

Uso de la  
centrifuga de  
flujo continuo  
para clarificar  
**vinos y  
cervezas**  
artesanales

pág. 59

Año 13 • Volumen 13 • Número 4 • abril, 2020

- |  |    |
|--|----|
| Tisanópteros asociados al limón mexicano ( <i>Citrus × aurantifolia</i> (Christm) Swingle) en Apatzingán, Michoacán, México  | 3  |
| Celulosa y microcelulosa de residuos del cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum</i> spp.)  | 11 |
| Identificación y selección de árboles plus de <i>Roseodendron donnell-smithii</i> Miranda syn <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose, y de <i>Tabebuia rosea</i> Bertol. | 19 |
| Distribución espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo ( <i>Cedrela odorata</i> L.)   | 25 |
| Diagnóstico sobre las bacterias rizosféricas asociadas al cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum</i> spp.)   | 33 |
| Producción de semilla de pasto guinea ( <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza); densidad de siembra y su efecto en el rendimiento y calidad                           | 41 |

y más artículos de interés...

<b>3</b>	Thysanoptera affecting mexican lime ( <i>Citrus × aurantifolia</i> (Christm) Swingle) in Apatzingán, Michoacán, Mexico / Tisanópteros asociados al limón mexicano ( <i>Citrus × aurantifolia</i> (Christm) Swingle) en Apatzingán, Michoacán, México
<b>11</b>	Celulose and microcellulose from sugarcane ( <i>Saccharum</i> spp.) crop residues / Celulosa y microcelulosa de residuos del cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum</i> spp.)
<b>19</b>	Identification and selection of plus trees of <i>Roseodendron donnell-smithii</i> Miranda syn <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose, and of <i>Tabebuia rosea</i> Bertol. / Identificación y selección de árboles plus de <i>Roseodendron donnell-smithii</i> Miranda syn <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose, y de <i>Tabebuia rosea</i> Bertol.
<b>25</b>	Spatial distribution of precipitation over the initial growth of red cedar ( <i>Cedrela odorata</i> L.) / Distribución espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo ( <i>Cedrela odorata</i> L.)
<b>33</b>	Diagnosis about rhizospheric bacteria associated with the cultivation of sugarcane ( <i>Saccharum</i> spp.) / Diagnóstico sobre las bacterias rizosféricas asociadas al cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum</i> spp.)
<b>41</b>	Guinea grass ( <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza) seed production; plant spacing and its effect on yield and quality / Producción de semilla de pasto guinea ( <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza); densidad de siembra y su efecto en el rendimiento y calidad
<b>47</b>	Morphological characters and identification of sub-phases during imbibition in seeds of stock ( <i>Matthiola incana</i> ) / Caracteres morfológicos e identificación de subfases durante la imbibición en semillas de alhelí ( <i>Matthiola incana</i> )
<b>53</b>	Impact of climatic change on the adaptation of coffee ( <i>Coffea arabica</i> L.) crops in Tabasco, Mexico / Impacto del cambio climático en la adaptación del cultivo de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) en Tabasco, México
<b>59</b>	Use of continuous flow centrifugation to clarify wine and artisan beers / Uso de la centrifuga de flujo continuo para clarificar vinos y cervezas artesanales
<b>65</b>	Effect of fires on understory vegetation and chemical properties of temperate forest soil / Efecto de incendios en la vegetación de sotobosque y propiedades químicas de suelo de bosques templados
<b>73</b>	Preparation and nutritional characterization of liquid organic fertilizers in tropical conditions / Elaboración y caracterización nutrimental de abonos orgánicos líquidos en condiciones tropicales
<b>79</b>	Use of the CMT and somatic cell counter <sup>®</sup> test to evaluate quality of cow milk in tank / Aplicación de la prueba de CMT y somatic cell counter <sup>®</sup> para evaluar calidad de leche de vaca en tanque
<b>85</b>	Costs of the application of different products for the control of garrapata ( <i>Rhipicephalus microplus</i> ) in vaccine livestock / Costos de la aplicación de diferentes productos para el control de garrapata ( <i>Rhipicephalus microplus</i> ) en ganado vacuno

## 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.



ZOOLOGICAL RECORD®



Año 13, Volumen 13, Número 4, abril 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, 30 de abril 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.

## Thysanoptera affecting mexican lime (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle) in Apatzingán, Michoacán, Mexico

### Tisanópteros asociados al limón mexicano (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle) en Apatzingán, Michoacán, México

Avendaño-Gutiérrez, Francisco J.<sup>1\*</sup>; Johansen-Naime, Roberto M.<sup>2</sup>; Equihua-Martínez, Armando<sup>3</sup>; Carrillo-Sánchez, José L.<sup>3</sup>; Bautista-Martínez, Néstor<sup>3</sup>; González-Hernández, Héctor<sup>3</sup>; Aguirre-Paleo, Salvador<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" Paseo General Lázaro Cárdenas y Berlín S/N. Col. Viveros C.P. 60170 Uruapan, Michoacán. México. <sup>2</sup>Departamento de Zoología, Universidad Nacional Autónoma de México. A. P. 70-153, México. 04510 (Coyoacán), D. F. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad. km 36.5 carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, 56230 México.

\*Autor de correspondencia: bioavendano@gmail.com

#### ABSTRACT

**Objetivo:** to determine taxonomically the species of Thysanoptera in Mexican lime (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle), to understand their fluctuation and population density, and to calculate their interaction with rainfall.

**Design/methodology/approach.** a simple random sample was used. The collections and samples were carried out every 15 days, in 10 trees, and in 10 vegetative shoots. The vegetative parts were washed with soap solution, to separate the thrips that were placed in entomologic containers with alcohol at 70%. In total, 375 pieces of micromounting were prepared. The taxonomic determination was by comparison. To understand the interaction of Thysanoptera with rainfall, the information was analyzed through a square polynomial, with the RS REG. SAS method.

**Results.** the number of Thysanoptera collected was 4968. The species *Scolothrips sexmaculatus* was dominant, followed by *Scirtothrips citri*, *Frankliniella cephalica*, and *F. bispinosa*. Four predator species of mites and thrips were identified: *Scolothrips sexmaculatus*, *Leptothrips mcconelli*, *Stomatothrips brunneus* and *Scolothrips palidus*. An adult specimen of the genus *Microcephalothrips* sp. 1 was found, two individuals of the genera *Liothrips* and *Microcephalothrips* sp. 2, and seven of the genus *Karnyothrips*, whose species were not identified. A peak in the fluctuation and population density was detected, which corresponded to the months of January to April. The effect of rainfall was determinant.

**Limitations on study/implications.** Civil unsafety and decapitalization of the lime product system.

**Findings/conclusions.** Five dominating species were present in the three localities: *Scolothrips sexmaculatus*, *Scirtothrips citri*, *Frankliniella bispinosa*, *F. cephalica* and *F. curticornis*.

**Key words:** tisanopteros, population fluctuation and density, Apatzingán.

## RESUMEN

**Objetivo:** determinar taxonómicamente las especies de tisanópteros en limón mexicano (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle), conocer su fluctuación y densidad poblacional, y calcular la interacción con la precipitación pluvial.

**Diseño/metodología/aproximación:** Se utilizó un muestreo aleatorio simple. Las recolectas y muestreos fueron realizados cada 15 d, en diez árboles, y en diez brotes vegetativos. Las partes vegetativas fueron lavadas con una solución jabonosa, para separar a los trips, que fueron depositados en frascos entomológicos con alcohol a 70%. En total, se prepararon 375 micromontajes. La determinación taxonómica fue por comparación. Para conocer la interacción de los tisanópteros con la precipitación pluvial, la información se analizó mediante un polinomio cuadrado, con el método RS REG. SAS.

**Resultados:** Se obtuvieron 4968 tisanópteros. La especie *Scolothrips sexmaculatus* fue dominante, seguida de *Scirtothrips citri*, *Frankliniella cephalica*, y *F. bispinosa*. Se identificaron cuatro especies depredadoras de ácaros y trips: *Scolothrips sexmaculatus*, *Leptothrips mcconelli*, *Stomatothrips brunneus* y *Scolothrips palidus*. Se encontró un ejemplar adulto del género *Microcephalothrips* sp. 1, dos individuos de los géneros *Liothrips* y *Microcephalothrips* sp. 2 y siete del género *Karnyothrips* cuyas especies no se identificaron. Se detectó un pico en la fluctuación y densidad poblacional, que correspondió a los meses de enero a abril. El efecto de la precipitación pluvial fue determinante.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** Inseguridad civil, y descapitalización del sistema producto limón.

**Hallazgos/conclusiones:** En las tres localidades, se presentaron cinco especies dominantes: *Scolothrips sexmaculatus*, *Scirtothrips citri*, *Frankliniella bispinosa*, *F. cephalica* y *F. curticornis*.

**Palabras clave:** tisanópteros, fluctuación y densidad poblacional, Apatzingán.

un volumen de producción anual de 420 mil toneladas, 25 empaques y 14 unidades agroindustriales, en los que se han detectado daños ocasionados por este orden de insectos (COELIM, 2004). Por lo tanto, el trabajo consistió en determinar taxonómicamente las especies de tisanópteros en limón mexicano, conocer su fluctuación y densidad poblacional, y calcular la interacción con la precipitación pluvial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en tres huertos de limón mexicano (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle), durante enero a diciembre de 2019, en los ejidos de Nueva Italia municipio de Fco. J. Mújica, a una altitud de 400 m (19° 01' N y 102° 06' O) y clima BSI (h)w (w) i g. Otra localidad fue Zicuirán, municipio de la Huacana (550 m de altitud, 18° 58' N y 101° 48' O) con un clima A w o(w) i g w. La comunidad de Los Hoyos (Apatzingán), a una altitud de 682 m (19° 05' N y 102° 21' O) y clima es BSI (h) w (w) i'g. En las tres localidades la temperatura media del mes más frío es mayor que 18 °C, la precipitación media anual es de 585.2 mm. Por las características descritas, el clima es tropical, con lluvias en verano y seco estepario (García, 1987; Google-earth, 2020) (Figura 1). El muestreo se realizó seleccionando árboles se utilizó en un muestreo aleatorio simple, ya que los huertos presentaban edad similar (12 años), lo mismo que densidad de siembra (123 plantas ha<sup>-1</sup>) y manejo agronómico (Castillo, 2002). En cada huerto las colectas y muestreos fueron realizados cada 15 d, en 10 árboles, y en 10 brotes vegetativos que estaban prendidos en las ramas a la mitad del dosel del árbol. Las partes vegetativas fueron lavadas con una solución jabonosa

## INTRODUCCIÓN

En los cítricos (*Citrus* sp.), las plagas insectiles representan un aspecto de máximo interés (Agusti, 2003). Son numerosas las especies que viven a expensas de estas plantas y con su presencia afectan tanto a la producción como a la calidad de los frutos (Garrido y Ventura, 1993). Los tisanópteros se encuentran en todas las regiones del mundo (Lewis, 1993) y desde el punto de vista agrícola, el conocimiento de las especies es importante por los daños que generan, ya que lesionan hojas y frutos recién formados, provocan alteraciones en el pericarpio que reducen el valor comercial, inhiben la fecundación de flores y provocan su caída (Fisher y Davenport, 1989; Monteiro et al., 1996). En México los climas son muy variados (García, 1996), sin embargo, los trips son integrantes permanentes de agroecosistemas, en los cuales, los géneros *Frankliniella* y *Scirtothrips* son considerados plagas primarias (Johansen et al., 1999). Esta condición hace prioritario su estudio ya que, en el valle de Apatzingán, Michoacán, México; se cultivan aproximadamente 30 mil hectáreas de limón mexicano (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle), con



**Figura 1.** Localización geográfica de los tres ejidos en el estado: A. estado de Michoacán, B). Nueva Italia, municipio de Francisco J. Múgica; C). Zicuirán, municipio de La Huacana, y D). Los Hoyos, municipio de Apatzingán.

(5 mL de "Suavitel<sup>®</sup>" en 95 mL de agua), para separar a los trips, que fueron depositados en frascos entomológicos con alcohol a 70%. La determinación de especies, se realizó en el laboratorio de BIO-CHRYSP de RL de CV., todos los especímenes fueron separados por morfo especies; se seleccionaron a  $n=125$  individuos por ser representativos en cada localidad; en total, se prepararon  $n=375$  micromontajes mediante la técnica sugerida por Johansen (1987).

La determinación taxonómica fue por comparación, ya que desde el año 2005, con ayuda de los autores mencionados se realizó un trabajo previo, integrando una colección de trips asociados con cítricos en esta región. Para conocer la interacción de los tisanópteros con la precipitación pluvial en la zona de estudio, la información se analizó mediante un polinomio cuadrado, con el método RS REG (SAS, 2000). cuyo modelo estadístico fue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 P + \beta_3 T^2 + \beta_4 P^2 + \beta_5 TP + \varepsilon$$

Donde:  $Y$ =número de tisanópteros colectados por mes,  $T$ =temperatura,  $P$ =precipitación pluvial,  $TP$ =interacción temperatura-precipitación pluvial,  $\varepsilon$ =error experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total se recolectaron 4968 tisanópteros distribuidos de la siguiente manera: en Nueva Italia, se identificaron 10 especies, comprendidas en nueve géneros; en Los Hoyos, se determinaron 13 especies, comprendidas en 11 géneros; y en Zicuirán, se registraron 14 especies, en 11 géneros (Cuadro 1). La especie *Scolothrips sexmaculatus* fue dominante, seguida de *Scirtothrips citri*, *Frankliniella cephalica*, y *F. bispinosa*. Se identificaron cuatro especies depredadoras de ácaros y trips: *Scolothrips sexmaculatus*, *Leptothrips mcconelli*, *Stomatothrips brunneus* y *Scolothrips palidus*. Se encontró un ejemplar adulto del género *Microcephalothrips* sp. 1, dos individuos de los géneros *Liothrips* y *Microcephalothrips* sp. 2 y siete del género *Karyothrips* cuyas especies no se identificaron. La incidencia de *Liothrips mexicanus*, *Microcephalothrips* sp.1, *Scirtothrips totonacus*, *Leucothrips theobromae*, *Leucothrips furcatus*, y *Neurothrips punanus*, fue baja, al coleccionar un individuo de cada especie en promedio durante el año. Los resultados reafirman lo citado por Mound (1997), al señalar que *S. sexmaculatus* está adaptada a climas cálidos y secos, además está reconocida como un depredador de huevos, ninfas y adultos de ácaros y otros trips (Hodde et al., 2004). Al no existir trabajos de taxonomía de tisanópteros en este cultivo en la región, todas las especies

reportadas se registran por primera vez para el estado de Michoacán. Johansen y Mojica (1998), señalan que después de la revisión de 37 especies mexicanas del género *Scirtothrips*, 28 especies conservaron relaciones con agroecosistemas de Poaceae y frutales del género *Citrus* sp., mientras que Mound (2005), resaltó la importancia al considerar a los tisanópteros como polinizadores, fitófagos, fungívoros o depredadores. De igual forma, Ochoa et al. (1999) y Pérez et al. (2004) citan al género *Frankliniella* de importancia económica, por sus hábitos alimenticios y su capacidad para transmitir diversas enfermedades virales.

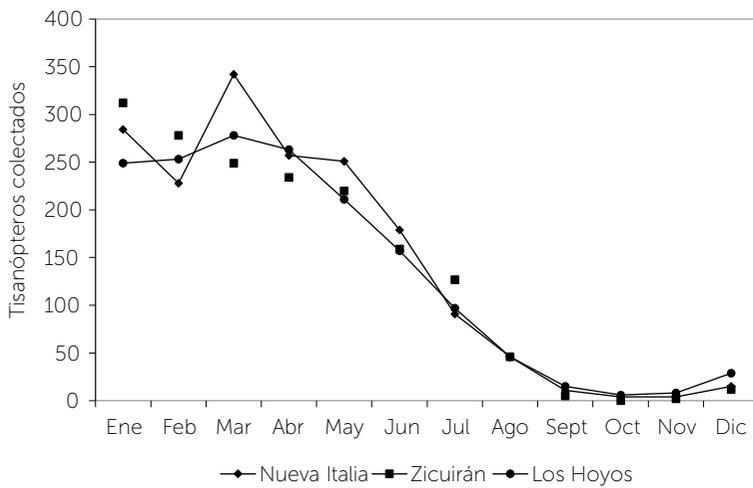
**Fluctuación y densidad poblacional.** Se detectó un pico en la fluctuación y densidad poblacional en cada localidad, que correspondió a los meses de enero a abril (Figura 2), donde *S. sexmaculatus*, *S. citri*, *F. cephalica* y *F. bispinosa* fueron las especies con mayor densidad poblacional (Cuadro 2), posiblemente porque en estos meses los árboles emiten gran cantidad de flujos vegetativos y las condiciones ambientales como la temperatura media mensual (23 °C) y la ausencia de precipitación pluvial le favorecieron. Estos resultados coinciden con lo reportado por Isobel y Myers (2000) en Columbia Británica, al señalar que el mayor pico poblacional en sus colectas de trips fue en los meses de marzo y abril.

**Cuadro 1.** Número de tisanópteros colectados en limón mexicano (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle), de enero a diciembre de 2019, en tres localidades de Apatzingán, Michoacán, México.

Especie	Localidades		
	Nueva Italia	Los Hoyos	Zicuirán
<i>Scirtothrips citri</i>	369	372	465
<i>Leptothrips mcconnelli</i>	97	92	83
<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	395	444	466
<i>Frankliniella cephalica</i>	250	204	94
<i>Liothrips mexicanus</i>	1	0	0
<i>Karnyothrips</i> sp.	1	3	3
<i>Frankliniella bispinosa</i>	185	252	238
<i>Lacandonithrips elegantis</i>	1	2	0
<i>Microcephalothrips</i> sp. 1.	1	0	0
<i>Frankliniella curticornis</i>	205	126	124
<i>Frankliniella minuta</i>	187	69	63
<i>Stomatothrips brunneus</i>	20	40	30
<i>Scolothrips palidus</i>	0	0	51
<i>Liothrips</i> sp.	0	1	1
<i>Microcephalothrips</i> sp. 2.	0	0	2
<i>Leptothrips macro-ocellatus</i>	0	2	2
<i>Frankliniella insularis</i>	0	0	10
<i>Scirtothrips totonacus</i>	0	0	1
<i>Leucothrips theobromae</i>	0	0	1
<i>Caliothrips phaseoli</i>	0	0	10
<i>Frankliniella cubensis</i>	0	3	0
<i>Leucothrips furcatus</i>	0	1	0
<i>Neurothrips punanus</i>	0	1	0
Número total de individuos (4968)	1712	1612	1644
Número total de especies (20)	10	13	14

**Cuadro 2.** Principales especies colectadas en limón mexicano (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle), de enero a diciembre de 2019 en tres localidades de Apatzingán, Michoacán, México.

Tisanopteros con mayor densidad poblacional														
Localidad	Especie	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Nueva Italia	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	61	56	68	62	65	39	20	10	3	2	3	6	395
	<i>Scirtothrips citri</i>	67	54	79	51	53	41	12	8	2	0	0	2	369
	<i>Frankliniella cephalica</i>	54	27	60	32	34	21	10	6	2	1	0	3	250
Zicuirán	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	82	74	69	61	57	53	46	21	0	0	0	3	466
	<i>Scirtothrips citri</i>	71	68	67	69	65	53	49	14	4	0	0	5	465
	<i>Frankliniella bispinosa</i>	42	47	39	42	36	21	9	0	0	0	0	2	238
Los Hoyos	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	66	71	73	72	53	42	31	15	6	4	2	9	444
	<i>Scirtothrips citri</i>	62	56	58	60	48	35	24	13	6	2	3	5	372
	<i>Frankliniella bispinosa</i>	31	39	46	41	37	29	11	9	2	0	1	6	252
Total de individuos														3251



**Figura 2.** Fluctuación y densidad poblacional de tisanópteros recolectados en (*Citrus x aurantifolia* (Christm) Swingle), en tres localidades de Apatzingán, Michoacán, 2019.

Duraimurugan y Jagadish (2002), especifican mayor densidad de tisanópteros durante abril y mayo. En el mes de mayo se registró la temperatura media mensual más elevada (30.2 °C) y se inició el periodo de lluvias, lo que repercutió en la disminución de tisanópteros (Figura 3).

**Interacción de la precipitación pluvial con los tisanópteros**

El análisis de varianza registró que en las tres localidades se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) fue superior al 50%, por lo que la influencia de la precipitación en los tisanópteros fue de 70% en Los Hoyos, 69% en Nueva Italia y 58% en Zicuirán (Cuadro 3). Lo anterior también explica como la ubicación geográfica determina microclimas en una región. Estos resultados difieren de Kirk (1997), quien señala que la precipitación pluvial reduce las poblaciones de tisanópteros en 95%.

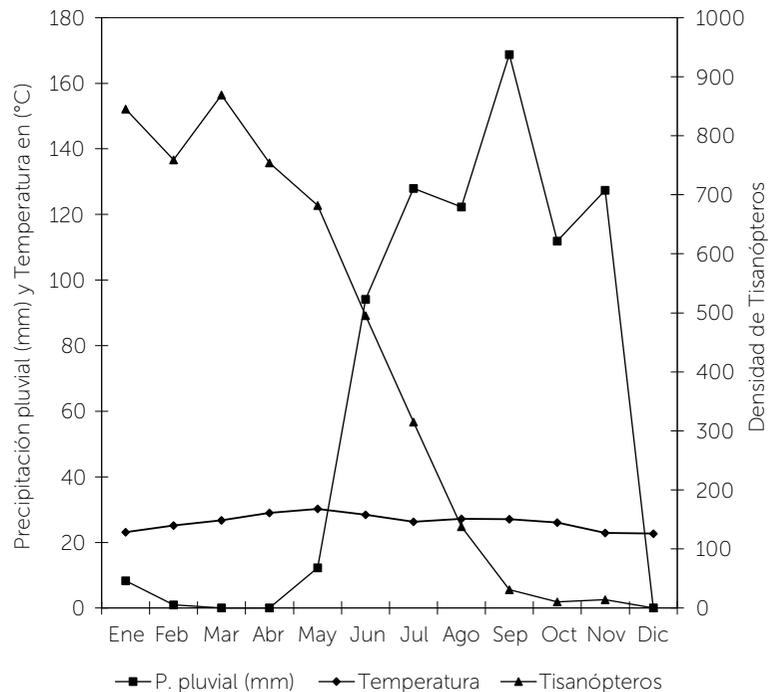
La Figura 3 muestra una sensible precipitación (8.3 mm), a mediados del mes de enero que afectó la recolecta de individuos; en el mes de mayo se registraron 12.3 mm de lluvia, lo que marcó el inicio de este período y que duró hasta el 14 de noviembre, cuando se registraron 127.4 mm de lluvia, lo que redujo drásticamente las poblaciones de tisanópteros. Estos resultados coinciden con North y Shelton (1986), quienes señalan que las lluvias fuertes lavan las plantas y destruyen a los trips. Por su parte, Brodsgaard (1993) cita que después de las lluvias, la densidad de trips no se recupera rápidamente, salvo

algunas larvas de segundo instar capaces de prepupar y sobrevivir. Kirk (1994), menciona que los trips penetran en las estructuras vegetales que otros insectos no logran, logrando su protección a la deshidratación, depredadores, parasitoides, radiación solar, lluvias y temperaturas extremas, a la vez que les proporciona fácil acceso a su alimentación.

**CONCLUSIONES**

Se determinaron taxonomicamente 20 especies de tisanópteros en el cultivo de limón mexicano (*Citrus x aurantifolia* (Christm) Swingle), para el estado de Michoacán, México. En las tres localidades se registraron cuatro especies dominantes: *Scolothrips sexmaculatus*, *Scirtothrips citri*, *Frankliniella cephalica* y *Frankliniella bispinosa*.

Las especies más restringidas en las tres localidades fueron: *Liothrips mexicanus*, *Lacandonithrips elegantis*, *Microcephalothrips sp.1*, *Liothrips sp.*, *Microcephalothrips sp.2.*, *Scirtothrips totonacus*, *Leucothrips theobromae*, *Leucothrips furcatus* y *Neurothrips punanus*. En las tres localidades se registró un solo pico de fluctuación poblacional que correspondió a los meses de enero a abril, asociado con baja precipitación y cuando en los árboles existieron estructuras vegetativas con tejidos blandos. Se detectaron diferencias significativas y el coeficiente de



**Figura 3.** Fluctuación poblacional de tisanópteros en follaje de (*Citrus x aurantifolia* (Christm) Swingle), y su relación con la temperatura (°C) y precipitación pluvial (mm), de enero a diciembre de 2019 en tres localidades de Apatzingán, Michoacán, México.

**Cuadro 3.** Resultados del Análisis de Varianza de las principales especies colectadas en limón mexicano (*Citrus x aurantifolia* (Christm) Swingle), de enero a diciembre de 2019 en tres localidades de Apatzingán, Michoacán, México.

Localidad	Especie	Resultados del Análisis de Varianza		
		F <sub>cat</sub>	Pr>F	r <sup>2</sup>
Nueva Italia	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	12.92	0.0023	0.7414
	<i>Frankliniella minuta</i>	11.58	0.0032	0.7202
	<i>Frankliniella bispinosa</i>	9.92	0.0053	0.6879
	<i>Leptothrips mcconnelli</i>	9.44	0.0062	0.6772
	<i>Scirtothrips citri</i>	7.71	0.0120	0.6314
$\bar{X}$				0.6916
Zicuirán	<i>Frankliniella bispinosa</i>	10.49	0.0044	0.6999
	<i>Scirtothrips citri</i>	6.42	0.0185	0.5878
	<i>Frankliniella curticornis</i>	6.17	0.0205	0.5782
	<i>Leptothrips mcconnelli</i>	5.12	0.0328	0.5321
	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	4.61	0.0419	0.5058
$\bar{X}$				0.5807
Los Hoyos	<i>Frankliniella bispinosa</i>	15.08	0.0013	0.7702
	<i>Frankliniella curticornis</i>	14.52	0.0015	0.7634
	<i>Stomatothrips brunneus</i>	10.15	0.0049	0.6929
	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	9.11	0.0069	0.6694
	<i>Scirtothrips citri</i>	8.24	0.0093	0.6467
$\bar{X}$				0.7085

determinación fue mayor de 50%, por lo que el efecto de la precipitación pluvial fue determinante.

### AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José López Collado del Colegio de Posgraduados y a la Maestra en Ciencias Aurea Mojica Guzmán por su valiosa ayuda en el presente trabajo.

### LITERTURA CITADA

Agusti M (2003) Citricultura. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 422 p.

Brodsgaard H F (1993) Cold hardiness and tolerance to submergence in water in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology* 22:647-653.

Castillo M L E (2002) Elementos de Muestreo de Poblaciones. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 238 p.

COELIM (CONSEJO ESTATAL DE LIMÓN MEXICANO). (2004). ¡Qué Verde! del Campo y para el Campo. Fundación Produce Michoacán 1: 1-12.

Duraimurugan P, A Jagadish (2002) Seasonal incidence and effect of weather parameters on the population dynamics of chilli thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) on rose. *Resources Manage. In: Plant Protection During Twenty First Century*, Hyderabad, India, 14-15 November 2002. 2:180-183.

Fisher, J. B. and Davenport, T. L. (1989). Structure and development of surface deformations on avocados fruits. *HortScience*. 24: 841-844.

García E (1987) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen; (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 217 p

García E (1996) Diversidad climática vegetal en México. *In: Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento*. J E Llorente B, A N G Aldrete, E G Soriano (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp:15-25

Garrido A, J J Ventura (1993). Plagas de los cítricos: Bases para el Manejo Integrado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. pp: 11-13.

Google-Earth. (2020). El globo terráqueo virtual. (Disponible en línea en <https://earth.google.com/web/@18.95875858>). (Revisado el ocho de enero de 2020).

Hoddle M S, P Oevering, P A Phillips, B A Faber (2004) Evaluation of augmentative releases of *Frankliniella orizabensis* for control of *Scirtothrips perseae* in California avocados orchards. *Biological Control* 30:456-465.

Isobel A P, J H Myers (2000) Population dynamics of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in nectarine orchards in British Columbia. *Journal Economic Entomology* 93:264-275.

Johansen R M (1987) Monografías del Instituto de Biología. El Género *Leptothrips* Hood, 1909 (Thysanoptera: Phlaeothripidae)

- en el Continente Americano: Su Sistemática, Filogenia, Biogeografía, Biología, Conducta y Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 246 p.
- Johansen R M, A Mojica G (1998) The genus *Scirtothrips* Shull, 1909 (Thysanoptera: Thripidae, Sericothripini), in Mexico. *Folia Entomológica Mexicana* 104:23-108.
- Johansen, R.M.; Mojica G., A.; Ascensión B., G. (1999). Introducción al conocimiento de los tisanópteros mexicanos en el aguacatero (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 279-285.
- Kirk W D J (1994) The effects of density on the oviposition rate of flower thrips. *Courier Forschungs Institut Senckenberg* 178: 69-73.
- Kirk, W. D. J. (1997). Distribution, abundance and population dynamics. pp.217-258. *In*: T. Lewis (ed.). *Thrips as Crops Pest*. NY: EE UU.
- Lewis T (1973) *Thrips, their Biology, Ecology and Economic Importance*. Academic Press. New York USA. 349 p.
- Monteiro R C, L A Mound, R A Zucchi (1996) Thrips species from three counties of State of So Paulo. *Annals Society Entomological Brasil* 25:351-353.
- Mound L A (1997) Biological Diversity. *In*: *Trips as Crop Pests*. T Lewis (ed.). CAB International, Wallingford, UK. pp:197-215.
- Mound L A (2005) Thysanoptera: diversity and interactions. *Annals Review Entomology* 50:247-269.
- North R. C, A M Shelton (1986) Ecology of Thysanoptera within cabbage fields. *Environmental Entomology* 15: 520-526.
- Ochoa M D L, E Zavaleta M, G Mora A, R M Johansen N (1999) Implication of weed composition and thrips species for the epidemiology of tomato spotted wilt in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). *Plant Pathology* 48:707-717.
- Pérez I E Blanco, A M Rodríguez (2004) Species of genus *Frankliniella* Karny in Cuba. Results of dangerous species survey of thrips detection between 1988-2000. *Fitosanidad* 8:19-23.
- SAS Institute (2000) *The SAS system for windows*. Release 8.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.





