0.47 \text{ mg kg}^{-1}$ ), shell ( $0.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ), and mucilage ( $0.16 \text{ mg kg}^{-1}$ ). When comparing the genetic groups, Forastero had a higher concentration in the seed; Criollo and Forastero in the shell; Criollo in the testa; and Trinitario in the mucilage (Figure 2D). For copper, the highest average concentration was found in the seed ( $26.07 \text{ mg kg}^{-1}$ ), followed by the testa ( $13.73 \text{ mg kg}^{-1}$ ), shell ( $7.98 \text{ mg kg}^{-1}$ ), and mucilage ( $5.07 \text{ mg kg}^{-1}$ ). The



**Figure 1.** Nutritional removal of cocoa fruit (*Theobroma cacao* L.). A) Nitrogen content; B) Phosphorous; C) Potassium; D) Nickel.

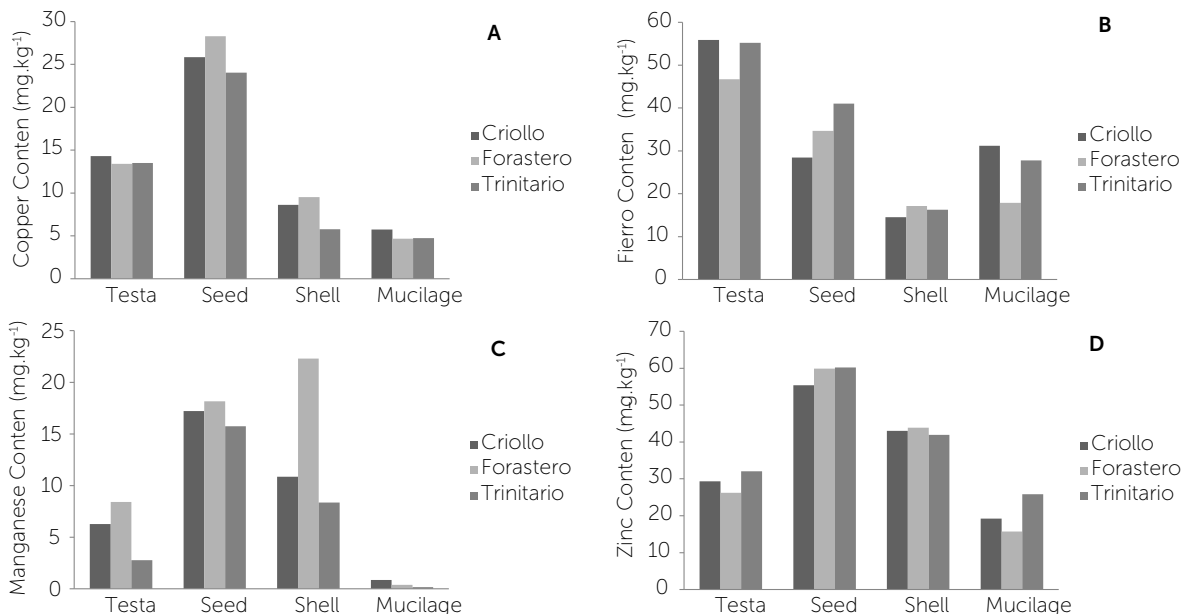


**Figure 2.** Nutritional removal of cocoa fruit (*Theobroma cacao* L.). A) Magnesium content; B) Sodium; C) Sulfur; D) Nickel.

Forastero genetic group had the highest concentration in the seed and shell, while the Criollo had the highest concentration in the testa and mucilage (Figure 3A).

For the nutritional removal of iron, the highest average concentration was found in the testa (52.62 mg kg<sup>-1</sup>), followed by the seed (34.73 mg kg<sup>-1</sup>), mucilage (25.63 mg kg<sup>-1</sup>), and shell (16.9 mg kg<sup>-1</sup>). When comparing the genetic groups, Criollo had the highest concentration in the testa and mucilage, Trinitario in the seed, and Forastero in the shell (Figure 3B). For magnesium, the

highest concentration was found in the seed with 17.03 mg kg<sup>-1</sup>, followed by the shell (13.84 mg kg<sup>-1</sup>), the testa (5.82 mg kg<sup>-1</sup>), and the mucilage (0.46 mg kg<sup>-1</sup>). In the Forastero genetic group, the highest concentration was found in the shell, seed, and testa, but in the Criollo group it was found in the mucilage (Figure 3C). In the case of zinc, the highest average concentration was found in the seed (58.50 mg kg<sup>-1</sup>), followed by the shell (42.93 mg kg<sup>-1</sup>), the testa (29.18 mg kg<sup>-1</sup>), and the mucilage (20.23 mg kg<sup>-1</sup>). The Trinitario group presented the highest concentration in the seed, testa,



**Figure 3.** Nutritional removal of cocoa fruit (*Theobroma cacao* L.). A) Copper content; B) Iron; C) Manganese; D) Zinc.

and mucilage, while for Forastero it was in the shell (Figure 3D).

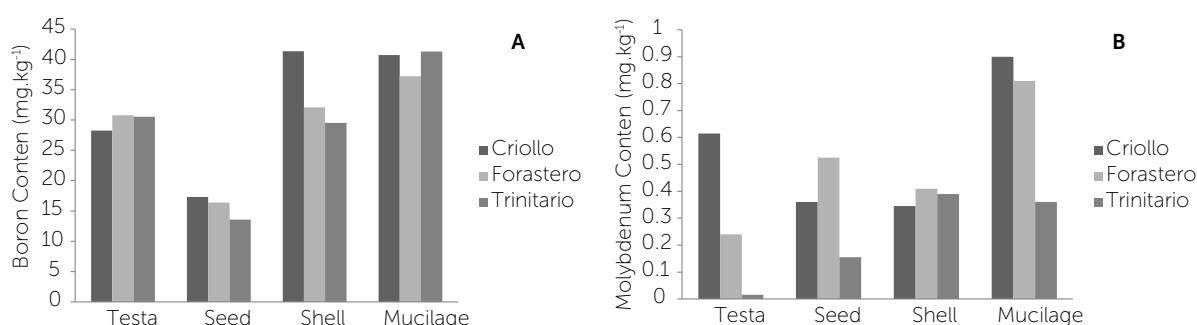
With respect to boron, the highest average concentration was found in the mucilage (39.73 mg kg<sup>-1</sup>), followed by the shell (34.32 mg kg<sup>-1</sup>), testa (29.87 mg kg<sup>-1</sup>), and seed (15.77 mg kg<sup>-1</sup>). The Criollo genetic group had the highest concentrations in the shell and seed, while the highest concentrations in the Forastero group were in the testa, and in Trinitario, in the mucilage (Figure 4A). Finally, for the nutritional removal of molybdenum, the highest average value was registered in the mucilage (0.69 mg kg<sup>-1</sup>), followed by the shell (0.38 mg kg<sup>-1</sup>), the seed (0.35 mg kg<sup>-1</sup>), and the testa (0.29 mg kg<sup>-1</sup>). Criollo cacao presented the highest concentration in the testa and mucilage, and Forastero in the seed and shell (Figure 4B).

Studies carried out on the removal of major nutrients (N, P, and K) in cacao beans in Venezuela and Costa Rica report average values of 39.3 kg of N, 4.6 kg of P, and 10.9 kg of K, respectively, for both countries (Aranguren et al., 1982a; Heuvel dop et al., 1988). In Nigeria, average values of 20 kg of N, 41 kg of P, and 10 kg of K have been reported (Ogunlade et al., 2009). In those regions, the concentration of major nutrients in dried cacao beans

was highly variable. The values of macronutrients in this study were 36.7 kg of N, 6.2 kg of P, and 24.90 kg of K, similar to those reported by Venezuela and Costa Rica, yet very different from those reported in Nigeria.

Conversely, the concentration of N in the cacao beans (testa and seed) was 37 g kg<sup>-1</sup>; this value was greater than those reported in similar studies with concentrations of 22.85 g kg<sup>-1</sup> (Muñiz et al., 2013) and 26.37 g kg<sup>-1</sup> (Araujo et al., 2017), respectively. Likewise, in this study nitrogen was the most accumulated nutrient in the cacao beans, similar to the results reported in related research (Aikpokpodion, 2010; Muñiz, 2013). With respect to the concentration of phosphorous in the cacao beans, this study found 6.2 g kg<sup>-1</sup>, which was greater than the results of similar studies that ranged between 1.96 g kg<sup>-1</sup> and 5.83 g kg<sup>-1</sup> (Loureiro, 2016; Bertoldi et al., 2016; Cinquanta et al., 2016). Other results reported by Pinto (2013), on the concentration of phosphorous analyzed for the same clone that grew in humid (5.07 g kg<sup>-1</sup>) and sub-humid (5.01 g kg<sup>-1</sup>) climate conditions, had very similar values to those reported in this study. Based on this, the former reveals that the concentration of phosphorous in cacao beans is variable, since a similar study

reported average values of phosphorous concentration of 2.66 g kg<sup>-1</sup>, atypical for cacao beans (Araujo et al., 2016). In addition, as Tello (2019) mentioned, the concentration of nutrients in cacao depends on the environment where it developed and its particular variety. Based on the essential significance of phosphorous for this crop, this element was the fifth most-absorbed nutrient by cacao, as is the case with many other crops that present phosphorous deficiencies due to the aforementioned significance (Souza et al., 2012). In relation to the concentration of potassium in cacao beans, this study found 24.9 g kg<sup>-1</sup>, a value within the range reported by various authors of between 5.66 g kg<sup>-1</sup> and 25.58 g kg<sup>-1</sup> (Loureiro, 2016; Bertoldi et al., 2016; Cinquanta et al., 2016). Regarding this nutrient, some studies have revealed that its concentration in cacao beans is closely correlated with the geographic localization of site groups where cacao is established, with its content varying between humid (14.52 g kg<sup>-1</sup>) and sub-humid (12.31 g kg<sup>-1</sup>) climate zones, respectively. Thus, the availability of K and its concentration in cacao beans is reiteratively a function of the site groups where the crop is established (Loureiro, 2016). Based on the importance of this nutrient,



**Figure 4.** Nutritional removal of cocoa fruit (*Theobroma cacao* L.). A) Boron content; B) Molybdenum

the results for this argument confirm that potassium is the nutrient most absorbed by cacao beans (Sodré *et al.*, 2012). With respect to the concentration of Ca ( $2.77 \text{ g kg}^{-1}$ ), Mg ( $5.97 \text{ g kg}^{-1}$ ), and S ( $2.83 \text{ g kg}^{-1}$ ) in this study, the concentration of Ca stayed within the range of values reported in similar research ( $0.58\text{-}2.70 \text{ g kg}^{-1}$ ), while Mg exceeded the range of values reported in other related studies ( $1.67\text{-}3.83 \text{ g kg}^{-1}$ ). The specialized literature has not yet revealed the concentration values of sulfur in cacao beans and the nutrient removal in this study was similar to the content of S ( $2.70 \text{ g kg}^{-1}$ ) in cacao biomass (Loureiro, 2016; Bertoldi *et al.*, 2016; Cinquanta *et al.*, 2016; Araujo *et al.*, 2017). Conversely, concerning the concentration of micronutrients in cacao beans, the results of this study include Fe ( $87.35 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Mn ( $22.85 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Zn ( $87.68 \text{ mg kg}^{-1}$ ), and Cu ( $39.80 \text{ mg kg}^{-1}$ ), all of which are within the ranges reported by other studies in relation to these micronutrients: Fe ( $10.38\text{-}187 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Mn ( $12.73\text{-}64.56 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Zn ( $18.92\text{-}109 \text{ mg kg}^{-1}$ ), and Cu ( $2.4\text{-}88 \text{ mg kg}^{-1}$ ), in addition to the previous micronutrients (Aikpokpodion, 2010; Aikpokpodion *et al.*, 2013; Cinquanta *et al.* 2016). This study also determined Ni ( $1.66 \text{ mg kg}^{-1}$ ), B ( $45.63 \text{ mg kg}^{-1}$ ), and Mo ( $0.64 \text{ mg kg}^{-1}$ ), of which there are no specific references for their concentration in cacao beans in other specialized sources. The variability of nutritional removal related to macro and micro nutrients that has been reported in reference research, and its relation to the findings of this study, allow us to infer that this variability is axiomatic, since the heterogeneity of the soil groups in different sites considerably influences the nutritional concentration and this depends on the geographic location where the cacao crop and its genetic group grows (Tello, 2019). This is because the results referred indicate that the variation in estimated nutritional removal in this and other studies corresponds to different ecosystems where cacao is cultivated, entailing variability in decomposition, accumulation of organic material, and nutritional release.

## CONCLUSIONS

The nutritional removal of cacao varies according to the different structures (seed, testa, mucilage and shell), and concentration depends in large part on the cacao variety (Forastero, Trinitario or Criollo). Potassium was the element most absorbed by the shell, followed by calcium, and in the seed, it was nitrogen followed by phosphorous. In general, Trinitario cacao (RIM) presented higher nutritional removal of K, N, Mg and P, followed by Forastero (PMCT 58), and Criollo (Carmelo) with the

lowest removal. The most absorbed microelements were Zn, Fe, and B in Trinitario, Criollo, and Forastero, respectively.

## REFERENCES

- Aikpokpodion, P. (2010). Nutrients dynamics in cocoa soils, leaf and beans in onto state, Nigeria. *Journal of Agricultural Sciences* 1(1):1-9.
- Aikpokpodion, P.E., Atewolara-Odule, O.C., Osobamiro, T., Ademola, S.M. (2013). A survey of copper, lead, cadmium and zinc residues in cocoa beans obtained from selected plantations in Nigeria. *J. Chem. Pharm. Res.* 5: 88-98.
- Araujo, Q.R., Baligars, V. C., H de A., G. A., Loureiro., J. O., Souza., N. B., Comerford., N. B. (2017). Impact of soils and cropping systems on mineral composition of dry cacao beans. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17 (2):410-428.
- Araujo, Q.R., Fernandes, C.A.F., Ribeiro, D.O., Efraim, P., Steinmacher, D., Lieberei, R., Bastide, P., Araujo, T.G. (2014). Cocoa Quality Index - a Proposal. *Food Control* 46: 49-54.
- Bertoldi, D., Barbero, A., Camin, F., Caligiani, A., Larcher, R. (2016). Multielemental fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma cacao* beans and cocoa products. *Food Control* 65:46-53.
- Bosnak, C., Pruszkowski, E., Neubauer, K. 2008. Spectroscopy. Recuperado el 27 de 07 de 2016, de [www.spectroscopyonline.com](http://www.spectroscopyonline.com)
- Cinquanta, L., Di Cesare, Cinzia., Manoni, R., Piano, A., Roberti, P., Salvatori, G. (2016). Mineral essential elements for nutrition in different chocolate products. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 65:46-53.
- Duguma, B., Gochowski, J., Bakala, J. (2001). Smallholder cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: Challenges and opportunities. *Agrofor Syst.* 51: 177- 188.
- Gray, A.L. (1988). In *Inorganic Mass Spectrometry*, eds. Adams, F., Gibjels, R., and van Grieken, R., Wiley-Interscience, New York, pp. 257-300
- Hartemink, A.E., Donald, L.S. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A review. *Advances in Agronomy*, pp:227-253.
- Heuvelodop, J., Fassbender, H. W., Alpizar, L., Enriquez, G., and Fölster, H. (1988). Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agrofor. Syst.* 6: 37-48.
- Loureiro, G.A.H.A., Araujo, Q.R., Sodré, G.A., Valle, R.R., Souza, J.O., Ramos, E.M.L.S., Comerford, N.B., Grierson, P.F. (2016). Cacao quality: Highlighting selected attributes. *Food Rev. Int.* 1-24.
- Muniz, M.R.A., Silveira, R.L.V. de A., Santos, P.S.R. dos, Malta, A., Sorice, L.S.D. (2013). Exportação de nutrientes pelos frutos de cacau de diferentes clones cultivados nas Fazendas Reunidas Vale do Juliana. *Agroflorestal* 24: 5-9.
- Pinochet, D. (1999). Fertilización de las plantas bulbosas Ornamentales. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. pp: 123-137.
- Rafflegeau S., Losch B., Daviron B., Bastide P., Charmetant P., Lescot T., Prades A., Sainte-Beuve, J. (2015). Contributing to production and to international markets. In: *Family farming and the worlds to come* (Sourisseau J.M. dir). Versailles, France 129-144.

- Resano, M., E. Garcia-Ruiz, L. Moens., F. Vanhaecke. (2005). *J. Anal. At. Spectrom.* 20(2), 81.
- Rodríguez, S. (1992). *Fertilizantes, nutrición vegetal*. AGT 1era edición. Segunda reimpresión. México, D.F. 124 pp.
- Rodríguez, J., D. Pinochet y F. Matus. (2001). *Fertilización de los Cultivos*. Ediciones LOM. Santiago, Talca, Valdivia. 117 pp
- Ruf, F., Kla, A.G., Dja, K. & Kiendré, J. (2015). Chicken manure in the cocoa plantations of Côte d'Ivoire ([http://inter-reseaux.org/ressources-thematiques/article/innovation-paysanne-la-fiente-de?lang=fr&var\\_mode=calcul](http://inter-reseaux.org/ressources-thematiques/article/innovation-paysanne-la-fiente-de?lang=fr&var_mode=calcul)).
- Sanchez, P.A., Jama, B.A. (2002). Soil fertility replenishment takes off in East and Southern Africa. *In: Vanlauwe, B., Sanginga, N., Merckx, R. (Eds.), Integrated Nutrient Management in Sub-Saharan Africa*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 23 – 45.
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [infosiap.siap.gob.mx](http://infosiap.siap.gob.mx)
- Sanchez, P.A., Jama, B.A., 2002. Soil fertility replenishment takes off in East and Southern Africa. *In: Vanlauwe*.
- Schmitter B.M y T. Rihs. (1989). Evaluation of a macrocombustion method for total nitrogen determination in feedstuffs. *J. Agric Food Chem* 37; 992 – 994.
- Sodré, G.A., Venturini, M.T., Ribeiro, D.O., Marrocos, P.C.L. (2012). Extrato da casca do fruto do cacau como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacau. *Rev. Bras. Frutic.* 34: 881–887.
- Somarriba, E., Lachenaud, P. (2013). Successional cocoa agroforests of the Amazon-Orinoco-Guiana shield. *Forests, Trees and Livelihoods* 22(1): 51-59
- Souza, J.J.O., Menezes, A.A., Sodré, G.A., Gattward, J.N., Dantas, P.A.S., Neto, R.O.C. (2012). Diagnóstico foliar na cultura do cacau. *In: Prado, R.M. (ed). Nutrição de plantas: diagnóstico foliar em fruteiras*. FCAV/CAPES/FAPESB/ CNPq, Jaboticabal, São Paulo, pp: 443–476.
- Thompson M., L. Owen, K. Wilkinson, R. Wood y A. Damant. (2002). A comparison of the Kjeldahl and Dumas methods for the determination of protein in foods, using data from a proficiency Testing Scheme. *Analyst* 127; 1666-1668.
- Tijani, A.A., Farinde, A., Agboola, A. (2001). Measuring the impact of Extension on Cocoa Production in Ondo State, Nigeria. *Moor Journal of Agricultural Research* 2: 186-190.





# Multitemporal distribution analysis of *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. by remote sensing in Durango, Mexico

Márquez-Linares, Marco, A.<sup>1</sup>; Escobar-Flores, Jonathan G.<sup>1\*</sup>; Sandoval, Sarahi<sup>2</sup>; Pérez-Verdín, Gustavo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Durango, México, C.P. 34220. <sup>2</sup>CONACYT-Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR, Unidad Durango, Durango, México, C.P. 34220.

\*Autor para correspondencia: jescobarf@ipn.mx

## ABSTRACT

**Objective:** to determine the distribution of *D. viscosa* in the vicinity of the Guadalupe Victoria Dam in Durango, Mexico, for the years 1990, 2010 and 2017.

**Design/Methodology/Approach:** Landsat satellite images were processed in order to carry out supervised classifications using an artificial neural network. Images from the years 1990, 2010 and 2017 were used to estimate ground cover of *D. viscosa*, pastures, crops, shrubs, and oak forest. This data was used to calculate the expansion of *D. viscosa* in the study area.