## Celulose and microcellulose from sugarcane (*Saccharum* spp.) crop residues

### Celulosa y microcelulosa de residuos del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.)

López Velázquez, Liliana Y.<sup>1</sup>; Salgado-García, Sergio<sup>1\*</sup>; Turrado-Saucedo, José<sup>2</sup>; Hidalgo-Moreno, Claudia I.<sup>3</sup>; Ortiz-García, Carlos F.<sup>4</sup>; Córdova-Sánchez, Samuel<sup>4</sup>; Saucedo-Corona, Alma R.<sup>2</sup>; Canché-Escamilla, Gonzalo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Grupo MASCAÑA, <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera y Celulosa. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, <sup>4</sup>Universidad Popular de la Chontalpa. Cuerpo Académico de Química Verde y Desarrollo Sostenible, <sup>5</sup>Centro de Investigación Científica de Yucatán Unidad de Materiales.

\*Autor de correspondencia: salgados@colpos.mx

#### ABSTRACT

**Objective:** to characterize the structure, texture and thermal properties of cellulose and cellulose microfibrils (MFC) of three sugarcane (*Saccharum* spp.) crops and the development of a biocomposite.

**Design/methodology/approach:** the celluloses were extracted by the Kraft method and the MFCs of the cultures MEX-69-290, CP-72-2086 and MEX-68-P23, using oxidative and mechanical processes; for its characterization spectroscopic, microscopic and thermal techniques were used; and were analyzed with a completely randomized design, where the treatments were cellulose and CFM extracted from the three cultivars of sugarcane; In addition to the fusion processing of a biocomposite from polylactic acid and CMF.

**Results:** cellulose and CFM were obtained from the straw of the three crops, the similar quality, the percentage of moisture in the straw and the cellulose having the same behavior, the chemical composition of the cellulose is of high purity. The results of XRD and FTIR have characteristic bands and similar amounts of cellulose in the crystalline phase. TGA indicates that cellulose decomposes at higher temperatures of polylactic acid (PLA), which supports melt mixing processes.

**Limitations of the study/implications:** the varieties of sugarcane pajamas have different characteristics in the cellulose phase and in the CFM phase; but similar between cultivars.

**Findings/conclusions:** the crystallinity by XRD and the identification of functional groups by FTIR show us characteristic bands of the cell in the crystalline phase and how the amorphous part of the straw is lost without treatment, becoming more crystalline when it becomes cellulose and mostly in microcellulose; as well as the similarity that exists in the three cultivars of said components and in similar quantities. The resistance properties of the biocomposite will be affected when the CFMs are added to the polylactic acid.

**Keywords:** cellulose, microfibrils, XRD, TGA.

#### RESUMEN

**Objetivo:** caracterizar la estructura, textura y propiedades térmicas de celulosas y microfibras de celulosa (MFC) de tres cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y la elaboración de un biocompuesto.

**Diseño/metodología/aproximación:** las celulosas fueron extraídas por el método Kraft y las MFC de los cultivares MEX-69-290, CP-72-2086 y MEX-68-P23, utilizando procesos oxidativos y mecánicos; para su caracterización se emplearon técnicas espectroscópicas, microscópicas y térmicas; y fueron analizadas con un diseño completamente al azar, donde los tratamientos fueron la celulosa y MFC extraídas de los tres cultivares de caña de azúcar; además de la elaboración por fusión de un biocompuesto a partir de ácido poliláctico y las MCF.

**Resultados:** se obtuvieron celulosa y MFC de la paja de los tres cultivares con valores semejantes de humedad en la paja y la celulosa. La composición química de la celulosa fue de alta pureza. Los resultados de XRD y FTIR mostraron bandas características y cantidades similares de celulosa en fase cristalina. TGA indica que la celulosa se descompone a temperaturas más altas de ácido poliláctico (PLA), lo que apoya los procesos de mezcla en fusión.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** las variedades de paja de caña de azúcar presentan características diferentes en la fase de celulosa y en fase de MFC; pero similar entre cultivares.

**Hallazgos/conclusiones:** la cristalinidad mediante XRD y la identificación de grupos funcionales por FTIR registraron bandas características de celulosa en fase cristalina y cómo se va perdiendo la parte amorfa de la paja sin tratamiento, volviéndose más cristalina al convertirse en celulosa y mayormente en microcelulosa; así como también la similitud que existe en las tres cultivares de dichos componentes y en cantidades semejantes. Las propiedades de resistencia del biocompuesto se vieron afectadas cuando las MFC's se agregaron al ácido poliláctico.

**Palabras clave:** Celulosa, Microfibras, XRD, TGA.

sicas y químicas de la celulosa de la paja de diferentes cultivares de caña de azúcar. De ahí, la importancia de generar más información sobre la caracterización de la celulosa y la microcelulosa a partir de tres cultivares de caña de azúcar (*Citrus × aurantifolia* (Christm) Swingle) para mejorar las propiedades de algunos biomateriales de interés para la industria.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se recogieron muestras de paja de plantaciones maduras de caña de azúcar en el poblado C-31 (Gral. Francisco Villa) en Tabasco, México, que suministra caña de azúcar al ingenio Presidente Benito Juárez. Las puntas del tallo y las hojas secas se recolectaron de los cultivares Mex-69-290, CP-72-2086 y Mex-68-P-23. La paja de cada cultivar se cortó en tiras de 1.0 cm y se almacenaron en bolsas de plástico hasta su uso respectivo. La celulosa se obtuvo con el método kraft (cocción con licor blanco) y el blanqueo de acuerdo a lo establecido en las normas TAPPI (2014). La producción de micropartículas se llevó a cabo en dos etapas a partir de las cuales se elaboró un biocompuesto.

### Caracterización de paja, celulosa y microcelulosa

La celulosa extraída de la paja de caña de azúcar se sometió a un proceso de oxidación (con peryodato de sodio y clorito de sodio) para la obtención de microfibras de celulosa (CMF) de acuerdo con el método descrito por Liu *et al.* (2012). Las muestras obtenidas de las oxidaciones anteriores se centrifugaron durante 30 min a 3000 rpm y se secaron en un liofilizador durante 72 h. Las variables de estudio para la paja, celulosa y microcelulosa fueron las siguientes:

## INTRODUCCIÓN

En la última década, ha crecido el interés en el uso de material biodegradable y renovable que proviene de los desechos agrícolas, en la industria de la caña de azúcar se genera bagazo y paja, este último es el desecho generado durante la cosecha mecanizada de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y que permanece en el campo (hojas verdes, hojas secas, puntas y trozos de tallos). Con referencia al bagazo, hay mucha información relacionada con su uso como papel, fuente de energía cuando se quema en las calderas de fábrica, y etanol de segunda generación (Salgado *et al.*, 2014). Con referencia a la paja de caña de azúcar, hay poca información a pesar de generar 18.2 t ha<sup>-1</sup> por año, que contiene 39.5% de celulosa (Hurter, 2001), y en el mejor de los casos se deja en el campo para contribuir al reciclaje de nutrientes; sin embargo, es eliminado mediante la requema para facilitar el trabajo agrícola subsecuente (Salgado *et al.*, 2013). Las hojas secas están compuestas químicamente de celulosa (45.13%), lignina (14.11%), cenizas (8.03%) y humedad (9.67%). Existen algunas referencias en la literatura sobre el papel artesanal hechas de paja de caña de azúcar (Salgado *et al.*, 2017); sin embargo, todavía no hay suficiente información sobre las características fí-

**Caracterización estructural.** Se realizó a través de tres métodos (Canché et al., 2005).

**Identificación de fases cristalinas.** Mediante la difracción de rayos X (DRX), se realizaron tres réplicas para cada cultivar de caña de azúcar (aproximadamente 100 mg), con difractómetro Bruker D8-Advance, Bragg.

**Identificación de grupos funcionales a través de la espectroscopía de transformación de Fourier (FTR).** Para esto, se hicieron tres réplicas para cada cultivar de caña de azúcar. En un equipo de infrarrojos (Thermo Scientific™ Modelo Nicolet 8700). Posteriormente, se colocaron en una CARNER PLATEN 1 Modelo 3851-0.

**Análisis termogravimétrico (TGA).** Se realizaron tres repeticiones para cada cultivar de caña de azúcar (aproximadamente 5 mg) en un equipo Perkin Elmer™ Modelo 8000.

**Análisis morfológico por tamaño de partícula.** Se determinó con dos métodos microscópicos. Las fibras crudas y cocidas se analizaron con un Microscopio Analizador de Imagen marca Leica™, y mediante SEM (Microscopio electrónico de barrido) (JEOL JSM 5910LV™) en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, con la técnica utilizada por Canché et al. (2005).

### Evaluación de las propiedades mecánicas del biocompuesto

La preparación de las películas de ácido poliláctico (PLA) con micro celulosa se realizó por el método de fusión usando 0, 1 y 2% de microcelulosa con cinco repeticiones. La disolución de PLA se realizó con cloroformo. Esta solución se colocó en una prensa Plasti Corder en la que se formaron gránulos y luego se fundieron en la prensa térmica marca Carver, el molde utilizado fue el de pruebas a tensión de materiales compuestos reforzados, aplicando temperatura y presión para formar las probetas de 70 mm de largo y 10 mm de espesor. Las propiedades mecánicas se determinaron de acuerdo con los índices de resistencia a la tracción, elasticidad y alargamiento en una Máquina universal Marca Instron Modelo 5500 R. Vel: 1 mm/min y separación inicial: 6.5 cm (Canché et al., 2005). Con los datos, se realizó un análisis de varianza con un diseño de bloques completamente al azar para las propiedades mecánicas del biocompuesto y la prueba de rango múltiple de medias de Tukey, usando el paquete estadístico SAS versión 9.1.

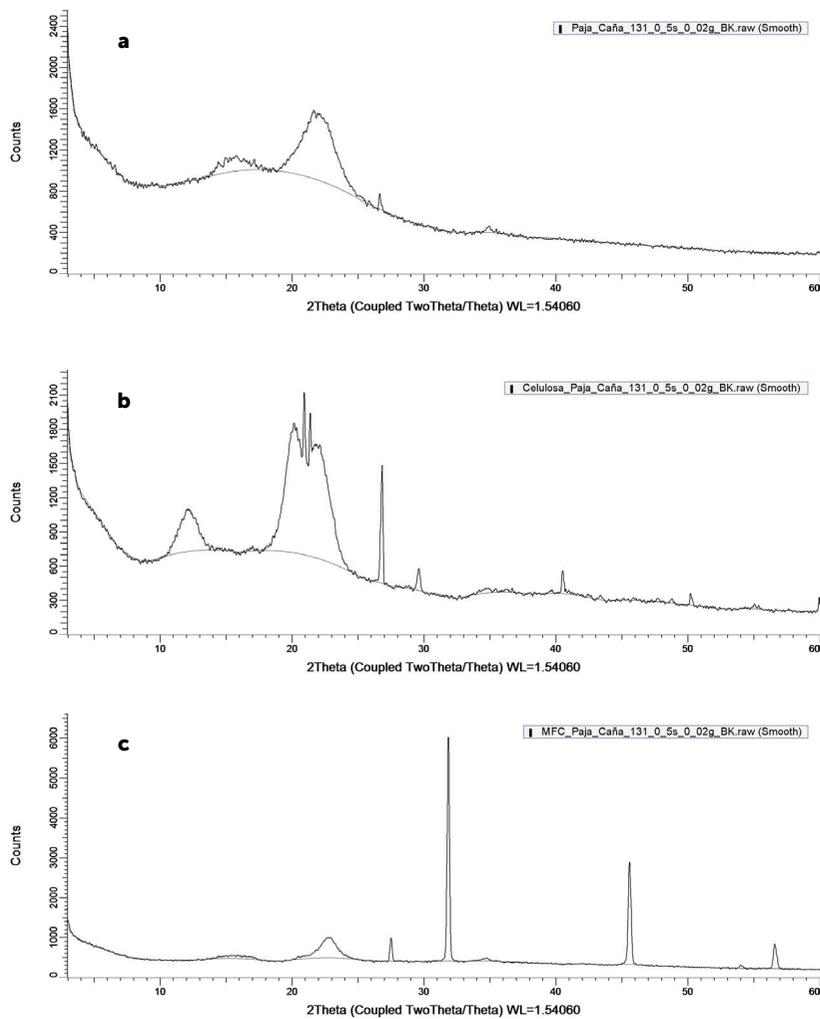
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización estructural de paja, celulosa y microcelulosa

Composición química de la celulosa. Los cultivares CP-72-2086 y Mex-68-P23 presentaron alto contenido de  $\beta$ -celulosa con 98.82 y 90.0%, respectivamente; además de 1.18 y 1.0%  $\gamma$ -celulosa, lo que indica alta pureza en la estructura de la celulosa de ambos cultivares. Esta composición difiere de la encontrada para el cultivar Mex 69-290, que se caracterizó por presentar una composición más heterogénea con 74.0% de  $\alpha$ -celulosa, 16.7% de  $\beta$ -celulosa, y 9.3% de  $\gamma$ -celulosa. Los resultados, de  $\alpha$ -celulosa, superan al 41.67 % reportado para el bagazo de caña y al 43.14% de la hoja del maíz (*Zea mays* L.) por Prado-Martínez et al. (2012), y al 32-44% de  $\alpha$ -celulosa reportado para bagazo de caña de por Hurter (2001). Por lo cual, se ratifica el potencial de la celulosa extraída de la paja de caña de azúcar.

La identificación de fases cristalinas (Figura 1a), se muestran los difractogramas de paja de caña de azúcar, en los que se encuentran picos que corresponden a las características de las paredes celulares, desde las cuales se aprecian las regiones amorfas. La Figura 1b muestra los picos correspondientes a la celulosa en fase cristalina (Morán et al., 2008; Popescu et al., 2010). En la Figura 1c, se puede ver que cuanto mayor es el tratamiento físico, es decir, en fase de microfibras de celulosa (CMF), se obtiene mayor cristalinidad mediante una mejor definición de los picos de difractograma, que anteriormente estaban en un estado amorfo (Coates, 2000).

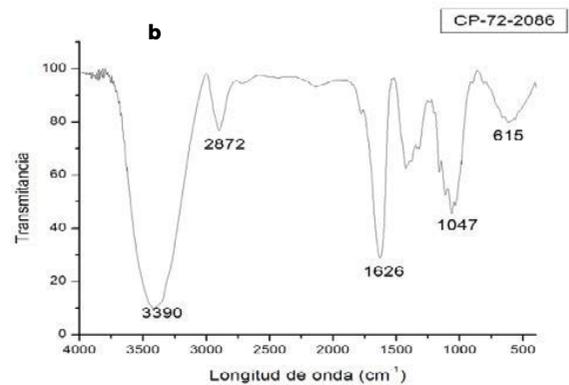
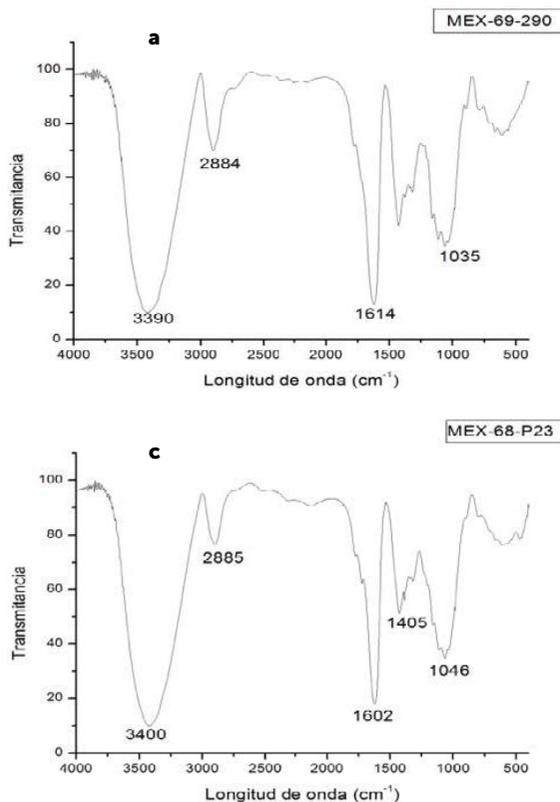
Identificación de grupos funcionales. En el análisis de interferogramas (Figura 2), no se encontraron diferencias entre los espectros infrarrojos de las muestras de microcelulosa de los tres cultivares estudiados. Se observaron picos similares de 3390 y 3400  $\text{cm}^{-1}$ , lo que se debe a las vibraciones de estiramiento característico de los enlaces O-H presentes en celulosa, hemicelulosa y lignina, como lo señalan Elazzouzi et al. (2008) y Morán et al. (2008). La intensidad de las bandas a 2884, 2885 y 2872  $\text{cm}^{-1}$ , se atribuye a los enlaces C-H, que pertenecen a alquilos y alifáticos, presentes en celulosa, hemicelulosa y lignina (Popescu et al., 2010). El pico de 1626  $\text{cm}^{-1}$  está relacionado con los enlaces C=O de la cetona (pectinas y gomas) presentes en la hemicelulosa de acuerdo con lo observado por Popescu et al. (2010); mientras que el pico de 1602 y 1614  $\text{cm}^{-1}$  se asigna al enlace C=C de las vibraciones de estiramiento de los anillos aromáticos de lignina (Coates, 2000). El pico 1405  $\text{cm}^{-1}$  corresponde



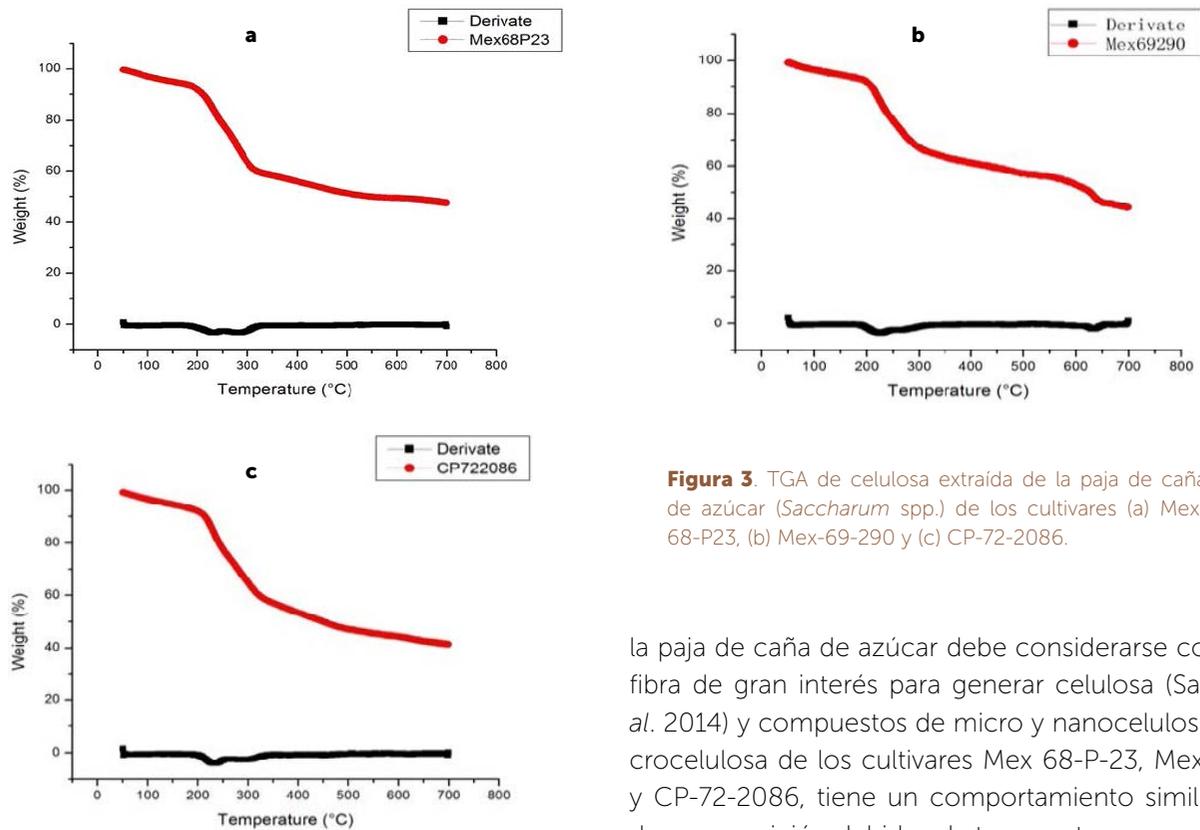
**Figura 1.** Difractogramas de a) paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) sin tratamiento, b) celulosa extraída de paja de caña de azúcar, y c) microfibras de celulosa de los cultivares Mex-69-290, Mex-68-P23 y CP-72-2086.

a las vibraciones de enlace C-H de CH<sub>2</sub> (1); y finalmente la banda 1046 cm<sup>-1</sup> se atribuye a las vibraciones de los enlaces C-H de los anillos aromáticos (Coates, 2000).

El análisis termogravimétrico, representado por el porcentaje de masa residual en el que la derivada del peso refleja los picos máximos de descomposición de la microcelulosa extraída de la paja de la caña de azúcar, se muestra en la Figura 3, reflejando tres regiones, la primera región muestra una pérdida de masa a 100 °C de aproximadamente 4% p/p asociada con la pérdida de agua debido a la evaporación. La segunda región presenta una pérdida de masa del 36% del material que comienza a una temperatura de 200 °C hasta alcanzar 300 °C, lo que está asociado con la descomposición de la celulosa, que es un comportamiento diferente reportado por Morán *et al.* (2008) y Espitia (2010), quienes describen la descomposición de la nanocelulosa a partir de 303 °C; y la tercer región, muestra una pérdida de masa del 10%, que comienza después de 300 °C y culmina a 500 °C.



**Figura 2.** Interferogramas de la microcelulosa extraída de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) de los cultivares a) Mex-69-290, b) CP-72-2086, y c) Mex-68-P23.



**Figura 3.** TGA de celulosa extraída de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) de los cultivares (a) Mex-68-P23, (b) Mex-69-290 y (c) CP-72-2086.

Finalmente, el 50% del material que queda después de la descomposición térmica de la celulosa son cenizas como fósforo, calcio, entre otros materiales inorgánicos. Estos resultados han permitido deducir que la celulosa obtenida puede usarse como relleno en la preparación de nanocompuestos con polímeros termoplásticos como el polietileno o el polipropileno, ya que su descomposición térmica comienza a temperaturas más altas que estos polímeros, por lo tanto, había logrado un soporte durante el procesos de mezcla en estado fundido sin descomposición. Debido a su alta disponibilidad,

la paja de caña de azúcar debe considerarse como una fibra de gran interés para generar celulosa (Salgado et al. 2014) y compuestos de micro y nanocelulosa. La microcelulosa de los cultivares Mex 68-P-23, Mex 69-290 y CP-72-2086, tiene un comportamiento similar en su descomposición debido a la temperatura.

#### Caracterización morfológica de las fibras

Las fibras observadas en el Microscopio Analizador de Imagen posterior a cada etapa de extracción (Figura 4), permitieron detectar anillos característicos de la fibra de la paja caña de azúcar posterior a la cocción (Figura 4b), apreciando en las micrografías la separación gradual de las fibras al ser sometidas a los tratamientos químicos de cocción con sosa y a los tratamientos mecánicos de desfibrilación y refinado (Figura 4 c y d). Estas fibras presentan diversos tamaños alcanzando más de 600  $\mu\text{m}$ , tal como lo reportaron Salgado et al. (2017).



**Figura 4.** Micrografías de a) fibra de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) sin tratamiento, b) fibras de celulosa después de la cocción con hidróxido de sodio 100X, c) fibras de celulosa después de la desfibrilación, y d) fibra de celulosa después del blanqueo y refinado a 10X.

En las micrografías obtenidas por SEM (Figura 5), se puede observar que el diámetro de las fibras es mayor a una micra y su longitud en las fibras separadas es menor a una micra. En este caso, el método de oxidaciones, permitió obtener partículas de microcelulosa. En el futuro, para alcanzar un tamaño de nanocelulosa es necesario una mejor dispersión de las partículas para lograr su observación, debido a la aglomeración de las mismas por su carga eléctrica que impiden su detección (Bonilla et al., 2014).

### Evaluación del biocompuesto

En el porcentaje de MFC's, se logró una disminución en el índice de estrés de PLA y este comportamiento fue similar entre los cultivares estudiados. Los resultados del módulo de elasticidad presentaron microfibras de celulosa (MFC) altamente significativas de los cultivares Mex-68-P-23 y Mex-69-290 (Cuadro 1). La prueba de Tukey indica que solo a partir del 2% de MFC, el módulo de elasticidad del PLA había logrado un aumento en la resistencia a deformación de los microcompuestos (Figura 6), lo cual se refieren al fallo de los materiales poliméricos por mala adhesión

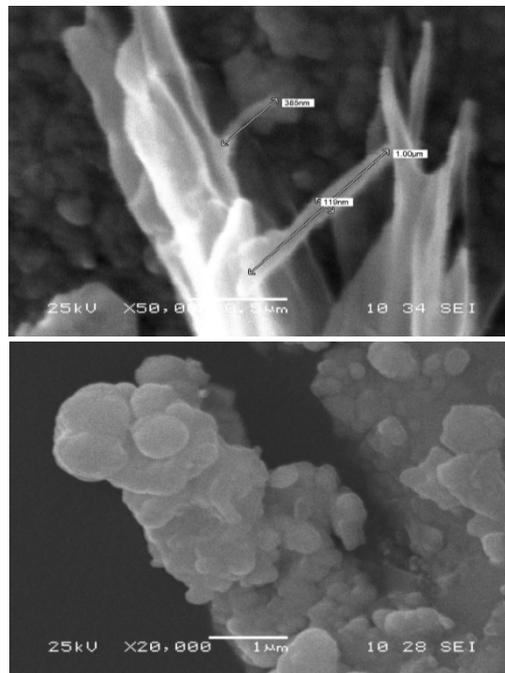


Figura 5. Micrografías tomadas en ESM de microfibras de celulosa de (*Saccharum* spp.).



Figura 6. Biocompuesto elaborado de PLA con 2% de MFC.

entre la matriz y las partículas, ya que dichas partículas deben agregarse en cantidades de hasta 60% por peso (Arias, 2004).

La resistencia al microcompuesto está dada por sus propiedades mecánicas, que se afectaron por la adición de MFC de la paja de la caña de azúcar; lo que se atribuye a la falta de adhesión de los MFC's, lo que podría generar microgrietas, lo que facilitó la ruptura de la película y, por lo tanto, disminuyó su resistencia. Este mismo efecto fue reportado por Pothan et al. (1997) y por Quesada et al. (2005), en el refuerzo de compuestos de poliéster con fibra corta de plátano; que observaron que los extremos de las fibras en concentraciones >10%, o <10% hacen que actúen como generadores de concentración de tensión, lo que podría ocasionar microgrietas que descomponen el material que se someterá a un esfuerzo. Quesada et al. (2005), informaron que al emplear en resinas de poliéster, fibras de rastrojo de piña como refuerzo, la resistencia al estrés por tracción dependía del contenido de fibra; por lo tanto, los materiales con longitud de fibra de 1.0 mm han logrado un ligero aumento de solo 10%, pero en

Cuadro 1. Índice de estrés, módulo de elasticidad e índice de alargamiento.						
CMF (%)	Índice de estrés (MPa)		Módulo de elasticidad (MPa)		Índice de elongación (%)	
	Mex-68-P-23	Mex-69-290	Mex-68-P-23	Mex-69-290	Mex-68-P-23	Mex-69-290
0	38.08 a	38.08 a	2201.4 b	2201.4 a	1.9 a	1.9 a
1	19.87 b	25.05 b	2076.5 b	2215.1 a	1.1 b	1.3 b
2	16.43 c	8.84 c	2566.4 a	2608.0 a	0.8 b	0.5 c
Media (%)	24.36	24.29	2281.4	2341.7	1.60	1.23
CV (%)	3.0	4.5	4.6	7.0	6.6	10.2
F Prob. of T.	0.0001**	0.0001**	0.0032**	0.03 NS	0.0001**	0.0001**
MSD	1.8	2.7	265.8	411.1	0.2046	0.3125

\*\*Altamente significativa

† Los medias con la misma literal dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey (P≤0.05).

porcentajes mayores, han permitido disminuir las propiedades de tensión del material compuesto, lo que supone que a concentraciones de fibra  $\leq$  al 10%, puede tener problemas en la dispersión y las interacciones fibra-fibra.

## CONCLUSIONES

La paja de (*Saccharum* spp.) de los cultivos CP-72-2086 y Mex-68-P23 presentaron alto contenido de  $\alpha$ -celulosa en comparación a Mex 69-290. La celulosa de la paja es de alta pureza. La similitud entre las celulosas y MFC's obtenidas de los tres cultivos analizados y de acuerdo con el análisis térmico de la celulosa, indican que puede usarse como relleno en la preparación de biocompuestos, con polímeros como el PLA. Las propiedades de resistencia del biocompuesto se vieron afectadas cuando las MFC's se agregaron al polímero, siendo posiblemente partículas de un tamaño muy grande que favoreció la ruptura o fractura de las probetas.

## LITERATURA CITADA

- Arias, M. S. L. (2004). Falla de los materiales compuestos laminados. *Revista Scientia et Technica*. 10(25): 113-117.
- Bonilla, E., Díaz, B., Kleeberg, F., and Noriega, M. T. (2014). Continuous improvement of processes: tools and techniques. Lima: University of Lima, Editorial Fund. 33: 37-50.
- Canché, G., de los Santos J. M., Andrade S., and Gómez, R. (2005). Production of cellulose from banana plant agricultural waste. *Información Tecnológica*. 16(1): 83-88.
- Coates, J. (2000). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. R. A. Meyers (Ed.) John Wiley and Sons Ltd, Chichester. Pp. 1815- 1837.
- Elazzouzi, H., Nishiyama, S. Y., Putaux, J. L., Heux, L., Dubreuil, F., and Rochas, C. (2008). The Shape and Size Distribution of Crystalline Nanoparticles Prepared by Acid Hydrolysis of Native Cellulose. *Biomacromolecules*. 9(1): 57-65.
- Hurter, W. R. (2001). Nonwood plant fiber uses in papermaking. Hurter Consult Incorporated. Extracted from "Agricultural Residues", Tappi. 1997. Non wood fibers short course notes, updated and expanded.
- Liu, X., Wang, L., Song, X., Song, H., Zhao, J. R., and Wang, S. (2012). A kinetic model for oxidative degradation of bagasse pulp fiber by sodium periodate: *Carbohydr. Polym.* 90: 218-223.
- Morán, J. I., Vera, A., Cyras, V. P., and Vázquez, A. (2008). Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose*. 15(1): 149-159.
- Popescu, C. M., Popescu, M. C., and Vasile, C. (2010). Structural changes in biodegraded lime Wood. *Carbohydrate Polymers Journal*. 79(2): 362-372.
- Pothan, L. A., Thomas S., and Neelakantan, N. (1997). Short Banana Fiber Reinforced Polyester Composites: mechanical, Failure and Aging Characteristics. *J. Reinforced Plastics & Composites*. 16(8): 744-765.
- Prado-Martínez, M., Anzaldo-Hernández, J., Becerra-Aguilar, B., Palacios-Juárez, H., Vargas-Radillo, J. J. y Rentería-Urquiza, M. (2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y bosques*. 18(3): 37-51.
- Quesada, S. K., Alvarado, A. P., Sibaja, B. R. y Vega, B. J. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 6(2): 157-179.
- Salgado, G.S., Lagunes, E.L.C., Núñez, E.R., Ortiz, G.C.F., Bucio, A.L. y Aranda I.E.M. (2013). CAÑA DE AZUCAR: Producción sustentable. BBA, Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México, D.F. 520 p.
- Salgado, G. S., Aranda, I. E. M., Castelán, E. M., Ortiz, L. H., Palma, L. D. J. y Córdova, S. S. (2014). Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. *Agroproductividad*. 7(2):3-7.
- Salgado, G. S., Córdova S. S., Turrado, S. J., Saucedo, C. A. R., Fuentes, M. J. G., García, E. Y., López, V. L. Y., García, A. S. K. y García, A. N. K. (2017). Papel artesanal de paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad*. 10(11): 48-53.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). (2014). Freeness of pulp. Canadian Standar Method. Norcross, GA. USA.





# Identification and selection of plus trees of *Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose, and of *Tabebuia rosea* Bertol.

## Identificación y selección de árboles plus de *Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose, y de *Tabebuia rosea* Bertol.

Meza-Sandoval, Brenda E.<sup>1</sup>; Infante-Mata, Dulce Ma.<sup>1</sup>; Peña-Ramírez, Yuri J.J.<sup>2</sup>; Tovilla-Hernández, Cristian<sup>1</sup>; Espinosa-Zaragoza, Saúl<sup>3\*</sup>; Wong-Villarreal, Arnoldo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>El Colegio de la Frontera Sur-ECOSUR, Unidad Tapachula. Carretera Antiguo Aeropuerto km 2.5, Tapachula, Chiapas, México. <sup>2</sup>El Colegio de la Frontera Sur – ECOSUR. Unidad Campeche. Avenida Rancho Polígono 2-A Colonia Ciudad Industrial Lerma, Campeche, Campeche, México. CP 24500. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Cuerpo Académico de Agricultura Tropical Ecológica. Carretera Costera entronque Huehuetán Pueblo, Huehuetán, Chiapas, México. CP 30660. <sup>4</sup>Universidad Tecnológica de la Selva, División Agroalimentaria, Ocosingo, Chiapas, México.

\*Autor para correspondencia: saulez1@gmail.com

### ABSTRACT

**Objective:** Identify and select primavera plus trees (*Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose) and roble (*Tabebuia rosea* Bertol) in Soconusco, Chiapas, Mexico.

**Design/methodology/approach:** Methods were applied to qualify morphometric markers such as height, normal diameter, total height and free stem height as main indicators. With selection intensities to identify future genetic gains, 155 candidate trees and 18 plus trees from *Tabebuia donnell-smithii* and 140 candidate trees and 16 plus trees from *T. rosea* were identified.

**Results:** The 34 plus trees showed superior characteristics in quality and volume, so they were grouped in List A, which is the population that is recommended for immediate use as Forest Germplasm Producing Units of known origin and provenance. These trees are part of the base population for the improvement program in the Soconusco region (Chiapas, Mexico). The 295 candidate trees maintain at least one superior character (volume or quality) can be considered in the improvement population, being located in List B.

**Limitations on study/implications:** This work allows defining the commercial population for immediate use and the base population for improvement. Candidate individuals with potential to be incorporated into future controlled crossing programs were also identified. The procedure allows generating records of the population mass and accreditation of the plus tree phenotype.

**Findings/conclusions:** This work allows defining the commercial population for immediate use and the base population for improvement. Candidate individuals with potential to be incorporated into future controlled crossing programs were also identified. The procedure allows generating records of the population mass and accreditation of the plus tree phenotype.

**Keywords:** Bignoniaceae, forest germplasm, morphometric markers, genetic improvement.

## RESUMEN

**Objetivo:** Identificar y seleccionar árboles plus de Primavera (*Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose) y Roble (*Tabebuia rosea* Bertol) en el Soconusco, Chiapas, México.

**Diseño/metodología/aproximación:** Se aplicaron métodos para calificar marcadores morfométricos como altura, diámetro normal, altura total y altura de fuste libre como indicadores principales. Con intensidades de selección para identificar ganancias genéticas futuras, se lograron identificar 155 árboles candidatos y 18 árboles plus de *Tabebuia donnell-smithii* y 140 árboles candidatos y 16 árboles plus de *T. rosea*.

**Resultados:** Los 34 árboles plus mostraron características superiores en calidad y volumen, por lo que fueron agrupados en una Lista A que es la población que se recomienda para uso inmediato como Unidades Productoras de Germoplasma Forestal con origen y procedencia conocidos. Estos árboles forman parte de la población base para el programa de mejoramiento en la región Soconusco (Chiapas, México). Los 295 árboles candidatos mantienen al menos un carácter superior (volumen o calidad) pueden ser considerados en la población de mejora ubicándose en una Lista B.

**Hallazgos/conclusiones:** Este trabajo permite definir la población comercial de uso inmediato y la población base de mejoramiento. También se identificaron individuos candidatos con potencial para ser incorporados a los programas de cruza controladas en un futuro. El procedimiento permite generar registros de la masa poblacional y acreditación del fenotipo del árbol plus.

**Palabras clave:** Bignoniaceae, germoplasma forestal, marcadores morfométricos, mejoramiento genético.

principal dentro de un programa de mejora genética es ser el progenitor de las poblaciones mejoradas en calidad a mediano y largo plazo (Jara, 1995). La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en México, ha desarrollado una metodología para la selección de árboles plus a las que ha llamado Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF) y ubica árboles seleccionados fenotípicamente con superioridad en características morfológicas de importancia económica, tales como la altura, diámetro a la altura de pecho (DAP), volumen y arquitectura adecuada que pueden ser considerados en la categoría FS-ars (CONAFOR, 2014). Independientemente del método de selección empleado, la respuesta de una característica determinada depende básicamente de la heredabilidad o grado de control genético de las características, la intensidad de selección y la varianza fenotípica de la población (Zobel, 1964; Balcorta y Vargas, 2004).

La heredabilidad y el diferencial de selección son útiles para predecir la respuesta de la selección en especies forestales (Zobel y Talbert, 1988). El diferencial de la selección está íntimamente ligado con la ganancia genética que pueda obtenerse en un programa de mejoramiento genético (Balcorta y Vargas, 2004). El rigor de la selección se estima a través del concepto conocido como intensidad de selección "i" y se puede también expresar en términos de la magnitud del diferencial de selección "s" (Vallejos et al., 2010), como fue definido por Zobel y Talbert (1984). La selección debe realizarse con base en un máximo de dos o tres características a la vez, ya que a medida que se consideran más variables, menores serán las ganancias genéticas aun cuando se

## INTRODUCCIÓN

La alta demanda de productos forestales hace necesario establecer plantaciones más productivas. Esto es posible si se seleccionan correctamente las especies desde el punto de vista ecológico y económico, y se proyectan en programas de mejora genética, que además de incrementar rendimientos a largo plazo, contribuyen a la conservación de la base genética de las especies (Mesén, 1995). Las especies forestales *Tabebuia donnell-smithii* (Rose) y *T. rosea* (Bertol.) son especies tropicales nativas en la Región del Soconusco en Chiapas, México. Son de importancia económica, ecológica y social (FAO, 2011). Por su aptitud maderable, han sido establecidas en sistemas asociados con cultivos agrícolas o en pequeñas parcelas comerciales y en muy pocos casos se han adoptado como plantación comercial (Navarrete-Tindall y Orellana, 2002; Flores y Marín, 2002). El mejoramiento de la productividad maderable de estas especies y su conservación, puede lograrse mediante una selección de poblaciones e individuos superiores, mismos que pueden usarse para generar fuentes de semilla de calidad y con procedencia conocida (Mesén, 1995). En la silvicultura estos individuos superiores son llamados árboles plus (Vallejos, 2010), cuyo objetivo y función

cumpla un diferencial de selección aceptable (Zobel y Talbert, 1988).

El tipo de mejoramiento al que se enfoca este trabajo es el de selección y mejora de tipo individual (Falconer y Mackay, 1996, SEMARNAT/CONAFOR, s/f) donde se permite escoger individuos superiores con base en su fenotipo, sin que sea necesario evaluar el desempeño de sus ancestros u otro tipo de parientes. Este tipo de selección ha funcionado bien cuando la selección se basa en la evaluación de caracteres altamente heredables como altura total, ramificación, fitosanidad y rectitud de fuste (Zamudio y Guerra, 2002; Cornelius, 1994; Vallejos et al., 2010). Los caracteres asociados al volumen han registrado comúnmente baja heredabilidad (control genético). Se estima que el volumen está controlado por una gran cantidad de loci que involucra una mayor cantidad del genoma por lo que raramente superan el 40% de heredabilidad (Cornelius, 1994). Las características cuantitativas como altura total y calidad de fuste, hábitos de ramificación, fitosanidad se han registrado en trabajos previos con mayores porcentajes de heredabilidad (Murillo y Badilla, 2003). Por lo que se tomaron como las características más determinantes en las evaluaciones realizadas. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un proceso de identificación y selección de árboles plus de *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en la región del Soconusco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de los árboles superiores se realizó en los municipios de Huixtla, Tuzantán, Huehuetán, Mazatán, Tapachula y Tuxtla Chico. En el Sureste del Estado de Chiapas. Las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* se distribuyen a partir de los 10 a 600 m de altitud. La parte baja se caracteriza por ser una planicie costera de 20 a 30 km de ancho y cuyo margen es delimitado por el Océano Pacífico y la Sierra Madre de Chiapas.

La selección fenotípica de árboles tuvo como base cuatro características relacionadas con volumen y calidad de la madera a saber: altura total del árbol, altura comercial del tronco, rectitud de fuste y número de ramas. Se utilizó el método clásico de comparación con vecinos más cercanos. Donde el árbol candidato se compara con sus mejores cuatro a cinco vecinos, en un radio de entre 15 y 20 m de distancia (Zobel y Talbert, 1984). En individuos aislados se utilizó el método de valoración individual (Corea, 1994; Ipinza, 1998). Para aplicar este método se debe fijar al menos una característica cuanti-

tativa que no se vea afectada por la edad como un valor mínimo. Para esta selección la altura mínima de fuste limpio se estableció a los 18 m. Para ambas metodologías se realizaron las siguientes evaluaciones:

**Selección de árboles superiores y clasificación de candidatos.** La selección partió de una población de  $n=800$  individuos identificados por investigadores de la Universidad Autónoma de Chiapas en 2014. Se seleccionaron árboles codominantes con diámetros (DAP) de 30 a 50 cm, con una altura mínima de fuste limpio de 18 m.

**Evaluación y asignación de árboles candidatos.** La primera evaluación de los 800 árboles seleccionados se basó en el análisis de características cualitativas relacionadas a calidad. Se les asignó un número de acuerdo a las siguientes categorías: 1) árboles inaceptables: enfermos o con defectos en el fuste o copa, ramificaciones bajas. 2) árboles buenos: dominantes o codominantes, sin bifurcaciones bajas, con defectos leves en el fuste o en la copa. 3) árboles excelentes: dominantes o codominantes, fustes rectos, sin bifurcaciones, ramas delgadas, sin contrafuertes, copa pequeña y simétrica, sanos y vigorosos. Fueron calificados como árboles candidatos aquellos individuos que se ubicaron en las Categorías 2 y 3.

### Evaluación mediante características cuantitativas y cualitativas para la asignación de árboles plus

Para la evaluar un árbol candidato y calificarlo como un árbol plus se debe recordar el principio de que todo carácter al que se le asigne mayor peso, debe tener un alto control genético (% de heredabilidad), alta variación genética, y preferiblemente, ser de fácil medición (Zobel y Talbert, 1984). Se aplicaron marcadores morfométricos a los caracteres cuantitativos relacionados con volumen y a las características cualitativas relacionadas con calidad. Para la especie *T. donnell-smithii* altura total  $>20$  m, altura de fuste limpio  $>15$  m, diámetro  $>40$  cm, volumen  $>1.50 \text{ m}^3$  y máximo ocho ramas principales. Para *T. rosea*; altura total  $>20$  m, altura de fuste limpio  $>10$  m, diámetro  $>40$  cm, volumen  $>1 \text{ m}^3$  y máximo ocho ramas principales. Los valores asignados para cada característica son superiores al promedio fenotípico que caracterizó a los árboles candidatos.

### Lista A y Lista B

En la Lista A se integraron los árboles superiores en características relacionadas con volumen y calidad. En la Lista B los árboles que fueron superiores en los caracteres

evaluados para volumen o calidad. En la Lista A se integraron los árboles plus que forman parte de la población para producción comercial de semillas y como población base para el programa de mejoramiento genético. En la Lista B se integraron los árboles candidatos que podrán ser considerados para integrarse posteriormente al programa de mejora cuando sean evaluados mediante otros caracteres de selección, por ejemplo marcadores moleculares.

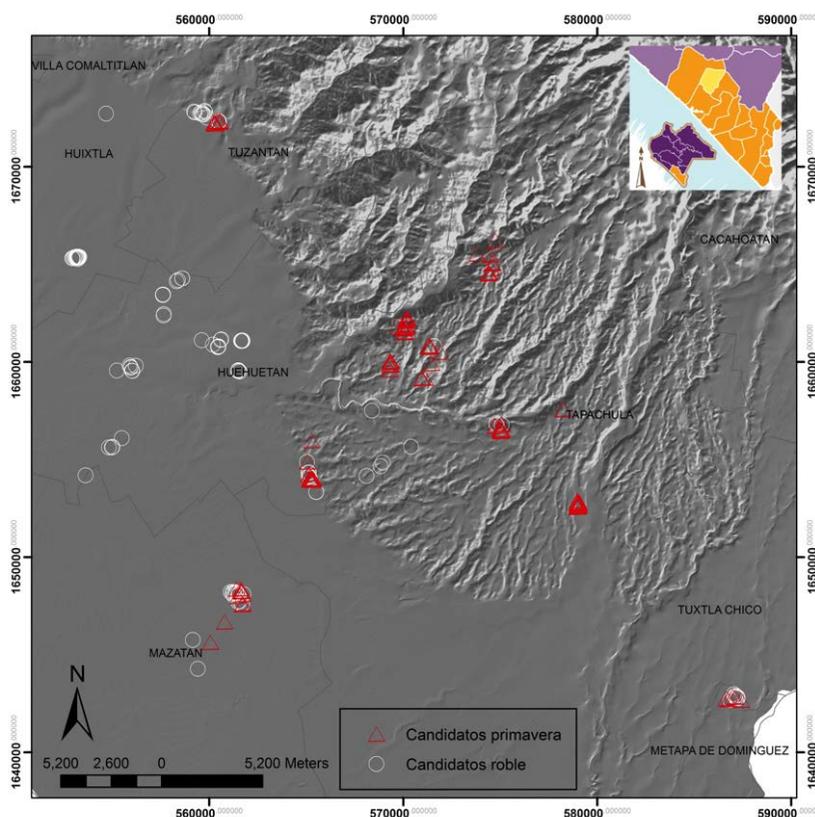
**Intensidad de selección 'i' y diferencial de selección 's'.** La intensidad de selección está en función del número de individuos superiores identificados por superficie muestreada. El diferencial de selección está dado como la distancia del promedio de la Lista A (árboles plus) a la media de la Lista B (árboles candidatos). Ambos datos refieren a la rigurosidad aplicada en la selección y permiten reconocer potencialmente a los individuos que deben componer la población superior apta para la producción comercial de semillas y la población de mejoramiento. Los árboles candidatos y plus fueron georreferenciados usando un GPS-Garmin eTrex® para ser ubicados geográficamente en una base de datos espacial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el proceso inicial de selección se identificaron 800 individuos superiores de las especies *T. rosea* y *T. donnell-smithii* con diámetros de 30 a 50 cm. Para definir los árboles candidatos se realizaron filtros de selección, para identificar individuos con fuste limpio mínimo de 15 m, libres de plagas y enfermedades, sin defectos o con defectos leves en el fuste y copa. Este primer filtro redujo la población de seleccionados a N=300 individuos, clasificados como árboles candidatos. Los promedios de los caracteres de volumen y calidad de los 300 árboles candidatos fueron asignados como parámetros mínimos a superar en el segundo filtro para la identificación de los árboles plus. Los individuos que se ubicaron como superiores a este promedio fueron 34 árboles; 18 de la especie *T. donnell-smithii* y 16 de *T. rosea* (Figura 1), la distancia del promedio de un individuo candidato y promedio de un individuo plus se refleja en el diferencial de selección. Los diferenciales

obtenidos en este trabajo se muestran en el Cuadro 1 para *T. donnell-smithii* y en el Cuadro 2 para *T. rosea*.

En las características cualitativas, los árboles plus de ambas especies se caracterizaron con fustes rectos, ramificaciones en promedio de cuatro ramas principales, ninguno de los árboles plus tuvo más de 10 ramas y se apreciaron totalmente sanos. Dado que los diferenciales de selección están relacionados con las ganancias genéticas (Balcorta y Vargas, 2004), se espera que estos se presenten en la descendencia de los árboles plus (F1). Al seleccionar en ambientes naturales los diferenciales



**Figura 1.** Distribución de árboles candidatos de primavera (*T. donnell-smithii*) y Roble (*T. rosea*) en el Soconusco, Chiapas, México.

de selección pueden ser equivalentes a los obtenidos en los primeros descendientes (F1). Se ha reportado que el diferencial de selección en plantaciones comerciales suele ser menor a los obtenidos en las pruebas de progenie, y puede deberse a que los individuos son únicamente comparados con sus mejores cuatro vecinos y no con una población más amplia. Los árboles vecinos, son competidores muy fuertes por espacio y recursos nutricionales; por tanto no son representativos de árboles ordinarios sin ningún tipo de selección o mejoramiento ya que usualmente fueron obtenidos de viveros (Vallejos et al., 2010).

**Cuadro 1.** Promedios y desviaciones estándar para cada variable evaluada y los diferenciales obtenidos en *T. donnell-smithii*.

	Pre-selección	Árboles candidatos	Árboles Plus	Diferencial de selección
N	400	155	18	/
%	100%	39%	5%	/
Criterio Máximo	Clase diamétrica 30-50 cm	Volumen y/o calidad	Volumen y calidad	/
Altura Total (m)	/	$\bar{X}$ 22.2±4.15	$\bar{X}$ 24.9±2.81	2.7 m
Altura Comercial (m)	/	$\bar{X}$ 11.5±3.49	$\bar{X}$ 17.31±1.72	5.81 m
Diámetro (cm)	/	$\bar{X}$ 42±6.32	$\bar{X}$ 47.07±2.79	5.07 cm
Volumen (m <sup>3</sup> )	/	$\bar{X}$ 1.04±0.56	$\bar{X}$ 2.22±0.52	1.18 m <sup>3</sup>
Ramificación (ramas)	/	$\bar{X}$ 4±6.82	$\bar{X}$ 2.72±0.66	1.28 ramas

**Cuadro 2.** Promedios y desviaciones estándar para cada variable evaluada y los diferenciales obtenidos en *T. rosea*.

	Pre-selección	Árboles candidatos	Árboles Plus	Diferencial de selección
N	400	140	16	/
%	100%	35%	4%	/
Criterio Máximo	Clase diamétrica 30 a 50 cm	Volumen y/o calidad	Volumen y calidad	/
Altura Total (m)	/	$\bar{X}$ 20.7±4.11	$\bar{X}$ 22.8±2.71	2.1 m
Altura Comercial (m)	/	$\bar{X}$ 8.3±3.01	$\bar{X}$ 11.2±1.45	2.9 m
Diámetro (cm)	/	$\bar{X}$ 40±6.24	$\bar{X}$ 44±4.38	4 cm
Volumen (m <sup>3</sup> )	/	$\bar{X}$ 0.66±0.36	$\bar{X}$ 1.32±0.30	0.66 m <sup>3</sup>
Ramificación (ramas)	/	$\bar{X}$ 9±7.16	$\bar{X}$ 4.5±2.63	4.5 ramas

De estos resultados se destaca que la intensidad de selección en ambas especies fue 1.1 árboles plus por cada 10 árboles candidatos. Si se considera la intensidad de selección por superficie explorada, y corresponde a un árbol candidato por cada ocho hectáreas exploradas y un árbol plus por cada 70 ha. Vallejos et al. (2010) han reportado intensidades de selección en condiciones de plantaciones en Costa Rica, un árbol plus por cada 15,000 individuos. Murillo y Badilla (2009) reportaron intensidades de selección de un árbol por cada 20,000 individuos. Ambas selecciones fueron realizadas en plantaciones comerciales donde la densidad de población de las especies es mucho mayor que en ambientes naturales. Otros autores como Espitia et al. (2010) reportan para la selección de *Acacia mangium* (Willd) en Colombia, una intensidad de selección de un árbol por cada 3,459 árboles en una superficie de 3,626 ha de plantaciones comerciales. Dichos autores seleccionaron 89 árboles plus, equivalente a un árbol plus por cada 40 ha. De la misma manera la intensidad de selección que reportaron Espitia, Murillo y Castillo (2011) en Teca (*Tectona grandis* L. F.) en Colombia fue de un árbol plus por cada 30.5 ha. En esta investigación la selección se realizó en una

superficie de 2,399 ha, donde se identificaron 34 árboles plus, lo que equivale a un árbol plus por cada 70 ha, para ambas especies, o bien, un árbol plus de *T. donnell-smithii* por cada 133 ha, y un árbol plus de *T. rosea* por cada 144 ha.

Se destaca que las características fenotípicas propias de *T. rosea* dan valores menores en el diferencial de selección de los componentes del rendimiento de madera (altura, diámetro y altura total). *T. rosea* presenta bifurcaciones a menor altura que *T. donnell-smithii* y por ello, ubicar árboles con alturas comerciales similares en ambas especies no fue posible. Los árboles asignados a la Lista B no deben desacreditarse con la finalidad de evitar que queden fuera individuos genéticamente superiores, un error común en programas de mejoramiento genético (Error tipo II). Finalmente la ganancia genética de los árboles plus podrá evaluarse cuando se desarrollen los ensayos de procedencias mediante propagación clonal o por semilla con lo que se podría a su vez identificar error de selección tipo I. Se esperaría tener ganancias genéticas como uno de los resultados a mediano plazo de este trabajo. La distribución y ubicación geográfica

de los árboles candidatos y plus se muestra en la Figura 1, en ella se puede observar que la distribución de *T. rosea* se da hacia la Planicie Costera Chiapaneca y que *T. donnell-smithii* se distribuye hacia la parte alta de la zona, es importante destacar que los señalizadores corresponden únicamente a los árboles plus identificados.

## CONCLUSIONES

Las metodologías de comparación y valoración individual empleadas conjuntamente en este trabajo aportan bases analíticas al programa de mejoramiento genético forestal de la Región del Soconusco en Chiapas, México. Este trabajo permite definir la población comercial de uso inmediato y la población base de mejoramiento. También se identificaron individuos candidatos con potencial para ser incorporados a los programas de cruza controladas en un futuro. El procedimiento permite generar registros de la masa poblacional y acreditación del fenotipo del árbol plus. El principio de selección de árboles plus, basado también en la utilización de caracteres cualitativos de alta heredabilidad, asegura la ganancia fenotípica del material de propagación en prácticamente cualquier ambiente. Sin embargo, no puede determinar con exactitud los niveles de ganancia genética que debe ser una operación cuya responsabilidad recaiga en ensayos y pruebas de validación genética posteriores.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chiapas y a Mesoamericano Global Development SA de CV por su apoyo para la realización de la investigación.

## LITERATURA CITADA

Balcorta, H. y Vargas, J. 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10, 13-19. <http://www.redalyc.org/pdf/629/62910102.pdf>

Corea, E. 1994. Selección de árboles plus. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 7, 97-98.

Cornelius, J. 1994. The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management (USA)*, 67, 23-34. Doi: 10.1016/0378-1127(94)90004-3

Espitia, C.M.; Murillo, G.O. y Castillo, P. C. 2011. Ganancia genética esperada en Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba (Colombia). *Colombia Forestal* 14(1): 81-93.

Espitia, M.; Murillo, O., Castillo, C., Araméndiz, H. y Paternina, N. 2010. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* WILLD) en Córdoba (Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*. 13, 99-107.

Falconer, D.S. y Mackay, T.F.C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4ta. ed. Longman Sci. And Tech Harlow, UK. 464. ISBN 0582243025

FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2011) *Situación de los Recursos Genéticos Forestales*. Informe final del proyecto TPC/MEX/3301/MEX. 4.

Flores, E.M. y Marin, W.A. 2002. Manual de semillas de árboles tropicales. *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica y Escuela Nacional de Biología, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.719-721.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2000). *Capas temáticas 1:250,000-1:50,000*. Chiapas, México.

Ipinza, R. 1998. Mejoramiento genético forestal. Programa CONIF-Ministerio de Agricultura sobre investigaciones en semillas de especies forestales nativas. INSEFOR. Santafé de Bogotá. Serie Técnica. 42,162.

Jara, L. F. 1995. Identificación y selección de fuentes semilleras. En *Convenio CONIF - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural* (Eds.). Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Bogotá, Colombia. 32, 63-73.

Mesén, F. 1995. Introducción al mejoramiento genético forestal. En: *Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras*. Convenio CONIF, INSEFOR y MADR. Bogotá. Serie Técnica. 32, 46-118

Murillo, O. y Badilla, Y. 2003. Potencial de mejoramiento genético de la Teca en Costa Rica. En: *Simposio sobre la teca*. 26-28 de noviembre del 2003. Universidad Nacional. Heredia. CD.

Murillo, O., y Badilla, Y. 2009. Reproducción clonal de árboles. Taller de Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. 36.

Murillo, O.; Obando, G.; Badilla, Y. y Araya, E. 2001. Estrategia de mejoramiento genético para el programa de conservación y mejoramiento genético de especies forestales del ITCR/FUNDECOR, Costa Rica. *Revista Forestal Latinoamericana*, 16 (30),273-285.

Navarrete-Tindall, N. y Orellana, N.M.A. 2002. Manual de semillas de árboles tropicales. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA. Departamento de biología de la Universidad Estatal de Nuevo México. 715.

SEMARNAT/CONAFOR. S/F. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. Secretaría del Medio Ambiente Recursos y Recursos Naturales/Comisión Nacional Forestal. 86 pp.

Vallejos, J.; Badilla, Y.; Picado, F. y Murillo, O. 2010. Metodología para selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 34(1),105-119

Zamudio, A.F. y Guerra, G.F. 2002. Reproducción selectiva de Especies Forestales de Rápido Crecimiento. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestal. *Genética y Mejoramiento forestal*. Talca, Chile. 13-43.

Zobel, B. y Talbert, J. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley & Sons. New York. 510.

Zobel, B. y Talbert, J. 1988. *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. Editorial Limusa. México D.F. 545 p.

# Spatial distribution of precipitation over the initial growth of red cedar (*Cedrela odorata* L.)

## Distribución espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.)

Alonso-Báez, Moisés<sup>1</sup>; Avendaño-Arrazate, Carlos H.<sup>1\*</sup>; Alonso-López Betsabé L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Carretera Tapachula-Cacahotán km 18, Tuxtla Chico, Chiapas. México. C. P. 30870.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Cuenca del Papaloapan. San Juan Bautista, Tuxtepec, Oaxaca, México. C. P. 68446.

\*Autor de correspondencia: avendano.carlos@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

**Objective:** To analyze the effect of the spatial variability of precipitation on the initial growth of red cedar (*Cedrela odorata* L.) in Soconusco, Chiapas, Mexico.

**Design/methodology/approach:** The plantations were established in June 2010 in Suchiate, Tapachula and Tuxtla Chico, Chiapas; with a density of 1,111 trees ha<sup>-1</sup> planted and spaced 3.0 m×3.0 m. Every six months (210-2014) tree height (h; m) and diameter at chest height (DBH; cm) were measured.

**Results:** The average annual height of the trees was correlated; with the accumulated annual precipitation (Pp; mm), and a simple linear regression equation ( $R^2=0.94$ ) was determined, which predicts that the growth of the red cedar was 0.09 m for every 100 mm of precipitation observed in the different localities. Likewise, its initial growth was adjusted with a high level of confidence ( $P\leq 0.001$ ) to the first phase of the Richards sigmoidal model and, from its first derivative, the annual growth rates were determined: 2.58 m year<sup>-1</sup>, 2.05 year<sup>-1</sup> and 1.86 year<sup>-1</sup> m for the towns of Tapachula, Tuxtla Chico and Suchiate, respectively.

**Study limitations/implications:** The first phase of the Richards model is only applicable for the initial growth of red cedar and, beyond four years of age, it presents errors.

**Conclusions:** The first phase of Richards' sigmoidal model under the conditions studied, predicts with high confidence the initial growth of red cedar for the conditions of Soconusco, Chiapas.