**Results/Study Limitations/Implications:** the supervised classification with the artificial neural network was optimal after 400 iterations, obtaining the best overall precision of 84.5 % for 2017. This contrasted with the year 1990, when overall accuracy was low at 45 % due to less training sites (fewer than 100) recorded for each of the land cover classes.

**Findings/Conclusions:** in 1990, *D. viscosa* was found on only five hectares, while by 2017 it had increased to 147 hectares. If the disturbance caused by overgrazing continues, and based on the distribution of *D. viscosa*, it is likely that in a few years it will have the ability to invade half the study area, occupying agricultural, forested, and shrub areas.

**Keywords:** supervised classification, land cover, land change detection, invasive species, GIS

## INTRODUCTION

*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq (Sapindaceae) is an evergreen shrub with wide distribution in Mexico and the world, thereby considered to be a cosmopolitan species (Harrington, 2008). It inhabits areas affected by livestock production or other disrupting factors in tropical or subtropical zones in Mexico (Rzedowsky, 1978); it is known by many names (Acosta, 2014), and in the study area as jarilla. In the state of Durango, Mexico, its presence has been detected along the eastern flanks of the Sierra Madre Occidental and in the San Pedro river basin (González-Elizondo *et al.*, 2007), where it possibly spilled over from subtropical zones to temperate climate zones, invading transition areas along the eastern flank of the Sierra Madre Occidental. Due to its capacity to colonize disturbed areas, extensive areas can be found where this species is dominant, forming densely populated communities. Acosta (2016) studied the successional role of *D. viscosa* in Durango, finding that it is not an inhibiting species since it coexists with many others; however, wherever it establishes

itself, floristic diversity decreases. Landowners and ejidatarios (community landowners) have seen how this species reduces grass production on lands where extensive grazing activities take place, thus notably affecting livestock production. According to individual observations, wherever the shrub becomes established it begins an expansion process toward nearby zones, forming dense communities where livestock do not graze, being an unpalatable species for them (CONAFOR, 2019). The objective of this study was to determine the expansion potential of *D. viscosa* once it begins to establish itself in a specific area. The study was carried out in the areas surrounding the Guadalupe Victoria Dam in the municipality of Durango, Mexico, for the years 1990, 2010 and 2017. To this end, several areas with presence of this species were studied and satellite images from the Landsat platform were retrospectively analyzed to determine the rise or decline of this plant and the possible factors that allow its dispersal in time, as well as to contribute to preventing its dispersal.

## MATERIALS AND METHODS

To evaluate the changes in *D. viscosa* distribution throughout several decades, the area surrounding the Guadalupe Victoria Dam in Durango, Mexico, was selected. This dam's catchment area is located to the west of Durango City (104° 48.182' and 104° 43.912' W, and 23° 51.478' and 23° 58.120' N) at an altitude between 1940 m and 2260 m, covering an area of 2,700 ha with secondary shrubland, oak-pine forest, grasslands, and *D. viscosa* shrubs (INEGI, 2018a). It has a semidry temperate climate with summer rains; temperatures fluctuate between 16 and 18 °C and precipitation is approximately 500 mm (INEGI, 2018b). This area was selected because of observations that the distribution of *jarilla* has increased gradually within it.

### Image acquisition and processing

Landsat-4 TM, Landsat-5 TM, and Landsat-8 OLI satellite images were used from the first days of the month of October, from years 1990, 2010 and 2017, which were downloaded free of charge from the United States Geological Survey (available at <http://glovis.usgs.gov/>). These images were used to carry out a supervised classification to identify six different types of ground cover, which were: secondary scrubland (Ms), grassland (Ps), cropland (Cul), oak-pine forest (Bqp), bodies of water (Ag), and areas with *D. viscosa*. The first categories are classifications made by the INEGI (National Institute of Statistics and Geography) for their land use and vegetation maps. Only *D. viscosa* was added, since it is the subject of this study and for having particular reflectance traits due to the yellowish-green color of its leaves. A back propagation artificial neural network (BPNN) was used for the supervised classification (SNAP, 2017). BPNN is widely used due to its structural simplicity and robust modelling of non-linear connections. The BPNN comprised a set of three layers (raster): an input layer, a hidden layer, and an output layer (Richards, 1999). Each layer is a series of parallel processing elements (neurons or nodes). Each one of a layer's nodes is linked to all the nodes of the following layer (Guo *et al.*, 2013).

The first step in BPNN supervised classification was to enter the input layer, which corresponded to the pixel values of the Landsat satellite bands. Then

weights were assigned to the BPNN to produce analytic data based on the input values. These data were contrasted with the category to which each training pixel belonged, corresponding to georeferenced sites (Datum, WGS-84, 13N). A random stratified sampling method (Olofsson *et al.*, 2013) was used to generate the reference data in the QGIS software (QGIS Development Team 2016). The 1990 training areas were obtained from the land use and vegetation map from INEGI's series II. For 2010, the IV series was used, and for 2017, 300 entries from the field and 19 entries from the Northeastern Mexican herbalist network's database ([www.herbanwmex.net](http://www.herbanwmex.net)) were used. A total of 1,644 random points were sampled (Goodchild *et al.*, 1994). The number of classes were: i) *D. viscosa*, 342 sites; ii) secondary shrubland, 382 sites; iii) oak-pine forest, 212 sites; iv) grassland, 419 sites; v) crops, 180 sites; and vi) water, 109 sites.

The class discrimination processes happened in the hidden layer, and the synapses between layers were identified through an activation function. A logistic function was used as well as a training rate of 0.20 (Hepner *et al.*, 1990; Richards, 1993; Braspenning and Thujisman, 1995). Learning occurs when adjusting the weights in the node to minimize the difference between the activation of the output node and the BPNN, then calculating the error in each iteration with the root-mean-square error (RMS). The output layer consisted of six neurons that represent the six classes of ground cover considered. Once the classifications of each of the Landsat images were achieved, changes in each class were detected through the Change Detection



algorithm with the Environment for Visualizing Images (ENVI)<sup>®</sup> software. The image designated as the initial state corresponded to the year 1990 and the final states were the images from 2010 and 2017. A change matrix was generated, with which the surface areas that were substituted by *D. viscosa* were calculated for each of the classes of vegetation ground cover.

### Classification accuracy

For the classification validation process, confusion matrixes were applied and analyzed with the procedure proposed by Jensen (1986), which is the most commonly used method for calculating the accuracy of global classification. This consists in calculating the omission and commission errors in order to calculate the percentage of error and its confidence limits, both for the total classification and for each category. For the image from 1990, 348 verification sites were used; for 2010, 1,646 sites were used; and for 2017, 2,099 sites were used.

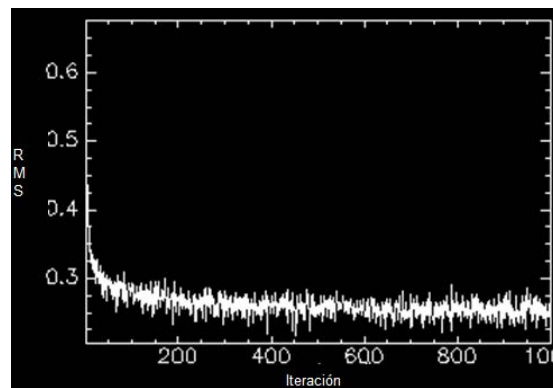
## RESULTS AND DISCUSSION

The best results for the supervised classifications by the BPNN algorithm were obtained after 400 iterations with learning rate values (RMS) of less than 0.08 and a global accuracy of 84.5 % (Figure 1).

In the dispersion diagram, when comparing the red band versus the infrared band (NIR) of the OLI sensor for *D. viscosa* reflectance evidence, it was found that this species' pattern had a very low reflectance percentage in the red band (10 %) and a mid-range reflectance percentage in the infrared band (35 %). This was very useful for the separability of the classes considered (Figure 2).

In the 1990 image, classification accuracy was 44.5 %, which is very low. However, given that INEGI

map data were used (series II land use and vegetation) as well as existing collection data for that year, it was difficult to improve accuracy given the antiquity of the information. This table also shows that the *D. viscosa* class is confused with the shrubland class and the Bqp class (omission). However, the shrubland class is primarily confused with *D. viscosa* (commission). The total area covered by *D. viscosa* in 1990 (Table 1) was 6.8 ha, and according to Figure 3, it was found only in the southern part of the study area. On the other hand, the largest area corresponded to the shrubland class with 1289.8 ha. Agriculture covered a surface area of 284.7 ha, grassland covered 224.7 ha, and Bqp covered 577.6 ha.

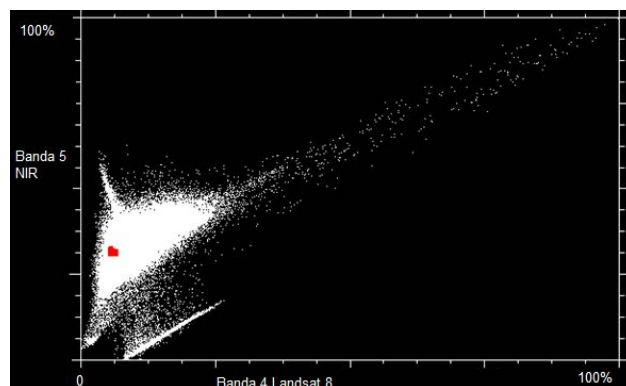


**Figure 1.** Diagram showing BPNN learning; a simulation of less than 500 iterations is sufficient to achieve the supervised classification.

In the image from 2010 (Table 2), the classification accuracy was 75.6 %, which is considered to be acceptable for this type of work (Hamlyn and Vaughan, 2010). It was noted that, just as in the image from 1990, *D. viscosa* is mainly confused with Bqp and to a lesser degree with crops and shrubs; omission errors were reduced by 42 % in relation to 1990, while commission errors were low in all classes except shrubland. The surface area covered by *D.*

*viscosa* increased to 147.5 ha, showing a dotted patch distribution. The surface areas covered by the rest of the classes were: shrubland, 1491.7 ha; cropland, 382.4 ha; grassland, 232.7 ha; and Bqp, 314.2 ha. The image from 2017 had a classification accuracy of 87 % due to an improved sensor and improved field verification points, and not with INEGI maps. Table 3 shows that *D.*

*viscosa* is confused mostly with Bqp (omission) by 5.8 %, and the rest of the classes are confused with *D. viscosa* (commission) by 20.4 %. The surface area covered by this species rose to 222.0 ha. Its distribution is also in patches, although larger in size in relation to the imagen from 2010. The areas covered by shrubland were 1484 ha; cropland, 164.4; grassland, 314.2 ha;



**Figure 2.** Diagram of the dispersion of *D. viscosa* reflectance values. The red point shows the convergence point between both bands.



**Table 1.** Contingency and errors for the 1990 classification. Total classification accuracy of 44.5%.

Class	D. visc	SM	CRP	Gr	OPF	TOTAL	Omission error	% Omission error	Commission error	% Commission error	Surface (ha)
1. <i>D. viscosa</i>	38	10	0	0	28	76	38	0.50	5	0.07	6.8
2. SM	5	51	25	59	47	187	136	0.73	15	0.08	1289.8
3. CRP	0	0	16	0	0	16	0	0.00	29	1.81	316.4
4. Gr	0	2	1	23	13	39	16	0.41	62	1.59	577.6
5. OPF	0	3	0	0	27	30	3	0.10	88	2.93	224.7
TOTAL	43	66	42	82	115	348	193		199	0.57	2415.3

\*SM=Secondary scrub, crp=Crops, GR=Grassland, OPF=Oak-pine forest.

**Table 2.** Contingency table and errors for the 2010 classification. Overall Accuracy of 75.6%.

Class	D. visc	SM	CRP	Gr	OPF	TOTAL	Omission error	% Omission error	Commission error	% Commission error	Surface (ha)
1. <i>D. viscosa</i>	132	8	21	0	68	229	97	0.42	38	0.17	114.5
2. SM	0	201	4	89	83	377	176	0.47	39	0.10	1491.7
3. CRP	22	16	406	0	5	449	43	0.10	33	0.07	164.4
4. Gr	16	15	8	401	11	451	50	0.11	91	0.20	314.1
5. OPF	33	0	0	2	105	140	35	0.25	167	1.19	232.7
TOTAL	8	401	442	496	277	1646	401		368	0.22	2317.7

\*SM=Secondary scrub, crp=Crops, GR=Grassland, OPF=Oak-pine forest.

**Table 3.** Contingency table and errors for the 2017 classification. Overall accuracy of 85.4%.

Class	D. visc	SM	CRP	Gr	OPF	TOTAL	Omission error	% Omission error	Commission error	% Commission error	Surface (ha)
1. <i>D. viscosa</i>	342	2	0	0	19	363	21	0.06	74	0.20	147.0
2. SM	24	619	119	2	0	764	145	0.19	20	0.03	954.1
3. CRP	50	0	348	7	0	405	57	0.14	141	0.35	434.5
4. Gr	0	0	20	418	0	438	20	0.05	11	0.03	374.8
5. OPF	15	18	2	2	92	129	37	0.29	19	0.15	390.7
TOTAL	431	639	489	429	111	2099	280		265	0.13	2301.1

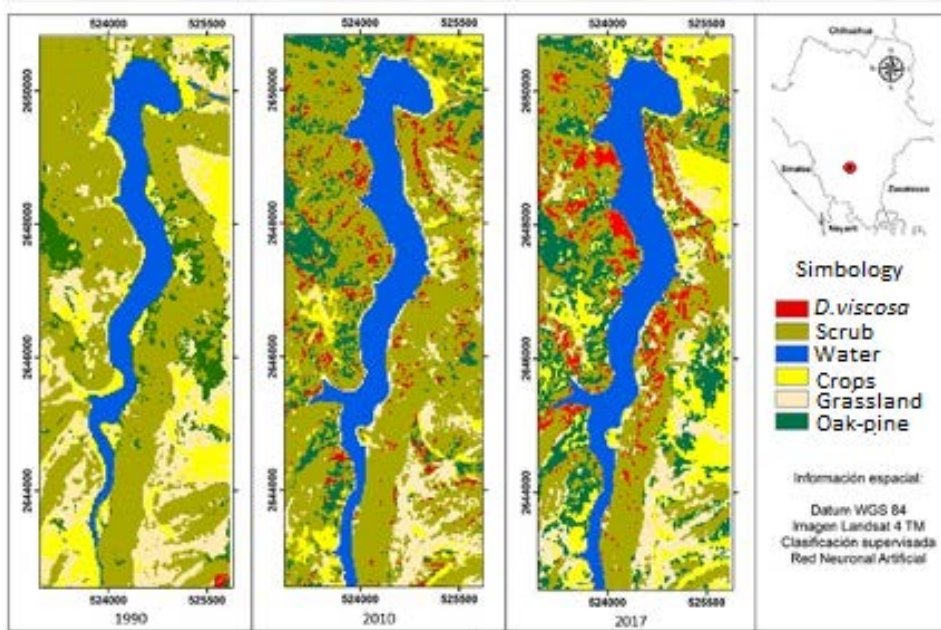
\*SM=Secondary scrub, crp=Crops, GR=Grassland, OPF=Oak-pine forest.

and Bqp, 232.7 ha (Figure 3 and Figure 4).

As shown in Tables 1 and 3, as well as Figure 4, *D. viscosa* has gradually increased its ground cover. Figure 3 demonstrates how *D. viscosa*, after establishing itself in a small area, begins to spread out from its original point; this was particularly evident

in the changes seen from 2010 to 2017. Table 1 shows that in 1990, *D. viscosa* covered a limited area of 6.8 ha, and most of the surface corresponded to shrubland. For the year 2010, the area covered by *D. viscosa* increased to 114.5 ha, and for the year 2017, it increased to 147.0 ha. Figure 3 shows how in 1990, the species was limited to a small

location to the south of the study area. In 2010, its distribution had grown to small patches throughout the whole area. However, by 2017 these patches had spread out to form denser and more extensive stretches. Comparing the *D. viscosa* distribution map of 1990 and 2010 with its distribution in 2017, as well as with its expansion rate, the results



**Figure 3.** Distribution of *D. viscosa* in the years 1990, 2010, and 2017 within the catchment area of the Guadalupe Victoria Dam in Durango, Mexico (Datum: WGS 81, UTM Projection, Geographic zone UTM13N).

suggest that without implementing measures to prevent its spread, in a few years the species could completely replace native vegetation. This has happened in other nearby locations in the south of the state of Durango, where the dominance of this species can be observed in large extensions of land (Acosta, 2016).

*Dodonaea viscosa* is considered to be an invasive species thanks to its ability to colonize sites outside of its original distribution area (González Elizondo, 2007; Acosta, 2016). Because of its widespread distribution in all of Mexico and since it is considered native in tropical and subtropical zones, it is not deemed an invasive species in some studies, but rather a native plant that colonized disturbed areas (CONABIO, 2009; Richardson, 2011).

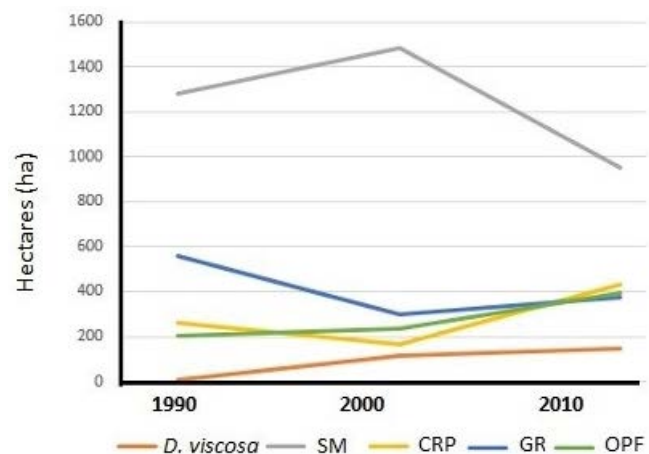
This was the case in the study area, where the presence of this species in 1990 was rare or limited to a very specific site to the south of the area. Nevertheless, in 2010 the plant was apparent in patches throughout practically the entire area; from these it then spread out, resulting in larger and more densely covered areas, as can be seen in the 2017 image. This signified a gradual increase of 6.75 ha in 1990 to 114.5 ha in 2010, and to 147.0 ha in 2017, that is, 77.9 % more in the last seven years. The rapid spread of jarilla in the study area can be attributed to extrinsic or intrinsic factors. On the extrinsic side, it should be recalled that the area is subject to extensive unregulated grazing that has caused sheet erosion, rock exposure, and

vegetation disturbance, creating an attractive environment for the plant's establishment just as several authors have proposed, indicating that the plant is generally found in sites distressed by erosion, fires or overgrazing (Rzedowski, 1978; González Elizondo et al., 2005 and 2007; Acosta, 2016; and Rivas González, 2019).

Authors like Acosta (2016) suggest that *D. viscosa* takes part in the first stages of ecological succession in the recovery of original vegetation; however, the findings of this study reveal that instead it replaces the original vegetation, especially shrublands where it settles and

spreads. Given this circumstance, and considering that disturbances from grazing and fire of the site will probably continue, it is possible that jarilla will keep increasing its populations, establishing a state of disclimax that will remain as long as the disturbance conditions do not change.

In terms of the plant's intrinsic factors, wind dispersion of the seed (winged seeds) and germination mechanisms with no need for scarring processes (CONAFOR, n.d.) suggest that its establishment is facilitated in areas with sites exposed to bare ground like those of the study area, subject to extensive grazing, sheet erosion, rock



**Figure 4.** Changes in the ground cover of the Guadalupe Victoria Dam river basin. M. sec = Secondary shrubland, Bqp=Oak-pine forest.

exposure, and occasional fires. The seed's small size ( $\pm 1$  mm) and its lack of nutritional reserves are typical of ruderal species (Grime, 2001), which adapt to disturbed sites with unlimited resources. Diverse studies (Jurado and Wstoby, 1992) of other species have shown that the size of the seed and its nutritional reserves are important to determine "safe" sites for their establishment. This contrasts with the case of plants with large seeds and nutritional reserves, such as oaks, which can remain viable for some time in wait of favorable environmental conditions for its establishment and survival. Unlike these species, those with seeds that have no reserves must find adequate conditions quickly to take root or otherwise the propagule dies for lack of nutrients (Fenner, 2000).

It is highly probable that jarilla was not present in 1990 in the southern part of the study area, given that site has an altitude of approximately 2225 m, at which annual frosts are frequent and intense, impeding the vegetative development of the plant in the long term. Figure 5 demonstrates an intense frost at the



**Figure 5.** An image of *D. viscosa* resprouting from dried plants during the 2017 frost.

start of 2017 and how it dried out the plant, but later resprouted from the base. This indicates that an important limitation to the distribution and spread of the plant is the zone where strong annual frosts begin, which impede or limit vegetative development. Figure 5 shows the area covered by *D. viscosa*.

Concerning thematic classifications, there was clear improvement between the 1990 classification, with a global precision of 44.5 %, and the 2017 classification, with a global precision of 85.4 %. This can be due to two factors. i) Radiometric resolution, referring to the number of digital levels used to express the data obtained from the sensor (Chuvieco, 2010); in the 1990 image, the TM sensor uses 8 bits, which results in 256 digital levels, while the 2017 image corresponds to the OLI sensor, which has a 12-bit storage capacity, that is, it can capture on 4,096 digital levels, making it 20 times more sensitive than a TM image (Chi, 2013). ii) Spatial resolution; it is possible that in the 1990 classification, the populations of *D. viscosa* covered a surface area of less than 10 m<sup>2</sup>, while the minimum pixel size of the Landsat multispectral images is 30 m<sup>2</sup>, and thus detection was not viable. The opposite case occurred in the 2017 image, where *D. viscosa* populations surpassed two hectares per location.

## CONCLUSIONS

The study area of *D. viscosa* has high potential for the species to spread and replace cropland, grassland, scrubland, and some oak-pine forests, having occupied 6.7 ha in 1990, 114 in 2010, and 147 in 2017. Given that the potential distribution sites in the study area are very extensive, it is probable that this plant's expansion will continue to climb in light of the disrupting conditions that are common in these locations. *D. viscosa* is a plant that can disperse and spread very quickly due to the properties of its seed, including its capability of wind dispersal and easy germination. The limiting factor in its distribution seems to be extremely cold conditions, which are more frequent and intense as the altitude rises. The invasive potential of viscosa is very high; if climate change reduces the frequency of frosts and brings about a rise in temperature, combined with continuous disturbances of vegetation from human activity, it is to be expected that this plant will notably increase its distribution toward higher altitudes and latitudes.

## REFERENCES

- Acosta H. A. C., González-Elizondo M. y Ruacho-González L. (2014). Conocimiento actual de *Dodonea viscosa* (SAPINDACEAE) en Durango: Una Revisión. *Vidsupra visión Científica*, 6(1), 19-22
- Acosta H. A. (2016). Papel sucesional de *Dodonea viscosa* en la cuenca alta del río San Pedro Mezquital (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR, Durango.
- Braspenning P. J. y Thuijsman F. (1995). Artificial neural networks: an introduction to theory and practice. USA. Springer Science & Business Media.
- CONABIO. (2009, 30 de junio). Malezas de México. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/sapindaceae/dodonea-viscosa/fichas/ficha.htm>

- CONAFOR. (2019, 17 de octubre). *Dodonea viscosa* L. Jacq. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/918Dodonea%20viscosa%20.pdf>.
- Chi, J. (2013). Validation of the radiometric characteristics of Landsat 8 (LDCM) OLI Sensor using band aggregation technique of EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(4), 399-406.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Primera edición. Editorial Ariel. Barcelona, España. 568 p.
- Feener M. (2000). *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*. N.Y., EUA: CABI publishing
- González E. M. S., González E. M., López E. I. L., Tena F. G. y Márquez-Linares M. A. (2005). Cambios y tendencias sucesionales en ecosistemas de Durango. *Vidsupra*, 1(1), 5-11.
- González E. M. S., González E. M., Márquez-Linares M. A. (2007). *Vegetación y ecorregiones de Durango*. México, D.F.: Editorial Plaza y Valdez
- Goodchild M. F. (1994). Integrating GIS and remote sensing for vegetation analysis and modeling: methodological issues. *Journal of Vegetation Science* 5:615-626. doi: 10.2307/3235878.
- Grime, J. P. (2006). *Plant strategies, vegetation proces and ecosystem properties*, 2nd Ed. U.S.A: Chichester
- Guo P. T, Wu W., Sheng Q. K, Li MF, Liu H. B and Wang Z. Y. (2013). Prediction of soil organic matter using artificial neural network and topographic indicators in hilly areas. *Nutrient cycling in agroecosystems* 95:333-344. doi: 10.1007/s10705-013-9566-9.
- Hamlyn G.J. y Vaughan R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation, principles, techniques, and application*. N.Y, EUA: Oxford
- Harrington M. (2008). *Phylogeny and evolutionary history of Sapindaceae and Dodonea*. (PhD Thesis). James Cook University. Australia.
- Hepner G, Logan T, Ritter N, Bryant N. 1990. Artificial neural network classification using a minimal training set. Comparison to conventional supervised classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 56(4): 469-473.
- INEGI (2018a). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica F13B11 Presa Guadalupe Victoria escala 1:50000 serie III. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825271718>
- INEGI (2018b). *Climatología serie I. Esc 1:1,000,000*
- Jensen R. J. (1986). *Digital image processing*. N. J., EUA: Prentice-Hall
- Jurado E. y Westoby M. (2002). Seedling growth in relation to seed size among species of arid Australia. *Journal of ecology*. 80, 407-416.
- Olofsson P., Foody G.M., Herold M., Stehman S.V., Woodcock C.E. y Wulder M.A. (2013). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148, 42-57. doi: 10.1016/j.rse.2014.02.015
- Richards J. A. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Berlin, Alemania, Springer-Verlag.
- Richardson D.M., Pysek P. y Carlton J.Y. (2011). A compendium of essential concepts and terminology in biological invasions. En D.M. Richardson. (Ed.), *Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton* (pp. 409-420). Oxford, UK: Black Well.
- Rivas G. R. (2019). *Disturbios y variables ambientales asociados a la presencia de Dodonea viscosa en los municipios de Durango y Mezquital, Durango*. (Tesis Maestría). Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Dgo. Durango, México.
- Richards J. A. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin: Ed. Springer-Verlag
- Rzedowsky, J. (1978). *Vegetación de México*. México D.F. Ed. Limusa.





# Nutritional quality of the white worm (*Agathymus remingtoni* Stallings & Turner Lepidoptera: Hesperiiidae) of maguey lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torrey)

Rodríguez-Ortega, Leodan T.<sup>1</sup>; González-Hernández, Héctor<sup>2</sup>; Valdez-Carrasco Jorge M.<sup>2</sup>; Pro-Martínez, Arturo<sup>2</sup>;  
González-Cerón, Fernando<sup>2</sup>; Rodríguez-Ortega, Alejandro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica Francisco I. Madero, C. P. 42660, Tepatepec, Estado de Hidalgo; México.

<sup>2</sup>Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Montecillos, Texcoco; Estado de México.

\*Autor para correspondencia: arodriguez@upfim.edu.mx

## ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the nutritional quality of white worm larvae (*Agathymus remingtoni*) of the maguey lechuguilla plant (*Agave lechuguilla*).

**Design/Methodology/Approach:** samples of *A. remingtoni* larvae were collected from the stems and leaves of wild maguey lechuguilla that grows in the hills of the community of San Francisco, Municipality of Epazoyucan, in the state of Hidalgo, Mexico. Proximate analysis was performed and the calcium and phosphorus contents were determined in larvae samples.

**Results:** larvae of *A. remingtoni* had a protein content of 33.69% on a dry basis, and 12.05% on a wet basis. Other results obtained were as follows: etheral extract 15.97%, dry matter 35.76%, moisture 64.24%, ash 0.82%, crude fiber 0.85%, free nitrogen extract 6.07, calcium 0.40%, and phosphorus 0.56%.

**Limitations/Implications:** During: in the literature review carried out, no reports were found on the nutritional quality of the white worm (*Agathymus remingtoni*) of maguey lechuguilla (*Agave lechuguilla*).

**Findings/Conclusions:** *Agathymus remingtoni* larvae have excellent nutritional content, which makes them an alternative source of protein, fat, calcium, and phosphorus for human consumption and livestock feed.

**Keywords:** maguey, white worm, food, nutritional composition.

## INTRODUCTION

**Insects** have played an important role in the history of human nutrition. Hundreds of hexapod species have been used for human consumption, the most important among them including grasshoppers, caterpillars, beetle larvae and sometimes adults, termites, bees, wasps, ant larvae and pupa as well as winged ants, cicadas, and a great variety of aquatic insects. Insects are included in human diets when they are seasonally available or during a particular time of year (Banjo *et al.* 2006). The nutritional value of edible insects is highly variable due to the wide range of edible species; even within the same group of hexapods, nutritional value can differ depending on their metamorphic phase, their habitat, and their diet. Human population growth and the rise in poverty have driven new research on the nutritional quality of insects. In parallel, the production of insect flour is a viable alternative for aquaculture and aviculture. Food based or derived from insects could potentially have a market similar to that of fish meal and soybean paste, which are currently the main components utilized in feed formulas for aquaculture and livestock production. Live and dead insects have already established market niches, primarily as food for pets and in zoos (van Huis *et al.*, 2013).



Assessment of the nutritional composition of insects allows identifying the proportion of the elements and macromolecules that constitute them (Rodríguez-Ortega *et al.*, 2016). In the present analysis, no reports were found on the nutritional value of the maguey lechuguilla white worm (*Agathymus remingtoni*); therefore, the objective was to evaluate the nutritional quality of white worm larvae (*A. remingtoni*) of maguey lechuguilla (*Agave lechuguilla*).

## MATERIALS AND METHODOLOGY

In the spring of 2017, *A. Remingtoni* larvae were collected from the stalks and leaves of *Agave lechuguilla* plants that grow in the hills of the San Francisco community within the Municipality of Epazoyucan (19° 59' 47.922" N and 98° 40' 40.9512" W), at an elevation of 2419 m in Hidalgo, Mexico (Rodríguez *et al.*, 2017). In this ecosystem, maguey lechuguilla (Figure 1A) is naturally distributed associated to grasses, sweet acacias (*Acacias* spp.), nopal (*Opuntia* spp.), and other small maguey-like plants such as guapilla bromeliads. The white worm larvae were extracted from the cavities that they create during their development, mainly in the plant's basal leaves (Figure 1, C, D, E). In the damaged part of the leaf's shaft, an entrance hole can be observed through which the recently-hatched larva burrowed. This opening also serves as an exit point for its excrement and is from where the adult emerges (Figure 1B). The specimens were deposited in a plastic jar and placed in a freezer for their preservation and transportation to the Department of Animal Nutrition and Biochemistry in the School of Veterinary Medicine and Zootechnics of the National Autonomous University of Mexico (UNAM), for their determination. To analyze nutritional content using proximate analysis, as well as the calcium and phosphorous content, 250 g of completely developed larvae measuring 4 cm in length and 1 cm in diameter, with an average weight of 1.2 g, were used. Each analysis was tripled and the averages were recorded.

The results are on a wet basis, where moisture was determined by stove-drying at 50 °C for 72 h and dry matter content was calculated with the difference (Helrich, 1990). Raw protein was measured using the Kjeldahl method (Helrich, 1990); etheral extract was obtained using a Soxhlet extractor; ash content was measured using the calcination method with a Linbert TZ45T model muffle furnace; crude fiber was determined using two digestors, one acid and the other alkaline (Helrich, 1990), in an ANKOM 200/220 model fiber analyzer; and the nitrogen-free extract was calculated differentially, in which the percentages of protein, fats, mineral salts, and crude fiber were subtracted from 100% of the dry matter. To determine gross energy, the methodology described in Standards for Bomb Calorimetry and Combustion Methods was used (Tejada, 1992). Calcium (Ca) was determined using the precipitation method, forming calcium oxalate (Helrich, 1990), and phosphorous concentration was measured using the UV visible ammonium phosphomolybdate method (Helrich, 1990).

## RESULTS AND DISCUSSION

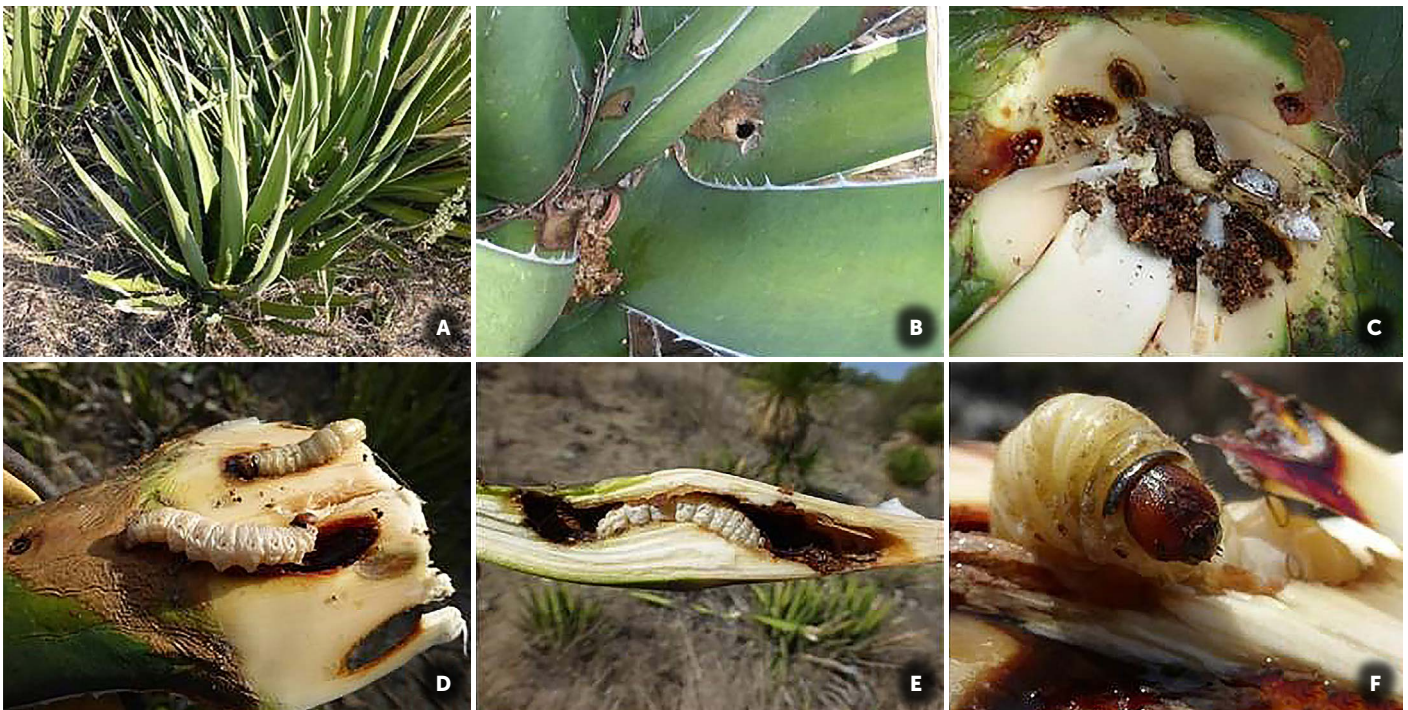
The white worm is associated with leaves of the maguey lechuguilla, also known in Mexico as the mountain maguey (*Agave lechuguilla*) (Figure 1 and 2). These plants provide a strong reservoir of high nutritional value for the

life cycle of *Agathymus remingtoni*. These insects are harvested every year by regional collectors and consumers in April for the most part, and the larvae are part of the regional diet.

The proximate analysis results were compared with data from two Lepidoptera species associated with the pulque maguey plant: another white worm (*Aegiale hesperiaris*) and the red chinicuil worm (*Comadia redtenbacheri*) (Table 1). It was observed that crude protein content on a dry basis was very similar in the three species: *C. redtenbacheri* (32.23%), *A. remingtoni* (33.69%), and *A. hesperiaris* (37.79%). These results indicate that *A. remingtoni* larvae are an excellent source of protein, a highly important macronutrient in the human diet. Concerning the etheral extract, the highest value was reported in the chinicuil larvae (23.43%), most probably due to their source of food, since these larvae feed on the maguey stalk or trunk, where the plant's nutrients are more concentrated and in movement. The second-highest concentration of etheral extract (15.97%) was found in *A. remingtoni*, followed by *A. hesperiaris* (7.98 %) (Ramos *et al.*, 2012). These two larvae feed on the central part of the host's leaves. It is important to highlight that *A. remingtoni* larvae present a notable fat content (etheral extract), which may be beneficial for human health, as it probably constitutes unsaturated fatty acids. Ramos (2000) reported that insects harbor a large quantity of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids.

*A. remingtoni* had the lowest crude fiber content (0.85%), while the chinicuil worm (*C. redtenbacheri*) had the highest fiber concentration





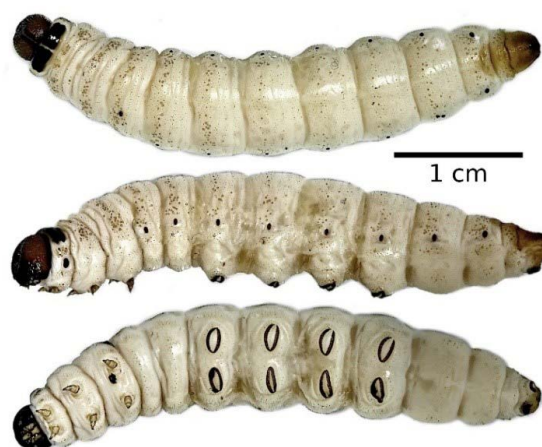
**Figure 1.** Mountain maguery plant *Agave lechuguilla* (A), larval burrow opening and exit point for excrement (B), leaf extraction to collect worms (C), white specimens per leaf (D), cavity form made by larva (E), and front section of *A. remingtoni* head (F).

(1.85%). These insects' fiber could be considered healthy, as it is fundamental for intestinal function (Almeida et al., 2014). On the other hand, the larvae of *A. remingtoni* and *C. redtenbacheri* had similar ash content (0.82 vs. 0.87); ash content is correlated to the amount of minerals present.

The calcium value of the *A. remingtoni* larvae was lower compared to the silk worm (*B. mori* 0.52 vs. 0.40%; Rodríguez et al. 2016). The amount of calcium in *A. remingtoni* is beneficial to the consumer since this element is essential for human nutrition and its requirements are not always totally met, possibly due to many people being lactose intolerant or allergic to calcium-containing products (Aámková et al., 2014). Phosphorus content was similar in larvae of *A. remingtoni* and *A. hesperiaris* (0.56 vs. 0.57%); silk worm larvae contain a lower phosphorous concentration than those of lechuguilla worms (0.56 vs. 0.30) (Rodríguez et al. 2016). Phosphorous is an essential mineral that forms part of

the ATP (adenosine triphosphate) molecule, which is fundamental for energy production.

The moisture percentage was higher in the larvae of *A. hesperiaris* (77.15%), followed by *A. remingtoni* (64.24%), and lastly by *C. redtenbacheri* (58.3%). This can probably be attributed to the larvae size. Moisture plays an important role in insects' life cycle and larvae in this study are found in succulent plants with high moisture in their leaves and stalks, from which the insects obtain the nutrients and water they need, in addition to being protected from dehydration.



**Figure 2.** Edible *A. remingtoni* larvae in their last instar. The dorsal, pleural and ventral sections are shown.

Regarding protein digestibility in 0.2% of pepsin, *A. remingtoni* larvae showed a value of 30.84%, similar to the silk worm (34.19%). Digestibility is an indicator of protein quality because it is not enough for the protein content or that of another element to have a high percentage in food, but rather, it should be digestible so that it can be assimilated and thus utilized by the organism that ingests it

(Gutiérrez *et al.* 2011). The nutritional values of the *A. remingtoni* larvae (Figure 2) confirm the fact that they are an excellent source of nutrients. Therefore, the consumption of this larva can be promoted not just in Mexico, but also worldwide.

### CONCLUSION

Larvae of *Agathymus remingtoni* offer excellent nutritional content, making them an alternative source of protein, fat, calcium, and phosphorous in diets. In addition, the *Agave lechuguilla* plant in the state of Hidalgo is sparsely exploited, making it an economic opportunity for local residents and the object of new scientific studies to demonstrate its nutritional significance.