**Keywords:** Height, DAP, Soconusco, Chiapas.

### RESUMEN

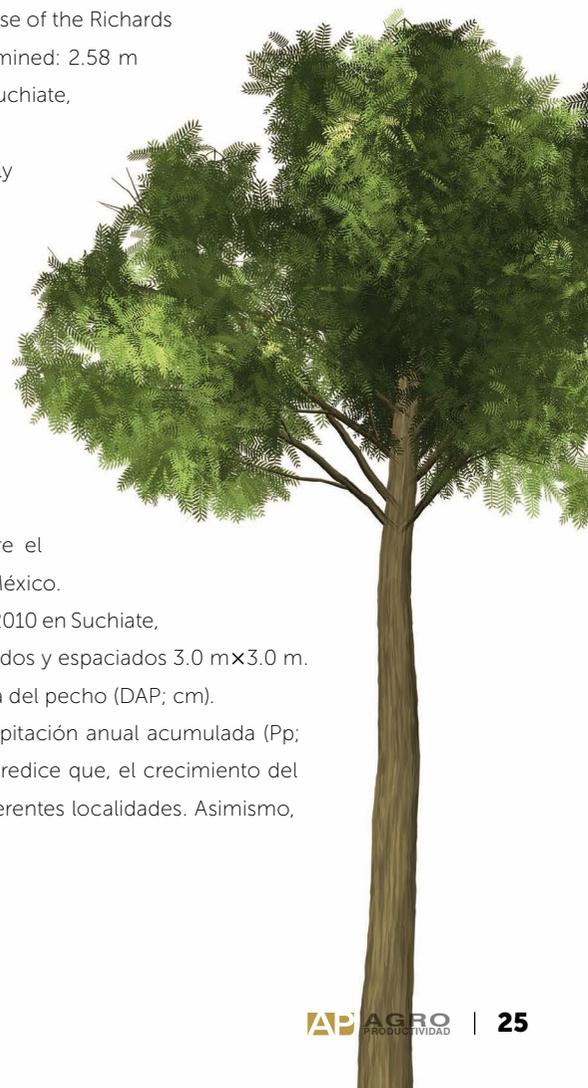
**Objetivo:** Analizar el efecto de la variabilidad espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el Soconusco; Chiapas, México.

**Diseño/metodología/aproximación:** Las plantaciones se establecieron en junio de 2010 en Suchiate, Tapachula y Tuxtla Chico, Chiapas; con una densidad de 1,111 árboles ha<sup>-1</sup> sembrados y espaciados 3.0 m×3.0 m. Cada seis meses (210-2014) se midieron altura del árbol (h; m) y diámetro a la altura del pecho (DAP; cm).

**Resultados:** Se correlacionó la altura promedio anual de los árboles; con la precipitación anual acumulada (Pp; mm), y se determinó una ecuación de regresión lineal simple ( $R^2=0.94$ ), la cual predice que, el crecimiento del cedro rojo fue de 0.09 m por cada 100 mm de precipitación observada en las diferentes localidades. Asimismo,

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 4, abril. 2020. pp: 25-32.

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



su crecimiento inicial se ajustó con alto nivel de confianza ( $P \leq 0.001$ ) a la primera fase del modelo sigmoidal de Richards y, a partir de su primera derivada, se determinaron las tasas de crecimiento anual: 2.58 m año<sup>-1</sup>, 2.05 m año<sup>-1</sup> y 1.86 m año<sup>-1</sup> para las localidades de Tapachula, Tuxtla Chico y Suchiate, respectivamente.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** La primera fase del modelo Richards, sólo es aplicable para el crecimiento inicial del cedro rojo y, más allá de cuatro años de edad presenta errores.

**Hallazgos/conclusiones:** La primera fase del modelo sigmoidal de Richards bajo las condiciones estudiadas, predice con alto nivel de confianza el crecimiento inicial del cedro rojo para las condiciones del Soconusco, Chiapas.

**Palabras clave:** altura, DAP, Soconusco, Chiapas.

## INTRODUCCIÓN

Es un axioma que, el crecimiento y desarrollo de la vida sobre la tierra es función del agua. En la región tropical del planeta la diversidad de su flora está estrechamente relacionada con la magnitud y distribución espacial del régimen pluviométrico (Rozendaal y Zuidema, 2011). Esta aseveración indica que, las especies tropicales maderables como el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) crecen adecuadamente por el factor lluvia (Webb *et al.*, 1984). Las especies maderables tropicales, requieren de magnitudes variables de precipitación para producir calidad variable de su madera; sin embargo, indistintamente de sus hábitos con respecto al agua, la lluvia es fundamental para su establecimiento, crecimiento y producción de madera. Los requerimientos hídricos del cedro rojo oscilan entre 1200 mm a 4000 mm (Webb *et al.*, 1984; Piotto *et al.*, 2004; Pennington, 2006). Su siembra en condiciones de monocultivo se realiza cuando el periodo lluvioso se ha establecido y la humedad edáfica es apropiada para garantizar su establecimiento y reducir el estrés que experimenta la planta en el trasplante. En el marco de su estructura física, las especies forestales tropicales en su ontogenia han desarrollado plasticidad fisiológica, morfológica y fenológica ante la incertidumbre de disponibilidad de agua (Milthorpe y Moorby, 1982). De acuerdo con estos ajustes naturales, fenómenos como la fotosíntesis, uso

eficiente del agua, respiración nocturna, relación C:N foliar; todos ellos, varían indistintamente entre especies y sitios con diferentes regímenes pluviométricos (Mulkey y Wright, 1996; Craven *et al.*, 2007). En relación con el clima, la lluvia es la variable más importante para el crecimiento de los árboles en los trópicos donde existen periodos secos que oscilan entre tres y hasta seis meses aproximadamente (Condit, 1998; Santiago *et al.*, 2004; Santiago y Mulkey, 2005; Engelbrecht *et al.*, 2007, Austin y Vitousek, 1998; Coyle y Coleman, 2005). La distribución de las especies y su productividad en estas regiones del planeta está estrechamente relacionada con el patrón de la precipitación y disponibilidad de agua; lo cual indica por una parte que, este factor puede modificar la composición de las comunidades vegetales, y además la magnitud e intensidad de la precipitación afecta directamente la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas (Santiago *et al.*, 2004; Coyle y Coleman, 2005). En el mismo contexto, Díaz *et al.* (2007) afirma que la precipitación es el principal elemento del clima para la existencia y evolución de los ecosistemas tropicales y animales. Aun cuando resulta redundante señalar el papel de la lluvia en el entorno de la vegetación natural en el trópico, cuando se analiza la dinámica del clima sobre el crecimiento y desarrollo de los bosques húmedos tropicales, el factor que más impacta en su crecimiento es la precipitación (Rozendaal y Zuidema, 2011). En particular sobre el cedro rojo en este entorno, Webb *et al.* (1984) después de un estudio de crecimiento del cedro rojo, afirmaron que esta especie está estrechamente relacionada con alta demanda de luz, y su crecimiento, está en función de la magnitud de la precipitación, como por ejemplo, entre 1200 y 2500 mm, además de la altitud preferentemente entre 0 y 1500 m, lo cual llevo a sugerir un estudio en Costa Rica que las plantas de cedro rojo son altamente susceptibles a la sequía durante su establecimiento (Piotto *et al.*, 2004). Cuando el cedro se trasplanta, experimenta estrés porque se le restan condiciones óptimas y, porque su periodo de adaptación no es tan rápido (exploración de sus raíces). En este momento, el agua juega el papel más importante para la supervivencia del cedro, ya que el agua se mueve en grandes volúmenes desde el suelo hasta la atmósfera, y su mayor parte circula a través de las plantas en su camino del suelo hacia la atmósfera para completar su ciclo (Kramer, 1983; Milthorpe y Moorby, 1982). Las funciones especializadas en plantas o árboles, son función del suministro de agua, ya que ésta mantiene la presión de turgencia e induce la diferenciación de las células del Xilema, la biosíntesis de carbohidratos y el transporte de minerales

(Larson 1969; Langenfeld-Heyser 1987; Kozlowski et al. 1991; Kramer 1985; Dünisch y Bauch 1994). En relación con lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo analizar la variabilidad espacial de la precipitación sobre el crecimiento inicial del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el Soconusco, Chiapas, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantaciones de cedro rojo están ubicadas en los Municipios de Suchiate (14° 41' N, 92° 09' O y altitud de 20 m); en Tapachula (14° 54' N, 92° 16' O, y altitud 170 m), y Tuxtla Chico (14° 56' N, 92° 10' O, y altitud 320 m), en la región del Soconusco, Chiapas, México. Éstas fueron establecidas en junio de 2010 y, las mediciones de altura del árbol (h; m) y diámetro a la altura del pecho (DAP; cm) se hicieron cada seis meses durante cuatro años. La densidad de plantación fue de 1,111 árboles ha<sup>-1</sup> espaciados 3.0 m × 3.0 m.

### Variables dasométricas

Las mediciones de altura total (H; m) y diámetro a la altura del pecho (DAP; cm) se realizaron en cuatro rodales por hectárea (2%), cuyas dimensiones fueron de 6.91 m de diámetro y espaciados 71 m uno del otro. Cada rodal consistió de 15 árboles por cuatro rodales que sumaron una muestra de n=60 árboles por sitio experimental. La altura inicial del cedro a partir de su establecimiento en las diferentes plantaciones (tres) fue de 0.35 m y después, esta altura (h; m), se midió cada seis meses con un altímetro tipo "Haga" desde la base del árbol hasta el ápice terminal. El diámetro inicial a la altura del pecho (DAP; cm) no se consideró para este propósito y su medición se inició después de seis meses de edad mediante la cinta diamétrica graduada en unidades de pi ( $\pi$ ). Para el análisis de crecimiento inicial del cedro, se utilizaron su altura promedio anual de los árboles (h; m) de los tres sitios de observación, así como el diámetro a la altura del pecho (DAP; cm). Sin embargo, el DAP contra la altura promedio (h) del árbol sólo fue para observar su tendencia.

### Variables de clima y suelo

A fin de correlacionar la influencia de la precipitación con el crecimiento inicial del árbol de cedro, se acopiaron los registros la precipitación mensual y anual acumulada (Pp; mm) de las estaciones climatológicas próximas a los sitios de observación (Tapachula, Tuxtla Chico y Suchiate) y, para cada uno de los años que se evaluó su crecimiento inicial. En relación con el suelo, éstos se analizaron sólo para tener referencia de sus niveles de

fertilidad y textura, pero, no se correlacionó con las variables dasométricas. El análisis del efecto de la variabilidad espacial de la lluvia sobre el crecimiento del cedro en cada sitio experimental, se hizo a partir de las relaciones bivariadas de valores de precipitación anual acumulada (Pp; mm) contra valores promedio anuales de altura del árbol (h; m), [h(m)=f(Pp; mm)]; y se les ajustó una función de regresión lineal simple. Asimismo, el crecimiento inicial del cedro en función del tiempo en cada sitio [h(m)=f(t; años)], se hizo con base en las relaciones bivariadas de valores promedio anual de altura del árbol (h; m) en función del tiempo (t, años). A partir de esta información se le ajustó la primera fase del modelo de crecimiento de Richards (Lieth et al., 1996). Después, a partir de la primera derivada de este modelo, se obtuvo la tasa de crecimiento anual del cedro rojo en cada sitio de observación. Los análisis estadísticos correspondientes se realizaron mediante los softwares NLREG V. 6.2 y CurveExpert V. 2.6.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra los valores promedio y totales de la precipitación durante el periodo de observación de cada una de las localidades estudiadas.

Con base en esta información, se construyó una relación bivariada (Cuadro 2) de la altura promedio de cuatro años, con la precipitación promedio de cuatro años [h(m)=f(Pp; mm)], misma que se sometió a un análisis de regresión lineal simple y generó la Ecuación 1.

$$\text{Altura (h; m)}=2.4766+0.0003 \text{ Pp (mm)} \quad (1)$$

$$R^2=0.9950$$

Esta función establece que el crecimiento del cedro rojo guarda estrecha relación con la magnitud de la precipitación y, durante este periodo de observación (cuatro años) predice que el árbol de cedro rojo creció 0.03 m por cada 100 mm de precipitación.

En relación con el crecimiento de los árboles tropicales en general; el suministro de agua es fundamental para todos sus procesos fisiológicos, entre ellos, mantener la presión de turgencia que promueve la diferenciación de las células del Xilema, la biosíntesis de carbohidratos y el transporte de minerales, entre otros (Larson 1969; Langenfeld-Heyser 1987; Kozlowski et al. 1991; Kramer 1985; Dünisch y Bauch 1994). De acuerdo con este resultado, muchas investigaciones reafirman la importancia del régimen pluviométrico sobre el creci-



**Cuadro 1.** Precipitación mensual (Pp; mm), promedio ( $\bar{y}$ ; mm) y total anual en los sitios experimentales.

Meses	Tapachula				$\bar{y}$	Tuxtla Chico				$\bar{y}$	Suchiate				$\bar{y}$
	Años					Años					Años				
	2011	2012	2013	2014		2011	2012	2013	2014		2011	2012	2013	2014	
Ene	0	0	31	4	9	0	0	35	0	9	0	0	0	8	2
Feb	43	86	2	0	33	4	0	1	0	1	10	0	0	0	2
Mar	246	92	24	101	116	84	2	0	100	46	18	15	0	0	8
Abr	247	369	568	250	359	205	19	127	68	105	21	43	81	48	48
May	621	392	463	365	460	280	196	226	437	285	189	240	189	148	192
Jun	786	679	592	776	708	399	279	271	559	377	227	173	234	142	194
Jul	519	771	672	441	601	544	153	230	73	250	353	202	109	117	195
Ago	757	814	751	611	733	379	277	377	461	373	276	120	151	117	166
Sep	910	781	574	884	787	283	280	454	277	323	151	415	237	310	278
Oct	874	631	790	676	743	695	408	465	472	510	435	205	133	80	213
Nov	146	33	30	54	66	1	5	222	43	68	0	90	66	76	58
Dic	19	1	11	0	8	0	0	0	2	1	0	5	0	11	4
Totales	5168	4649	4508	4162		2874	1618	2407	2491		1681	1508	1200	1057	

**Cuadro 2.** Relación bivariada de la precipitación y crecimiento del cedro rojo, ambos promedios de cuatro años de observación (2010-2014).

Sitios de observación	Pp promedio (mm)	Altura promedio del cedro rojo (h; m)
Tapachula	4621.75	3.96
Tuxtla Chico	2347.5	3.18
Suchiate	1361.5	2.94

miento diferencial de las especies maderables preciosas en el trópico. Por ejemplo, Dié *et al.* (2012) derivado de una investigación para estudiar indirectamente la importancia de la lluvia a través de la formación de anillos en árboles de Teca (*Tectona grandis* L.), confirmaron, la afinidad de la disponibilidad de agua con la dinámica de su crecimiento en Gagnoa y Séquié, India (Dié *et al.*, 2015). Otros autores como Costa *et al.* (2013) confirmaron lo mismo con el crecimiento de *C. odorata* en la misma región. Ambas investigaciones señalaron la estrecha relación de la magnitud variable de la precipitación con la variabilidad del crecimiento de los anillos en estas y otras especies maderables del trópico. En el mismo ámbito, el crecimiento del árbol de Teca en Séquiré, India; reveló correlación significativa con la precipitación mensual, lo anterior, porque las raíces superficiales propias del árbol de Teca son las que tienen el mayor acceso al agua producto de la precipitación (Enquist y Leffler, 2001; Nidavani y Mahalakshhmi, 2014). Estudios similares, Wagner *et al.* (2012 y 2014) concluyeron que, a la precipitación, se

le puede consignar como el principal inductor del crecimiento de los árboles en las regiones tropicales, sin restar importancia a la influencia directa de otros factores como el suelo. Otras investigaciones similares a través de modelos en especies como la Teca *Swietenia macrophylla* King y *C. alliodora*, se realizó mediante correlación de algunas variables de clima con su crecimiento para una mayor interpretación de este impacto; entre ellas, se analizó la correlación del crecimiento residual del *Cordia alliodora* con las variables temperatura, precipitación e índice de oscilación del sur (SOI), y se determinó que la más alta correlación fue con la precipitación ( $P < 0.001$ ), seguida por la temperatura ( $P < 0.002$ ) y después por el fenómeno SOI ( $p < 0.02$ ) (Pereyra *et al.*, 2013).

En el mismo ámbito, la influencia de la lluvia sobre el crecimiento del cedro, se basó en un estudio cronológico para medir el ancho de los anillos a través del crecimiento radial correlacionado con las fluctuaciones climáticas, y el impacto superior se debió a la magnitud y distribución de la lluvia (Pereyra *et al.*, 2013). Muchas investigaciones en este contexto, precisan de este factor del clima sobre el crecimiento del pino (*Pinus nigra*) en el Este de Alemania, ya que dicho factor, explicó una porción superior a 50% de la variabilidad de su crecimiento. Asimismo, el pino rojo de Norteamérica, observó alta correlación positiva de su crecimiento con la precipitación de verano (Ashiq y Anand, 2014). En otro ámbito, se realizó un estudio para observar los anillos de crecimiento

por un periodo de 70 años (1944-2013) en la especie *C. alliodora*, confirmándose que su crecimiento radial representado por la función matemática de Gompertz, estuvo influenciado positivamente por el monto de la precipitación anual y negativamente por la temperatura media anual (Briceño et al., 2016).

Con relación a los suelos donde crece el cedro rojo en los sitios objeto de este estudio. Tuxtla Chico y Suchiate mostraron características físicas y químicas similares, y mayor variabilidad respecto al sitio de Tapachula. Asimismo, en los sitios de Tapachula y Tuxtla Chico, sus suelos de acuerdo con su textura son de tipo franco arenoso y en Suchiate el suelo es franco arcillo arenoso. Por sus características, el sitio de Tapachula mantuvo un suelo con contenidos de materia orgánica (MO), nitrógeno y una proporción de agregados estables superior a los otros sitios.

### Modelo del crecimiento inicial del cedro como función del tiempo

El crecimiento inicial del cedro rojo durante sus primeros cuatro años de edad, adquirió con alto nivel de confianza, aceptable ajuste de la ecuación correspondiente (Ecuación 2) a la primera fase del modelo de crecimiento sigmoideal de Richards (Lieth et al., 1996). Este modelo establece que el crecimiento del cedro rojo en sus primeros cuatro años de edad es de tipo exponencial, mis-

mo comportamiento que experimentan todos los seres vivos durante su crecimiento inicial.

$$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t) \quad (2)$$

Con base en este resultado, en el Cuadro 3 se presentan los valores observados y ajustados de altura promedio anual del cedro rojo durante su crecimiento inicial (cuatro años). En este Cuadro se observa que ambos valores de altura del árbol no presentan alta diferencia entre las series bivariadas de altura en función del tiempo, lo cual significa que el modelo propuesto estima las alturas (h;m) con alto nivel de confianza y puede utilizarse para predecir el crecimiento inicial del cedro en otros escenarios donde predominen situaciones similares; sin embargo, cabe la posibilidad de que si éste se extiende más allá del tiempo estudiado (cuatro años) presente errores. Entonces, para un periodo mayor, debe validarse a fin de observar cuando esta función deja de ser exponencial e inicia su fase de crecimiento constante. Los valores ajustados, soportados mediante el análisis de varianza de cada una de las ecuaciones referenciadas a los sitios experimentales, revelaron diferencia altamente significativa, así como para cada uno de los coeficientes de las Ecuaciones presentes en el Cuadro 4.

No obstante, la interpretación matemática de la función propuesta, ésta mantuvo excelente aproximación

**Cuadro 3.** Valores observados de la altura promedio anual (h, m) y valores ajustados en arboles de *Cedrela odorata* como función de crecimiento inicial en función del tiempo (t; años).

Tiempo (años)	Tapachula Observados h(m)	Tapachula Ajustados h(m)	Tuxtla Chico Observados h(m)	Tuxtla Chico Ajustados h(m)	Suchiate Observados h(m)	Suchiate Ajustados h(m)
0.4	0.35	0.5975	0.35	0.3882	0.35	0.3891
1	1.2	1.1473	1.02	0.8760	0.82	0.8496
2	2.87	2.6414	2.03	2.1493	2.11	2.0293
3	5.34	5.3615	4.34	4.3573	4.01	4.0298
4	10.28	10.3138	8.2	8.1865	7.41	7.4219

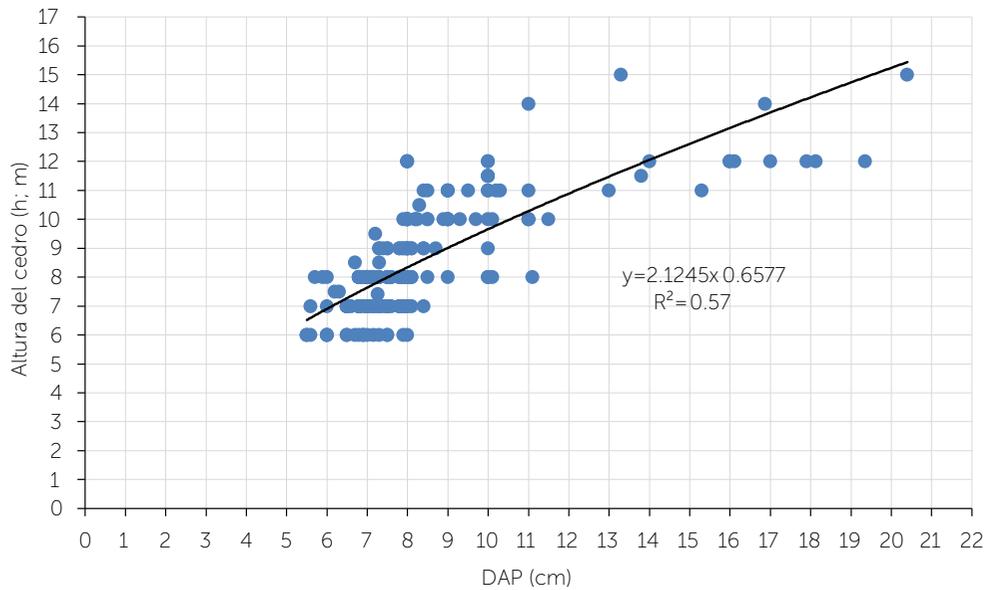
**Cuadro 4.** Ecuaciones de ajuste para estimar los valores de altura de *Cedrela odorata* durante su crecimiento inicial (2010-2014) en tres sitios del Soconusco, Chiapas, México.

Sitio	Ecuación	Parámetros del modelo		P 0.05
		$\beta_0$	$\beta_1$	
Tapachula	$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t)$	0.326683	0.598981	**
Tuxtla Chico	$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t)$	0.141820	0.550545	**
Suchiate	$h(m) = \beta_0 - 1 + \exp(\beta_1 * t)$	0.153916	0.528098	**

con el comportamiento biológico del crecimiento inicial del cedro rojo en función del tiempo. Lo anterior confirmó la naturaleza intrínseca del crecimiento sigmoideal para todos los organismos, los cuales experimentan inicialmente un crecimiento exponencial seguido de un crecimiento constante, y por último, un crecimiento desacelerado asintótico para concluir con su ciclo biológico (Lieth *et al.*, 1996).

**Tasas de crecimiento promedio anual**

El Cuadro 5 presenta las tasas de crecimiento promedio inicial anual del cedro rojo como función del tiempo y de la magnitud variable de la precipitación en cada uno de los sitios de observación. Su crecimiento inicial fue descrito mediante la Ecuación 1, donde a partir de su primera derivada fue posible estimar las tasas de su crecimiento inicial  $[dh/dt = \beta_1 * \exp(\beta_1 * t)]$ . Estos valores mostraron un cambio acelerado de crecimiento inicial de acuerdo con su naturaleza inducida por las magnitudes variables de la precipitación sobre este fenómeno, el cual fue descrito por una función tipo exponencial como corresponde al crecimiento inicial de todos los organismos en la naturaleza. Los resultados de las tasas de crecimiento variable del cedro rojo en la región de estudio, obedecieron a las cantidades de precipitación captadas en cada sitio observado. Las tasas de crecimiento fueron  $2.58 \text{ m año}^{-1}$ ,  $2.05 \text{ m año}^{-1}$  y  $1.86 \text{ m año}^{-1}$  durante este periodo inicial de su crecimiento en los sitios de Tapachula, Tuxtla Chico y Suchiate respectivamente. Estos valores coinciden con resultados de investigaciones realizadas con este propósito, donde se afirma que el cedro rojo en condiciones óptimas de humedad, es una especie de crecimiento rápido en términos de altura, el cual puede alcanzar tasas de crecimiento que oscilan entre 2.3 m a 3.0 m por año (Lamb, 1968; Pennington, 2006).



**Figura 1.** Relación DAP vs h del árbol de *Cedrela odorata* L. al cuarto año de edad en el Soconusco, Chiapas, México.

**Relación DAP (cm) vs h (m) del árbol de cedro a los cuatro años de edad**

Con relación a los valores del diámetro a la altura del pecho (DAP; cm) del cedro rojo a los cuatro años de edad, no se realizó un análisis detallado con respecto a su crecimiento inicial y, sólo se construyó una gráfica de DAP vs h (Figura 1). Lo anterior, a fin de observar su comportamiento al cuarto año de crecimiento inicial, obteniendo una ecuación de crecimiento potencial de ajuste del modelo, cuya función describe aproximadamente la tendencia observada de este fenómeno, cuándo la relación de variables en la práctica, los árboles alcanzan su estado de corte y aprovechamiento. El coeficiente de determinación fue bajo ( $R^2 = 0.57$ ), debido a la alta variabilidad del crecimiento de los árboles a esta edad, pero, para propósitos de esta investigación fue aceptable. Estudios sobre dendrocronología en las regiones tropicales y subtropicales han demostrado de manera indirecta, la influencia de la precipitación en las diferentes etapas del crecimiento radial en árboles de cedro. Lo anterior

**Cuadro 5.** Tasas de crecimiento inicial ( $\Delta h/\Delta t$ ; m/año) del cedro rojo en función del tiempo e influenciadas por las magnitudes variables de precipitación en cada sitio de observación.

t (años)	Tapachula		Tuxtla Chico		Suchiate	
	h (m)	( $\Delta h/\Delta t$ : m/año) <sup>≠</sup>	h (m)	( $\Delta h/\Delta t$ : m/año)	h (m)	( $\Delta h/\Delta t$ : m/año)
0.4	0.5975	0.1621	0.3882	0.1357	0.3891	0.1242
1	1.1473	0.3292	0.8760	0.2686	0.8496	0.2432
2	2.6414	0.8943	2.1493	0.7010	2.0293	0.6230
3	5.3615	1.6279	4.3573	1.2156	4.0298	1.0564
4	10.3138	2.9633	8.1865	2.1082	7.4219	1.7914

<sup>≠</sup> tasa de crecimiento en metros por año.

fue a través de un análisis para determinar el potencial del cedro en estudios dendrocronológicos, mismos que abarcaron un periodo de 215 años y, se detectó la estrecha relación que guardan los anillos de estos árboles con los registros de la precipitación durante este periodo (Pereyra et al., 2014). En relación con este mismo tipo de estudios, Brienen et al. (2009) encontraron que el crecimiento de los árboles de cedro obedeció más al incremento periódico de la disponibilidad de luz en los bosques húmedos, pero, en el largo plazo, la magnitud variable de la distribución de la lluvia fue el factor principal para estimular el crecimiento de estos árboles en los bosques secos.

## CONCLUSIONES

Existe un impacto de la magnitud espacial de la precipitación sobre el crecimiento variable inicial del cedro rojo en la zona de estudio. Se determinó como aceptable el ajuste de la primera fase del modelo sigmoidal de Richards que, predice con alto nivel de confianza el crecimiento inicial del cedro rojo para las condiciones del Soconusco, Chiapas, México.

## LITERATURA CITADA

- Ashiq MW, Anand M. 2016. Spatial and temporal variability in dendroclimatic growth response of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) to climate in northern Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management* 372: 109-119
- Austin, A.T., Vitousek, P.M., 1998. Nutrient dynamics on a precipitation gradient in Hawaii. *Oecologia* 113, 519-529.
- Brienen RJW, Lebrija-Trejos E, van Breugel M, Pérez-García EA, Bongers F, Meave JA, Martínez-Ramos MM. 2009. The potential of tree rings for the study of forest succession in southern Mexico. *Biotropica*, 41, 186-195.
- Brienen, R. J. W., Zuidema, P. A., Martínez, R. M. 2010. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. *Oecologia*.163: 485-496
- Condit, R., 1998. Ecological implications of changes in drought patterns: shifts in forest composition in Panama. *Climatic Change* 39, 413-427.
- Costa M S, De Vasconcellos T J, Barros C F & Callado C H. 2013. Does growth rhythm of a widespread species change in distinct growth sites? *IAWA J.* 34: 498-509.
- Coyle, D.R., Coleman, M.D., 2005. Forest production responses to irrigation and fertilization are not explained by shifts in allocation. *Forest Ecology and Management* 208, 137-152.
- Craven, D., Braden, D., Ashton, M.S., Berlyn, G.P., Wishnie, M.H., Dent, D.H. 2007. Between and within-site comparisons of structural and physiological characteristics and foliar nutrient content of 14 tree species at a wet, fertile site and a dry, infertile site in Panama. *Forest Ecology and Management* 238, 335- 346.
- Díaz, J.D.G.; Rivas, A.I.M.; Rueda, J.Á.T. 2007. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques* (2): 29-49.
- Dié A, Kitin P, Kouamé FN, Van den Bulcke J, Van Acker J & Beeckman H. 2012. Fluctuations of cambial activity in relation to precipitation result in annual rings and intra-annual growth zones of xylem and phloem in teak (*Tectona grandis*) in Ivory Coast. *Ann. Bot.* 110: 861-873.
- Dié A., De Ridder M., Cherubini P., Kouamé F. N., Verhenyden A., Kitin P., Toirambe B. B. Van den Bulcke J, Van Acker J. Beeckman H. 2015. Tree rings show a different climatic response in a managed and a non-managed plantation of teak (*Tectona grandis*) in West Africa. *IAWA.* 36 (4): 409-427.
- Dünisch, O. & J. Bauch. 1994. Influence of soil substrate and drought on wood formation of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under controlled conditions. *Holzforschung* 48: 447-457.
- Elemer Briceño-Elizondo, Dagoberto Arias-Aguilar, Mario Guevara-Bonilla, Edwin Esquivel-Segura, Marcela Arguedas-Gamboa, Rodolfo Canessa-Mora. 2016. Effects of High Intensity Tillage Applications to Improve Productivity on Established Teak (*Tectona grandis*) Plantations in Specific Site Conditions in Northern Costa Rica. *Journal of Agriculture and Life Sciences* ISSN 2375-4214 (Print), 2375-4222 (Online) Vol. 3, No. 2
- Engelbrecht, B. M. J., L. S. Comita, R. Condit, T. A. Kursar, M. T. Tyree, B. L. Turner, and S. P. Hubbell. 2007. Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature* 447: 80- 83.
- Enquist, B.J., Leffler, A. J. 2001. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dryforest trees: individualistic responses to climatic variation. *J. Trop. Ecol.* 17: 41-60.
- Kozłowski, T.I., P. J. Kramer., S.G. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, San Diego, New York. 657 pp.
- Kramer, P. J. 1985. Water relations of plants. Academic Press, Orlando. 489 pp.
- Lamb, A.F.A. 1968. Fast growing timber trees of the lowland tropics. No. 2 *Cedrela odorata*. Commonwealth Forestry Institute, Dept. of Forestry, University of Oxford. pp. 46.
- Langenfeld-Heyser, R. 1987. Distribution of leaf assimilates in the stem of *Picea abies* L. *Trees* 1: 102-109.
- Larson, P.R. 1969. Wood formation and the concept of wood quality. Yale University, New Haven. Bull. 74.
- Lieth, J.H.; Fisher, P.; Heins, R. 1995. A Three-phase Model for the Analysis of Sigmoid Patterns of Growth. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science.* 30. 10.17660/ActaHortic.1996.417.13.
- Milthorpe, F. L. y Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 202 p
- Mulkey, S.S., Wright, S.J. 1996. Influence of seasonal drought on the carbon balance of tropical forest plants. *In:* Mulkey, S.S., Chazdon, R.L., Smith, A.P. (Eds.), *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman & Hall, New York, pp. 187-216.
- Nidavani RB & Mahalakshmi AM. 2014. Teak (*Tectona grandis* Linn.): A renowned timber plant with potential medicinal values. *Int. J. Pharm. & Pharm. Sci.* 6: 48-54.
- Pennington, T.D. 2006. Comments on draft proposal to include *Cedrela odorata* in Appendix II, provided as Annex to email from Noel Mc Gough (UK CITES Scientific Authority) to Harriet Gillett (UNEP-WCMC).