### REFERENCES

Adámková, A., Kouřimská, L., Borkovcová, M., Mlček, J., Bednářová, M. (2014). Calcium in edible insects and its use in human nutrition. *Potravinářstvo* 8(1): 233-238.

Almeida-Alvarado, S. L., Aguilar-López T., Hervert-Hernández, D. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. *Anales Venezolanos de Nutrición* 27(1): 73-76.

Banjo, A. D., Lawal, O. A. and Songonuga, E. A. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 5 (3): 298-301.

Gutiérrez-Espinosa, M. C., Yossa-Perdomo, M. I., Vásquez-Torres, W. (2011). Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de harina de

**Table 1.** Proximal chemical analysis values for three Lepidoptera larvae associated with the *Agave* genus (*Agathymus remingtoni*, *Aefiale hesperiaris* and *Comadia redtenbacheri*) on a wet basis.

Variable	<i>A. remingtoni</i> (%)	<i>A. hesperiaris</i> (Ramos <i>et al.</i> 2012; %)	<i>C. redtenbacheri</i> (Ramos <i>et al.</i> 2012; %)
Dry material	35.76	-	-
Humidity	64.24	77.15	58.30
Crude protein	12.05	8.64	10.09
Ethereal extract	15.97	7.98	23.43
Ashes	0.82	1.05	0.87
Crude Fiber	0.85	0.96	1.85
N-Free Extract	6.07	4.21	5.46
Calcium	0.40	223.7 $\mu\text{g g}^{-1}$	126.9 $\mu\text{g g}^{-1}$
Match	0.56	0.57	0.33
PC (Dry basis) **	33.69	37.79	31.23
Digestible Protein in pepsin 0.2%	30.84	-	-

\*\*CP: Crude protein on a dry basis.

visceras depollo, quinua y harina de pescado en tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus*. *Revista orinquia* (15) 2: 169-179.

Helrich, K. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 15 Edition. Edited by Kenneth Helrich. Volumen II, 1298 p.

Ramos-Elorduy, J. (2000). La entomología actual en México en la alimentación humana, en la medicina tradicional y en el reciclaje y alimentación animal. pp. 3-46. En: *Memorias XXXV Congreso. Nacional. de Entomología*, Acapulco Gro. México.

Ramos-Elorduy, J. (2008). Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. *Ecology of Food and Nutrition* 47 (3): 280-297.

Ramos, R. B., Quintero, S. B., Ramos-Elorduy, J., Pino, M. J. M., Ángeles, C. S. C., García, P. A. y Barrera, G. D. V. (2012). Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del municipio de San Juan Teotihuacán y en Otumba, en el Estado de México. *Interciencia* 37 (12): 914-920.

Rodríguez-Ortega, A.; Pino, M. J. M.; Ángeles, C. S. C.; García, P. Á.; Barrón, Y. R. M.; Callejas, H. J. (2016). Valor nutritivo de larvas y pupas de gusano de seda (*Bombyx mori*) (Lepidoptera: Bombycidae). *Revista Colombiana de Entomología* 42 (1): 69-74.

Rodríguez, O. A., Equihua, M. A., Llanderal, C. C., Rodríguez, O. L. T., Pro, M. A., Pino, M. J. M., Barrón, Y. R. M. y García, M. J. A. (2017). Infestación de gusano blanco en maguey de cerro (*Agave lechuguilla* Torrey 1859). *Revista de Entomología Mexicana*. (4) 396-402.

Tejada, H. I. (1992). Control de calidad y análisis de alimento para animales. *Sistema de Educación Continua en Producción Animal*, A.C. Secretaría de Educación Pública. México. 393 p.

van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., et al. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma 201 pp.



## Physiological quality of stored soybeans (*Glycine max* L.)

Rangel-Fajardo María A<sup>1\*</sup>, Can-Herrera Dariane del C.<sup>2</sup>, Tucuch-Haas Jorge I.<sup>1</sup>,  
Gómez-Tec Karina Y.<sup>2</sup>, Burgos-Díaz Johnny A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mococho. Antigua carretera Mérida-Motul km 25. Mococho, Yucatán. CP. 97454. <sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán. CP. 97345.

\*Autor para correspondencia: rangel.alma@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the physiological quality of 11 soybean (*Glycine max* L.) varieties stored under natural conditions in the state of Yucatán, Mexico.

**Design/Methodology/Approach:** seeds of 11 soybean varieties were stored for 11 months in sealed polythene bags. At the start of storage, the seeds were evaluated for germination, electrical conductivity, and 100 seeds were weighed. From months 3 to 11, the germination and electrical conductivity of each sample were assessed monthly. The initial and final weights of 100 seeds were obtained. The data obtained were analyzed in a completely randomized scheme with factorial arrangement.

**Results:** differences were observed ( $p \leq 0.05$ ) in storage tolerance between the varieties, however, the loss of physiological quality was noticeable beginning at the third month of storage. The Tamesi and H-100 varieties showed the seed's greatest loss in germination and weight, and the highest value of electrical conductivity.

**Limitations/Implications:** soybeans are produced in the Yucatán Peninsula, but limitations to conserving the seeds are high temperatures and relative humidity which can be common in the state.

**Conclusions:** soybeans exhibit problems in maintaining their physiological quality in storage under natural conditions, and these problems are also reflected in the loss of seed weight.

**Keywords:** germination, electrical conductivity, natural storage.

### INTRODUCTION

**Seeds** are the main input for food production. These must meet certain characteristics in quality in order to express their potential in the field (Doria, 2010). Starting in the sowing stage, quality should be safeguarded with adequate technical management. However, postharvest handling is essential mainly to conserve the physiological qualities that allow for successful subsequent cultivation cycles (Balesdent *et al.*, 2018). Seed storage is an indispensable step to maintain viability and germination, as well as to reduce seed aging to the minimum. The seeds' response to storage conditions differs among species, varieties, and even plots (Matsue *et al.*, 2005).

The seeds of oleaginous species are challenging to preserve because they are composed of large quantities of oil, which contribute to an increase in the formation of free radicals that consequently accelerate the seeds' deterioration (Rahmati and Shaban, 2014). Nagel and Börner (2010) report that oleaginous seeds demonstrated a short storage duration under room temperature conditions ( $20.3 \pm 2.3$  °C and  $50.5 \pm 6.3\%$  relative humidity), as in the case of

sunflower (*Heliathus annus* L.), which in five years showed a reduction in germination to 50%, and in 10 years to less than 10%. In this sense, seeds such as soy present what some authors have called a "short shelf life" (Walter *et al.*, 2005). Storage in tropical regions complicates the preservation of oleaginous seed quality (Kausar *et al.*, 2009) due to the high temperatures and relative humidity that predominate in these regions. After analyzing 182 soybean accessions (*Glycine max* L.) stored for 34 years under controlled temperature and humidity conditions, Desheva *et al.* (2017) observed differences in seed viability between them. Shelar *et al.* (2008) found decreased germination in soybeans stored in room temperature conditions compared to seeds stored in liquid nitrogen, in addition to finding differences in the germination response between varieties in terms of tolerance to storage. Due to all of the above, this study evaluated the physiological quality of eleven soy varieties stored in room temperature conditions in Yucatán, Mexico.

## MATERIALS AND METHODOLOGY

### Genetic Material

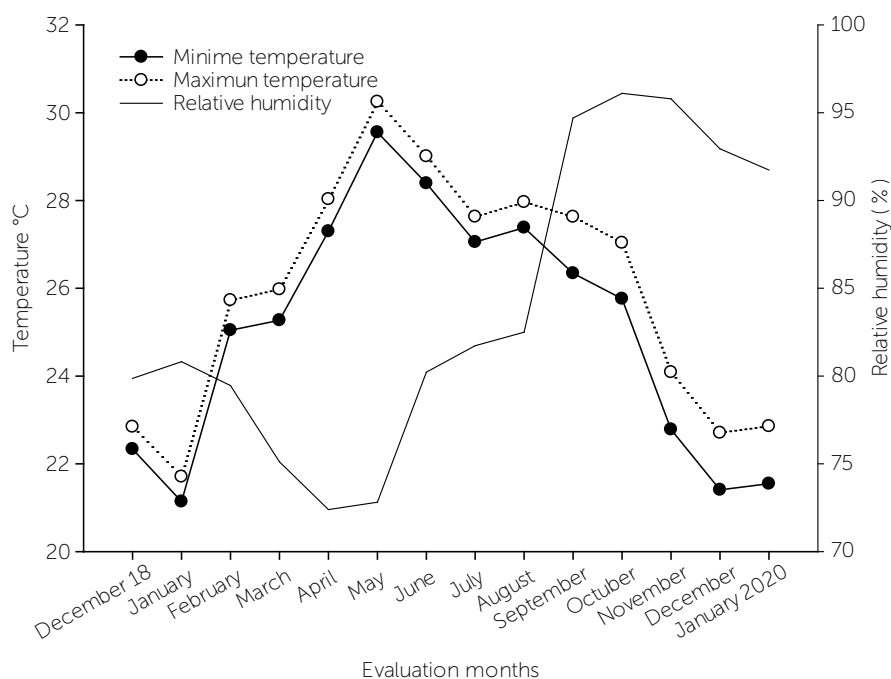
The experiment took place in the facilities of INIFAP's Mochochá Experimental Field, located on Kilometer 25 of the old Mérida-Motul highway in the municipality of Mochochá. Eleven varieties of soy were used [Mariana, Luziania, Vernal, Tamesí, Otoño, Huasteca 100 (H 100), Huasteca 200 (H 200), Huasteca 300 (H 300), Huasteca 400 (H 400), Huasteca 600 (H 600), and Huasteca 700 (H 700)], produced in the 2018 spring-summer cycle and stored for eleven months under natural regional conditions ( $\geq 30$  °C,  $\geq 90\%$  relative humidity) (Figure 1).

The harvested seeds were stored in laminated, hermetically-sealed bags with one-kilogram capacity. All the bags were labeled according to its corresponding variety and placed in room temperature and ambient humidity storage. Before storing the seeds, the germination, electrical conductivity, moisture content and weight of 100 seeds were evaluated. Moisture content was measured using a portable John Deere SW08120 moisture tester, and using the

laminated bags, all varieties were kept at 12% moisture during storage. The first sampling was carried out after the third month of storage to quantify the physiological quality, followed by monthly repetitions.

### Physiological Quality

Samples from each of the varieties were taken randomly and their germination percentages were determined. Four repetitions with 25 seeds were prepared following the procedure stated by ISTA guidelines (2005). The seeds were placed on paper towels pre-soaked in distilled water, uniformly distributed (25 seeds per repetition), and these were rolled up and placed vertically in a germination chamber at  $25 \text{ °C} \pm 1$ . The first count was made four days after sowing and the second was made at seven days. The number of normal seedlings was counted and the result was reported as a percentage. For electrical conductivity (EC), the methodology proposed by Moreno was used (1996), consisting in two repetitions of 50 seeds that were weighed with an approximation of 0.01 g between samples; the seeds were placed in beakers with a diameter of  $80 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  containing 250 mL of deionized water at  $25 \text{ °C}$ . The beakers containing the seeds were kept at  $25 \text{ °C} \pm 1$  for 24 h within the germination chamber with controlled temperature of  $25 \text{ °C} \pm 1$ . At the end, the seeds were separated from the water and this was where the electrical conductivity



**Figure 1.** Maximum, minimum temperature and relative humidity conditions present during the study. Data obtained from <https://datos.gob.mx/busca/dataset/red-nacional-de-estaciones-agrometeorologicas-automatizadas-inifap>

was then measured with an OAKTON Mod. CON 150 electrical conductivity meter; the results for seeds were registered in  $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$ .

### Weight of 100 Seeds

Ten samples of 100 seeds of each variety were weighed and their weight was registered at the start of storage and at the end (after 11 months). To ascertain whether the experiment was valid, it was corroborated with the methodology proposed by Moreno (1996). The results were reported in g.

### Statistical Analysis

All the assessments (EC, germination, and weight of 100 seeds) were evaluated in a completely randomized factorial design, composed of two factors. In the case of EC and germination, the factors were 11 varieties and 11 months of storage; in the case of the weight of 100 seeds, the factors were varieties, and initial and final storage weight. Only the germination data was modified using arc sine, and both cases were subjected to variance analysis using the SAS 9.1<sup>®</sup> statistical package. Means comparison was done with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) and the results were expressed in the original unit.

## RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of simple factors presented differences ( $p \leq 0.05$ ). The varieties that reported the least EC were H 200 and Luziania, while the highest reading was for H 100 with a difference of 16.34 and 16.05  $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$  of seed respectively. Storage time influenced the EC, increasing by 56.91  $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$  of seed from month zero to 11 months (Table 1). According to Moreno (1996), EC values above 30 and up to 43  $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$  of seed should not be used for early sowing due to faults in their sprouting, especially in adverse conditions.

Thus, the highest EC corresponded to the lowest germination response. The H 100 variety registered the lowest germination percentage while H 200 and Luziania maintained higher percentages, showing differences of 16.77 and 17.77 percentage points, respectively. During storage, the values with highest EC found coincided with a reduced germination response (Table 1). The difference between initial and final germination was 80.84%. Germination begins decreasing by close to 50% after the first three months of storage, when the EC was over 40  $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$  of seed.

**Table 1.** Response of simple factors evaluated in *Glycine max L.* seeds.

Factors	CE ( $\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$ of seed)	Germination (%)
Otoño	70,39 c	38,4 a
Mariana	69,47 c	36,55 abc
Luziania	62,33 d	42,37 a
Vernal	77,43 ab	37,1 ab
Tamesí	70,49 c	30,27 de
H100	78,38 a	24,6 e
H200	62,04 d	41,37 a
H300	70,53 c	30,15 de
H400	72,31 bc	30,8 cd
H600	73,56 abc	27,12 de
H700	69,47 c	31,22 bcd
dms	5,5	5,96
Months of storage		
0	38,33 g	86,09 a
3	53,48 f	47,182 b
4	61,99 e	48,45 b
5	67,92 d	29,09 c
6	71,36 d	22,45 de
7	72,15 d	24,45 cd
8	78,97 c	26,09 cd
9	79,48 c	29 c
10	87,17 b	18,45 e
11	95,24 a	5,25 f
dms	5,15	5,59

Means with the same letters are not statically different (Tukey 0.05). CE: Electrical conductivity. dms: minimum signifcan difference.

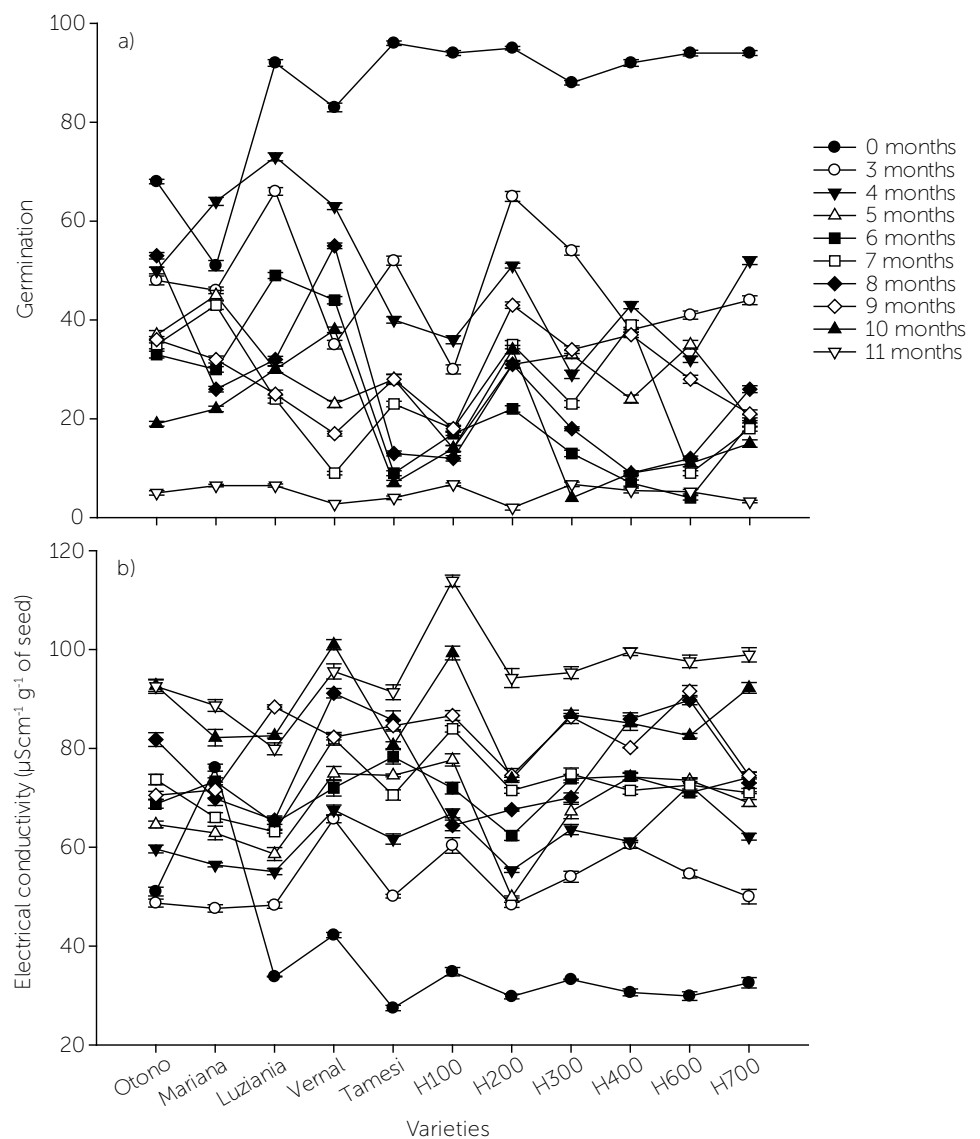
The deterioration of seeds begins from the moment of formation and it is a constant process, regulated by genetic and environmental aspects like temperature and relative humidity. On these last two depends the speed of deterioration, which will be reflected as low or null germination strength and loss of viability (Shelar et al., 2008).

The EC allows estimating the integrity of cellular membranes and the loss of cytoplasmic solutes, which are correlated with the rapid deterioration of seeds (Tajbakhsh, 2000). Soybeans are characterized by having high levels of oil, although these tend to oxidize, increasing the free fatty acids that accelerate aging (Motlagh and Shanba, 2014). This is why increases in EC and low germination were found in all the varieties during storage time.

Agronomic management also affects soybean quality. The implements used during harvest as well as seed moisture influence quality. This is why it is very important to ensure that the seed does not present fractures in the testa, as these cause a rapid loss of viability due to the entry of pathogens or detachment of the cotyledons (Bauer *et al.*, 2003). When combining factors, differences could be observed in the response of EC and germination ( $p \leq 0.05$ ). During storage, all varieties increased the EC; however, the response was not equal. While the Mariana variety increased by  $12.58 \mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$  of seed, the H 100 variety showed an increase of  $79.08 \mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$  of seed more than its initial value, which was  $34.82 \mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$  of seed (Figure 2a). These increases in EC are reflected in the germination percentage of all varieties during the eleven months of storage. This percentage gradually decreased until reaching percentages in the order of 1 to 5%. The H 200 variety was the most affected: germination was reduced from 95 to 2%, while for H 100 and H 300, the reduction was less drastic for 10 months until falling to 6.8% in the eleventh month (Figure 2b). None of the varieties withstood storage in natural conditions. Seed viability diminished rapidly, and this could be attributed to the temperatures in Yucatán that can reach higher than  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , and a relative humidity that can rise above 90% (Figure 1). It has been demonstrated that these temperatures tend to damage the quality of seeds, reducing certain characteristics like sprouting vigor and speed, germination rate, and an increase in solute leaching (Doria, 2010). Sharma *et al.* (2013) observed that, with the passage of time in storage, lipid peroxidation increases considerably and antioxidant activity decreases. Unwelcome antioxidant activity in seeds causes damage to cellular membranes that lead to decrease in or loss of germination.

As long as the EC was lower than  $60 \mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$  of seed, germination was maintained at 50%; however, with more months in storage, the EC increased, causing a reduction in germination. Although the deterioration of the seeds in

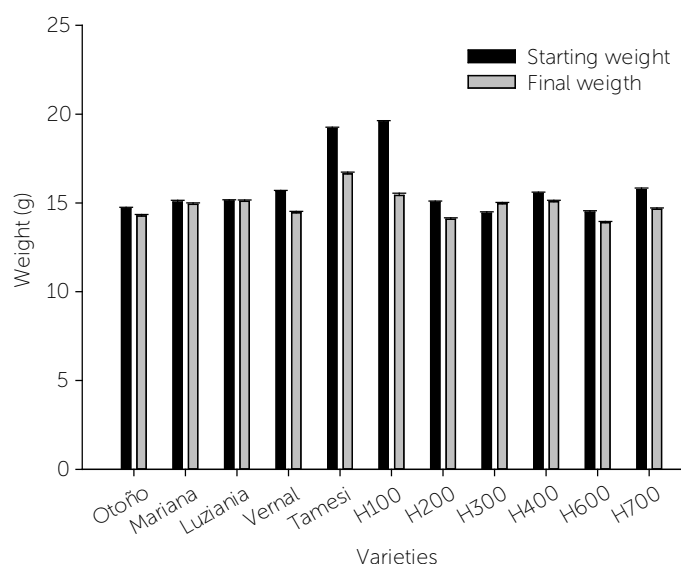
storage is an inevitable process, the pace at which it occurs depends on storage conditions, seed quality, variety, and the type of seed stored (Cruvinel *et al.*, 2017). In this context, Manjarrez *et al.* (2017) reported the loss of physiological quality in canola seeds (*Brassica napus* L.) stored from one to five years, and recommended not storing them for more than a year owing to reduced germination. Pereira *et al.* (2017) reported that soybeans have tolerance to storage that depends on the state of seed development during harvest and the storage conditions. The same



**Figure 2.** Response of eleven varieties of *Glycine max* L. stored for eleven months under room temperature conditions in Yucatán, Mexico. A) Germination, B) Electrical conductivity.

authors indicate that soybeans stored at 35 °C and at 75% relative humidity demonstrate germination reduced to zero in just 90 days of storage. The storage of seeds in general is affected mainly by temperature and relative humidity (Mohammadi et al., 2011), although the type of container used for storing will have an influence on maintaining germination and optimal health for use in the field (Puri et al., 2017). The loss of weight associated with deterioration was evident, and differences were observed in all varieties ( $p \leq 0.05$ ). The varieties of highest weight were Tamesí and H 100, and the varieties of lowest weight were H 600 and Otoño, with a difference of 3.73 g between the higher-weight and lower-weight varieties. The average weight at the start of sampling surpassed by one gram the average weight at the end of the eleven months of storage (Table 2).

The reduction in weight during the storage period was different in all the varieties, with Tamesí and H 100 as the most affected, showing a reduction of 2.54 and 4.14 g respectively. The reductions in the rest of the varieties were from 1.2 to 0.2 g (Figure 3). This response is the result of natural seed deterioration when subjected to tropical conditions in which respiration levels are altered,



**Figure 3.** Weight loss in *Glycine max* L. varieties stored for eleven months.

**Table 2.** Weight response of 100 *Glycine max* L. seeds.

Factors	Weight of 100 seeds (g)
Varieties	
Otoño	14,47 cd
Mariana	14,98 bc
Luziania	15,10 bc
Vernal	15,05 bc
Tamesí	17,91 a
H100	17,49 a
H200	14,56 bcd
H300	14,69 bcd
H400	15,31 b
H600	14,18 d
H700	15,19 bc
dms	0,76
Sampling during storage	
Initial	15,86 a
Final	14,86 b
dms	0,19

Means with equal letters are not statistically different (Tukey, 0.05). dms: Minimum significant difference.

causing deterioration of membranes, protein denaturalization, and increases in free radicals, resulting also in reduced weight (Carbajal et al., 2017).

The varieties that showed the greatest loss in weight correspond to those with the lowest germination percentage and highest conductivity found at the end of storage. These results agree with what Pérez-Camacho et al. (2008) reported, a reduction in seed weight attributed to the consumption of the seeds' reserves.

## CONCLUSIONS

Soybeans have low tolerance to storage under natural conditions in the Yucatán Peninsula. Their physiological quality is affected at temperatures of approximately 30 °C, which is why it is not advisable to store this type of seed without the necessary

temperature conditions. The deterioration response of soybeans was different among varieties, which could be worth considering within genetic improvement programs.

## REFERENCES

- Balesdent M. T., O. J. Marques, A. L. Braccini, C. A. Scapim, J. de B. França-Neto, F. C. Krzyzanowski (2018) Evolution of physical and physiological quality of soybean seed during processing. *Journal of Seed Science*. 40: 313-322. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n3198414>
- Carvajal C., M. Márquez, B. Gutiérrez, A. González-Vera, J. Arellano, M. Ávila (2017) Aspectos de fisiología, deterioro y calidad en semilla de soya. Edición Especial Revista Alcance. 73:76-92.
- Cruvinel R. G., A. R. Neto, S. J. S. Cruz, G. W. B. Campos, A. C. de O. Castro, G. Simon. (2017) Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas e armazenadas. *Cientific@. Revista Científica*. 5:50-65. <http://doi.org/10.29247/2358-260X.2017v4i1.p50-65>
- Desheva G., S. Petrova, M. Deshev (2017) Germinability of soybean seed stored more than 30 years in the Bulgarian national seed genebank. *World Scientific News*. 69:29-46
- Doria J. (2010) Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. 31:74-85.
- International Seed Testing Association (ISTA) (2005) International Rules for Seed Testing. Edition 2005. Bassersdorf, CH- Switzerland.
- Kausar M., T. Mahmood, S. M. A. Basart and Arshad (2017) Invigoration of low vigor sunflower hybrids by seed priming. *International Journal of Agriculture & Biology*. 11:521-528.

- Manjarrez J. F. J., H. R. Díaz, A. Carballo-Carballo, A. Estrada-Gómez, H. Vaquera-Huerta, J. A. Acosta-Gallegos, M. A. P. Ávila, A. J. V. Gaméz (2017) Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad de semilla de canola. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 8: 933-948.
- Matsue Y., O. Uchikawa, H. Sato and K. Katana (2005) Productivity of the soybean seed stored for various periods. *Plant Production Science*. 8: 393-396.
- Moreno M. E. (1996) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. México. 393 p.
- Motlagh Z. R. and M. Shanba (2014). Effect of seed ageing on physiological traits in plants. *Scientia Agricultura*. 2:126-129.
- Mohammadi H., A. Soltani, H. R. Sadeghipour, E. Zeinali (2011) Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. *International Journal of Plant Production*. 5: 65-70.
- Nalgel M and A. Börner (2010) The longevity of crops seeds stored under ambient conditions. *Seed Science and Research*. 20:1-2. doi:10.1017/S0960258509990213
- Pereira L. J. J., J. Buitink, D. Lalanne, R. F. Rossi, S. Pelletier, E. A. A. Da Silva, O. Leprince (2017) Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean. *Plos One*. 12: e0180282. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180282>
- Pérez-Camacho I., O. Ayala-Garay, V. A. González-Hernández, J. A. Carrillo-Salazar, A. Peña-Lomelí, G. García-de los Santos (2008). Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *Agrociencia*. 42: 891-901.
- Puri G. A., K. Vishunavat, C. Mohan and S. Ravi (2017) Effect of seed coating, storage containers on soybean (*Glicine max* (L.) Merill) seed quality under ambient conditions. *Journal of Applied and Natural Science*. 9: 598-602.
- Rahmati M. Z. and M. Shaban (2014) Effect of seed ageing in on physiological traits in plants. *Scientia Agriculturae*. 6:126-129. DOI: 10.15192/PSCP.SA.2014.2.3.126129
- Sharma S., A. Kaur, A. Bansal, B. S. Gill (2013) Positional effects on soybean seed composition during storage. *Journal Food Science Technology*. 50:353-359. doi:10.1007/s13197-011-0341-0
- Shelar V. R., R. S. Shaikh and A. S. Nikam (2008) Soybean seed quality during storage: a review. *Agriculture Review*. 29: 125-131
- Tajbakhsh M. (2000). Relationship between electrical conductivity of imbibe sedes leachate and subsequent seedling growth (viability and vigour) in omid wheat. *Journal Agricultural Science and Technology*. 2: 67-71.
- Walters C., L. M. Wheeler and J. M. Grotenhuis (2005) Longevity of sedes stored in a genebank: species characteristics. *Seed Science Research*. 15: 1-20. doi:10.1079/SSR2004195





# Identification of black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes resistant to anthracnose and rust for Veracruz and Chiapas, Mexico

Garrido-Ramírez, Eduardo R.<sup>1\*</sup>, Tosquy-Valle, Oscar H.<sup>2</sup>, Esqueda-Esquivel, Valentín A.<sup>2</sup>, Ibarra-Pérez, Francisco J.<sup>2</sup>, Rodríguez-Rodríguez, José R.<sup>3</sup>, Villar-Sánchez, Bernardo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3.0, Ocozocoautla, Chiapas, México. C.P. 29140. <sup>2</sup>Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín, Veracruz, México. A.P. 429, C.P. 91700. <sup>3</sup>Campo Experimental Ixtacuaco, INIFAP. Carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan km 4.5, C.P. 96308 Martínez de la Torre, Veracruz, México. A.P. 162.

\*Autor para correspondencia: egarrido\_ramirez@hotmail.com

## ABSTRACT

**Objective:** to determine the reaction of 53 lines and three varieties of black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to inoculation with *Uromyces appendiculatus* and *Colletotrichum lindemuthianum*, to identify genotypes resistant to rust and anthracnose.

**Design/methodology/approach:** 10 seedlings of each genotype were inoculated in the greenhouse with a suspension of *U. appendiculatus* uredospores and another 10 with a suspension of *C. lindemuthianum* conidia. At 14 days after inoculation, the reaction of the genotypes to rust was evaluated with a severity scale of 1 to 6, and to anthracnose, with a scale of 0 to 4. The data were analyzed in a completely randomized design with 10 replications per treatment and LSD at 0.05 was applied for the separation of averages.

**Results:** 41 genotypes showed a hypersensitivity reaction to rust, of which 25 had a reaction value of 2.0, statistically lower than those of controls. In turn, 45 genotypes were resistant to anthracnose, of which 18 had a value of 1.0, statistically similar to that of Negro Jamapa and lower than those of the rest of the genotypes.

**Study limitations/implications:** due to the diversity of races of both pathogens, the genotypes were inoculated with monopustular isolates of the principal races of *U. appendiculatus* and with monosporic cultures of *C. lindemuthianum*, which occur in the bean crops of Veracruz and Chiapas.

**Findings/conclusions:** 25 lines resistant to rust and 18 to anthracnose were identified, which stood out for presenting the least damage from these diseases.

**Keywords:** fungal diseases, genetic resistance.

## INTRODUCTION

In the states of Veracruz and Chiapas, Mexico, most farmers grow black bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.), since it is the one of highest commercial demand (Rodríguez-Licea *et al.*, 2010). Sowing landrace genotypes predominates, of unknown origin, low yield and susceptible to fungal diseases, such as rust [*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus* (Pers.) Unger] and anthracnose [*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. and Magnus) Lams. Scrib.] (López *et al.*, 2012a; Ugalde-Acosta *et al.*, 2014), which can cause losses of 20 to 100% of the grain yield (Becerra-Leor *et al.*, 1996; López *et al.*, 2006). Improved varieties were used, such as Negro Jamapa, released by the INIA (presently INIFAP) almost six decades ago, which is susceptible to rust (Becerra-Leor *et al.*, 1996; Rosales *et al.*, 2004). Since these diseases are a factor that can be

limiting to obtain good productivity in the bean crop, studies have been carried out about their chemical control (Becerra *et al.*, 1994; 1996; Tosquy *et al.*, 2013); however, it has been determined that applying fungicides increases production costs considerably, which is why in order to avoid or reduce the damage from pathogenic organisms, the most viable and economic alternative is sowing varieties with resistance to these diseases and with good adaptation to the environments where bean is sown in Veracruz and Chiapas. In southeastern Mexico, the assessment of reaction of genotypes (lines and varieties) of black beans to diseases is generally performed in field assays, under conditions of natural incidence of pathogens; this process is slow because there is no certainty that adequate conditions will take place for the development of diseases, or else, they can occur in a delayed way and with low severity of infection, in addition to not guaranteeing that the varieties that are generated are resistant or tolerant to the different species of rust and anthracnose that prevail in commercial crops in the states of Veracruz and Chiapas. To accurately evaluate the reaction of the genotypes to the incidence of rust and anthracnose and to have more certainty in identifying breeding lines and generating bean varieties, resistant or tolerant to a larger number of races of these pathogens, it is required for them to be inoculated with spores or monospore isolates of the principal races of *U. appendiculatus* and with monospore cultures of *C. lindemuthianum*. These are present in commercial crops in both states. In the INIFAP's Bean Program for southeastern Mexico, sampling was done between July and December 2018 in the different bean producing zones of the states of Veracruz and Chiapas, where a total of 46 samples of leaves infected with rust and 49 leaves and pods infected with anthracnose were collected. The samples were sent to the Plant Pathology Laboratory of the INIFAP Experimental "Centro de Chiapas", to carry out monospore isolates of *U. appendiculatus* and develop monospore cultures of *C. lindemuthianum*, in order to have inoculum of different races available of both pathogens. The objective of this study was to determine the reaction of 53 recombinant lines and three tropical varieties of black bean to artificial inoculation with these two pathogenic agents, in order to identify resistant or tolerant genotypes to rust and anthracnose.

## MATERIALS AND METHODS

To conserve and increase the spores of *U. appendiculatus*, pustules were selected from all

the samples received; they were labeled, dried in a botanical press, and preserved in coin paper envelopes. In total 20 samples were attained, each one with sufficient pustules with spores of *U. appendiculatus*. To isolate *C. lindemuthianum*, the pods with symptoms of anthracnose from different samples received were disinfected superficially with sodium hypochlorite at 1.5%; then, the excess hypochlorite was washed with sterilized distilled water and the pods were placed in a moisture chamber for 48 h, to induce sporulation of the fungus. Later, the spores were transferred to three cultivation media: water-agar (WA), potato-dextrose-agar (PDA) and Mathur (dextrose, heptahydrated magnesium sulfate, monopotassium, neopeptone, yeast extract and agar), which allowed the growth and development most fungi (Pastor-Corrales *et al.*, 1995; Balardin *et al.*, 1997; Castellanos *et al.*, 2011). In turn, isolates were made from the leaves infected with this disease of the lesions present in leaf veins; they were superficially disinfected with sodium hypochlorite at 1.5%, the excess hypochlorite was washed with sterilized distilled water, and the isolates were placed in Petri dishes with the growth media mentioned before, until growth of the colonies was observed. The *C. lindemuthianum* isolate was verified through observation of type of spores and colony in the microscope.

Once identified, monospore cultures were grown through the dilution technique to obtain pure strains (Garrido-Ramírez and Romero-Cova, 1989). For this purpose, an initial spore suspension was prepared in 10 mL of distilled water, from which 1 mL was taken and diluted in 9 mL of distilled water (dilution  $10^{-1}$ ). Serial decimal dilutions were prepared from this, taking 1 mL of the  $10^{-1}$  dilution and transferring it into 9 mL of sterilized distilled water, and thus successively, to obtain dilutions of  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , until  $10^{-9}$ . From each dilution, 1 mL was taken and placed in a Petri dish with PDA. Isolated spores were located with the help of a microscope, and when they began to germinate, they were transferred to Petri dishes with PDA, which were incubated at 18 °C from 48 to 72 h, and later transferences were carried out to tubes with PDA; once an adequate growth of the fungus was obtained, sterilized mineral oil was added for their conservation at low temperature. In total, 40 monospore isolates of *C. lindemuthianum* were developed, which were kept in tubes with PDA medium in an inclined plane, covered with sterilized mineral oil, in refrigeration at 4 °C.

On May 28, 2019, 20 seeds of each one of the 53 lines and three varieties of black bean (used as control) were sown in Styrofoam cups with peat-moss:agrolite (1:1). Once the seedlings emerged, they were kept in a greenhouse. On June 7, 10 plants of each genotype were inoculated with *U. appendiculatus* and the other 10 with *C. lindemuthianum*. For *U. appendiculatus*, the inoculation was carried out with a mixture of uredospores, made up of individual pustules selected from the samples collected, from which a suspension was prepared at a concentration of  $2 \times 10^4$  uredospores/mL, to which 40  $\mu$ L/L of Tween 20 (detergent) was added, for a uniform distribution of uredospores. The suspension was dispersed at the bean growth stage V2 (primary leaves), using the Stavely technique (1983), for which a plastic tube of 5 cm length and 12 mm diameter was placed in the manual spraying exit, to direct the suspension to a point on the leaf. The plants inoculated were incubated in a moisture chamber with temperature between 20 and 22 °C for 16 h and later transferred to the greenhouse. The genotype reaction to rust was evaluated 14 d after inoculation, with the scale of 1 to 6 described by Stavely et al. (1983), which is based on the type of pustule, where 1=without visible symptoms of the disease (immune), 2=chlorotic spots (from the loss of chlorophyll) that are necrotized later, without sporulation (hypersensitivity reaction), 3=pustules with sporulation smaller than 300  $\mu$ m in diameter (resistant), 4=pustules with sporulation of 300 to 500  $\mu$ m in diameter, sometimes surrounded by chlorotic halos (moderately resistant), 5=pustules with sporulation of 500 to 800  $\mu$ m in diameter, frequently surrounded by chlorotic halos (moderately susceptible), and 6=pustules with sporulation larger than 800  $\mu$ m, surrounded by chlorotic halos (susceptible).

For *C. lindemuthianum*, inoculation was carried out at stage V2 (completely open primary leaves), using a manual atomizer, with which a suspension of spores or conidia was sprayed (developed from monosporic isolates of *C. lindemuthianum*) at a concentration of  $1.2 \times 10^6$  conidia/mL (Castellanos et al., 2011). The inoculated plants were kept in a moisture chamber during 48 h and later placed later in greenhouse tables. The genotypes' reaction to anthracnose was evaluated

14 d after inoculation, using the 0 to 4 scale proposed by Garrido-Ramírez and Romero-Cova (1989), where 0=without visible symptoms of the disease, 1=small necrotic lesions on the underside venation of the leaves, 2=medium necrotic lesions on the underside venation of the leaves, 3=large lesions with sporulation, and 4=large disperse lesions with sporulation and plant death. Plants from genotypes with 0, 1 and 2 values considered resistant, while those with 3 and 4 were classified as susceptible. The reaction values of the genotypes to the diseases were subjected to an analysis of in a completely randomized experimental design with 10 replications per treatment. For the separation of averages, the test based on the Least Significant Difference at 5% probability of error (LSD,  $\alpha=0.05$ ) was applied.

## RESULTS AND DISCUSSION

Highly significant differences were detected ( $<0.01$ ) for both reactions, to *U. appendiculatus* and to *C. lindemuthianum* among treatments (Table 1), which indicates that the bean genotypes showed a different reaction to the inoculation with each one of the pathogens.

When evaluating the reaction to rust, it was determined that 41 genotypes presented only small necrotic spots

without sporulation (grades  $<2.4$ ), that is, showing a hypersensitivity reaction (Stavely et al., 1983). From these, 25 lines (13 derived from the Papaloapan/SEN 46 cross, seven from the Negro Citlali/XRAV-187-3 cross, three from the Jamapa Plus/XRAV-187-3 cross and the ELS-15-55 line) stood out because they presented the lowest damages, with a reaction value of 2.0, statistically similar to the other 11 lines and lower than the rest of the genotypes, including the control varieties Negro, Negro Jamapa and Verdín (Table 2). The last two varieties were moderately susceptible to rust, since they had reaction values higher than 4.0. The susceptibility to rust of the three control varieties has already been documented in other assessment studies (Becerra-Leor et al., 1996; Tosquy et al., 2012; 2016).

In relation to anthracnose, 45 genotypes showed resistance (Garrido-Ramírez and Romero-Cova, 1989), with 18 recombinant lines standing out (nine from the

**Table 1.** Square means and significance detected in the reaction variables of bean genotypes to rust and anthracnose.

Source variation	GL	Reaction to rust	Reaction to anthracnose
Treatments	55	2.767139 **	4.450617 **
Error	504	0.130556	0.134325
Total	559		
CV (%)		15.35	22.14

GL=degrees of freedom; CV=Coefficient of variation; \*\*Highly significant ( $p \leq 0.01$ ).