- Pereyra E M J; Inga G G. J; Santos M M; Rogríguez A R. 2013. Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Trees* 17: 244-250.
- Pereyra E. M. J., Inga G. G. J., Santos M. M., R. A. R. 2014. Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 62 (2): 783-793.
- Piotto, D., Viquez, E., Montagnini, F. & Kanninen, M. 2004. Pure and mixed forest plantations with native species of the dry tropics of Costa Rica: a comparison of growth and productivity. *Forest Ecology and Management*, 190: 359-372.
- Rozendaal, D., Brienen R., Solis G. C. y Zuidema, P. 2010. Tropical tree rings reveal preferential survival of fast-growing juveniles and increased juvenile growth rates over time. *New Phytologist* 185: 759–769.
- Rozendaal, D.M.; Zuidema, P.A. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. *Trees* (1): 3-16.
- Santiago, L.S., Kitajima, K., Wright, S.J., Mulkey, S.S. 2004. Coordinated changes in photosynthesis, water relations and leaf nutritional traits of canopy trees along a precipitation gradient in lowland tropical forest. *Oecologia* 139, 495–502.
- Santiago, L.S., Mulkey, S.S. 2005. Leaf productivity along a precipitation gradient in lowland Panama: patterns from leaf to ecosystem. *Trees* 19, 349–356.
- Wagner C, Schram L, McMullin R, Hunt S, Anand M. 2014. Lichen communities in two old-growth pine (*Pinus*) forests. *The Lichenologist* 46(5): 697-709
- Wagner F, Rossi V, Aubry-Kientz M. 2014. Pan-tropical analysis of climate effects on seasonal tree growth. *PLOS ONE* 9:e92337.
- Wagner F, Rossi V, Stahl C. 2012. Water availability is the main climate driver of neotropical tree growth. *PLOS ONE* 7:e34074.
- Webb, L. J., Tracey, G., and Williams, W. T. 1984. An ecological framework of Australian rainforest. 11. Floristic classification. *Australian Journal of Ecology* 9, 169-98.



# Diagnosis about rhizospheric bacteria associated with the cultivation of sugarcane (*Saccharum* spp.)

## Diagnóstico sobre las bacterias rizosféricas asociadas al cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.)

Hernández-Gómez, Leandro M.<sup>1</sup>; Salgado-García, Sergio<sup>2\*</sup>; Gómez-Leyva, Juan F.<sup>3</sup>; Córdova-Sánchez, Samuel<sup>1</sup>; Ramírez-May, Ana G.<sup>1</sup>; Aranda-Ibañez, Emilio M.<sup>2</sup>; Ortiz-García, Carlos F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Popular de la Chontalpa, División de Académica de Ciencias Básicas e Ingeniería. CA-QVyDS. Carretera Cárdenas Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa, H. Cárdenas, Tabasco. México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, km 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N, H. Cárdenas, Tabasco. México Grupo MASCANA. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Tlajomulco TecNM, km 10 carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. México.

\*Autor para correspondencia: salgados@colpos.mx

### ABSTRACT

**Objective:** characterize the presence of rhizobacteria associated with three varieties of sugar cane (*Saccharum* spp.) 9640 ATMEX, MEX 69-290 and the MEX SFC 9546, cultivated in the area of supplying the Pdte. Benito Juárez sugar mills (PBJ).

**Desing/methodology/approach:** three sites were selected for sampling by variety where soil samples were collected from 0 to 30 cm depth. For the isolation of the bacteria are followed by the serial dilution technique by viable.

**Results:** the rhizosphere of the variety ATMEX-9640 presented the greatest number of CFU g<sup>-1</sup>. Ten of the 26 strains demonstrated capabilities of biological nitrogen fixation (BNF) or solubization of phosphorus (SP). Eight of them carried FBN already that degrade the malic acid in the NFb. Five are considered within the group of phosphorus solubilizing bacteria (BSP), because they solubilize the calcium phosphate of Pikovskaya medium.

**Limitations on study/implications:** it was not possible to determine the production of AIA in the strains that grew in the Soya Tripticasa Broth medium.

**Findings/conclusions:** the molecular identification revealed that these bacteria belong to the group of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) belonging *Microbacterium*, *Bacillus* y *Paenibacillus* genera present in the soil Cambisol Fluvisol Flúvic Éutric of the PBJ sugar mills.

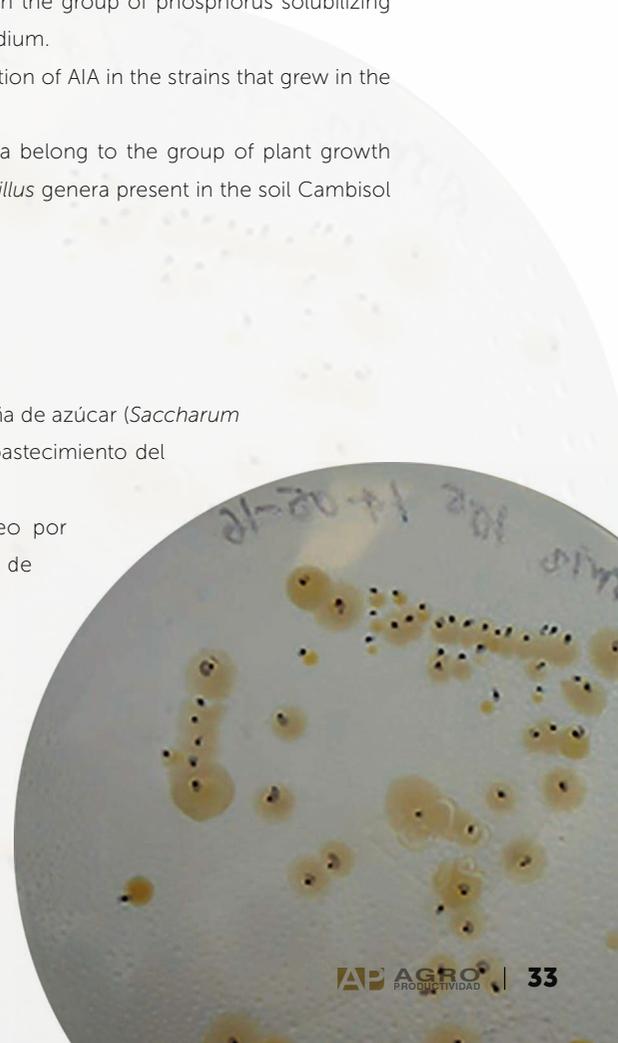
**Keywords:** BNF, Phosphorus Solubility, rhizospheric, PGRR.

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar la presencia de rizobacterias asociadas a tres cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) ATMEX 9640, MEX 69-290 y MEX SFC 9546, cultivados en la zona de abastecimiento del Ingenio Pdte. Benito Juárez (IPBJ).

**Diseño/ Metodología/Aproximación:** se seleccionaron tres sitios de muestreo por cultivar donde se colectaron muestras de suelo 0-30 cm. Para el aislamiento de bacterias se siguió la técnica de dilución seriada por cuenta viable.

**Resultados:** la rizósfera del cultivar ATMEX 9640 presento el mayor número de UFC g<sup>-1</sup>. 10 de las 26 cepas manifestaron capacidades de fijación biológica de nitrógeno (FBN) o solubilización de fósforo (SP). Ocho de ellas llevaron a cabo FBN ya que degradan el ácido málico en el medio NFb. Cinco se consideran



dentro del grupo de bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF), ya que solubiliza el fosfato de calcio del medio Pikovskaya.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** no fue posible determinar la producción del AIA en las cepas que crecieron en el medio Caldo Tripticasa de Soya.

**Hallazgos/conclusiones:** la identificación molecular reveló que estas bacterias corresponden al grupo de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal del género *Microbacterium*, *Bacillus* y *Paenibacillus* sp. presentes en el suelo Cambisol Fluvico Étrico del IPBJ.

**Palabras claves:** FBN, Solubización de Fosforo, rizosféricas, PGRR.

## INTRODUCCIÓN

En Tabasco, México, el Ingenio Pdte. Benito Juárez (IPBJ) es el de mayor importancia. Durante la cosecha 2017/18 registró 25 000 ha, con un rendimiento promedio de 63 t ha<sup>-1</sup> (CAÑEROS, 2019). Si bien es cierto que la fertilización nitrogenada es una práctica que permite incrementar el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar de forma rápida y segura (Salgado *et al.*, 2003; Salgado *et al.*, 2011), no es tan factible emplear esta alternativa debido a los costos elevados y falta de crédito para adquirir todo el fertilizante, lo cual favorece los bajos rendimientos observados en el IPBJ en comparación con la media nacional de 68 t ha<sup>-1</sup>, lo que indica que se está perdiendo potencial de producción.

A nivel internacional existe evidencia del potencial de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, PGPR por sus siglas en inglés. Las PGPR favorecen a las plantas a través de diferentes mecanismos que se pueden resumir en la fijación biológica del nitrógeno (FBN), síntesis de fitohormonas, tales como las auxinas fundamentalmente y el ácido indolacético (AIA), que promueven el crecimiento de la raíz y proliferación de pelos radicales, lo que mejora la absorción de agua, nutrientes, solubilización de fosfatos di y tricálcicos y otros minerales, además de inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos, producir sideróforos, que son iniciadores de resistencia sistémica inducida, entre otros principales (Salazar, 2011; Córdova-Gamas *et al.*, 2016; Loiret *et al.*, 2004; Padron *et al.*, 2012; Taulé *et al.*, 2014; Torriente, 2010).

En México se han ofertado algunas alternativas de biofertilizantes como los combos de HMA del género *Glomus* y las bacterias fijadoras de nitrógeno como *Azospirillum* brasilense sin que exista evidencia científica de efecto favorable en el rendimiento del cultivo de caña de azúcar (Taulé *et al.*, 2014; Córdova-Gamas *et al.*, 2016). Aunado a lo anterior tampoco se han realizado los estudios que muestren la diversidad de microorganismos benéficos asociados a este cultivo en las diversas regiones edafoclimáticas, que permitan sentar las bases para una industria de biofertilizantes por zonas cañeras de forma segura (Morgado *et al.*, 2015). Por ello, surgió la necesidad de generar información sobre la presencia de bacterias rizosféricas asociadas a *Saccharum* spp., que favorezcan el crecimiento vegetal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de suelo rizosférico se obtuvieron de cultivos de caña de azúcar en ciclo plantilla en la Micro Región de Atención Prioritaria del Campus Tabasco ubicado en el poblado C-31 que abastece de caña de azúcar al IPBJ. El suelo es un Cambisol Étrico Arcílico de mediana fertilidad (Salgado *et al.*, 2011). Las muestras de suelo se recolectaron de los cultivos ATMEX 9640, MEX 69-290 y MEXSFC 9546, con tres repeticiones. Se eliminó la maleza cercana a la zona de la cepa (área de raíces), posteriormente con una pala recta desinfectada se extrajo una muestra de suelo con raíces, de cinco centímetros de grosor y 30 cm de profundidad. Cada muestra se colocó en bolsas de nylon previamente identificadas. Las herramientas fueron limpiadas y desinfectadas en entre cada sitio de muestreo. Al terminar de tomar la muestra de cada sitio, se introdujeron en una nevera y se preservaron a una temperatura de 4 °C hasta su traslado al laboratorio de Fitopatología del Colegio de Postgraduados - Campus Tabasco.

**Aislamiento de bacterias.** Se separó el suelo rizosférico de las raíces del cultivo de caña de azúcar. Para el aislamiento de las bacterias se siguió la técnica de dilución seriada por cuenta viable (Winn *et al.*, 2006). Para ello, se pesó 10 g de suelo, se le adicionó 90 mL de agua destilada y se agitó por 30 min. Se dejaron sedimentar las partículas de suelo y con la suspensión se prepararon diluciones seriadas desde 10<sup>1</sup> a 10<sup>7</sup>. Se hicieron tres réplicas en placa, sólo de las diluciones 10<sup>3</sup>, 10<sup>4</sup> y 10<sup>5</sup> en agar nutritivo y se incubaron a 30 °C (temperatura del lugar de muestreo) por 48 h. En total se prepararon 81 cajas de petri (vidrio) debidamente esterilizadas.

### Caracterización de los aislados

Diversidad de bacterias rizosféricas: a las 48 h de incubación, se seleccionaron las colonias con características visibles y diferentes de cada muestra, se aislaron y se conservaron en agar nutritivo. A través de la Tinción de Gram se clasificaron a las bacterias con respecto a la composición y grosor de la pared bacteriana (López et al., 2014). Unidades formadoras de colonia. Se realizó el conteo de colonias por cada caja de petri, el resultado se obtuvo multiplicando el número de colonias por placa por el inverso de la dilución de la muestra. Las UFC/g<sup>-1</sup> se reportan por gramo de suelo rizosférico.

Determinación de FBN: una vez obtenidos los cultivos puros, se prosiguió a obtener una cepa y se sembró en un caldo NFb que carecía de nitrógeno. Posteriormente, se incubaron durante 14 d a 30 °C lo que permitió determinar en forma cualitativa la capacidad fijadora de N. Originalmente, este caldo es de color amarillo, una vez que el microorganismo es capaz de crecer en él, cambia a azul, debido a la oxidación del malato, indicando que el microorganismo es capaz de fijar el nitrógeno.

Solubilidad de fósforo inorgánico: de cada una de las cepas ya aisladas e identificadas se llevó a cabo una siembra en cajas petri que contenían el medio de cultivo Pikovskaya (Patiño y Sánchez, 2012), y se incubaron durante cinco días, posteriormente se aislaron las cepas que formaron un halo transparente como indicador de capacidad de solubilizar fósforo.

Determinación de compuestos indólicos: para la detección y cuantificación de ácido indolacético según la reacción colorimétrica de Salkowski, cada cepa fue cultivada en 5 mL de caldo nutritivo por 24 h, de donde se tomaron 0.6 mL para inocularlos en 5 mL de caldo Tripticasa de Soya suplementado con triptófano (1 g por cada 100 mL). Después se incubaron a 30 °C, por 72 h, en agitación constante a 150 rpm. Finalmente, las cepas fueron centrifugadas a 3000 rpm, durante 5 min. A continuación 0.4 mL de cada uno de los sobrenadantes se depositaron en tubos, se agregaron 1.6 mL del reactivo de Salkowski modificado en una relación 1:4, se mezclaron y se dejaron en reposo durante 30 min en oscuridad. La positividad a la producción de ácido indolacético estuvo dada por una coloración roja (Léon y Rojas, 2015).

### Caracterización Molecular

Se realizó en el laboratorio de Biología Molecular del Instituto Tecnológico de Tlajomulco. Para la extracción

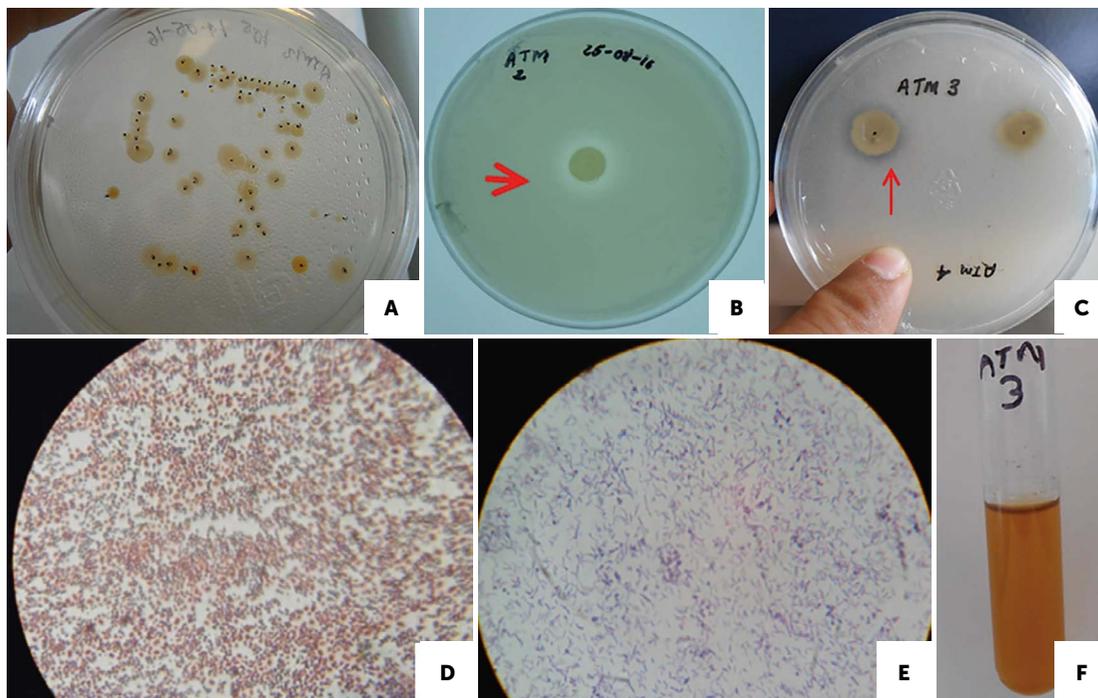
de DNA, se inocularon las bacterias en 3 mL de caldo KB y se incubaron a 28 °C en agitación durante 24 h. Se centrifugaron 3 mL del cultivo a 6000 rpm por 5 min y se resuspendió el paquete celular en 200  $\mu$ l de buffer TE 1X (Tris-HCl 10 mM y EDTA 1 mM pH 8.0). Se agregaron 300  $\mu$ l de buffer TE 1X con SDS 1% (p/v) y 1.5  $\mu$ l de proteinasa K (20 mg mL<sup>-1</sup>), se mezclaron e incubaron a 65 °C por una hora. Luego se adicionaron 84  $\mu$ l de NaCl 5 M más 60  $\mu$ l de solución CTAB (10% p/v) disuelto en NaCl 0.7 M a 65 °C durante 20 min. Se adicionó un volumen de fenol y se centrifugó a 14000 rpm por 5 min. Se transfirió el sobrenadante en un tubo nuevo. Se agregó un volumen de cloroformo, se mezcló y se centrifugó a 14000 rpm durante cinco minutos. Se tomó la fase acuosa y se adicionó un volumen de isopropanol frío e incubó durante 5 min a -20 °C. Luego se centrifugó a 14000 rpm durante 5 min y se eliminó el sobrenadante. Se adicionó un volumen de etanol al 70%, se centrifugó 14000 rpm por 2 min. Se eliminó el sobrenadante y se dejó secar la pastilla de DNA a temperatura ambiente. Finalmente, se resuspendió la pastilla en 100  $\mu$ l de H<sub>2</sub>O inyectable (Dineen et al., 2010).

La integridad del DNA se evaluó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% en SB (Borato de sodio 10 mM). La cuantificación de DNA se realizó mediante lectura de la absorbancia a 260 nm. Se amplificó una región del 16S del RNAr mediante PCR empleando los oligos 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') y 1492R (5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3') (Huws, 2007). Una vez obtenido los productos de PCR, fueron purificados y secuenciados en ambos sentidos en la Unidad de Síntesis y Secuenciación del Instituto de Biotecnología de la UNAM.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diversidad de bacterias rizosféricas

Se encontró una diversidad de 26 cepas de bacterias rizosféricas (Figura 1A). Las poblaciones de bacterias obtenidas de los tres cultivares de caña de azúcar generaron una abundancia total de 4 479 colonias. La diversidad de bacterias fue de 12 cepas para el cultivar MEX 69-290, nueve en el ATMEX 9640 y 10 en el MEX SFC 9546. Se observa que las cepas 1, 11 y 12 fueron muy abundantes. Las características descritas corresponden a las observadas macroscópicamente en el medio sólido. El cultivar ATMEX 9640 presentó la abundancia mayor con 1 749 cepas en las tres repeticiones. Lo que indica alta población respecto a los otros dos cultivares.



**Figura 1.** Características de las cepas rizosféricas asociadas al cultivo de *Saccharum* spp. a) Diversidad, b y c) las bacterias rizosféricas que solubilizan fósforo, d) Cocos Gram -, e) *B. Bacilos largos Gram +*, y f) *B. pumilus* creciendo en el medio CTS.

**Unidades formadoras de colonias**

El cultivar ATMEX 9640 presento un número mayor de UFC/g<sup>-1</sup> en comparación con el resto de los cultivares (Cuadro 1), mientras que los cultivares MEXSFC 9546 y MEX 69-290, mostraron una reducción en UFC/g<sup>-1</sup> respecto a la dilución, encontrándose mayor reducción en MEXSFC 9546. La presencia de bacterias supera los valores de 2.5×10<sup>4</sup> UFC/g<sup>-1</sup> reportadas para un suelo ferralítico rojo de Cuba (Pérez y Casas, 2005) y 140×10<sup>3</sup> UFC/g<sup>-1</sup> en la rizósfera del pasto *Leersia hexandra* (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2016). Esto expresa que las bacterias toleran estrés a altas temperaturas ocasionas por las quemas de los cañaverales.

**Bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN)**

De las 31 cepas de bacterias rizosféricas asociadas a los tres cultivares de caña de azúcar, únicamente se obtuvieron seis colonias que dieron positivo en el medio Nfb para fijación de N (Cuadro 2), donde se observó un vire de color donde el medio originalmente era amarillo y al llevarse a cabo la oxidación del malato presente en el medio este cambió a azul (Figura 2), indicando la capacidad del microorganismo de fijar N y formándose una película sub superficial en el tubo. El cultivar MEXSFC 9546, presento mayor número de cepas en comparación del resto de los cultivares, siendo

consistente con el medio de BFN. Estas cepas difieren de las reportadas previamente para México por otros autores, lo que indica gran diversidad (Morgado *et al.*, 2015) y la ausencia de la bacteria *Azospirillum brasilense* en este suelo de origen aluvial.

Al Comparar las cepas A y B con C (Figura 2), se observó que el color azul es más intenso en A y B en comparación a la cepa C. Lo anterior, indica dos posibles causas, la primera es que la cantidad de microorganismos puede ser considerablemente menor en la cepa C, la segunda es que la oxidación de malato presente en el medio la lleva a cabo con mayor eficacia las bacterias de las cepas A y B obtenidas en suelos rizosféricos cultivados con el cultivar MEX 69-290.

**Bacterias solubilizadoras de fósforo inorgánico (BSP).** Se obtuvieron cinco cepas de los tres cultivares

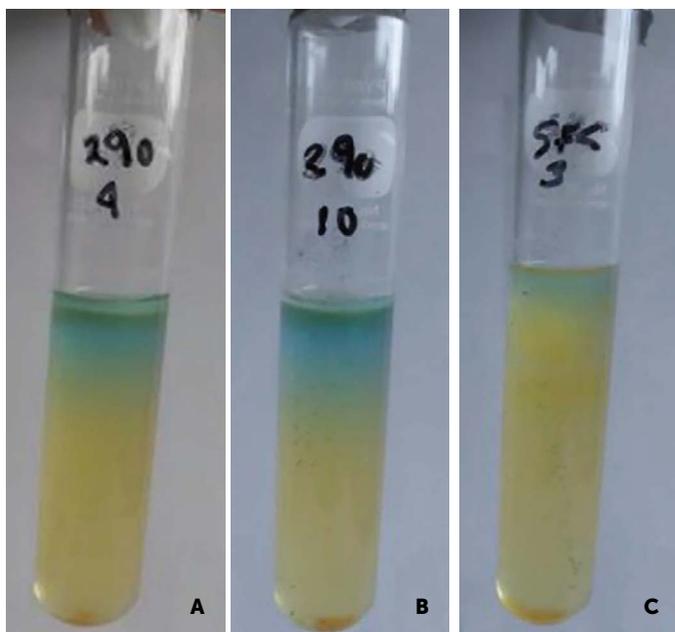
**Cuadro 1.** Cantidad de bacterias aisladas, variedades de *Saccharum* spp., y dilución.

Cultivar/Dilución	10 <sup>3</sup> UFC/g <sup>-1</sup>	10 <sup>4</sup> UFC/g <sup>-1</sup>	10 <sup>5</sup> UFC/g <sup>-1</sup>	Promedio UFC/g <sup>-1</sup>
ATMEX 9640	199	198	186	194.3±7.2
MEX 69-290	167	148	129	148.0±19
MEXSFC 9546	198	158	110	155.3±44

**Cuadro 2.** Características de las bacterias aisladas de la rizosfera de *Saccharum* spp.

Variedad	No. cepa	Bacteria 16S rRNA	Gram	Forma	FBN	ISP	CTS	AIA
ATEMEX 96-40	2	<i>Microbacterium trichothecenolyticum</i>	+	Bacilos medianos	×	1.3	×	×
	3	<i>Bacillus pumilus</i>	+	Bacilos medianos	✓	1.6	✓	×
	7	ND†	+	Bacilos medianos	✓	×	×	×
MEX 69-290	3	ND	+	Cocos	×	1.4	×	×
	4	ND	+	Bacilus pequeños	✓	×	×	×
	9	<i>Bacillus</i> sp.	+	Bacilus largos	✓	×	×	×
	10	<i>Paenibacillus</i> sp.	+	Bacilus medianos	✓	×	×	×
MEXSFC 9546	3	<i>Bacillus pumilus</i>	+	Bacilus medianos	✓	1.5	✓	×
	4	<i>Bacillus stratosphericus</i>	+	Bacilus medianos	✓	1.5	×	×
	7	ND	-	Cocos	✓	×	×	×

FBN: Fijación Biológica de nitrógeno, ISP: índice de solubilización de fosfatos, AIA: producción de auxina, CTS: Crecimiento en medio Caldo Tripticasa de Soya. ND†=No Definida, ×=No realiza función, ✓=Realiza la función.



**Figura 2.** Bacterias que dieron positivo como fijadoras de nitrógeno: A) No. 4 ND del cultivar MEX 69-290, B) *Paenibacillus* sp. en el cultivar MEX 69-290 y C) *B. pumilus* en el cultivar MEXSFC 9546.

con la capacidad de solubilizar fósforo inorgánico presente en el medio de cultivo Pikovskaya en forma de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (Cuadro 2). En la Figura 1A y B, se presentan detalles de los halos observados. Los índices de solubilidad de fósforo reflejados en Cuadro 2, son considerablemente bajos en comparación con los valores reportados por Corrales et al. (2014), ellos mencionan que *B. pumilus* en el medio de cultivo Pikovskaya presenta un ISF de 8,5 a las 48 h. Por otro lado, Morgado et al. (2015) reportaron que *Stenotrophomonas maltophilia* CA158 y 79 presentaron los valores más altos de solubilización de fósforo con 222.43 y 216.38  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , respectivamente.

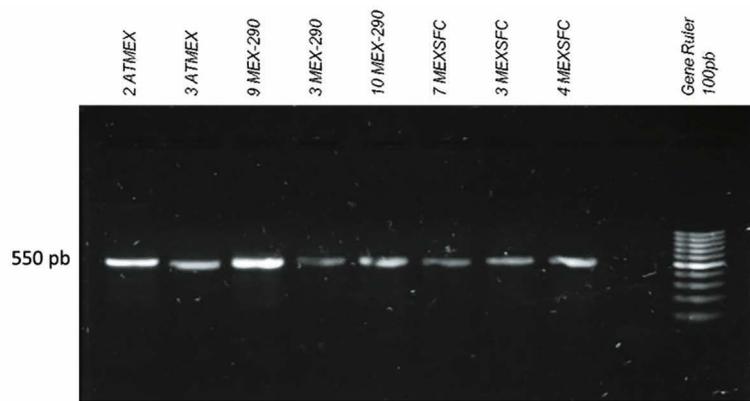
**Determinación de compuestos indólicos.** Las colonias que dieron positivas en los tubos y lograron crecer en el medio Caldo Tripticasa de Soya son las que se indican en el Cuadro 2. Aunque dichas colonias únicamente lograron crecer en el medio, no manifestaron producción de AIA mediante la técnica colorimétrica de Salkowski (Figura 1F). Contrariamente, Morgado et al. (2015) reportaron que la producción más alta de indoles totales la presentaron *Ochrobactrum anthropi* N208 y IMP311 y *Pseudomonas luteola* IMPCA244 con 116.69, 115.70 y 117.34  $\mu\text{g mL}^{-1}$  respectivamente.

En el gel de agarosa se observa un fragmento de 550 pb en ocho cepas que se sometieron a la caracterización molecular (Figura 3), el análisis Blastn de la secuencia con identidad mayor al 97% permitió clasificar cuatro a nivel de especie, dos a nivel de género y cuatro no se lograron identificar (Cuadro 2). Ocho cepas presentaron la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y cinco de ellas la capacidad de solubilizar fosfatos inorgánicos. Es necesario resaltar que varias de estas bacterias están reportadas ya por otros autores como microorganismos que propician condiciones favorables a las plantas, que tienen la capacidad de SP o FBN y producir AIA (Tejera et al., 2011).

El cultivar ATEMEX 9640 presentó dos especies de BSP, lo que se explica porque su selección se llevó a cabo en suelos calcáreos con bajo contenido de fósforo y hierro. El cultivar MEX 69-290 presentó tres cepas asociadas a la FBN y una cepa de BSP, ya que ha crecido en suelos pobres en este elemento (Salgado et al., 2011). El cultivar MEXSFC 9546 presentó dos cepas que realizan ambas actividades benéficas FBN y la BSP, por ello,

se considera el cultivar más equilibrado (Cuadro 2). Existen reportes que indican que *Microbacterium trichothecenolyticum* se ha aislado de muestras clínicas y muestra de suelo (Lau *et al.*, 2002; Yokota *et al.*, 1993). *Bacillus pumilus*, es considerada un organismo promotor del crecimiento, que produce hormonas en el medio de cultivo y tiene influencia en el desarrollo de diversas poáceas (Gutiérrez *et al.*, 1996). Se ha encontrado que cuando se asocia a la rizósfera puede modificar la actividad fisiológica de las plantas mejorando su crecimiento (Bashan *et al.*, 1996), y que puede solubilizar fósforo (Arevalo y Moreno, 2013). *Bacillus pumilus* es una bacteria promotora del crecimiento vegetal, pues posee la capacidad de fijar nitrógeno y producir compuestos indólicos.

El género *Bacillus*, pertenece a la familia Bacillaceae, es un género que hoy en día incluye más de 60 especies de bacilos. Este género está formado por microorganismos bacilares Gram positivos, formadores de endosporas, quimiheterótrofos que normalmente son móviles y rodeados de flagelos peritricos. Son anaerobios o aerobios facultativos catalasa positivos. Este género se encuentra comúnmente en suelos y plantas donde tienen un papel importante en ciclo del carbono y el nitrógeno, reportados como BFN y BSP (Winn *et al.*, 2006; Pedraza, 2008). Lo cual coincide con lo encontrado en este trabajo. El género *Paenibacillus* sp.; ha sido desarrollado comercialmente como fungicida biológico, insecticida, nematocida y promotor del crecimiento vegetal, y su uso en la agricultura se ha incrementado (McSpadden y Fravel, 2002), aquí se encontró que también puede fijar nitrógeno.



**Figura 3.** Gel de agarosa con el ADN de las bacterias (a la derecha el marcador molecular Gene Ruler 100pb).

## CONCLUSIONES

La diversidad, la abundancia y el número de UFCg<sup>-1</sup> encontradas en el suelo Cambisol Eútrico Arcílico, indica que la presencia de dichos microorganismos asociada a la rizósfera del cultivo de caña de azúcar es alta. ATEMEX 9640 presentó dos especies de BSF, MEX 69-290 presentó tres cepas asociadas a la FBN y una cepa de SP, y el cultivar SFC 95-46 presentó dos cepas que realizan ambas actividades benéficas, por ello, se considera el cultivar más equilibrado. Los índices de solubilización de fósforo, aunque fueron bajos, las bacterias manifiestan que tienen dicha capacidad. Se encontraron que 10 cepas de bacterias tienen potencial benéfico como biofertilizante. Sin embargo, no fue posible determinar la producción del AIA en las cepas que crecieron en el CTS. Los resultados indican que hay actividad de BFN y BSP en las cepas mencionadas.

## LITERATURA CITADA

- Arévalo, G. Z. Y., Moreno, B. V. E. (2013). *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. NOVA, 12 (21): 165– 178.
- CAÑEROS. 2019. Estadísticas por ingenio. Unión Nacional de Cañeros, A.C: [http://www.caneros.org.mx/site\\_caneros/estadisticas/ingenios/0010.pdf](http://www.caneros.org.mx/site_caneros/estadisticas/ingenios/0010.pdf) (consultada el 16 marzo de 2019).
- Córdova-Gamas, G., Salgado-García, S., Castelán-Estrada, M., Palma-López, D.J., García-Moya, E., Lagunes-Espinoza, L.C., Córdova-Sánchez, S. (2016). Opciones de fertilización para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) en Tabasco, México. Agroproductividad, 9(3):27-34.
- Dineen, A., Dineen, S.M., Aranda, R.T., Anders, D.L., Robertson, J.M. (2010). An evaluation of commercial DNA extraction kits for the isolation of bacterial spore DNA from soil. J. Appl. Microbiol., 109: 1886-1896.
- Gutiérrez, M. F., Acero, N., Lucas, J., Pobranza, A. (1996). The influence of native rhizobacteria on European older grown. II.Characterization of grown promoting and growth inhibiting strains. Plant and Soil. 192, 67-74.
- Holt, J., Krieg, N., Sneath, P., Staley, J., Williams, S. (2000). Bergey's, Manual of Determinative Bacteriology. Novena edición. Edited by Williams & Wilkins. Baltimore, Maryland, USA. 787.
- Huws, S.A., Edwards, J.E., Kim, E.J., Scollan, N.D. (2007). Specificity and sensitivity of eubacterial primers utilized for molecular profiling of bacteria within complex microbial ecosystems, J. Microbiol. Methods, 70: 565-569.
- Lau, K. P., Woo, C. Y., Woo, K. S., Yuen, K.Y. (2002). Catheterrelated *Microbacterium* bacteremia identified by 16S rRNA gene sequencing. J. Clin. Microbiol. 40:2681–2685.
- León, H., Rojas, L. (2015). Determinación del potencial promotor del crecimiento vegetal de *Azotobacter* spp. aislados de la rizósfera de malezas en cultivos de maíz (*Zea mays* L.). Scientia Agropecuaria, 6(4): 247 – 257.

- Loiret, F. G., Ortega, E., Kleiner, D., Rode, P. O., Rode, R., Dong, Z. (2004). A putative new endophytic nitrogen-fixing bacterium *Pantoea* sp. from sugarcane. *Journal of Applied Microbiology*, 504-511.
- López, J. L. E., Hernández, M., Colín, C. A., Ortega, S., Cerón, G., Franco, R. (2014). Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. (CENIAQ). *Investigación en Discapacidad*, 3(1):10-18.
- Morgado, G.A., Espinoza, V.D., Gómez, M. F. (2015). Eficiencia de las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV) en Caña de Azúcar. *Terra Latinoamericana*, 33(4): 321-330.
- Padrón, L., Torres, R. D. G., Contreras, O. J., López, M., Colmenares, C. (2012). Aislamientos de cepas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo en un suelo alfisol venezolano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 3:285-297.
- Patiño, T. C., Sánchez, P. M. (2012). Aislamiento e Identificación de Bacterias Solubilizadoras de Fosfatos, Habitantes de la Rizósfera de Chontaduro (*B. Gassipaes* Kunth). *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (2): 177-187.
- Pedraza, O. R. (2008). Recent advances in nitrogen-fixing acetic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 125:25-35.
- Pérez, J., Casas, M. (2005). Estudio de la interacción planta-azospirillum. *Cultivos Tropicales*, 26:13-19.
- Rodríguez-Rodríguez, N., Rivera-Cruz, M.C., Trujillo-Narcía, A., Almaráz-Suárez, J.J., Salgado-García, S. (2016). Spatial Distribution of Oil and Biostimulation Through the Rhizosphere of *Leersia hexandra* in Degraded Soil. *Water Air Soil Pollut*, 227:319. DOI 10.1007/s11270-016-3030-9.
- Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L. C., Castelán-Estrada, M., Ortiz-García, C. F., Juárez-López, J. F., Ruiz-Rosado, O., Armida-Alcudia, L., Rincón-Ramírez, J. A., Córdova-Sánchez, S. (2011). Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. México. *REVAIA*, 15(3):45-65.
- Salgado, G. S., Núñez, E. R., Bucio, A. L. (2003). Determinación de la dosis óptima económica de fertilización en caña de azúcar. *TERRA*, 21:267-272.
- Taulé, C., Mareque, C., Barlocco, C., Hackembruch, F., Sicardi, M., Battistoni, F. (2014). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas a caña de azúcar. *INAIÁ, Uruguay*, 54:9-46.
- Tejera, H. B., Rojas, M., Heydrich, M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *CENIC. Cuba*, 42(3):131-138.
- Torriente, D. (2010). Aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de la caña de azúcar. *Perspectivas de su uso en cuba. Cultivos Tropicales*, 31:19-26.
- Winn, C. W., Allen, D. S., Janda, M. W., Koneman, W. E., Procop, W. G., Schreckenberger, C. P., Woods, L. G. (2006). *Koneman diagnóstico microbiológico: Texto y atlas en color*. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.





# Guinea grass (*Megathyrus maximus* cv. Mombaza) seed production; plant spacing and its effect on yield and quality

## Producción de semilla de pasto guinea (*Megathyrus maximus* cv. Mombaza); densidad de siembra y su efecto en el rendimiento y calidad

Eleuterio-Vásquez, Soila<sup>1</sup>; Joaquín-Torres, Bertin M.<sup>2</sup>; Joaquín-Cancino, Santiago<sup>3</sup>; Gómez-Vázquez, Armando<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Papaloapan, Campus Loma Bonita; <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco; <sup>3</sup>Universidad de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias; <sup>4</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias.

\*Autor de correspondencia: joaquin.maurillo@colpos.mx

### ABSTRACT

**Objective:** the objective was evaluating the effect of plant spacing on seed yield and quality in *Megathyrus maximus* cv. Mombaza.

**Design/methodology/approach:** the experiment was carried out in rain fed conditions in 2009, at the Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita, Oaxaca, Mexico. Six plant distances (T1:broadcast, T2:25×25 cm, T3:50×50 cm, T4:75×75 cm, T5:100×100 cm and T6:125×125 cm between rows and plants, respectively) were assessed. Treatments were distributed in a completely randomized block design, with four replicates. Total seed yield (TSY), pure seed yield (PSY), percentage of pure seed (PPS), stems plant<sup>-1</sup>, stems m<sup>-2</sup>, panicles plant<sup>-1</sup>, panicles m<sup>-2</sup>, and plants m<sup>-2</sup> were evaluated.

**Results:** TSY and PSY showed differences among treatments (P<0.01), and the highest values (216.9 and 161.2 kg ha<sup>-1</sup>, respectively) were obtained at the 25×25 cm spacing, with a PPS of 74.7%. Stems plant<sup>-1</sup>, panicles plant<sup>-1</sup>, stems m<sup>-2</sup>, panicles m<sup>-2</sup>, and plants m<sup>-2</sup> showed differences among treatments (P<0.01). Panicles m<sup>-2</sup> was the yield component which showed a greater association with PSY with r value of 0.7.

**Findings/conclusions:** as a conclusion, it can be stated that the largest seed yield of *M. maximus* cv. Mombaza was obtained at the 25×25 cm spacing between rows and plants, respectively.

**Key words:** *Megathyrus maximus*, Guinea grass, plant density, seed yield.

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar el efecto de la distancia entre plantas en el rendimiento y calidad de semilla de *Megathyrus maximus* cv. Mombaza.

**Diseño/metodología/aproximación:** el experimento se realizó bajo condiciones de temporal, durante el 2009, en la Universidad del Papaloapan Campus Loma Bonita, Oaxaca, México. Se evaluaron seis distancias entre plantas [T1:voleo (control), T2:25×25, T3:50×50, T4:75×75, T5:100×100 y T6:125×125 cm entre líneas y plantas, respectivamente], con un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Se midió rendimiento de semilla total (RST), rendimiento de semilla pura (RSP), porcentaje de semilla pura (PSP), tallos planta<sup>-1</sup>, panículas planta<sup>-1</sup>, tallos m<sup>-2</sup>, panículas m<sup>-2</sup> y plantas m<sup>-2</sup>.

**Resultados:** se encontró diferencia estadística entre tratamientos para el RST y RSP (P<0.01), donde los valores más altos (216.9 y 161.2 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) se obtuvieron con la distancia 25×25 cm, con un PSP de 74.7%. Los tallos planta<sup>-1</sup>, panículas planta<sup>-1</sup>, tallos m<sup>-2</sup>, panículas m<sup>-2</sup> y plantas m<sup>-2</sup>, presentaron diferencia estadística entre tratamientos (P<0.01) Se encontró que panículas m<sup>-2</sup> fue el componente con mayor grado de asociación con el RSP, con un valor de 0.7.

**Hallazgos/conclusiones:** el mayor rendimiento de semilla de *M. maximus* cv. Mombaza, se logró con la distancia 25×25 cm entre líneas y plantas, respectivamente.

**Palabras clave:** *Megathyrsus maximus*, pasto Guinea, densidad de plantas, rendimiento de semilla.

## INTRODUCCIÓN

El pasto Guinea (*Megathyrsus maximus*) cv. Mombaza (Poaceae) es una especie perenne tropical de rápido crecimiento con buenas características agronómicas, adaptable a suelos con baja fertilidad y resistente a la sequía, con un rendimiento de materia seca de 22.8 t de MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (García *et al.*, 2008) y 14.89% de PC con 35 d de rebrote (Guerdes *et al.*, 2000). Sin embargo, el principal problema de su uso y propagación, es la falta de semilla en cantidad y calidad. Producir semilla de pasto Guinea resulta difícil, ya que su floración es muy heterogénea, las semillas maduran irregularmente y se desprenden con facilidad, por tanto, se cosecha una pequeña fracción de la semilla producida, lo que ocasiona bajos rendimientos de ésta. Además de lo anterior, el bajo rendimiento de semilla se atribuye al bajo número de inflorescencias por planta y bajo porcentaje de llenado de las semillas producidas, por lo que la semilla cosechada es de baja pureza física y germinación (Humphreys y Riveros, 1986). Se ha indicado que el bajo rendimiento y calidad de la semilla, en gramíneas forrajeras tropicales se pueden incrementar reduciendo las pérdidas durante la cosecha al seleccionar la fecha óptima de ésta, o bien, incrementado el número de inflorescencias por planta y el número de semillas llenas por inflorescencia (Boonman, 1978). Varios estudios han demostrado que, mediante la fertilización nitrogenada y la manipulación de la densidad de plantas, se pueden aumentar el rendimiento y calidad de la semilla en pastos tropicales (Humphreys y Riveros, 1986). Al respecto, se ha señalado que una densidad óptima de plantas por unidad de área produce altos rendimientos de semilla, mientras que las densidades bajas o altas lo reducen (Kumar *et al.*, 2005).

Otros estudios han mostrado la ventaja de la siembra en líneas, en comparación con la siembra al voleo para producir semilla de pastos tropicales (Argel *et al.*, 2002), ya que la siembra en líneas permite un mejor manejo del cultivo y facilita la cosecha de la semilla. Por tanto, para obtener altos rendimientos de semilla y mejor calidad de la misma, se deben buscar métodos de siembra

adecuados y espacios óptimos entre líneas y plantas. Por ejemplo, en *Brachiaria decumbens*, al evaluar diferentes distancias entre líneas, se encontró que la distancia de 100 cm fue la que presentó el mejor rendimiento, aunque la calidad no fue mejorada por ninguna de las distancias evaluadas (Matías y Ruz, 1992), mientras que en *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, al evaluar diferentes distancias entre líneas y plantas, se encontró que el rendimiento más alto de semilla ocurrió con la distancia 25×25 cm entre líneas y plantas, respectivamente (Joaquín *et al.*, 2010). Se ha indicado que el rendimiento de semilla y calidad de la misma en pastos tropicales es específico para cada región geográfica, y es determinado por la especie de planta, tipo de suelo, fecha de siembra del cultivo, así como de las condiciones climáticas en que ellos se desarrollan (Crowder y Chheda, 1982).

En México, particularmente, en pasto Guinea, el efecto de la distancia entre plantas sobre el rendimiento y calidad de la semilla, no se ha estudiado. Por ello, el presente estudio evaluó el efecto de la distancia entre líneas y plantas en el rendimiento y calidad física de la semilla de pasto Guinea cv. Mombaza.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en condiciones de temporal, durante el año 2009 en el Campo Experimental de la Universidad del Papaloapan *Campus* Loma Bonita, Oaxaca, México, ubicado a 18° 06' N, 95° 53' O y 30 m de altitud. El clima del lugar es cálido húmedo, con lluvias abundantes en verano. La precipitación y temperatura promedio anual de 1,845 mm y 24.7 °C. El suelo del sitio experimental es de textura arcillo arenoso, con pH de 5.2 y 2.9% de materia orgánica (Medel, 2013).

Se evaluaron seis distancias entre plantas [T1: voleo (control), T2:25×25, T3:50×50, T4:75×75, T5:100×100 y T6:125×125 cm entre líneas y plantas, respectivamente]. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. El tamaño de las unidades experimentales fue de 5×5 m. Debido a las diferentes distancias entre líneas y plantas, el tamaño de la parcela útil fue variable: 9.5 m<sup>2</sup> para los tratamientos T1 y T2; 16 m<sup>2</sup> para T3; 9 m<sup>2</sup> para T4 y T5; y 6.5 m<sup>2</sup> para T6.

### Establecimiento y manejo del cultivo

La siembra se realizó en julio de 2008, empleando semilla botánica con una densidad de siembra de 2 kg ha<sup>-1</sup> de semilla pura germinable. El terreno se preparó

mediante un paso de rastra a una profundidad de 10 cm. Posteriormente, en cada una de las parcelas, se trazaron líneas sobre las cuales se hicieron hoyos, a las distancias previamente señaladas, donde se depositó la semilla a una profundidad de 2 cm, mientras que en las parcelas donde se sembró al voleo, se esparció la semilla y se cubrió con una capa delgada de suelo. El corte de uniformidad para producción de semilla, se realizó a una altura de 15 cm, el 1 de septiembre del año 2009. Inmediatamente después del corte de uniformidad, se fertilizó en una sola aplicación, con 100, 50 y 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente. Como fuentes de fertilizante se utilizó urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y cloruro de potasio (60% K<sub>2</sub>O). Las malezas se controlaron con una aplicación del herbicida 2,4-D amina al mes del rebrote, posteriormente mediante deshierbe manual. La cosecha de la semilla se realizó en forma manual a los 18 d después de la antesis de acuerdo a Joaquín et al. (2001), utilizando la técnica tradicional para la cosecha de semilla de pastos tropicales (Ferguson, 1978), que consiste en cortar todas las inflorescencias presentes y posteriormente someterlas a un proceso de sudado natural. Para simular el proceso de sudado, las panículas cosechadas se colocaron dentro de bolsas de manta, las cuales se agruparon sobre el mismo terreno y se cubrieron con el material vegetal que quedó después de haber cosechado las panículas. El periodo de sudado fue de cinco días. Posteriormente, se realizó la trilla, limpieza y secado de la semilla en forma natural. La semilla obtenida se pesó y colocó en bolsas de papel y se almacenó en condiciones ambientales de laboratorio, donde se realizó el análisis de pureza física.

### Variables evaluadas

Se evaluó el rendimiento de semilla total (RST), rendimiento de semilla pura (RSP), porcentaje de semilla pura (PSP), número de tallos planta<sup>-1</sup> (NTP), número de panículas planta<sup>-1</sup> (NPP), número de tallos m<sup>-2</sup> (NTS), número de panículas m<sup>-2</sup> (NPS) y número de plantas m<sup>-2</sup> (NPPS). El RST se calculó con base en los kg de semilla cosechados en la parcela útil. El RSP, se estimó con base al RST y PSP. El PSP, se calculó por el método internacional, utilizando una muestra de dos gramos de semilla por parcela, separando ésta en sus componentes: semilla pura y material inerte (ISTA, 2005). Para el NTP, NTS, NPP, NPS y NPPS, en los tratamientos T1 y T2 el conteo se realizó en 1 m<sup>2</sup>; mientras que en los tratamientos T3, T4, T5 y T6, en cuatro plantas seleccionadas al azar dentro de cada parcela útil, y la estimación se realizó con base en la densidad de plantas por m<sup>2</sup>.

Los datos obtenidos, se sometieron a un análisis de varianza para probar diferencias entre tratamientos, con base en el diseño experimental bloques completos al azar. La comparación de medias de tratamientos se efectuó mediante la prueba de Tukey, con una significancia del 5%. Se realizó un análisis de correlación para estimar el grado de asociación entre el rendimiento de semilla y sus componentes. El análisis se realizó con SAS (SAS, 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento de semilla

Se encontró diferencia estadística entre tratamientos para el rendimiento de semilla (RST) ( $P < 0.01$ ), donde el mayor rendimiento (216.9 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la distancia 25×25 cm (T2), valor que fue mayor y diferente ( $P < 0.05$ ) a los encontrados con los tratamientos T1, T3, T4, T5 y T6, con valores de 125.3, 132.0, 140.5, 156.0 y 157.0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 1). Un comportamiento similar al anterior se observó con el RSP ( $P < 0.01$ ), donde el valor más alto (161.2 kg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con el tratamiento T2, valor que fue superior y diferente ( $P < 0.05$ ) a los obtenidos con los tratamientos T1, T3, T4, T5 y T6, con valores de 103.6, 100.3, 100.3, 100.8 y 107.0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 1). Se encontró que el PSP fue afectado por la distancia entre plantas ( $P < 0.01$ ), donde el mayor valor (83.5%) se obtuvo con el tratamiento T1 (al voleo), valor que fue similar ( $P > 0.05$ ) a los encontrados con los tratamientos T2, T3 y T4, con valores de 74.7, 75.0 y 71.0%, respectivamente (Cuadro 1.).

Los máximos RST y RSP (216.9 y 161.2 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) obtenidos con la distancia 25×25 cm, fueron mayores en 73.1 y 55.6%, respectivamente, con respecto al rendimiento obtenido con la siembra al voleo. Resultados similares fueron reportados para *B. brizantha* cv. Marandu por Joaquín et al. (2010), quienes encontraron el máximo RSP (47.8 kg ha<sup>-1</sup>) con la distancia 25×25 cm entre plantas, valor que fue mayor en 59%, al rendimiento obtenido con la siembra al voleo. Respuestas diferentes fueron reportadas para ésta y otras especies de poáceas; por ejemplo, García et al. (2018) para *Panicum maximum* cv. Mombaza reportaron un rendimiento de semilla pura de 103.0 kg ha<sup>-1</sup> con la distancia 80×70 cm entre líneas y plantas respectivamente. Matías y Ruz (1992) encontraron que la distancia de 100×100 cm fue la que presentó el mayor rendimiento de semilla de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, en comparación con la distancia de 75×75 cm. En pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) se

**Cuadro 1.** Rendimiento de semilla total, semilla pura y porcentaje de semilla pura en pasto Guinea (*Megathyrsus maximus*) cv. Mombaza, a diferente distancia entre líneas y plantas.

Tratamiento	Rendimiento de semilla total (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de semilla pura (kg ha <sup>-1</sup> )	Porcentaje de semilla pura (%)
T1	125.3b	103.6b	83.5a
T2	216.9a	161.2a	74.7ab
T3	132.0b	100.3b	75.9ab
T4	140.5b	100.3b	71.2ab
T5	156.0b	100.8b	64.6b
T6	157.0b	107.0b	68.1b

<sup>a,b</sup> Valores con distinta letra en la misma columna, indican diferencia estadística significativa (Tukey; P<0.05); T1: voleo, T2: 25x25, T3: 50x50, T4: 75x75, T5: 100x100 y T6: 125x125 cm entre líneas y plantas, respectivamente.

al obtenido con el tratamiento T2 (182 tallos m<sup>-2</sup>), pero diferente y superior (P<0.05) a los valores observados en los demás tratamientos. El NPS fue diferente entre tratamientos (P<0.01), donde el valor mayor (62.6 panículas m<sup>-2</sup>) se obtuvo con el tratamiento T2, valor que fue similar (P>0.05) al obtenido con la siembra al voleo (50.0 panículas m<sup>-2</sup>) pero diferente y superior (P<0.05) a los valores observados en los otros tratamientos. Asimismo, el NPPS fue diferente entre tratamientos (P<0.01), donde se observó una

reportó que distancia de 75 cm entre hileras presentó el mayor rendimiento de semilla, en comparación con la distancia de 40 cm (Kumar *et al.*, 2005). Mientras que en *P. maximun* cv. Tanzania, se encontró que el mayor RSP (23.7 kg ha<sup>-1</sup>), se obtuvo con la distancia de 80 y 70 cm entre líneas y plantas, respectivamente (Joaquín *et al.*, 2009). Lo anterior muestra que la respuesta a la densidad de plantas en el rendimiento de semilla es muy fluctuante, la cual puede deberse a varios factores, tales como especie forrajera, fertilidad del suelo, prácticas de manejo del cultivo y condiciones climáticas durante el proceso de producción.

### Componentes del rendimiento de semilla

Se encontró diferencia estadística entre tratamientos para el NTP (P<0.01), donde la cantidad mayor (89.6 tallos planta<sup>-1</sup>) se obtuvo con el tratamiento T5, valor que fue similar (P>0.05) al obtenido con el tratamiento T6 (78.8 tallos planta<sup>-1</sup>), pero diferente y superior (P<0.05) a los valores obtenidos con los tratamientos T1, T2, T3 y T4 (4.9, 11.3, 33.7 y 59.7 tallos planta<sup>-1</sup>, respectivamente). Un comportamiento similar al anterior se observó en el NPP, donde el valor mayor (37.6 panículas planta<sup>-1</sup>) se obtuvo con el tratamiento T5, valor que fue similar (P>0.05) al observado con el tratamiento T6 (35.4 panículas planta<sup>-1</sup>), pero diferente y superiores a los demás tratamientos. El NTS varió entre tratamientos (P<0.01), donde el valor mayor (239 tallos m<sup>-2</sup>) se obtuvo con la siembra al voleo (T1), valor que fue similar (P>0.05)

disminución de los valores conforme se aumentó la distancia entre plantas, y la cantidad mayor (49.3 plantas m<sup>-2</sup>) se obtuvo con el tratamiento T1, valor que fue diferente y superior (P<0.05) a los valores obtenidos en los demás tratamientos evaluados (Cuadro 2).

En cuanto al NTP y NPP se observó un incremento de los valores conforme se aumentó la distancia entre plantas, por ejemplo, el NTP se incrementó de 4.9 tallos planta<sup>-1</sup> en el tratamiento T1 hasta 68.6 tallos con el tratamiento T5. Mientras que el NPP varió de 0.9 panículas planta<sup>-1</sup> en la siembra al voleo (T1) hasta 35.4 panículas con el tratamiento T6, lo que indica que, al haber menor competencia por luz, humedad y nutrientes en las distancias más amplias, la cantidad de tallos y panículas por planta es mayor. En cuanto al NTS, NPS y NPPS, se observó que los valores disminuyeron conforme se aumentó la distancia entre plantas, por ejemplo, el NTS de 239 tallos m<sup>-2</sup> en el tratamiento T1 disminuyó a 50 tallos con el tratamiento T6; mientras que el NPS disminuyó de 80 panículas m<sup>-2</sup> en el tratamiento

**Cuadro 2.** Componentes del rendimiento de semilla en pasto Guinea (*Megathyrsus maximus*) cv. Mombaza, a diferente distancia entre líneas y plantas.

Tratamiento	NTP (Núm.)	NPP (Núm.)	NTS (Núm. m <sup>-2</sup> )	NPS (Núm. m <sup>-2</sup> )	NPPS (Núm. m <sup>-2</sup> )
T1	4.9e	0.9d	239.0a	50.0ab	49.3a
T2	11.3de	3.9cd	182.0ab	62.6a	16.0b
T3	33.7cd	9.9c	135.0bc	39.5bc	4.0bc
T4	59.7bc	18.7b	106.2bc	33.3bcd	1.8bc
T5	89.6a	37.6a	89.7c	37.6bcd	1.0bc
T6	78.8ab	35.4a	50.4c	22.7d	0.6c

<sup>a,b,c,d,e</sup> Valores con distinta letra en la misma columna, indican diferencia estadística significativa (Tukey; P<0.05); T1: voleo; T2: 25x25; T3: 50x50; T4: 75x75; T5: 100x100 y T6: 125x125 cm entre líneas y plantas, respectivamente; NTP=número de tallos planta<sup>-1</sup>; NPP=número de panículas planta<sup>-1</sup>; NTS=número de tallos m<sup>-2</sup>; NPS=número de panículas m<sup>-2</sup>; NPPS=número de plantas m<sup>-2</sup>.

T1 a 22 panículas con el tratamiento T6. En cambio, el NPPS disminuyó de 49.3 plantas  $m^{-2}$  en la distancia al voleo (T1) a 0.6 plantas en el tratamiento T6. Lo anterior indica que, al haber menor número de plantas por superficie, en las distancias mayores, el número de panículas  $m^{-2}$  también fue menor, en comparación con la siembra al voleo (T1) y la distancia 25×25 cm (T2), los cuales presentaron 50.0 y 62.6 panículas  $m^{-2}$ , respectivamente y, en consecuencia, los RST y RSP fueron mayores, con lo que se constata que la densidad de plantas afecta el rendimiento de semilla.

Se observó que la distancia 25×25 cm (T2) produjo 25.2% más panículas  $m^{-2}$ , en comparación con la siembra al voleo y hasta un 71 % más panículas  $m^{-2}$ , con relación a los tratamientos T3, T4 y T5. Resultados similares fueron reportados para *B. brizantha* cv. Marandu por Joaquín et al. (2010), quienes indicaron que el mayor número de panículas  $m^{-2}$  se obtuvo con la distancia 25×25 cm, la cual presentó 20% más panículas, en comparación con la siembra al voleo. Diferentes respuestas de la densidad de plantas en el número de panículas por superficie se han reportado para otras especies. Así, en *P. maximum* cv. Común, se observó un incremento del número de panículas por hectárea conforme se aumentó la distancia entre plantas, donde el número mayor de panículas se logró con 1.5 m de distancia entre plantas (Febles et al., 1997).