**Table 2.** Reaction of black bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to inoculation with *Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus* and *Colletotrichum lindemuthianum*, causes of rust and anthracnose, respectively.

genotype	rust (scale 1 a 6) <sup>†</sup>	Classification	anthracnose (scale 0 a 4) <sup>†</sup>	Classification
Papaloapan/SEN 46-1-7	2.0 h	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-1-8	2.0 h	RH	2.6 b	S
Papaloapan/SEN 46-1-10	2.5 ef	R	1.7 cd	R
Papaloapan/SEN 46-2-1	2.3 fgh	RH	2.8	S
Papaloapan/SEN 46-2-2	2.7 de	R	2.6	S
Papaloapan/SEN 46-2-3	2.3 fgh	RH	1.4 def	R
Papaloapan/SEN 46-2-4	3.0 cd	R	2.0 c	R
Papaloapan/SEN 46-2-5	2.4 efg	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-2-6	2.0 h	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-2-7	2.4 efg	RH	1.7 cd	R
Papaloapan/SEN 46-2-11	2.3 fgh	RH	1.6 de	R
Papaloapan/SEN 46-3-2	2.5 ef	R	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-3-5	2.3 fgh	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-3-7	2.7 de	R	1.4 def	R
Papaloapan/SEN 46-4-5	2.3 fgh	RH	1.5 def	R
Papaloapan/SEN 46-4-8	2.0 h	RH	1.3 efg	R
Papaloapan/SEN 46-4-9	2.1 gh	RH	1.3 efg	R
Papaloapan/SEN 46-4-10	2.3 fgh	RH	2.6 b	S
Papaloapan/SEN 46-6-1	2.4 efg	RH	1.4 def	R
Papaloapan/SEN 46-6-2	2.5 ef	R	2.0 c	R
Papaloapan/SEN 46-6-3	2.0 h	RH	2.7 b	S
Papaloapan/SEN 46-6-4	2.0 h	RH	2.0 c	R
Papaloapan/SEN 46-6-5	2.3 fgh	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-6-6	2.0 h	RH	1.7 cd	R
Papaloapan/SEN 46-7-1	2.4 efg	RH	2.8 b	S
Papaloapan/SEN 46-7-6	2.0 h	RH	1.4 def	R
Papaloapan/SEN 46-7-7	2.0 h	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-7-8	2.0 h	RH	1.3 efg	R
Papaloapan/SEN 46-7-9	2.0 h	RH	1.4 def	R
Papaloapan/SEN 46-7-10	2.3 fgh	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-7-11	2.4 efg	RH	1.7 cd	R
Papaloapan/SEN 46 -7-12	2.0 h	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-7-13	3.0 cd	R	1.4 def	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-2	2.5 ef	R	1.0 g	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5	2.0 h	RH	1.0 g	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	2.0 h	RH	1.0 g	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	2.0 h	RH	2.0 c	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-9	2.0 h	RH	1.7 cd	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-2-2	2.3 fgh	RH	1.0 g	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-2-4	2.5 ef	R	1.7 cd	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-2-5	2.0 h	HR	2.7 b	S
Negro Citlali/XRAV-187-3-7-2	3.1 c	R	1.0 g	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-14-6	2.0 h	RH	2.0 c	R

**Table 2.** Continuation.

genotype	rust (scale 1 a 6) <sup>†</sup>	Classification	anthracnose (scale 0 a 4) <sup>‡</sup>	Classification
Negro Citlali/XRAV-187-3-14-7	2.3 fgh	RH	1.6 de	R
Negro Citlali/XRAV-187-3-16-7	2.0 h	RH	2.7 b	S
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	2.0 h	RH	1.0 g	R
J. Plus/XRAV-187-3-1-8 (Rubi)	2.0 h	RH	2.0 c	R
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1	2.0 h	RH	1.0 g	R
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	2.0 h	RH	1.0 g	R
Papaloapan/SEN 46-5-5	2.0 h	RH	2.6	S
NGO 17-99	2.7 de	R	3.2 a	S
SCN-2	3.8 b	MR	2.0 c	R
ELS-15-55	2.0 h	RH	1.0 g	R
Negro Medellín (TR)	2.5 ef	R	3.4 a	S
Negro Jamapa (TR)	4.2 a	MS	1.2 fg	R
Verdín (TR)	4.5 a	MS	1.6 de	R
Comparador DMS (0.05)	0.3167		0.3213	

TR=Regional control. <sup>†</sup>Values recorded according to the severity scale of rust described by Stavely *et al.* (1983).

<sup>‡</sup>Values recorded according to the severity scale of anthracnose proposed by Garrido-Ramírez and Romero-Cova (1989). Genotypes with similar letters in each column are statistically equal according to DMS,  $\alpha=0.05$ . R=Resistant. S=Susceptible. RH=Hypersensitivity reaction. MR=Moderately resistant. MS=Moderately susceptible.

Papaloapan/SEN 46 cross, five from the Negro Citlali/XRAV-187-3 cross, three from the Jamapa Plus/XRAV-187-3 cross and the elite line, ELS-15-55), since they minimum symptoms or very small necrotic lesions in the leaf venation, with a reaction value of 1.0, which was statistically similar to other three breeding lines and to the Negro Jamapa variety and lower than the rest of the genotypes; that is, they showed lower symptoms or less damage from this disease. At the same time, the Negro Medellín variety and NGO-17-99 line showed susceptibility to anthracnose, with higher reaction values than 3.0, which were statistically similar to those of nine other recombinant lines (Table 2). In the central mountainous zone of central Veracruz, these genotypes had an intermediate reaction to anthracnose (López *et al.*, 2012b; Tosquy *et al.*, 2012), while the Verdín variety, freed by INIFAP in 2015 for the states of Veracruz and Chiapas, has shown resistance to this disease (Tosquy *et al.*, 2016).

Based on these results, 11 recombinant lines were selected because of their resistance to anthracnose and rust (five from the Papaloapan/SEN-46 cross, three from the Negro Citlali/XRAV-187-3 cross and three from the Jamapa Plus/XRAV-187-3 cross), and also because of their high grain yield and lower interaction with the environment, defined in previous studies of genotype

evaluation (Tosquy *et al.*, 2019). These are currently being evaluated under field conditions in Veracruz and Chiapas, in environments that favor the incidence of these diseases, to identify the most outstanding ones due to their high yield, wide adaptation and disease resistance, which in the short term can be released as improved varieties for commercial use.

## CONCLUSIONS

Forty-one (41) black bean genotypes were identified with hypersensitivity reaction to rust and 45 resistant to anthracnose, of which 25 recombinant lines stood out in the first group and 18 in the second, since they present lower damage from these fungal diseases. Based on the results, eleven recombinant lines were selected that will follow the process of evaluation and selection for disease reaction field conditions, to release one or some of them as high productivity commercial varieties, resistant to rust and anthracnose, and with high adaptation to the environment.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank INIFAP for the support granted for the development of this research, through the project "Development of high-yield black bean genotypes of broad adaptation and resistance to rust and anthracnosis, for the humid tropics of Veracruz and Chiapas".

## REFERENCES

- Balardin, R.S., Jarosz, A.M. & Kelly, J.D. (1997). Virulence and molecular diversity in *Colletotrichum lindemuthianum* from South, Central and North America. *Phytopathology* 87: 1184-1191. doi:10.1094/PHYTO.1997.87.12.1184
- Becerra, L.E.N., López, S.E. y Acosta, G.J.A. (1994). Resistencia genética y control químico de la roya del frijol en el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 12(1): 35-42. doi:10.15517/am.v6i0.24807
- Becerra-Leor, E.N., López-Salinas, E., Jácome-Maldonado, S. y Rodríguez-Rodríguez, J.R. (1996). Reacción a roya (*Uromyces phaseoli*) en genotipos de frijol con y sin protección química en el norte del estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 14(2): 128-131.
- Castellanos, G., Jara, C. y Mosquera, G. (2011). *Colletotrichum lindemuthianum*. Enfermedad: antracnosis. Manejo del hongo en el laboratorio. Guía Práctica 3. En: Guías prácticas de laboratorio para el manejo de patógenos del frijol. Publicación No. 375. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp. 1-39.
- Garrido-Ramírez, E.R. y Romero-Cova, S. (1989). Identificación de razas fisiológicas de *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. y Magn.) Scrib. en México y búsqueda de resistencia genética a este hongo. *Agrociencia* 77: 139-156.
- López, S.E., Tosquy, V.O.H., Villar, S.B., Becerra, L.E.N., Ugalde, A.F.J. y Cumpián G.J. (2006). Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(1): 33-39.
- López, S.E., Tosquy, V.O.H., Jiménez, H.J., Salinas, P.R.A., Villar, S.B. y Acosta, G.J.A. (2012a). Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol Negro Comapa en dos regiones de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(4): 309-315.
- López, S.E., Tosquy, V.O.H., Rodríguez, R.R. y Villar, S.B. (2012b). Actividades de mejoramiento genético de frijol negro opaco mesoamericano en Veracruz y Chiapas. Informe técnico del proyecto SAGARPA-CONACYT 2009-109621. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., México. 12 p.
- Pastor-Corrales, M.A., Otoya, M.M., Molina, A. & Singh, S.P. (1995). Resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* isolates from Middle America and Andean South America in different common bean races. *Plant Disease* 79(1): 63-67. doi: 10.1094/PD-79-0063
- Rodríguez-Licea, G., García-Salazar, J.A., Rebollar-Rebollar, S. y Cruz-Contreras, A.C. (2010). Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico* 2(1): 121-145.
- Rosales, S.R., Acosta, G.J.A., Muruaga, M.J.S., Hernández, C.G.E. y Pérez, H.P. (2004). Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 6. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de Méx., México. 148 p.
- Stavely, J.R. (1983). A rapid technique for inoculation of *Phaseolus vulgaris* with multiple pathotypes of *Uromyces phaseoli*. *Phytopathology* 73: 676-679. doi: 10.1094/Phyto-73-676.
- Stavely, J.R., Freytag, G.F., Steadman, J.R. & Schwartz, H.F. (1983). The 1983 bean rust workshop. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 26: 4-6.
- Tosquy, V.O.H., Villar, S.B., Rodríguez, R.J.R., Ibarra, P.F.J., Zetina, L.R., Meza, P.A. y Anaya, L.J.L. (2019). Adaptación de genotipos de frijol negro a diferentes ambientes de Veracruz y Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(6): 1301-1312. doi: 10.29312/remexca.v10i6.1658
- Tosquy, V.O.H., López, S.E., Villar, S.B., Ibarra, P.F.A., Rodríguez, R.J.R., Acosta, G.J.A. et al. (2016). Verdín, variedad de frijol negro, precoz y tolerante a la sequía, para Veracruz y Chiapas. Folleto Técnico Núm. 86. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., México. 32 p.
- Tosquy, V.O.H., López, S.E., Becerra, L.E.N., Esqueda, E.V.A. y Rodríguez, R.J.R. (2013). Reacción a mancha angular y productividad de genotipos de frijol con y sin aplicación de fungicida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(1):67-174. doi: 10.29312/remexca.v4i1.1269
- Tosquy, V.O.H., López, S.E., Esqueda, E.V.A., Acosta, G.J.A., Ugalde, A.F.J. y Villar, S.B. (2012). Rendimiento y reacción a enfermedades de genotipos de frijol en condiciones de temporal y humedad residual. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4): 727-737. doi: 10.29312/remexca.v3i4.1426
- Ugalde-Acosta, F.J., López-Salinas, E., Lépiz-Idelfonso, R., Viana-Ruano, A. y Leyva-Vela, S. (2014). Producción artesanal de semilla de frijol con participación municipal en Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 35-44. doi: 10.15517/am.v25i1.14211

# Liquid micronized CaCO<sub>3</sub>: an alternative to correct the pH of an acidic soil and improve pineapple development

## CaCO<sub>3</sub> micronizado líquido: una alternativa para corregir el pH de un suelo ácido y mejorar el desarrollo de piña

Zetina-Lezama, Rigoberto<sup>1\*</sup>, Tosquy-Valle, Oscar H.<sup>1</sup>, Esqueda-Esquivel, Valentín A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. km 34.5 Carr. Veracruz-Córdoba, Mpio. de Medellín, Ver., Apdo. postal 429, C. P. 91700, Veracruz, Ver., México.

\*Autor de correspondencia: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

**Objective:** to determine the effect of liquid micronized CaCO<sub>3</sub> on soil pH and pineapple vegetative development in acidic soils at Isla, Veracruz.

**Design/Methodology/Approach:** randomized blocks with four replications and four treatments: Non-liming control (T1), 2.0 t ha<sup>-1</sup> of dolomite (T2), 10.0 (T3) and 20.0 (T4) L ha<sup>-1</sup> of liquid CaCO<sub>3</sub>. The soil pH was measured, before liming and at 30, 60, 90 and 120 days after sowing, at depths of 0-5, 5-15 and 15-30 cm, and the biomass was determined at the 60, 90 and 120 dds. Analysis of variance and the 5% Fisher test were performed to separate means.

**Results:** up to 90 dds, with dolomite, optimal pH values were reached for pineapple, significantly higher than those of CaCO<sub>3</sub> in both doses. At 120 dds, with 20 L ha<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> the pH was higher than 5.0, similar to that of dolomite and higher than those of the low dose of CaCO<sub>3</sub> and the control. At the last date, with 20 L ha<sup>-1</sup> of CaCO<sub>3</sub> 1,346 g plant<sup>-1</sup> biomass were produced, an amount similar to dolomite and the low dose of CaCO<sub>3</sub> and significantly higher than that of the control.

**Findings/Conclusions:** up to 120 dds, with 20 L ha<sup>-1</sup> of liquid CaCO<sub>3</sub>, the optimum pH for pineapple was reached in the three strata, the values were similar to those of dolomite and higher than those of the low dose of CaCO<sub>3</sub> and the control. CaCO<sub>3</sub> (20 L ha<sup>-1</sup>) and dolomite (2 t ha<sup>-1</sup>) produced 33.1 and 20.9% more biomass than the control.

**Keywords:** *Ananas comosus*, liming, edaphic acidity, plant nutrition.

### INTRODUCTION

Edaphic acidity negatively affects the availability of nutrients, which reduces crop yield and increases production costs by reducing the efficiency of chemical fertilizers (López *et al.*, 2018; Uriza *et al.*, 2018). Major problems appear when the pH is less than 5.5, since toxic levels of aluminum may occur (Zapata and Restrepo, 2010) or strong deficiencies of changeable bases (Zetina *et al.*, 2002; Caires *et al.*, 2008). In many agricultural regions, agricultural lime is applied to remove aluminium from the soil solution (Castellanos *et al.*, 2000).

In the municipalities of Isla, Juan Rodríguez Clara and José Azueta, Veracruz, Mexico, there are more than 100,000 ha that historically have been cultivated with pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr) and whose traditional management system has caused a marked





decrease in soil fertility (Uriza *et al.*, 2018). Excessive tillage of the soil, the burning of crop residues and the excessive use of nitrogenous sources of acidic residual effect have caused greater acidification of the soil, with pH values of up to 2.7, which affects more than 80% of the cultivated area (Zetina *et al.*, 2005a; Rebolledo, 2011). In this region, dolomitic liming is used to increase the pH value of the soil and supply calcium and magnesium to the crop, as well as balance the ionic ratio Ca:Mg:K and reduce the toxic effects of exchangeable aluminium (Zetina *et al.*, 2002; 2005b). However, its use in large areas presents operational difficulties, because specialized machinery is required, and manual applications cause eye and skin irritation to field workers.

With the application of liquid lime, there have been positive impacts on various crops (Bambolin *et al.*, 2015; Camacho *et al.*, 2015; Garbanzo *et al.*, 2016). Therefore, this technology can be an alternative for regions with pineapple plants, because it is highly efficient, economical and easy to implement by producers who have equipment for its application. In addition, due to its high purity and CaCO<sub>3</sub> concentration, operating costs are lower by using lower doses of lime and obtaining greater efficiency in correcting the pH and improving the nutrition of the crop. Thus, the effect of a liquid amendment based on micronized CaCO<sub>3</sub> was determined on the pH of the soil where the rhizosphere develops and the initial vegetative development of pineapple MD-2 (*Ananas comosus*, var. *comosus*), in an acidic soil at Isla, Veracruz, Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

The research was carried out from July 2018 to January 2019, at the "La Perla" farm, in Isla, Veracruz, Mexico (18° 14' 99.86" N and 95° 54' 73.94" W, at an altitude of 144 m). The climate is tropical sub-humid, with rains in summer (Awo), rainfall is 1147.3 mm and mean annual temperature of 25.9 °C (Díaz *et al.*, 2006). The soil is a Dystric Cambisol, with a sandy texture, with an extremely acidic pH, poor in exchangeable bases and organic matter (Zetina *et al.*, 2002).

The complete randomized blocks experimental design with four treatments and four repetitions was used. The treatments evaluated were: 1. Control without liming, 2. Liming with 2.0 t ha<sup>-1</sup> of dolomite, 3. Application of liquid micronized CaCO<sub>3</sub> in doses of 10 L ha<sup>-1</sup> and 4. Application of liquid micronized CaCO<sub>3</sub> at 20 L ha<sup>-1</sup>. Each plot consisted of 22 rows (11 strips of 1.0 m wide

and 5.0 m long, corresponding to 1560 m<sup>2</sup>, considering corridors 2.0 m wide). As a useful plot, 18 central rows of 3 m long (144 plants per plot) were considered.

Soil preparation consisted of plowing, a heavy harrow step, a second trail, crossing the first one, a plough with plowshares up to 50 cm deep, mechanical bedding and the application of liming treatments and manual installation of padding with 150-micron thickness black plastic. The width of the beds was 1.0 m (1.25 m from center to center of each bed), with a height of 20 cm.

Pineapple planting was carried out manually on August 15, 2018, in 30 m wide patches, rows separated at 0.8 m (two per strip) and a separation between plants of 0.38 m, to obtain a density of 40,617 plants ha<sup>-1</sup>. A medium-short peduncle vegetative material of the MD-2 pineapple hybrid was used, with an average weight of 300 g and a length of approximately 30 cm.

Fertilization and control of pests and diseases was carried out in accordance with the recommendations of the INIFAP for that region (Uriza *et al.*, 2018). For liming, the following sources were used: dolomite (12.6% MgO+36.64% CaO+10.8% SiO<sub>2</sub>, with a particle size of 60 to 240 mesh) and liquid micronized CaCO<sub>3</sub> (66% CaCO<sub>3</sub>, with a particle size of 0.7 microns). The liming treatments were carried out at the time of sowing, before the plastic padding, on the surface of the bed. In treatment 2, the dolomite was applied dispersed by hand; then the lime was incorporated with a rake. For treatments 3 and 4, the liquid lime was mixed with water in a tank with a capacity of 200 L, until a homogeneous mixture of micronized CaCO<sub>3</sub> was obtained, which was evenly sprinkled on the strip ("bed" of soil). For the above, an equivalent to 600 L of water ha<sup>-1</sup> was used.

Dolomite and CaCO<sub>3</sub> were used as sources of liming, due to the poor contents of magnesium (35 mg kg<sup>-1</sup>) and calcium (124 mg kg<sup>-1</sup>), determined in the soil sample collected before liming (Table 1). The dolomite dose was estimated with the method proposed by INIFAP (Zetina *et al.*, 2002), using the equation:

$$Y=10,484-2,095x$$

Where: Y=liming dose (t ha<sup>-1</sup>) to obtain a pH value of 5.0 (expected value within the optimal range for pineapple cultivation) and X=initial pH of the soil in water. The dose of liquid micronized CaCO<sub>3</sub> was estimated with



the same equation, considering that 10 L of  $\text{CaCO}_3=1$  t of dolomite.

Before liming, a composite sample was obtained from 15 sub-samples of soil, collected at a depth of 0-30 cm, following a zigzag line in the longest part of the plot. The sample was analyzed in accordance with the Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002) to determine soil fertility.