En el presente estudio, el mayor rendimiento de semilla fue obtenido con la distancia 25×25 cm (T2), atribuido a un incremento de panículas  $m^{-2}$ , tallos  $m^{-2}$  y plantas  $m^{-2}$ , ya que estos componentes fueron los que presentaron el mayor grado de asociación con el porcentaje de semilla pura y rendimiento de semilla pura (Cuadro 3). Al respecto, se ha señalado que el número de panículas por unidad de superficie es el componente que está directamente relacionado con el rendimiento de semilla (Crowder y Chheda, 1982; Hopkinson y English, 1982).

Se ha indicado que la densidad de plantas está asociada positivamente con la densidad de tallos, mientras que la densidad de panículas está negativamente relacionada con la densidad total de tallos, lo que indica que con altas densidades de plantas el número de panículas por  $m^2$  es menor, debido a mayor competencia por luz, humedad y nutrientes entre plantas (Humphreys y Riveros, 1982), asimismo, en densidades al-

tas de plantas los tallos son más delgados y de menor peso; aunque las densidades bajas provocan problemas de malezas y desperdicio de terreno (Njoka et al., 2005), con lo que disminuye el rendimiento de semilla. Sin embargo, con densidades bajas de plantas y una distancia óptima entre líneas y plantas se proporciona mejor luz para la floración de tallos y se reduce la competencia entre plantas, ya que se asegura mejor suministro de humedad y nutrientes, facilitando el control de malezas y cosecha de semilla (Humphreys y Riveros, 1986). Por tanto, la obtención de rendimientos altos de semilla, se puede lograr mediante la densidad óptima de plantas (160,000 plantas  $ha^{-1}$ ), la cual se obtiene con una distancia de 25×25 cm entre líneas y plantas, respectivamente.

## CONCLUSIONES

La distancia entre líneas y plantas tuvo efecto en el rendimiento de semilla total y semilla pura, donde los rendimientos máximos (216.9 y 161.2 kg  $ha^{-1}$ , respectivamente) se obtuvieron con la distancia de 25×25 cm entre líneas y plantas, respectivamente. El incremento en el rendimiento de semilla se atribuyó al mayor porcentaje de semilla pura, mayor número de tallos y panículas por superficie.

## LITERATURA CITADA

- Argel, P., Giraldo, G., Peters, M. y Lascano, C.E. (2002). Producción artesanal de semillas de pasto Toledo (*Brachiaria brizantha*). Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. Boletín. 21 p.
- Boonman, J.G. (1978). Producción de semillas de pastos tropicales en África, con referencia especial en Kenya. En: Tergas, L.E. y Sánchez, P.A. (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical Cali, Colombia. pp. 413-424.
- Crowder, L.V. & Chheda, H.R. (1982). Tropical grassland husbandry. 1st. Ed. Longman Group Limited. London and New York; Longman Inc. 500 p.
- Febles, G., Ruiz, T.E., Padilla, C., Pérez, J., Aquilar, M. y Guizado, I. (1997). Efecto de la densidad de plantas y la nutrición mineral en la producción de semillas de hieba de guinea var. Común (*Panicum maximum* Jacq.). Revista Cubana de Ciencias Agrícolas 31(2):137-148.

**Cuadro 3.** Coeficiente de correlación (r) entre el rendimiento de semilla y componentes del rendimiento en pasto Guinea (*Megathyrsus maximus*) cv. Mombaza.

Variables	Coefficientes de correlación (r)
Número de tallos $m^{-2}$ vs. número de panículas $m^{-2}$	0.7
Número de panículas $m^{-2}$ vs. porcentaje de semilla pura	0.7
Numero de tallos $m^{-2}$ vs. porcentaje de semilla pura	0.6
Número de plantas $m^{-2}$ vs. rendimiento de semilla pura	0.6

- Ferguson, J.E. (1978). Sistemas de producción de semillas para especies de pastos en América Tropical. En: Tergas, L.E. y Sánchez, P.A (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Centro de Agricultura Tropical. Cali Colombia. pp 413-424.
- García, V.X., Joaquín, T.B.M., Ramos, J.J.A. y Aranda, M.I.E. (2018). Evaluación del precorte en el rendimiento y calidad de semilla de pasto guinea cv. Mombaza. En: Memorias del Séptimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas Chapingo 2018. Celebrado el 20 y 21 de septiembre de 2018. pp. 32-44.
- Guerdes, L., Werner, J.C., Colozza, M.T., Aparecida, P.R. y Aparecida, S.E. (2000). Avaliação de características de valor nutritivo das gramíneas forrageiras marandu, setária e Tanzânia nas estações do ano. Revista Brasileira de Zootecnia 29(4):955-961.
- Hopkinson, J.M. & English B.H. (1982). Spikelet population dynamics in seed crops of *Panicum maximum* cv. Gatton. Seed Science and Technology 10(3):379-403.
- Humphreys, L.R. & Riveros, F. (1986). Tropical pasture seed production. FAO. Plant Production and Protection Paper 8. Rome, Italy. 203 p.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2005). International rules for seed testing. Bassersdorf, CH-Switzerland. 288 p.
- Joaquín, T.B.M., Hernández, G.A., Pérez, P.J., Herrera, H.J.G., García, S.G. y Trejo, L.C. (2001). Efecto del nitrógeno y fecha de cosecha sobre el rendimiento y calidad de semilla de pasto Guinea. Técnica Pecuaria en México 39: 245-254.
- Joaquín, T.B.M., Joaquín, C.A., Hernández, G.A. y Pérez P.J. (2009). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de semilla del pasto Guinea. Técnica Pecuaria en México 47:69-78.
- Joaquín, C.S., Joaquín, T.B.M., Ortega, J.E., Hernández, G.A., Pérez, P.J., Enríquez, Q.J.F. y Quero C.A.R. (2010). Evaluación de la distancia entre pantas sobre el rendimiento y calidad de la semilla de *Brachiaria brizantha*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 1:297-310.
- Kumar, D., Dwivedi, G.K. & Singh, S.N. (2005). Seed yield and quality of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as influenced by row spacing and fertilizer level. Tropical Grasslands 39:107-111.
- Matías, C. y Ruz, V. (1992). Efecto de la densidad y distancia de siembra sobre la producción de semilla de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Pastos y Forrajes 15:219-224.
- Medel, C.C.I. (2013). Efecto de la distancia entre plantas y surcos sobre el rendimiento y calidad de semilla de *Clitoria ternatea* cv. Tehuana y *Canavalia ensiformis* Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 64 p.
- Njoka, E.M., Muraya, M. & Okumo, M. (2005). Plant density and thinning regime effect on maize (*Zea mays*) grain and fodder yield. Australian Journal Agriculture 44(12):1215-1219.
- SAS Institute. (1998). User's guide. SAS Institute. Cary NC. USA.



## Morphological characters and identification of sub-phases during imbibition in seeds of stock (*Matthiola incana*)

### Caracteres morfológicos e identificación de subfases durante la imbibición en semillas de alhelí (*Matthiola incana*)

Pérez-Jiménez, Genaro<sup>1\*</sup>; García-de los Santos, Gabino<sup>1</sup>; Fuentes-Escobar, Giovanna I.<sup>2</sup>; González-Rosas, Héctor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental San Martinito, Santa Rita Tlahuapan, Carretera Federal México-Puebla Km 56.5, CP 74100. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera Mexico-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México. CP 56230

\*Autor para correspondencia: perez.genaro@inifap.gob.mx

#### ABSTRACT

**Objective:** To describe morphologic traits and imbibition stages in seeds from three accessions of *Matthiola incana*.

**Design/methodology/approximation:** Seeds were analysed from Nieve, Rosita and Uva genotypes, which correspond to *Matthiola incana*. In the first assessment, weight and colour was determined in a thousand seeds. The area, perimeter, length (major axis), width, centric angle, elongation (length/width) and round degree were obtained by means of processing digital images. Analysis of variance was performed to the data followed by a multiple comparison of means by the Tukey procedure. For the imbibition test, fifty seeds of each genotype were immersed in water and evaluated every 24, 48, 72 and 164 h in order to know the absorption dynamic and determine the time of the imbibition sub and phases.

**Results:** Physical description in Nieve seeds show a moderate orange colour and thousand seeds weight 0.218 g; Rosita seeds have a moderate orange yellowish colour and thousand seeds weight 0.1902 g; Uva seeds show a colour from greyish to dark brown with a weight of 0.1272 in thousand seeds. Nieve seeds show greater morphologic dimensions than Rosita and Uva seeds, but the three genotypes show a similar trait in the form type. During the imbibition test of each genotype follow a progressive rate until stage three, where the imbibition behaviour is synchronised with the radical protrude emergency to 164 h after the test was initiated.

**Study limitations/implications:** Seeds show a different size, therefore great samples are difficult to handle at the imbibition moment.

**Findings/conclusions:** It is determined from the three accessions that seeds from *Matthiola incana* have greater morphologic traits than other species from the same genus. Two phases were identified during the phase two, the first one was known as the moment of solute explosion and the second one was known as the recovery of lost solutes.

**Key words:** germination, ornamental, crops.

#### RESUMEN

**Objetivo:** Describir los atributos morfológicos y etapas de imbibición en semillas de tres accesiones de *Matthiola incana*.

**Diseño/metodología/aproximación:** Fueron analizadas semillas de los genotipos Nieve, Rosita y Uva

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 4, abril. 2020. pp: 47-52.

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



correspondientes a *Matthiola incana*. En una primera evaluación se calculó el peso de mil semillas y determino el color de las mismas. A través del procesamiento de imágenes digitales se determinó el área, perímetro, longitud (eje mayor), ancho, ángulo, elongación (longitud/ancho) y el grado de redondez; datos que fueron analizados en una prueba de comparación de medias por Tukey. En la imbibición se colocaron en remojo muestras de cincuenta semillas de cada genotipo y fueron evaluadas cada 24, 48, 72 y 164 h para conocer su dinámica de absorción y poder determinar el tiempo en que transcurren las sub y fases de imbibición.

**Resultados:** La descripción física en semillas de Nieve muestra que son de color naranja moderado y el peso de mil semillas es de 0.218 g; en Rosita la semilla es de color amarillo anaranjado moderado y mil semillas pesan 0.1902; el color en semillas de Uva es grisáceo a café oscuro con un peso de 0.1272 g a mil semillas. En las dimensiones morfológicas Nieve muestra mayores dimensiones respecto a Rosita y Uva; pero entre los tres genotipos muestran semejanzas en el tipo de forma. Durante la prueba de imbibición cada genotipo sigue su ritmo hasta la fase tres, donde el comportamiento se sincroniza en la visión de la protuberancia radicular a las 164 h de iniciada la prueba.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** Las semillas muestran diferente tamaño, por lo cual manipular muestras grandes se complica al momento de la imbibición.

**Hallazgos/conclusiones:** De las tres accesiones se determina que semillas correspondientes a la especie evaluada, son de mayores atributos morfológicos que otras del mismo género. En la fase dos, se identificaron dos subfases, la primera reconocida como el momento de expulsión de solutos y la segunda como recuperación a los solutos perdidos.

**Palabras clave:** germinación, ornamental, cultivos.

res de mayor importancia a nivel nacional e internacional (SIAP, 2018). En la actualidad, no se ha reportado información sobre características morfológicas en semillas del género *incana*, y en el limitado acervo publicado solo describen especies como *longipetal*, *anchoniifolia* (Tekin et al., 2013), *longipetala* spp. *bicornis*, *longipetala* spp. *hitra* (Tantawy et al., 2004), *arabica*, *fruticulosa*, *longipetala* spp. *Kralikii*, *longipetala* spp. *livida*, *longipetala* spp. *longipetala*, *parviflora* (Khalik et al., 2002). La germinación es un proceso complejo que inicia con la imbibición (Ma et al., 2017), tema que ha sido poco frecuentado en el estudio de semillas. La imbibición se compone de tres fases; la primera inicia cuando ocurre el primer contacto de la semilla con el agua y empieza un rápido consumo del líquido; en la segunda fase, la absorción deja de ser rápida y el consumo se mantiene estable y constante; de la tercera fase se reconoce al momento que emerge la protuberancia de la radícula, y es entonces que la imbibición termina e inicia la germinación (Bradford, 1990; Schneider y Renault, 1997). En brasicáceas como canola (*Brassica napus*) (Zhang et al., 2008), *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana*) (Yamauchi et al., 2004), y rábano (*Raphanus sativus*) (Booth y Bai, 1999) se ha descrito este proceso, pero en *Matthiola* aún se desconoce el tiempo de consumo y estaciones de la imbibición. De lo anterior, el objetivo del presente estudio fue describir los atributos morfológicos y obtener información sobre la etapa de imbibición en tres genotipos de la *Matthiola incana*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de las accesiones: Nieve, Rosita y Uva del ciclo de recolecta otoño-invierno 2018. El

## INTRODUCCIÓN

Las características de las semillas se relacionan con el grado de domesticación que han sufrido por selección, natural, ambiental e inducida (Smýkal et al., 2018), siendo los caracteres de mayor interés el tamaño, peso (Souza y Fagundes, 2014), color y la forma (Bassiri y Kheradnam, 1976). La caracterización física constituye una labor importante en el estudio de la calidad de semillas. Factores como el tamaño pequeño y alta similitud morfológica a simple vista entre muestras, son algunos obstáculos que impiden hacer una medición precisa de semillas (García y Estrada, 1999). En la actualidad, diversos estudios se han apoyado en el procesamiento de imágenes digitales en software especializados (Jamil et al., 2017; Saucedo et al., 2017), técnica que ofrece ventajas como el mínimo tiempo y personal de trabajo, con la capacidad para procesar grandes volúmenes (Sandeep y Durga, 2013) con alta precisión en múltiples variables (García y Estrada, 1999).

*Matthiola incana* (Brassicaceae) es una especie comúnmente utilizada como flor de corte (Denis et al., 2012) (Figura 1). Se posiciona dentro de las diez flo-



**Figura 1.** Flores de alhelí (*Matthiola incana*).

experimento se realizó en el Laboratorio de Embriogénesis del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (19° 27' 46" N y 98° 54' 17" O) (Colpos) Estado de México. Las variables evaluadas en los tres genotipos fueron:

**Determinación de color:** Tres repeticiones de muestras de mil semillas fueron puestas en contraste a las cartas de la *Royal Horticultural Society* (RHS) (2018), se buscó la carta que mejor similitud mostraba a las muestras y se anotó el color.

**Peso de mil semillas:** Se formaron ocho repeticiones de cien semillas; se calculó el peso por repetición en una balanza digital (ADAM PW 254, Capacidad de 200 g y precisión de 0.0001 g). Los valores obtenidos se adaptaron a mil semillas como lo establece la International Seed Testing Association (2010).

**Procesamiento de imágenes:** En la pantalla del escáner EPSON STYLUS CX5600®, se capturaron imágenes a color (Color 24 bits, 400 ppp) de diez muestras de cien semillas, mismas que fueron procesadas con el software *ImageJ* donde se calculó el área, perímetro, longitud (eje mayor), ancho, ángulo, elongación (longitud/ancho) y el grado de redondez de las semillas (Zayas et al., 1985). Se

realizó un análisis de varianza y cuando se observaron diferencias entre muestras de utilizó la prueba de comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

#### Absorción de agua

Se formaron cuatro muestras de cincuenta semillas, de las que se obtuvo el peso en seco, para después ser depositadas en mini charolas de plástico con un volumen de 3 mL de agua destilada. Después de una hora se extrajeron las semillas, se secaron con papel (Sanitas®) y se tomó lectura de la ganancia en peso (g). En cada medición se incorporaba el volumen inicial de agua destilada (3 mL). El procedimiento se repitió de manera continua por 8 h; y después la lectura fue cada 24, 48, 72 y 164 h. El experimento se mantuvo a una temperatura de 24 °C±2 con fotoperiodo constante de 24 h. Para calcular el volumen de agua consumida (VAC) se modificó la fórmula propuesta List (2014), quedando de la siguiente manera:

$$VAC(mL) = \frac{a(g) - b(g)}{c(g\ mL^{-1})}$$

Donde: volumen de agua consumida (VAC), se obtiene por la diferencia del peso de la muestra sometida a

imbibición (a), menos el peso inicial de las semillas en seco (b); entre la densidad del agua a temperatura que se maneja el experimento (c). Por cada genotipo se graficó la curva de imbibición.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultado de la comparación a contraste de las muestras de semilla en las cartas de *RHS* (2018) se muestra que Uva es de una pigmentación más oscura, Nieve de color claro y Rosita de intensidad tenue en su testa (Cuadro 1). En el peso de mil semillas para los tres genotipos, se obtuvo que Nieve (0.2186 g) fue más pesada que Rosita (0.1902 g) y Uva (0.1272 g). De lo anterior Duarte *et al.* (2017), mencionan que el peso de una semilla se correlaciona directamente al contenido de reservas que contiene, característica que se mantiene en influencia el origen e interacción con agentes bióticos y abióticos (Raya *et al.*, 2012).

Del análisis de varianza de las características morfológicas de las semillas analizadas por procesamiento de imágenes se obtuvieron diferencias significativas en área, perímetro, largo, ancho y forma. De la comparación múltiple de medias se muestra que semillas de Nieve son grandes (5.28 mm) de perímetro extenso (9 mm) en contraste a las de Rosita y Uva (Cuadro 2). Los valores obtenidos en largo y ancho en muestras de Rosita y Uva describen a las semillas de forma orbicular; misma forma presente en la especie *longipetala* spp. *hirta*, pero diferente *arabica*, *fruticulosa*, *parviflora* y sub especies *bicoloris*, *kralikii*, *lívida*, *longipetala*, que son de forma oblonga (Khalik y Van der Maesen, 2002).

Los resultados muestran que Nieve, Rosita y Uva en contraste a lo reportado para las especies *arabica*, *fruticulosa*,

**Cuadro 1.** Color, forma, peso de mil semillas y diferencia al peso más grande de semillas de los genotipos Nieve, Rosita y Uva.

Genotipo	Imagen	Color	Forma	*PMS (g)	†DVA (mg)
Nieve		Naranja moderado	Orbicular	0.2186	-----
Rosita		Amarillo anaranjado moderado	Orbicular	0.1902	-284
Uva		Grisáceo café obscuro	Orbicular	0.1272	-914

\*PMS: Peso de mil semillas; †DVA: Diferencia al valor más alto.

*parviflora*, y las subespecies *longipetala* (*bicoloris*, *hirta*, *kralikii*, *lívida*, *longipetala*) (Khalik y Van der Maesen, 2002; Tekin *et al.*, 2013), indican que semillas de *Matthiola incana* poseen mayor dimensión en sus caracteres morfológicos (Figura 1).

### Dinámica de imbibición por consumo de agua

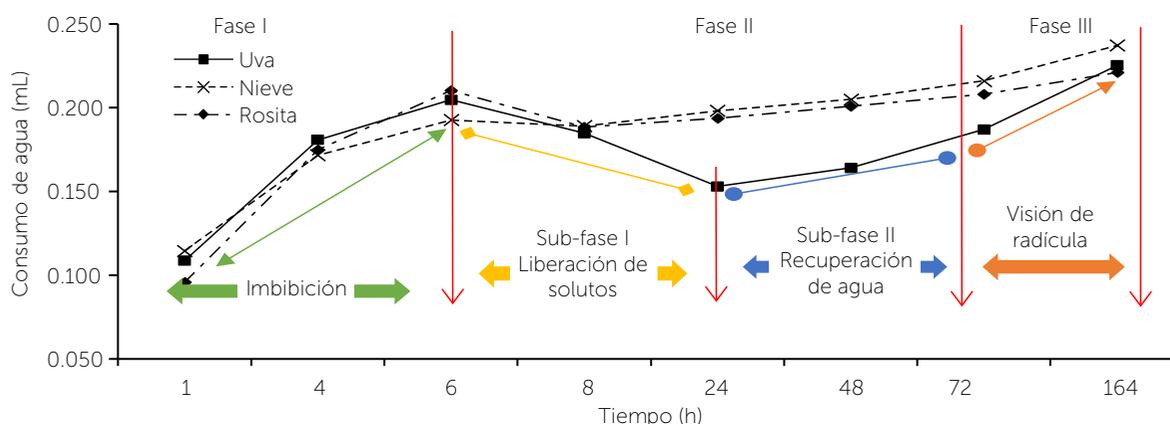
El consumo de agua por las semillas en las primeras 6 h fue rápido, correspondiendo este comportamiento a la fase I (Figura 2). Tiempo similar observaron algunos autores en semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) (Abenavoli *et al.*, 2006) y maíz (*Zea mays* L.) (Yu-qin y Song-quan, 2008), pero diferente por una hora más a semillas de canola (*B. napus*) (Zhang *et al.*, 2008). Robert *et al.* (2008) menciona que el rápido consumo de agua se atribuye a una diferencia de presiones del potencial osmótico de la semilla con el agua, afectando directamente el tamaño y forma de la semilla.

La dinámica de absorción después de seis horas no aumento y el peso de las semillas disminuyo en los tres genotipos, esto por fuga de solutos. La curva para Nieve y

**Cuadro 2.** Comparación múltiple de medias en atributos morfológicos de tres genotipos de alhelí (*Matthiola incana*).

Genotipo	Características morfológicas									
	Área (mm <sup>2</sup> )		Perímetro (mm)		Largo (mm)		Ancho (mm)		Forma	
	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.
Nieve	5.29 a	31.08	9.00 a	15.74	2.88 a	15.81	2.29 a	17.02	0.80 b	9.2
Uva	4.08 b	15.62	7.86 b	10.22	2.47 b	8.85	2.09 b	10.43	0.83 a	10.88
Rosita	3.16 c	60.08	6.32 c	51.38	1.99 c	51.16	1.61 c	51.47	0.79 b	11.56
DMS*	0.248		0.34		0.109		0.090		0.0143	

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey<0.05);  $\bar{x}$  : Media; CV: Coeficiente de variación; Gen: Genotipo; DMS: Diferencia mínima significativa.



**Figura 2.** Dinámica de absorción de agua por fases de imbibición y división de propuesta de integración de dos subfases en fase II de los genotipos Rosita, Nieve y Uva de *Matthiola incana*.

Rosita mostró después de cuatro horas una reactivación al consumo. Mientras que en Uva el comportamiento se mantuvo por 18 h, tiempo en que perdió 0.030 mL. Durante la imbibición, el fenómeno de expulsión de solutos también ha sido descrita en semillas de rábano (*B. rapifolius*) por Murphy y Noland (1982). Tal comportamiento se relaciona con el color de la semilla, ya que semillas de testa oscura liberan taninos y compuestos oxidativos que afectan la germinación (Rahman y McVetty, 2011; Gairola et al., 2018). De lo anterior, Bradford (1990) menciona que semillas de testa clara son más rápidas en imbibición, tal como se observa en el comportamiento de Rosita y Nieve en comparación a Uva. Superada la liberación de solutos por las semillas, se reinicia el consumo de agua de forma estable. Hecho que sugiere dos eventos como subfases de la fase II, donde la primera corresponde a la expulsión de solutos con una duración de dos horas para Nieve y Rosita, y dieciocho para Uva. La segunda, subfase surge como respuesta a una reactivación al consumo estable de agua en los tres genotipos. El tiempo observado en la fase I y II, concuerda con lo reportado por Bewley (1997) y Cláudio et al. (2011) quienes mencionan que en la imbibición, la fase dos se mantiene diez veces más en tiempo que la fase I. La fase tres o pre-germinación en Nieve, Rosita y Uva se observó a las 164 h con la visión de la protuberancia de la radícula en las semillas. Es entonces que la etapa de imbibición se da por concluida e inicia el desarrollo de la plántula.

## CONCLUSIÓN

Los caracteres morfológicos de los genotipos Nieve, Rosita y Uva mostraron diferencias en peso de mil semillas, área, perímetro y color, pero semejantes en forma (orbicular). El periodo de imbibición tarda 162 h para los tres genotipos. Se identifica-

ron dos subfases en la fase dos, reconociendo a la primera como de expulsión de solutos y la segunda como de reactivación del consumo de agua. El tiempo en que cada fase se completa fue diferente para cada genotipo.

## LITERATURA CITADA

- Abenavoli, M. R., Cacco, G., Sorgonà, A., Marabottini, R., Paolacci, A. R., Ciaffi, M. and Badiani, M. (2006). The inhibitory effects of coumarin on the germination of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* cv. Simeto) seeds. *J. of Chemical Ecology*. 32: 489–506. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-9011-x>
- Bassiri, A. and Kheradnam, M. 1976. Relationships between seed color and viability, germination and seedling growth of wild safflower ecotypes. *Can. J. Plant Sci.* 59: 911–917.
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*. 9: 1055–1066.
- Booth, D. T. and Bai, Y. 1999. Imbibition temperature affects on seedling vigor: In crops and shrubs. *J. of Range Management*. <https://doi.org/10.2307/4003783>
- Bradford, K. J. 1990. A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiol.* 94: 840–849. <https://doi.org/10.1104/pp.94.2.840>
- Cláudio, A. D., Oliveira, O. A., Amaral, E. A. da S. and Davide, A. C. 2011. Improvement to the physical quality and imbibition pattern in seeds of candeia (*Eremanthus incanus* (Less) Less.). *Cerne*. 17: 321–326.
- Denis, R. P. B., Hermida, M. A. y Huesca, M. J. 2012. El altar de muertos: origen y significado en México. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. 35: 1–7.
- Duarte, E. R., Manguelón, V., Kupperts, G., Rocha, P. y Niella, F. 2017. Tamaño y viabilidad de semillas: implicancias en la evolución y conservación de *Phaius tankervilleae* (Orchidaceae). *Caldasia*, 39: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n2.62184>
- Gairola, S., Shabana, H. A., Mahmoud, T. and Santo, A. 2018. Effects of seed colour heterogeneity on germination behaviour of the desert plant *Lotononis platycarpa* (Fabaceae). *Nordic J. of Bot.* 36: <https://doi.org/10.1111/njb.01617>
- García, de los S. G. y Estrada, G. J. A. 1999. Caracterización de frijol de la variedad bayomex mediante descriptores agrónomos y análisis de imágenes de morfología de semillas. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 22: 63–74.

- International Seed Testing Association (ISTA). 2010. Reglas del ISTA. Septiembre de 2010. Publicado en línea en: [http://www.analisisdesemillas.com.ar/index.php?option=com\\_content&task=view&id=15&Itemid=31](http://www.analisisdesemillas.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=31)
- Jamil, M., Ali, A., Ghafoor, A., Akbar, K. F., Napar, A. A., Huma Naveed, N. and Mujeeb-Kazi, A. A. 2017. Digital image analysis of seed shape influenced by heat stress in diverse bread wheat germplasm. *Pak. J. Bot.* 49: 1279–1284.
- Khalik, K. A. and Van der Maesen, L. J. G. 2002. Seed morphology of some tribes of Brassicaceae (implications for taxonomy and species identification for the flora of Egypt). *Blumea: J. of Plant Taxonomy and Plant Geography.* 47: 363–383.
- List, M. H. 2014. Caracterización agronómica, nutricional y molecular de *Vicia faba* L. Montecillo, Texcoco. Edo de México: Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad - Genética.
- Long, R. L., Williams, K., Griffiths, E. M., Flematti, G. R., Merritt, D. J., Stevens, J. C. and Dixon, K. W. 2010. Prior hydration of *Brassica tournefortii* seeds reduces the stimulatory effect of karrikinolide on germination and increases seed sensitivity to abscisic acid. *Ann. of Bot.* 105: 1063–1070. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq061>
- Ma, Z., Bykova, N. V. and Igamberdiev, A. U. 2017. Cell signaling mechanisms and metabolic regulation of germination and dormancy in barley seeds. *Crop J.* 5: 459–477.
- Méndez, J. R. N., Merazo, J. F. P. y Montaño, N. J. M. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). *Rev. Científica UDO Agrícola.* 8: 61–66.
- Murphy, J. B. and Noland, T. L. 1982. Temperature effects on seed imbibition and leakage mediated by viscosity and membranes. *Plant Physiol.* 69: 428–431.
- Mwami, B., Ngululu, S., Kimiti, J. M. and Kimatu, J. N. 2017. Effects of water imbibition of selected bean varieties on germination effects of water imbibition of selected bean varieties on germination. *Int. J. of Agri. Research and Review.* Vol.5(1):pp 579 – 587.
- Nakayama, N. y Komatsu, S. 2008. Water uptake by seeds in yellow-seeded Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars with contrasting imbibition behaviors. *Plant Prod. Sci.* 11: 415–422. <https://doi.org/10.1626/pps.11.415>
- Rahman, M. and McVetty, P. 2011. A review of *Brassica* seed color. *Canadian J. of Plant Sci.* 91: 437–446. <https://doi.org/10.4141/cjps10124>
- Raya, P. J. C., Aguirre, M. C. L., Medina, O. J. G., Ramírez, P. J. G., Andrio, E. E., Castellanos, S. A. y Covarrubias, P. J. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Rev. Mex. de Ciencias Agri.* 3: 633–641.
- Robert, C., Noriega, A., Tocino, Á. and Cervantes, E. 2008. Morphological analysis of seed shape in *Arabidopsis thaliana* reveals altered polarity in mutants of the ethylene signaling pathway. *J. of Plant Physiol.* 165: 911–919.
- Royal Horticultural Society (RHS). 2018. The royal horticultural society color chart. The Royal Horticultural Society, London.
- Sandeep, V. V. and Durga, K. K. 2013. Seed image analysis: it's applications in seed science research. *Int. Res. J. of Agri. Sci.* 1: 30–36.
- Sauceda, A. C. P., Villaseñor, M. E. H., Lugo, G. A. G., Partida, R. L., González, H. V. y Reyes, O. A. 2017. Tamaño y número de granos de trigo analizados mediante procesamiento de imagen digital. *Rev. Mex. de Ciencias Agri.* 8: 517–529.
- Schneider, A. and Renault, P. 1997. Effects of coating on seed imbibition: I. Model estimates of water transport coefficient. *Crop Sci.* 37: 1841–1849.
- Smýkal, P., Nelson, M. N., Berger, J. D. and von Wettberg, E. J. B. 2018. The impact of genetic changes during crop domestication. *Agronomy.* 8: 1–22.
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (Consulta: septiembre 2018). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Souza, M. L. and Fagundes, M. 2014. Seed size as key factor in germination and seedling development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *American J. of Plant Sci.* 2566–2573. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.517270>
- Tantawy, M. E., Khalifa, S. F., Hassan, S. A. and Al-Rabaii, G. T. 2004. Seed exomorphic characters of some Brassicaceae (LM and SEM Study). *International J. of Agric. and Biol.* 6: 821–830.
- Tekin, M., Yilmaz, G. and Martin, E. 2013. Morphological, anatomical and palynological studies on endemic *Matthiola anchoniifolia* Hub. -Mor. (Brassicaceae). *Notulae Scientia Biologicae.* 5: 163–168.
- Yamauchi, Y., Ogawa, M., Kuwahara, A., Hanada, A., Kamiya, Y. and Yamaguchi, S. 2004. Activation of gibberellin biosynthesis and response pathways by low temperature during imbibition of *Arabidopsis thaliana* seeds. *The Plant Cell.* 16: 367–378. <https://doi.org/10.1105/tpc.018143>
- Yu-qin, M. and Song-quan, S. 2008. Early morphological and physiological events occurring during germination of maize seeds. *Agricultural Sci. in China.* 7: 950–957.
- Zayas, I., Pomeranz, Y. and Lai, F. 1985. Discrimination between Arthur and Arkan wheats by image analysis. *Cereal Chem.* 62: 478–480.
- Zhang, X. K., Chen, J., Chen, L., Wang, H. Z. and Li, J. N. 2008. Imbibition behavior and flooding tolerance of rapeseed seed (*Brassica napus* L.) with different testa color. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 55: 1175–1184.