The response variables were: soil pH and total biomass. The pH was determined at sowing and at 30, 60, 90 and 120 days after sowing (dds). In each experimental plot, five plants with complete competition were selected; in each plant, on the indicated dates, a composite sample of soil was collected at depths of 0 to 5, 5 to 15 and 15 to 30 cm. Each sample consisted of 20 sub-samples, collected with a stainless steel auger in each of the cardinal points of each plant located in the rhizosphere of the crop (10 to 15 cm apart from the stem). For the measurement of pH in water, the 1: 2 soil / solution ratio, the As-02 technique described by the Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT 2000 (DOF, 2002) was used. To determine the total biomass, in each experimental unit, by means of the crop-log technique, plant with complete competition and a representative size of the population of each plot was selected, of a representative size of the population of each plot (Sanford, 1962). The plants were pulled out of the ground with a straight shovel; then, the stem and leaves were separated, impurities were removed with running water and both organs were dried. Subsequently, with a digital electronic scale with a precision of 0.1 g, the leaves and stem of each plant were weighed, and then the total biomass in  $\text{g plant}^{-1}$  was obtained. These measurements were made at 60, 90 and 120 dds. With

the statistical program Minitab 15 version in Spanish, the analysis of variance of the quantified variables was carried out on each evaluation date and in the cases in which significance was detected, for the separation of means, the Fisher test was applied at 5% of error probability.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Initial soil fertility analysis

The soil has a sandy-loam texture, with a strongly acidic pH (4.0), outside the optimal range of 4.5 to 5.5 for pineapple cultivation (Uriza *et al.*, 2018). It is poor in organic matter and inorganic nitrogen, rich in phosphorus and poor in exchangeable bases (Table 1). The soil of the experimental site is typical of the soils cultivated with pineapple in the study region (Papaloapan basin), which respond favorably to liming and application of nitrogen and potassium fertilizers (Zetina *et al.*, 2005a; Rebolledo, 2011).

### Soil pH

Statistical significance was detected in the four dates and three sampling depths, except at 90 dds, at the depth of 15 to 30 cm (data not shown). Table 2 shows the pH values observed at three depths, in the first four months of crop development, in response to three liming treatments and a control without lime.

### Days after liming

#### Sampling depth

At 30 dds, in the 0 to 5 and 5 to 15 cm strata, the most reactive source was dolomite, which significantly increased the soil pH, to statistically higher values than the rest of the treatments. In these two strata, both doses of  $\text{CaCO}_3$  were statistically equal to the control without liming. At the depth of 15 to 30 cm, the same trend was observed, although with the application of dolomite, the pH was equal to that obtained with the low dose of liquid lime. In general, on this evaluation date, the pH reached with the application of dolomite was located within the optimal range for pineapple cultivation (4.5 to 5.5), close to the expected value of 5.0, estimated with the equation proposed by Zetina *et al.* (2002), to determine the lime requirement in this type of soil.

**Table 1.** Physical and chemical characteristics of the topsoil from the experimental site.

Trait		Content	Classified	Methodology
Textura	Sand	59.20%	Sandy-loam	NOM 021 RECNAT 2000 AS-09
	Clay	12.80%		
	Silt	28.00%		
pH (1:2, soil:water)		4.00	FA	NOM 021 RECNAT 2000 AS-02
Organic matter		1.41%	Poor	NOM 021 RECNAT 2000 AS-07
Inorganic Nitrogen		7.0 mg/kg <sup>†</sup>	Poor	NOM 021 RECNAT 2000 AS-08
Phosphorus		80.46 mg/kg	Rich	NOM 021 RECNAT 2000 AS-11
Exchangeable Potassium		76 mg/kg	Poor	NOM 021 RECNAT 2000 A-12
Exchangeable Calcium		124 mg/kg	Poor	NOM 021 RECNAT 2000 AS-12
Exchangeable Magnesium		35 mg /kg	Poor	NOM 021 RECNAT 2000 AS-12

<sup>†</sup>Milligrams of  $\text{NO}_3+\text{NH}_4$  per kilogram of soil. FA=Strongly acidic (Sp. equ. to SA).

**Table 2.** Edaphic pH values at three depths and four sampling dates, in response to liming with dolomite and liquid calcium carbonate, applied on a Dystric Cambisol from the experimental site.

Treatment	Sampling depth (cm)	Days after liming				
		0	30	60	90	120
Non-liming control	0 a 5	4.0	3.8 b	4.1 b	3.6 b	3.9 b
Dolomite 2.0 t ha <sup>-1</sup>		4.0	4.8 a	5.0 a	5.0 a	5.4 a
Micronized CaCO <sub>3</sub> (10 L ha <sup>-1</sup> )		4.0	3.8 b	4.3 b	3.7 b	4.1 b
Micronized CaCO <sub>3</sub> (20 L ha <sup>-1</sup> )		4.0	3.9 b	3.9 b	4.0 b	5.8 a
Non-liming control	5 a15	4.0	3.6 b	4.0 b	3.6 b	4.0 b
Dolomite 2 t ha <sup>-1</sup>		4.0	4.7 a	4.4 a	4.4 a	4.8 ab
Micronized CaCO <sub>3</sub> (10 L ha <sup>-1</sup> )		4.0	3.7 b	4.1 b	3.9 b	4.0 b
Micronized CaCO <sub>3</sub> (20 L ha <sup>-1</sup> )		4.0	3.4 b	4.0 b	3.8 b	5.5 a
Non-liming control	15 a 30	4.0	3.5 b	4.0 b	3.7	3.8 b
Dolomite 2.0 t ha <sup>-1</sup>		4.0	4.3 a	4.5 a	3.9	4.4 ab
Micronized CaCO <sub>3</sub> (10 L ha <sup>-1</sup> )		4.0	3.8 ab	4.7 a	3.8	4.0 b
Micronized CaCO <sub>3</sub> (20 L ha <sup>-1</sup> )		4.0	3.6 b	4.3 ab	3.8	5.1 a

Means with different letters in the same column are significantly different (Fisher, 0.05).

At 60 dds, in the two surface strata of the soil, the pH values recorded with dolomite were significantly higher than those of the other three treatments, which were statistically similar to each other. While, in the deeper stratum (15 at 30 cm), the pH values were similar between the liming treatments; but only with the application of dolomite and 10 L ha<sup>-1</sup> liquid CaCO<sub>3</sub> were statistically higher than the control without liming. With both treatments, optimal pH values (4.5 to 5.0) were reached for pineapple, although only with dolomite the expected value of 5.0 was reached, at a depth of 0 to 5 cm (Zetina *et al.*, 2002).

At 90 dds, the same behavior was observed in the pH values reached with the application of dolomite in the strata from 0 to 5 and 5 to 15 cm. While in the deeper stratum, with the three liming treatments, pH values were statistically similar to that of the control. A trend towards reduction in all treatments was observed, which may be due to seasonal changes in pH, caused by a higher moisture content in the soil, volume and respiratory activity of microorganisms and roots (Zetina *et al.*, 2002, Vásquez *et al.*, 2013).

At 120 dds, when 20 L ha<sup>-1</sup> of liquid CaCO<sub>3</sub> was applied, the expected pH value was recorded in the three sampling strata. These pH values were statistically similar to those obtained with the application of dolomite and higher than those of the other two treatments.

In general, in this study, a higher reaction rate of dolomite was observed in the soil, than liquid CaCO<sub>3</sub> in both doses, which was more evident in the first three months, in the most superficial layer of the soil, followed by the depth from 5 to 15 cm. These results differ from those reported by Garbanzo *et al.* (2016) in the cultivation of corn (*Zea mays* L.), who pointed out that with liquid amendments the pH value of the soil increases very quickly,

because it contains finer particles which neutralize the acidity in a few hours or days after being applied, compared to powdered materials, which have a coarser particle like dolomite. In addition, liquid lime can penetrate deeper into the soil, due to its greater mobility.

The largest increases in the soil pH value that were recorded in the surface layer were related to the depth at which the agricultural lime was incorporated (<10 cm), available humidity and the plastic padding. Agricultural lime requires moisture and CO<sub>2</sub> in abundance to dissolve, react and move to deeper layers of the soil (Scott and Fisher, 1989). Therefore, the little humidity from the rains (most intercepted by the plastic padding), favored a higher concentration in the 0 to 5 cm stratum, mainly during the first 30 days (Zetina and Romero, 1999). Later, when the moisture content increased considerably below the plastic, the dolomite and micronized CaCO<sub>3</sub> reached the deepest strata of the arable layer. At 120 dds, with liquid lime in doses of 20 L ha<sup>-1</sup>, the pH of the soil was significantly improved throughout the profile and there was greater efficiency than with the application of dolomitic powder.

**Total biomass production**

Table 3 shows that the total biomass production (fresh weight of leaves and stem per plant) varied significantly (p≤0.05), from 90 dds. With the application of liquid CaCO<sub>3</sub> in both doses, a higher biomass production was obtained, which was significantly higher than those obtained with dolomite and the control without liming, which registered statistically similar weights among themselves.

At 120 dds, the total biomass production was statistically similar in the three liming treatments, but only with the application of 20 L ha<sup>-1</sup> of liquid micronized CaCO<sub>3</sub> and 2 t ha<sup>-1</sup> of dolomite, quantities of biomass obtained were significantly higher than that obtained by the control without liming (Table 3). This is mainly due to the fact that with these two liming treatments, on that last evaluation date, the highest soil pH values were recorded in the three profile strata (Table 2), which favored greater availability of nutrients, and consequently better vegetative development of the pineapple plant, since most of these values are within the optimal range for that crop (Zetina et al., 2002; Uriza et al., 2018). Results obtained coincide with other reported in different species by Molina and Rojas (2005) and Camacho et al. (2015), as well as by Medina et al. (2009), who also found that liming with dolomite improved the vegetative development of pineapple.

## CONCLUSIONS

The application of 20 L ha<sup>-1</sup> of liquid CaCO<sub>3</sub> increased the soil pH, in the three strata of the profile, up to 120 dds. These values were similar to those achieved with dolomite, and significantly higher than those of the low dose of liquid micronized CaCO<sub>3</sub> and the control without liming. With 20 L ha<sup>-1</sup> of liquid micronized CaCO<sub>3</sub> and 2 t ha<sup>-1</sup> of dolomite, amounts of total biomass higher than that of the non-liming control, were obtained.

## REFERENCES

- Bambolin, A., Caione, G., Souza, N.F., Seben, J.G.F. & Ferbonink G. F. (2015). Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. *Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS* 2(3): 34-38.
- Caires, E.F., Pereira Filho, P.R.S., Zardo Filho, R. & Feldhaus, I.C. (2008). Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. *Soil Use and Management* 24(3): 302-309.
- Camacho, M.E., Cabalceta, A.G. & Molina, R.E. (2015). Efecto de las enmiendas líquidas en un ultisol cultivado con sorgo. *Agronomía Mesoamericana* 26(2): 291-303.
- Castellanos, J.Z., Uvalle, B.J.X. & Aguilar, S.A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2a ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. San Miguel Allende, Gto., México. 226 p.
- Díaz, P.G., Ruiz, C.J.A., Cano, G.M.A., Serrano, A.V. & Medina, G.G. (2006). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 13. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

**Table 3.** Biomass weight (g plant<sup>-1</sup>) of MD-2 pineapple (*Ananas comusus* (L.) Merr) recorded at 60, 90 and 120 days after sowing, in three liming treatments and without application of agricultural lime.

Treatment	Days after sowing and g plant <sup>-1</sup>		
	60	90	120
Non-liming Control	555.00	723.75 b	1011.00 b
Dolomite 2.0 t ha <sup>-1</sup>	583.75	720.75 b	1223.00 a
Liquid micronized CaCO <sub>3</sub> 10 L ha <sup>-1</sup>	580.00	833.75 a	1168.75 ab
Liquid micronized CaCO <sub>3</sub> 20 L ha <sup>-1</sup>	602.75	895.00 a	1346.00 a
Mean	580.38	793.31	1187.19
Significance at analysis of variance	ns	*	*
Variation coefficient (%)	4.15	7.64	10.36

Means with different letters in the same column are significantly different (Fisher, 0.05).

Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 292 p.

DOF (Diario Oficial de la Federación). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT 2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudio, muestreo y análisis. 85 p. Consultado: 11 de julio de 2019. En: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>

Garbanzo, L.G., Molina, R.E. & Cabalceta, A.G. (2016). Efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el suelo y en el crecimiento de maíz bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense* 40(2): 33-52.

López, B.W., Urbina, H.L.H., Reynoso, S.R. & Martínez, S.J. (2018). Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica* L.) en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Agroproductividad* 11(4): 55-60.

Medina, R.L., Mite, F. & Espinosa, J. (2009). Efecto de la corrección del pH en el rendimiento de piña en suelos volcánicos. *Eidos* 1: 57-61.

Molina, E. & Rojas, A. (2005). Efecto de encalado en el cultivo de naranja Valencia en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(3): 81-95.

Sanford, W.G. (1962). Pineapple crop Log-Concept. *Better Crops for Plant Food* 46: 32-43.

Scott, B. & Fisher, J. (1989). Selection of genotypes tolerant to Aluminium and Manganese. p. 167-203. In: Robson, A.D. (ed.). *Soil Acidity and Plant Growth*. Academic Press. Perth, Australia.

Uriza, Á.D.E., Torres, Á.A., Aguilar, Á.J., Santoyo, C.V.H., Zetina, L.R. & Rebolledo, M.A. (2018). La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo, de Méx., México. 292 p.

Vásquez, J.R., Macías, F. & Menjivar, J.C. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro* 25(3): 175-180.

Zapata, R. & Restrepo, F. (2010). Efectos de la adición de cal y yeso como correctores del aluminio del suelo. *Suelos Ecuatoriales* 41: 36-45.

- Zetina, L.R., Pastrana, A.L., Romero, M.J. & Jiménez, Ch.J.A. (2002). Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Libro Técnico No. 10. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Papaloapan. Campo Experimental Huimanguillo. Veracruz, México. 170 p.
- Zetina, L.R., Rebolledo, M.A. & Uriza, Á.D.E. (2005a). Soil characterization of pineapple producing regions of Mexico. International Society for Horticultural Science. Acta Horticulture 666: 51.
- Zetina, L.R. & Romero, M.J. (1999). Determinación de la época de aplicación del encalado para los suelos ácidos de los llanos de Isla y Rodríguez Clara. p. 80-88. *In*: Díaz, P.G. (ed.). *In*: Memoria de la XII Reunión Científica-Tecnológica Veracruz '99. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Veracruz, México.
- Zetina, L.R., Trinidad, S.A., Oropeza, M.J.L., Volke, H.V. & Landois, P.L.L. (2005b). Relación bases intercambiables - rendimiento de maíz en un cambisol districo con labranza, encalado y abono verde. *Terra Latinoamericana* 23(3): 389-397.



## Temporary analysis of land use changes in Pine and mixed forests in Mexico

### Análisis temporal de cambios en el uso del suelo de bosques de pino y mixtos en México

Pérez-Miranda, R.<sup>1\*</sup>; Romero-Sánchez, M.E.<sup>1</sup>; González-Hernández, A.<sup>1</sup>; Moreno-Sánchez, F.<sup>1</sup>; Acosta-Mireles, M.<sup>2</sup>; Carrillo-Anzures, F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, INIFAP. Av. Progreso #5, Colonia Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, Ciudad de México, C.P. 04010. <sup>2</sup>Centro Experimental Valle de México, INIFAP. Km.13.5 de la Carretera los Reyes-Texcoco, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, C.P. 56250.

\*Autor de correspondencia: perez.ramiro@inifap.gob.mx

#### ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the changes in land use that occurred in Pine and mixed forests, at the national level during the period 2001 to 2013.

**Design/Methodology/Approach:** layers of Land Use and Vegetation (Sp. equ. USV) of Series II (from 2001) and V (from 2013) of the Instituto Nacional de Estadística y Geografía, scale 1: 250,000 were used. Different categories of vegetation under study were reclassified and homogenized for both covers. Rates of change and indicators of transitions were estimated for the spatial-temporary analysis: surfaces of estimated losses and gains, indices of persistence, exchanges and net changes; also, indices of gain and loss to persistence.

**Results:** the rate of negative change for primary forests (Pine and mixed) ranges from 0.80 to 1.84. It was observed that 120 047 km<sup>2</sup> (57.72%) were stable surfaces. However, 36 986 km<sup>2</sup> (18.00%) were losses, 14 369 km<sup>2</sup> gains and 28 738 km<sup>2</sup> (14.00%) between categories. It was observed from 2001 to 2013 that 13.69% of the area corresponding to primary forests which existed in 2001 became part of secondary vegetation in 2013.

**Study limitations/Implications:** in order to observe the influence of other categories, it would be important to incorporate more classes throughout the study to be analyzed globally in the system throughout the country.

**Findings/Conclusions:** The persistence of the coverage of primary forests is important to design conservation policies.

**Keywords:** Oak forest, vegetation changes, conifers, Series II, Series V.

#### INTRODUCTION

Mexico is considered one of the megadiverse countries worldwide (Martínez *et al.*, 2014). However, the accelerated transformation of natural vegetation in areas of agricultural and urban uses, to create infrastructure works have been the most common processes several regions of the country during the last 30 years (Velázquez *et al.*, 2002a; Salazar *et al.*, 2004). At a world level, land use change has been identified one of the greatest threats to biological diversity, since it involves not only the loss of plant cover but also the disruption of natural ecosystems in fragments of various sizes and, therefore, their discontinuity and isolation (Arriaga, 2009). This causes alterations in the region, such as the reduction of aquifers recharge, increase in the rate of erosion, modification of local climatic conditions and reduction of habitats (Martínez *et al.*, 2014). Fragmentation is a key process to understand

how land occupation dynamics intervene in the quality of forests (Granados *et al.*, 2014). This implies an unfavorable outlook for the country forest masses and leads to a significant environmental imbalance (Gernandt and Pérez, 2014). The main factors contributing to landscape modification are agricultural intensification, population growth, infrastructure expansion, and economic policies (Sanderson *et al.*, 2002).

Changes in land surface generate a reduction in vegetation cover, loss of habitats and reduction of biodiversity (Geist and Lambin, 2001; Gurrutxaga and Lozano, 2009; Reyes *et al.*, 2006). The changes in forest cover induced by human action are considered as one of the main factors of global environmental modification, which presents diverse effects at different scales (Wang *et al.*, 2012). These actions have repercussions at the local and regional level, modifying hydrological cycles, climatic regimes, accelerating soil degradation and leading to fragmentation processes. Gurrutxaga and Lozano (2006) considered that reduction and fragmentation are main causes of the current biodiversity crisis. This term is generally defined as a landscape-scale process involving both habitat loss and disruption (Fahrig, 2003). In recent years, emphasis has been placed on evaluating the extent of forest cover and landscape fragmentation that directly impacts the functionality of the ecosystem (Saura *et al.*, 2011). Likewise, studies on processes related to land cover and use are at the center of the attention of environmental research (Bocco *et al.*, 2001), due to the implications that these entail in relation to the loss of habitat.

The analysis of change in land cover and use represents a means to understand the mechanisms of this deterioration process and constitutes a useful guide for making reasonable decisions about land use (Chen and Yang, 2008), as a strategy for the identification of priority areas for conservation and restoration (González *et al.*, 2016). Based on the above, land cover changes in the Pine, Pine-oak and Oak-pine forest in Mexico were evaluated, during the period 2001 to 2013.

## MATERIALS AND METHODS

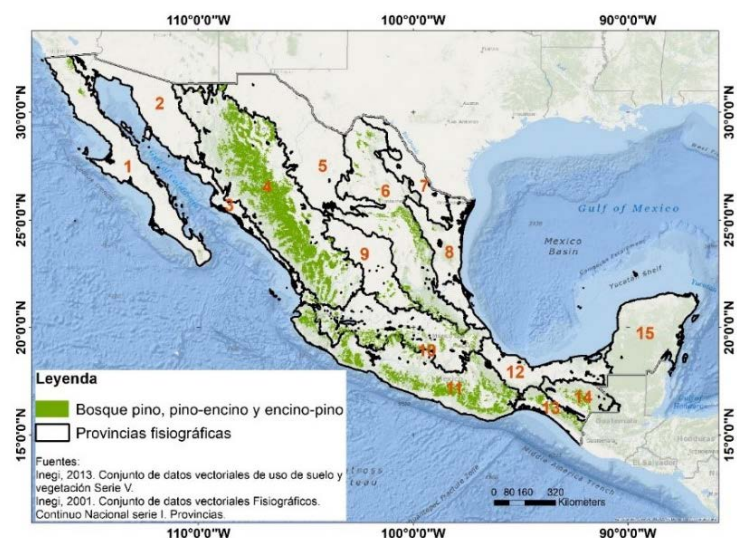
The study area comprised the temperate coniferous forests throughout Mexico (Figure 1). Temperate Mexican forests represent around 13% of the Mexican territory (SEMARNAT, 2010) and are mainly composed of the genus *Pinus* (Rzedowski,

2006; Colditz *et al.*, 2010) but also include firs, cedars and junipers and are characterized by their particular climatic and topographic conditions (Gebhardt *et al.*, 2014). In this study, the focus was on the Pine forest communities and their mixed associations. In Mexico, Pine forests are found in three types of communities: pure Pine forests, mixed Pine-oak and Oak-pine forests that grow at different elevations, climates and aspects (Rzedowski, 2006). They are representative of the high ecological diversity of the Mexican landscape. Temperate Mexican forests are found mainly at high altitudes over mountainous areas caused by volcanoes (Gebhardt *et al.*, 2014). The most typical mountain ranges in Mexico are the Trans-Mexico Volcanic Belt, located in the central part of the country, the Sierra Madre Occidental and the Sierra Madre Oriental.

### Homogenization of vegetation categories

A homogenization of terms of the information contained between the two digital coverages, Land Use and Vegetation of Series II (from 2001) and Series V (from 2013) of INEGI was carried out, similar to the work by Gebhardt *et al.* (2014). In order to debug the information that is outside the objective of the study, and regrouping the categories to be analyzed, reclassification resulted as shown in Table 1.

Subsequently, in the ArcGis™ 10.5 geographic information system, editing procedures were performed in the Editor Toolbar to rename the categories of digital



**Figure 1.** Study area: 1) Baja California Peninsula, 2) Sonoran Plain, 3) Pacific Coastal Plain, 4) Western Sierra Madre, 5) Northern Sierras and Plains, 6) Eastern Sierra Madre, 7) Great Plains of North America, 8) Coastal Plain del Golfo Norte, 9) Mesa del Centro, 10) Neovolcanic Axis, 11) Sierra Madre del Sur, 12) Coastal Plain of the Southern Gulf, 13) Central American Cordillera, 14) Sierras de Chiapas and Guatemala, 15) Yucatan Peninsula.

**Table 1.** Reclassified and homogenized categories.

Homogenized categories	Reclassified categories
Oak-pine forest (Bep)	Oak-pine forest
Pine forest (Bp)	Pine forest
Pine-oak forest (Bep)	Pine-oak forest
Secondary vegetation of Oak-pine forest (Vsbe)	Tree Secondary vegetation of Oak-pine forest Shrub Secondary vegetation of Oak-pine forest Herbaceous Secondary vegetation of Oak-pine forest
Secondary vegetation of Pine forest (Vsbp)	Tree Secondary vegetation of Pine forest Shrub Secondary vegetation of Pine forest Herbaceous Secondary vegetation of Pine forest.
Secondary vegetation of Pine-oak forest (Vsbe)	Tree Secondary vegetation of Pine-oak forest. Shrub Secondary vegetation of Pine-oak forest. Herbaceous Secondary vegetation of Pine-oak forest.

layers. Afterwards, the geoprocessing of the layers was carried out using the Intersect module to determine changes.

### Annual exchange rates

The evaluation of the exchange rates was estimated with the equation (Velázquez et al., 2002a):

$$TC = (S_2/S_1)^{1/n} - 1 \quad (1)$$

Where:  $S_1$ =Land use area in the initial time;  $S_2$ =Land use area at time 2;  $n$ =number of years between the two dates.

### Dynamics and processes of change

For the analysis of the spatial-temporary dynamics, the transitions in vegetation under study that occurred in the period were determined according to Pontius et al. (2004), using the following formulas:

$$\text{Estimated losses: } P = Stc_1 - Pc \quad (2)$$

$$\text{Estimated earnings: } G = Stc_2 - Pc \quad (3)$$

Where:  $Stc_1$ =Area of the category in year 1;  $Stc_2$ =Area of the category in year 2;  $Pc$ =Category persistence.

To determine the persistence indices, those proposed by Braimoh (2006) were used to evaluate the characteristics of the stable zones in relation to gains, losses, exchanges and net changes by category.

The persistence gain index ( $G_p$ ) was calculated as:

$$G_p = G_{ij}/P_{ij} \quad (4)$$

Where:  $G_{ij}$ =Area gained for categories  $i$  in year 2;  $P_{ij}$ =Persistence of category  $i$  between dates.

The index of losses to persistence ( $L_p$ ) was estimated as:

$$L_p = L_{ij}/P_{ij} \quad (5)$$

Where:  $L_{ij}$ =Lost area of category  $i$  in year 1;  $P_{ij}$ =Persistence of category  $i$  between dates.

The resulting values of the indices greater than 1 indicate that a category has a high tendency to present a transition towards another class, rather than to persist.

The exchange of surfaces between categories was calculated by:

$$Int = 2 * m_{pg} \quad (6)$$

Where:  $m_{pg}$ =The minimum value between the losses and the gains occurred in the category.

The net change was estimated:

$$CN = G - P \quad (7)$$

Where:  $G_{ij}$ =Gains;  $L_{ij}$ =Losses.

Spatial analysis and procedures were carried out in ArcGis™ 10.5 geographic information system.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Change of land use and vegetation

Figure 2 presents the spatial distribution of Pine forests (including mixed forests and secondary vegetation of the same forests) of the years 2001 and 2013, main changes occurred in the Sierra Madre Occidental and in the Northwest and Northeast of Mexico. The forest cover (Pine, Pine-oak and Oak-pine forests and secondary vegetation of Pine, Pine-oak and Oak-pine forest) in 2001 covers about 11%, results very similar to those of Velázquez et al. (2002a).

Figure 3 shows the total area distributed in the different categories of Pine forest in 2001.

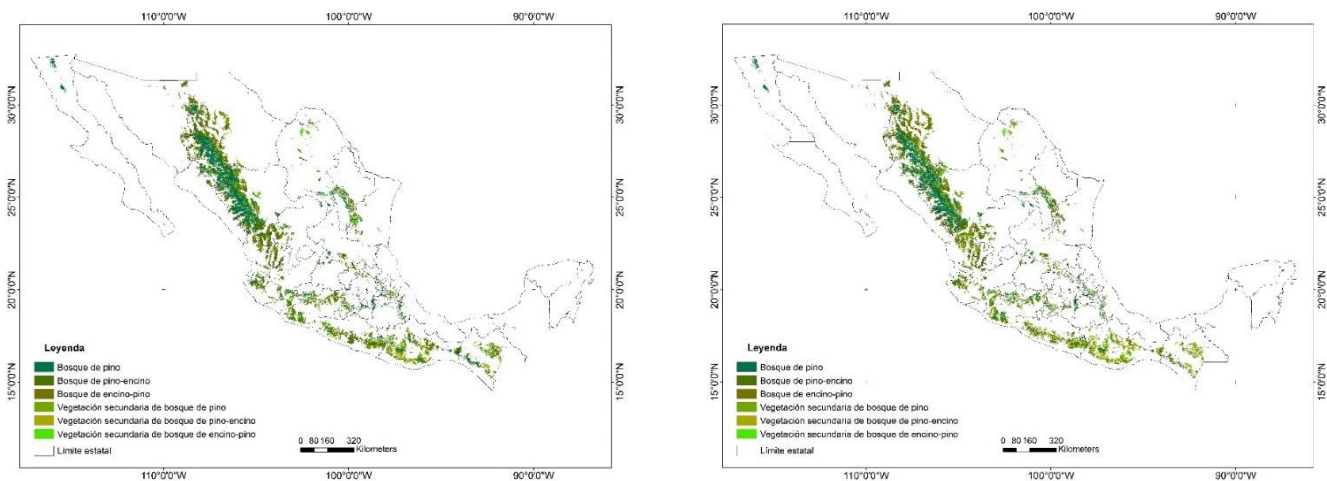


Figure 2. Maps of pine and mixed forest and secondary vegetation: a) 2001 and b) 2013.

Regarding the coverage of 2013, the surfaces are similar to 2001. The surface occupied by forest species represented about 10% of the national territory, this is composed of Pine, Pine-oak and Oak-pine forests, and their secondary vegetation (Figure 4).

When performing an analysis of land use changes in Mexico during the period 2001 to 2013 (Table 2), it is observed that it is mainly related to the decrease and loss of natural vegetation. During the 12-year period, the rates of change in forest cover showed a decrease, Pine-oak forests are those that obtained the highest losses, less than  $-1.83\%$  per year, followed by Pine forests ( $-0.96\%$ ) and by lastly, Oak-pine forests ( $-0.80\%$ ). These results are expressed for Mexico by FAO (2010) with the same trend than that according

**Table 2.** Areas and rates of change in land use and vegetation (2001-2013).

Category	2001		2013		Exchange rate
	Area (km <sup>2</sup> )	%	Area (km <sup>2</sup> )	%	
Bep	32,736.38	15.74	29,713.62	14.46	-0.80
Bp	57,614.94	27.70	51,310.42	24.97	-0.96
Bpe	66,681.50	32.06	53,391.31	25.99	-1.84
Vsbep	10,484.95	5.04	13,328.38	6.49	2.02
Vsbp	17,765.40	8.54	24,709.03	12.03	2.79
Vsbpe	22,710.51	10.92	33,010.21	16.07	3.17

to the World Forest Resources Assessment; just from 2005 to 2010, 775 thousand hectares of temperate and tropical forests were lost.

Table 3 shows the results of the change indicators, where it can be seen that 160 471 km<sup>2</sup> (77.15%) remained stable.

However, 92 515 km<sup>2</sup> presented total change, where 20.78% (42 705 km<sup>2</sup>) corresponds to net changes and 24.44% (49 811 km<sup>2</sup>) to exchanges among different categories.

Regarding the reductions in surface, the Oak-pine forest was the one that lost the most with 9.60%, then the Pine forest with 5.12%. On the contrary, the class that obtained the most increase in surface area was the secondary vegetation of Oak-pine with 7.20%, and then the secondary vegetation of Pine forest with 4.96%.

The analysis of the persistence index allows to know the vulnerability of the categories to a transition of loss or gain during the study period. Of the total area of the period under

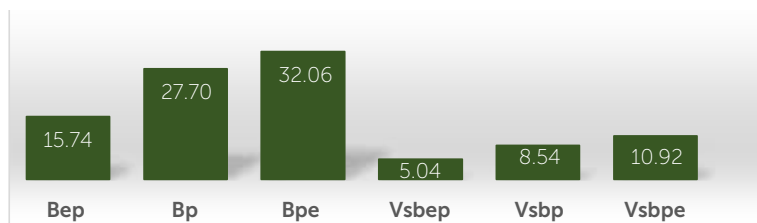


Figure 3. Percentage of forest area and secondary vegetation of Pine and mixed forests in Mexico, in 2001.

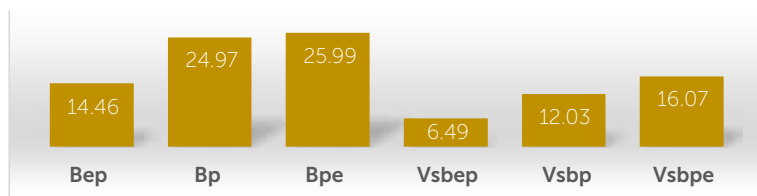


Figure 4. Percentage of Pine and mixed forest and secondary vegetation areas in Mexico, 2013.



**Table 3.** Persistence indices.

Category	Persistence (km <sup>2</sup> )	%	Losses (km <sup>2</sup> )	%	Gains (km <sup>2</sup> )	%	Exchanges (km <sup>2</sup> )	%	Net gain (km <sup>2</sup> )	%	Net change (km <sup>2</sup> )	%	G <sub>p</sub>	L <sub>p</sub>
Bep	25,989	12.50	6,748	3.28	3,725	1.81	7,450	3.63	3,023	1.47	10,472	5.10	6.98	0.26
Bp	47,093	22.64	10,522	5.12	4,218	2.05	8,435	4.11	6,305	3.07	14,740	7.17	11.17	0.22
Bpe	46,965	22.58	19,716	9.60	6,426	3.13	12,853	6.26	13,290	6.47	26,143	12.72	7.31	0.42
Vsbep	7,683	3.69	2,802	1.36	5,645	2.75	5,604	2.73	2,843	1.38	8,447	4.11	1.36	0.36
Vsbp	14,526	6.98	3,239	1.58	10,183	4.96	6,478	3.15	6,944	3.38	13,422	6.53	1.43	0.22
Vsbpe	18,215	8.76	4,496	2.19	14,795	7.20	8,991	4.38	10,300	5.01	19,291	9.39	1.23	0.25
Gross total	160,471	77.15	47,523	23.13	44,992	21.90	49,811	24.24	42,705	20.78	92,515	45.03	-	-

study, 77.15% was persistent, that is, without changes; in particular, Pine and mixed forests (BPM) as pure stands together was 57.72%. In the same way, for this BPM group the total losses were 18%; gains, 6.99%; exchanges between categories, 28.73% and net change 11.01%. The highest index of gain to persistence greater than ten units was that of the Pine forest (11.17) and together the BPM added up to 25.45. On the contrary, the highest index of loss to persistence were the Pine-oak forests (0.42) and the BPM as a whole totaled 0.90.

Table 4 presents the matrix of real changes among the different categories for the period 2001 to 2013. The values of the diagonal to the upper left and lower right directions show those of the areas that have remained stable during the period studied, this means that they are surfaces of the categories that were not modified. Those that are outside the diagonal are areas in transition, or that changed to another land use. The most representative changes were recorded in primary forests, which passed to secondary vegetation. For example, 9672 km<sup>2</sup> became secondary vegetation of Pine-oak forest, 6283 km<sup>2</sup> to secondary vegetation of Pine

forest, and 2431 km<sup>2</sup> ha, to secondary vegetation of Oak-pine forest.

Table 5 shows dynamics of the primary and secondary coniferous forests under study to other classes. In this context, important changes stand out, such as the 10 917 km<sup>2</sup> of primary forests that became secondary vegetation of Pine-oak forest, 8110 km<sup>2</sup> changed to secondary vegetation of Pine forest, 2866 km<sup>2</sup> to

**Table 4.** Transition matrix between categories of Pine forest, mixed and secondary vegetation from 2001 to 2013 (km<sup>2</sup>).

	2013							
	Bep	Bp	Bpe	Vsbep	Vsbp	Vsbpe	Gross Total	
2001	Bep	25,989	0	0	2,431	114	817	29,351
	Bp	0	47,093	0	41	6,283	428	53,845
	Bpe	0	0	46,965	394	1,713	9,672	58,744
	Vsbep	0	0	0	7,683	0	0	7,683
	Vsbp	0	0	0	0	14,526	0	14,526
	Vsbpe	0	0	0	0	0	18,215	18,215
	Gross total	25,989	47,093	46,965	10,549	22,636	29,132	1,342,740

**Table 5.** Transition areas of Pine forest categories, mixed and secondary vegetation and other classes, from 2001 to 2013 (km<sup>2</sup>).

	2013							
	Agri	Mat	Pcul	Pnat	Vsbep	Vsbp	Vsbpe	Zu
2001	Agri	257,222	2,106	9,154	670	0	0	3,895
	Bep	523	14	565	51	2,431	114	12
	Bp	1,393	19	988	32	41	6,283	428
	Bpe	1,242	11	944	24	394	1,713	9,672
	Vsbep	356	1	431	9	7,683	0	4
	Vsbp	702	11	669	10	0	14,526	6
	Vsbpe	939	1	990	1	0	0	18,215



secondary vegetation of Oak-pine forest, 3158 km<sup>2</sup> to agriculture and 2497 km<sup>2</sup> to cultivated pasture. Without ignoring that there were also changes to scrubland, natural grassland and urban area.

According to the above information, it can be inferred that primary Pine forests, and mixed, are threatened by other types of land uses of anthropogenic origin, such as agriculture, cultivated pasture and urban areas, mainly. If this trend continues, the consequences for ecosystems are diverse, highlighting soil erosion, reduction of aquifers, silt of streams and rivers, climate change, losses in biodiversity, droughts and fires, among others. The projections are negative for society if it is observed that, in a short period of time, this study reports that there were important changes in the forests.

## CONCLUSIONS

In the span of 12 years, 36 986 km<sup>2</sup> of vegetation were lost, which corresponds to 18% of Pine forests, primary forests (Pine and mixed). The main replacements were to secondary vegetation of Pine and mixed forests, agriculture, cultivated grasslands, and scrublands. Of all types of vegetation, 77.15% remains unchanged, and of this, only 57.72% corresponded to Pine and mixed forests, which are important to design management and conservation policies.

## ACKNOWLEDGMENTS

To the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias for the financing with tax revenue resources of the project "Distribución conocida y potencial de especies de pino en categorías de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010", from which this paper was derived.

## REFERENCES

Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiscalar. *Investigación ambiental* 1(11): 6-16.

Bocco, G., Mendoza, M. & Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 44: 18-38.

Braimoh, A. K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113(1-4): 254-263.

Chen, L. Y. & Yang, H. C. (2008). Scenario simulation and forecast of land use/cover in northern China. *Chinese Science Bulletin* 53(9): 1401-1412. DOI: 10.1007/s11434-008-0169-9

Colditz, R. R., P. Maeda, G. López, I. Cruz, and R. Ressler. (2010). Land cover classification of Mexico in the framework of the North American Land Change Monitoring System. In Proceedings

of 2010 ASPRS Annual Conference, April 26-30, 2010, San Diego, USA.

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 34: 487-515. Doi: .34.011802.132419

Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). *Forest Resource Assessment 2010: México*. México: FAO, FRA.

Gebhardt, S.; Wehrmann, T.; Ruiz, M.; Maeda, P.; Bishop, J.; Schramm, M.; Kopeinig, R.; Cartus, O.; Kellndorfer, J.; Ressler, R.; Santos, L.; Schmidt, M. (2014). MAD-MEX: Automatic Wall-to-Wall Land Cover Monitoring for the Mexican REDD-MRV Program Using All Landsat Data. *Remote Sens.* 6, 3923-3943, Doi:10.3390/rs6053923.

Geist, H. J. & Lambin, E. F. (2001). What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence: LUCS Report Series No.4. Louvain la Neuve, Bélgica. 116 p.

Gernandt, D. & Pérez, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 127-133. Doi: 10.7550/rmb.32195

González, M. L., Plascencia, F. & Martínez, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológicas y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. *Madera y Bosques* 22(2): 41-52. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2016.2221323>

Granados, C., Serrano, G. D. & García, R. A. (2014). Efecto de borde en la composición y en la estructura de los bosques templados. *Sierra de Monte-Alto, Centro de México*. *Caldasia* 36(2): 269-287. Doi: 10.15446/caldasia.v36n2.47486

Gurrutxaga, S. V., M. & Lozano, V. P. J. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos. Revista de Geografía* 16: 35-54. Doi: 10.18002/pol.v0i16.410

Martínez, M. E., Sosa, E. J. E. & Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿Una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 1-9. Doi: <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.43248>

Pontius, R. G., Shusas, E. & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2-3): 251-268.

Reyes, H., Aguilar, M., Aguirre, J. R. & Trejo, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas*. 59: 26-42.

Rzedowski, J., 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.

Salazar, C. E., Zavala, J., Castillo, O. & Cámara, R. (2004). Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México (1973-2003). *Investigaciones Geográficas* 54: 7-23.

Sanderson, E. W., Jaithet, M., Levy, M. A., Redford, K. H., Wannebo, A. V. & Woolmer, G. (2002). The human footprint and the last of the wild. *Bioscience* 52(10): 891-904. Doi: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0891:THFATL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0891:THFATL]2.0.CO;2)

Saura, S., Estreguilb, C., Moutonb, C. & Rodríguez, F. M. (2011). Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application to European forests (1990-2000). *Ecological Indicators* 11: 407-416. Doi: 10.1016/j.ecolind.2010.06.011

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Edición 2010. Tlalpan, México D.F. 109 p.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz, G. J. R., Mayorga S. R., Alcántara, P. C., Castro, R., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica* 62: 21-37.
- Wang, D., Gong, J., Chen, L., Zhang, L., Song, Y. & Yue, Y. (2012). Spatio-temporal pattern analysis of land use/cover change trajectories in Xihe watershed. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 14: 12–21. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.08.007>