# Impact of climatic change on the adaptation of coffee (*Coffea arabica* L.) crops in Tabasco, Mexico

## Impacto del cambio climático en la adaptación del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en Tabasco, México

Aceves-Navarro Lorenzo Armando<sup>1</sup>; Rivera-Hernández Benigno<sup>2\*</sup>; Santillán-Fernández Alberto<sup>3</sup>; Arrieta-Rivera Agrícola<sup>4</sup>; Juárez-López José Francisco<sup>1</sup>; Gutiérrez-Burón Roberto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 3.5. C. P. 86500. Cárdenas, Tabasco. México. <sup>2</sup>Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, km 2.0, R/a Pazo y Playa, Cárdenas, Tabasco. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Campeche. km 17.5 Carretera federal Haltunchén-Edzná. C.P. 24450, Sihochac, Champotón, Campeche. México. <sup>4</sup>Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca. Prol. Ignacio Zaragoza S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México.

\*Autor para correspondencia: benigno\_1973@hotmail.com

### ABSTRACT

**Objective:** determine the areas most suitable for growing coffee (*Coffea arabica* L.) in Tabasco, Mexico, as well as their current potential yield, projecting their redistribution for the year 2050 under a climate change scenario, and the impact on future yields.

**Design/methodology/approach:** the FAO AgroEcological Zoning (AEZ) methodology was used to define the best areas to grow coffee and to estimate their potential yield in Tabasco state under current era and on a future climate change scenario for the year 2050 (FAO, 1981). The AEZ performed for the 2050 year takes in account a 1.6 °C increment in the mean daily temperature for the selected climatic stations in the present study.

**Results:** the resulting overlapping map of soil and climate most suitable potential areas shows that in Tabasco coffee has been grown in not optimal agro ecological conditions. Actually the more suitable and optimal areas for arabic type coffee in Tabasco covers a 59,400.24 ha out of the existing total 2,034,227.52 ha.

**Limitations of study/implications:** there is a large group of new coffee clones in Mexico which leaf area and harvest index are unknown, getting hard to estimate their potential yields.

**Findings/conclusions:** in the year 2050, under the worst climatic change scenario, the actual best potential areas to grow coffee in Tabasco will be reduced in 96.42% and their potential yields will also be reduced in 67% compared to the actual potential yields.

**Key words:** climate, crops, zoning, potential yields.

### RESUMEN

**Objetivo:** determinar las áreas más aptas para cultivar café (*Coffea arabica* L.) en Tabasco, México, así como su rendimiento potencial actual, proyectando su redistribución para el año 2050, bajo un escenario de cambio climático, e impacto sobre los rendimientos futuros.

**Diseño/ Metodología/ Aproximación:** para la Zonificación Agro-Ecológica (ZAE) y la estimación de los rendimientos potenciales del café en el estado de Tabasco en la época actual y para el año 2050 se siguió el procedimiento propuesto por la FAO (FAO, 1981). La ZAE para el año 2050 se realizó incrementando en 1.6 °C las temperaturas promedio diarias de las estaciones climatológicas selectas.

**Resultados:** el álgebra de mapa de las zonas con alto potencial climático y las zonas con alto potencial edafológico, indica que, en Tabasco se ha estado cultivando café en zonas que no son óptimas. Las áreas óptimas para café arábigo se reducen a solo 59,400.24 ha de las 2,034,227.52 ha que bajo las condiciones climáticas actuales existen.

**Limitaciones del estudio/ implicaciones:** hay una amplia variedad de clones de café en México, de los cuales se desconoce el índice de área foliar e índice de cosecha, lo que dificulta estimar los rendimientos potenciales actuales.

**Hallazgos/ conclusiones:** bajo el peor escenario de cambio climático, se reducirá en 92.46% las actuales áreas edafoclimáticas más aptas. El rendimiento potencial estimado actual para el café tipo arábigo, bajo el escenario de cambio climático para el año 2050, se verá reducido en 67% promedio.

**Palabras clave:** clima, cultivo, zonificación, rendimiento potencial.

margo, 2010; Craparo et al., 2015). Debido a lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo determinar la ubicación actual de las áreas más aptas para cultivar café para Tabasco y su redistribución para el año 2050, bajo el peor escenario de cambio climático (A2 hoy RCP8.5), y determinar el impacto sobre los rendimientos actuales y futuros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la Zonificación Agro-Ecológica (ZAE) del cultivo de café Tabasco en la época actual, como para el año 2050 se siguió el procedimiento propuesto por la FAO (FAO, 1981).

### Definición de los requerimientos bioclimáticos óptimos (clima y suelo) para el cultivo de café tipo arábigo

Las principales variables que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivo para el cultivo de café arábigo fueron: clima (Cuadro 1) y suelo (Cuadro 2); por la relación directa que guardan con el rendimiento del cultivo.

### Acopio de datos climatológicos y edafológicos

La información climática requerida en el estudio se extrajo de la base de

## INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo estratégico para México, tiene importancia económica, social, cultural y ecológica, su producción se concentra en 4,800 municipios distribuidos en 14 entidades federativas, que de manera conjunta suman 730,011 hectáreas cultivadas aproximadamente por 500,000 productores (SAGARPA, 2016). El gobierno federal de México tiene dentro de sus planes de desarrollo (2017-2030) impulsar la producción y productividad de las actuales áreas cultivadas con café en Tabasco, México, y la apertura de nuevas áreas para ese cultivo (SAGARPA, 2016). La Zonificación Agro-Ecológica (ZAE) propuesta por la FAO, es un procedimiento que permite ubicar las áreas más aptas para un determinado cultivo (FAO, 1981) con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas, así como por un complejo número de factores socio-económicos, culturales y tecnológicos. Sin embargo, actualmente no solo es necesario determinar las aéreas muy óptimas y los rendimientos potenciales máximos para el presente, sino también para escenarios futuros. El incremento en la temperatura promedio diaria anual y la disminución de la precipitación que se espera en el transcurso del siglo 21, debido al cambio climático, puede afectar la adaptación y productividad del cultivo de café (Ca-

**Cuadro 1.** Valores óptimos de los requerimientos climáticos para el café (*Coffea arabica* L.), que sirven para definir áreas de alta potencialidad productiva.

Variables climáticas	Valores óptimos	
	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	14	28
Precipitación anual (mm)	1400	2300
Latitud	5	-
Altitudes (m)		2800
Fotoperiodo	Días cortos (menos de 12 horas), Días neutrales (12 a 14 horas)	
Intensidad luminosa	Cielo despejado	Cielo nublado
Zona climática (clasificación de Köppen)	Tropical Húmedo y Seco (Aw), Subtropical Húmedo (Cf), Subtropical con Invierno Seco (Cw)	

Fuente ECOCROP, (2015)

**Cuadro 2.** Valores óptimos de las variables edafológicas seleccionadas para definir áreas con suelos de alta potencialidad para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.).

Variables edafológicas	Valores óptimos
Profundidad	>150 cm
pH	5.5 – 7.0
Textura	Media, Orgánica
Fertilidad	Alta
Salinidad	Baja (<4 dS/m)
Drenaje del suelo	Bien drenado

Fuente: ECOCROP, (2015).

datos del, ERIC III ver. 3.2. (IMTA, 2013). Se seleccionaron 45 estaciones meteorológicas en base a su distribución geográfica y periodo de registro. Los datos de irradiación global diaria se obtuvieron de un trabajo previo de los autores (Peralta-Gamas et al., 2008). Los requerimientos óptimos de cada una de las seis variables de suelo para café arábica se compararon con las propiedades de las diferentes Subunidades de Suelo existentes en el estado de Tabasco reportadas por Palma et al. (2007). Las subunidades de suelo que cumplían con los requisitos se denominaron subunidades con alto potencial edafológico. Se construyeron mapas de isolíneas a escala 1:250,000 con ArcViewSIG versión 9.3 (ESRI, 2004). Se realizó el álgebra de mapa de las zonas con alto potencial climático y las zonas con alto potencial edafológico, dando origen al mapa con alto potencial edafoclimático para el cultivo de café.

### Estimación del rendimiento potencial (RP)

Se utilizó el método de ZAE propuesto por FAO, (1981) y descrito por Fischer et al. (2012) para estimar el RP del cultivo de café en Tabasco. En el Cuadro 3, se muestran los valores de índice de área foliar (IAF) e índice de cosecha ( $l_c$ ) para tres niveles de insumos propuestos por Fischer et al. (2012) que fueron utilizados para estimar los RP actuales y para mediados de siglo. Los RP estimados actuales y para mediados de siglo por esta metodología son válidos bajo las siguientes condiciones: Son para cultivo de café bajo sombra, cuatro años de edad, y densidad de 2,500 plantas ha<sup>-1</sup>.

### Análisis del incremento de la temperatura para el año 2050

Para determinar el incremento de temperatura para el año 2050 se analizaron 12 mapas de la república mexicana, reportados por (Magaña y Caetano, 2007). El resultado del análisis señala que en el peor escenario (A2

- equivalente al escenario RCP8.5 según el IPCC, (2014), la temperatura promedio diaria de Tabasco, se incrementará en 1.6 °C a mediados de siglo. La zonificación agroecológica para el año 2050 se realizó incrementando en 1.6 °C las temperaturas promedio diarias de las 45 estaciones meteorológicas selectas. Respecto a la precipitación, los mapas reportados por Magaña y Caetano (2007) mostraron que la precipitación no se verá afectada, por lo que no se consideró el efecto de esta variable, en la generación de los mapas de zonificación para el año 2050.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Zonas climáticas muy aptas para el café tipo arábica, para la situación actual

Los análisis promedios de temperatura anual de las 45 estaciones meteorológicas selectas, mostraron que todo el estado de Tabasco presenta condiciones óptimas para cultivar café tipo arábica. Lo anterior debido a que las temperaturas registradas en las estaciones meteorológicas se ubican en el rango (de 14 y 28 °C), que es el rango óptimo que se reporta (ECOCROP, 2015). En lo relativo a la precipitación total anual, la gran mayoría del estado de Tabasco presenta valores óptimos para el café tipo arábica (2,034,227.52 ha); excepto en la parte más húmeda al sur del estado, en las estribaciones de la Sierra de Chiapas, en los municipios de Teapa, Tacotalpa y parte de los municipios de Jalapa, Macuspana y Huimanguillo. Esta restricción es debida al exceso de lluvia; así que, desde el punto de vista climático quien limita las zonas altamente potenciales es la precipitación total anual.

### Delimitación de zonas edafológicas muy aptas actuales para el café

Al comparar los requerimientos óptimos de suelo que demanda el cultivo café arábica, con las propiedades de las diferentes subunidades de suelo existentes en el estado de Tabasco, se encontró que solo dos de 80 subunidades de suelo existentes, cubrían totalmente dichos requerimientos para este tipo de café. Las Subunidades fueron: Fluvisoles Éutricos y Cambisoles

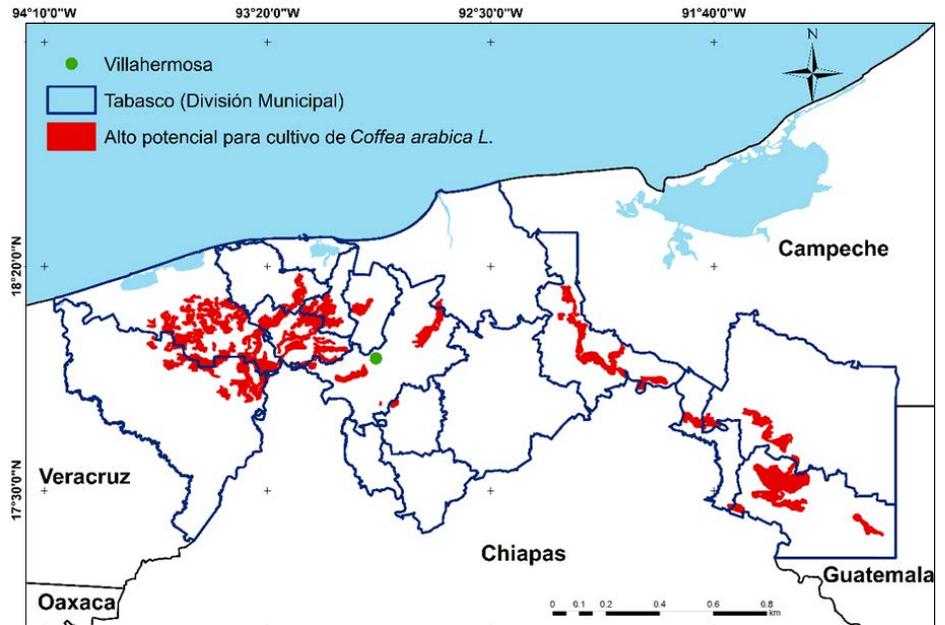
**Cuadro 3.** Valores del índice de área foliar (IAF) e índice de cosecha ( $l_c$ ) para diferentes niveles de insumos, para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Índices	Nivel de insumos		
	Bajo	Intermedio	Alto
IAF	1.5	2.3	3.0
$l_c$	0.600	0.095	0.130

Éutrico-calcáricos, que ocupan una superficie de 207,021.12 ha, consideradas como suelos muy aptos para cultivar café del tipo arábigo y que se localizan en la región de la Sierra, la Chontalpa y los Ríos; esta superficie representa el 5% de territorio del estado de Tabasco. Delimitación de zonas edafoclimáticas muy aptas actuales para el café.

Se realizó el álgebra de mapa de las zonas con alto potencial climático y las zonas con alto potencial edafológico, dando origen al mapa edafoclimático muy apto para el cultivo de café, las áreas que se interceptan (álgebra de mapas), son aquellas que, tanto en suelo como en clima, son las más aptas para cultivar café y donde se espera tener un alto potencial productivo. El resultado de este traslape se presenta en el mapa, y de color rojo se muestran las áreas edafoclimáticas muy aptas para producir café de tipo arábigo (Figura 1). En la Cuadro 4 se muestran 13 de los 17 municipios de Tabasco que poseen el mejor clima y mejores suelos para cultivar café. El área con alto potencial productivo es de 121,643.39 ha. El área con alto potencial productivo encontrada en este trabajo es menor al área observada en los mapas reportada por SAGARPA (2016), aunque las áreas identificadas en este trabajo como de alto potencial productivo se ubican dentro de las reportadas por SAGARPA (2016).

Los municipios que actualmente son productores de café en Tabasco son: Teapa, Tacotalpa, Macuspana, Paraíso y una gran parte del municipio de Huimanguillo



**Figura 1.** Zonas de alto potencial productivo (zonas edafoclimáticamente muy aptas) para cultivar café del tipo arábigo (*Coffea arabica* L.) en la actualidad.

(INEGI, 2015). A excepción de Huimanguillo, los otros cuatros municipios no aparecen en el Cuadro 4. Lo anterior indica que, en Tabasco se ha estado cultivando café en zonas que no son las más óptimas, lo que podría explicar en gran medida los bajos rendimientos obtenidos de café cereza por hectárea.

**Delimitación las zonas edafoclimáticas muy aptas para el año 2050 bajo escenario (A2) de cambio climático para el cultivo de café**

Los resultados mostraron que, desde el punto de vista climático, las áreas óptimas para café tipo arábigo se reducen a solo 59,400.24 ha de las 2,034,227.52 ha que bajo las condiciones climáticas actuales existen. Es decir, bajo este escenario de cambio climático las zonas climáticamente muy aptas se reducen a 2.92% de la superficie original. Situación similar a lo reportado por Schroth et al.

**Cuadro 4.** Municipios y superficie edafoclimáticamente muy apta para cultivar café tipo arábigo (*Coffea arabica* L.) actualmente en Tabasco, México.

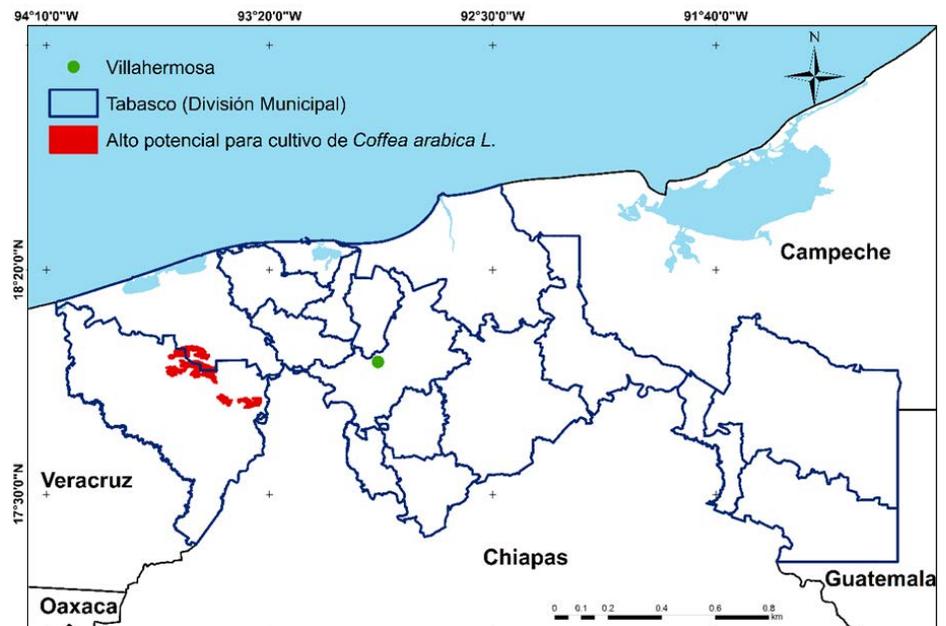
Municipios	Superficie (ha)	% del área del municipio	Municipios	Superficie (ha)	% del área del municipio
Balancán	7,051.08	2.0	Huimanguillo	18,518.47	5.0
Cárdenas	27,300.10	13.4	Jalapa	574.15	1.0
Centla	120.59	0.04	Tenosique	18,806.40	10.0
Centro	8,341.46	4.9	Jonuta	13,235.25	8.1
Comalcalco	3,310.31	4.3	Nacajuca	2,083.59	3.9
Jalpa de Méndez	5,257.84	14.2	Cunduacán	14,871.24	24.9
Emiliano Zapata	2,174.91	3.7			

(2010) para la zona cafetalera de Chiapas, México, donde 265,000 ha se reducirían a solo 6,000 ha por efectos del cambio climático. En la Figura 2, se muestra el mapa de Tabasco con las zonas edafoclimáticamente muy aptas (de alta potencialidad) para café tipo arábigo, para el año 2050. En este mapa, se aprecia que para el año 2050 la superficie de zonas muy aptas para café (coloreadas en rojo) se reduce a solo 9,164.35 ha de las 121,643.39 ha originalmente muy aptas.

Es decir, que, bajo el escenario de cambio climático, las áreas edafoclimáticamente muy aptas se reducen en 92.46%, y de los 13 municipios que actualmente presentan áreas muy aptas, solo dos municipios (Cárdenas: 190.27 ha y Huimanguillo: 6,974.07 ha) presentarán áreas muy aptas para cultivar café del tipo arábigo. Estos resultados son semejantes con lo señalado por Rivera-Silva et al. (2013) para la zona cafetalera del estado de Veracruz, México.

### Rendimientos potenciales actuales y para el año 2050

Los rendimientos potenciales estimados para café arábigo con el método FAO (1981) y Fischer et al. (2012) mostraron una variación en los rendimientos para diferentes insumos y para las diferentes localidades dentro de la misma zona de aptitud (muy apta). Los rendimientos potenciales promedios para el cultivo de café arábigo para esas zonas del estado de Tabasco en los tres niveles de insumo: bajo, intermedio y alto fue 3.4, 7.3 y 10.5 t ha<sup>-1</sup>, de café cereza respectivamente. Los rendimientos anteriores equivalen a 0.63, 1.35 y 1.94 t ha<sup>-1</sup> de café pergamino seco (cps) respectivamente. Los rendimientos potenciales promedios estimados para el cultivo de café arábigo para el año 2050 en Tabasco en los tres niveles de insumo: bajo, intermedio y alto se redujeron a 1.1, 2.2 y 3.8 t ha<sup>-1</sup>, de café cereza respectivamente. Esto representa una reducción del 67.7, 63.8 y 69.9% respectivamente; con una reducción promedio del 67% respecto al año 2018. El incremento de la temperatura promedio diaria de 1.6 °C representa reducciones en la producción de 2.3, 5.1 y 6.7 t ha<sup>-1</sup>, al año de café cereza para los tres niveles señalados respectivamente. Esto indica lo susceptible que sería el café arábigo a un cambio climático.



**Figura 2.** Zonas de alto potencial productivo (zonas edafoclimáticamente muy aptas) para cultivar café del tipo arábigo (*Coffea arabica* L.), bajo escenario de cambio climático para el año 2050.

Esto se pudiera explicar por la reducción que habría en el número de horas con temperaturas adecuadas durante el día para una máxima fotosíntesis, que ahora se reducen a menos de 3.0 h d<sup>-1</sup> y baja intensidad luminosa, pues esas tasas ocurrirían en las primeras horas de la mañana. Las tasas fotosintéticas máximas del cultivo de café se obtienen a valores de temperaturas diurnas entre 20 y 25 °C (Fisher et al., 2012). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Rivera-Silva et al. (2013) para la región cafetalera de Veracruz.

## CONCLUSIONES

Actualmente, en Tabasco existen 121,643.39 ha edafoclimáticamente muy aptas para establecer el cultivo de café tipo arábigo, y bajo el peor escenario de cambio climático (A2, hoy RCP8.5), se reducirán en 92.46%. El área muy apta se concentrará en solo dos municipios (Cárdenas y Huimanguillo), de los actualmente 13 con alto potencial productivo. El rendimiento potencial estimado actual para el café tipo arábigo, bajo el escenario de cambio climático para el año 2050, se verá reducido en promedio en 67%.

## LITERATURA CITADA

- Camargo, M.B.P. (2010). The impact of climatic variability and climate change on Arabic Coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69, 239-247.
- Craparo, A.C.W., Van Asten, P.J.A., Läderach, P., Jassogne, L.T.P., & Grab, S.W. (2015). *Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10.

- ECOCROP. (Crop Ecological Requirements). (2015). The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Versión 1.0. Ags. Rome, Italy.
- ESRI. (2004). Arcgis 9. Getting Started With Arcgis. Sistema de información. Redland, CA. USA, p. 256.
- FAO. (1981). Report on the Agro-Ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations World Soils Report No. 48. Rome, Italia, p.158. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF8217381>.
- Fischer, G., Nachtergaele, F.O., Prieler, S., Teixeira, E., Tóth, G., Van Velthuizen, H., Verelst, L. & Wiberg, D. (2012). Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0): Model Documentation. International Institute for Applied systems Analysis/Food and Agriculture Organization of the United Nations (IIASA/FAO), Luxemburg, Austria and FAO, Rome, Italy, p. 179.
- IMTA. (2013). ERIC III. Extractor Rápido de Información Climatológica v.3.2.
- INEGI. (2015). Anuario Estadístico Tabasco. (En línea). Disponible en: [www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras](http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras).
- IPCC (2014). Climate Change 2014. Synthesis Report. Contributions of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Meyer, L. A. (Eds.). Switzerland. 151 p.
- Magaña, V. & Caetano, E. (2007). Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana, como elemento para la reducción del riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: Cambio climático por estado y por sector. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Dirección General de Investigación Sobre Cambio Climático. Informe Final Proyecto Num. INE/A1-006/2007. 19p.
- Palma, L.D.J., Cisneros, D.E., Moreno, C.E. & Rincón, R.J.A. (2007). Suelos de Tabasco: Su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FRUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 194p.
- Peralta-Gamas, M., Jiménez-Jiménez, R., Martínez-Gallardo, J. B., Rivera-Hernández, B. & Aceves-Navarro, L. A. (2008). Estimación de la variación espacial y temporal de la radiación solar en el estado de Tabasco, México. XX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Villahermosa, Tabasco, México. 243 p.
- Rivera-Silva, M.R., Nikolskii-Gavrilov, I., Castillo-Álvarez, M., Ordaz-Chaparro, V. M., Díaz-Padilla, G. & Guajardo-Panes, R.A. (2013). Vulnerability of Coffee Production (*Coffea arabica* L.) to Global Climate Change. Terra Latinoamericana, 31(4), 301-313.
- SAGARPA. (2016). Plan Integral de Atención al Café PIAC. Consultado en línea el 24 de marzo de 2019. Disponible en: [https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2016/10/3\\_procafe.pdf](https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2016/10/3_procafe.pdf).
- Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Hagggar, J., Eakin, H., Castillejos, T., Garcia Moreno, J., Soto Pinto, L., Hernandez, R., Eitzinger, A. and Ramirez-Villegas, A. (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Mitig. Adapt. Strateg. Global Change, 14, 605-625.



## Use of continuous flow centrifugation to clarify wine and artisan beers

### Uso de la centrifuga de flujo continuo para clarificar vinos y cervezas artesanales

Bucio-Galindo, Adolfo<sup>1\*</sup>; Izquierdo-Reyes, Francisco<sup>1</sup>; Bautista-Muñoz, Consuelo del Carmen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. km 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N, C.P.86500, H. Cárdenas, Tabasco. México.

\*Autor de correspondencia: adbucio@colpos.mx

#### ABSTRACT

**Objective:** to develop a process of clarification of wines and beers by continuous flow centrifugation on a small scale and develop a method of evaluation of clarification by spectrophotometry.

**Design/methodology/approach:** a method was developed to clarify a wine/beer beverage in a continuous flow centrifuge until reducing turbidity to a value close to zero. Fifteen spin cycles were necessary for the visible reduction of turbidity. Turbidity was determined by measuring the absorbance at 600 nm of aliquots of the liquid resulting from the centrifugation of each cycle. From the readings made, a turbidity reduction curve and a turbidity reduction prediction model and an efficiency calculation were made.

**Results:** Approximately 15 L h<sup>-1</sup> of fermented beverage were clarified, for which it was necessary to apply 15 spin cycles. The turbidity removal efficiency at the end of the 15 cycles was 99.6%. Turbidity readings were taken from each spin cycle. With the readings made to the samples after each centrifugation, a model, negative exponential curve, was generated, which were subsequently transformed to finally obtain a simple linear extinction model that shows how turbidity disappears after 18 cycles of centrifugation.

**Limitations on study/implications:** clarification using a continuous flow centrifuge could be optimized by increasing the rotor speed and/or reducing the output flow of the clarified liquid.

**Findings/conclusions:** the continuous flow centrifugation process of fermented musts allows the clarification of wines and beers in several cycles and represents a viable alternative to small scale production.

**Keywords:** centrifugation, clarification, beverages.

#### RESUMEN

**Objetivo:** desarrollar un proceso de clarificación de vinos y cervezas por centrifugación de flujo continuo a pequeña escala y desarrollar un método de evaluación de la clarificación por espectrofotometría.

**Diseño/metodología/aproximación:** se desarrolló un método para clarificar una bebida fermentada/cerveza en una centrifuga de flujo continuo hasta reducir la turbidez a un valor cercano a 0. Se llevaron a cabo 15 ciclos de centrifugado para la reducción visible de la turbidez. La turbidez se determinó midiendo la absorbancia a 600 nm de alícuotas del líquido resultante de la centrifugación de cada ciclo. A partir de lecturas realizadas, se hizo una curva de reducción de la turbidez y un modelo de predicción de la reducción de la turbidez y un cálculo de la eficiencia.

**Resultados:** Se clarificaron aproximadamente 15 L h<sup>-1</sup> de bebida fermentada, para lo cual fueron necesarios aplicar 15 ciclos de centrifugado. La eficiencia de remoción de



**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 4, abril. 2020. pp: 59-63.

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

la turbidez al final de los 15 ciclos fue de 99.6%. Se tomaron lecturas de turbidez de cada ciclo de centrifugado. Con las lecturas realizadas a las muestras después de cada centrifugación, se generó un modelo, curva exponencial negativa, que fueron posteriormente transformados para finalmente obtener un modelo de extinción lineal simple que muestra como la turbidez desaparece después de 18 ciclos de centrifugado.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** la clarificación con uso de centrifuga de flujo continuo podría optimizarse aumentando la velocidad del rotor y reduciendo el flujo de salida del líquido clarificado.

**Hallazgos/conclusiones:** el proceso de centrifugación de flujo continuo de mostos fermentados permite la clarificación de vinos y cervezas en varios ciclos y representa una alternativa viable a pequeña escala de producción.

**Palabras clave:** centrifugación, clarificación, bebidas.

pasó a través de una manta cielo, para después colectarse y pasarse a través de una centrifuga (Elecrem modelo 125, Châtillon, France). La centrifuga de discos consiste en un apilado de conos delgados, que durante el proceso de centrifugación, hacen que el material más pesado del fluido resbale hacia abajo. Esto es también debido a que entre los platos se acumulan finas capas de impurezas y las más grandes se van adhiriendo a las paredes. La cubierta del trompo fue la sección donde se colectaron los sólidos, y el líquido se recolectó por ambos canales.

Al terminar cada ciclo de centrifugado, se recolectó todo el líquido, y se pasó por la centrifuga nuevamente. Entre cada ciclo, se tomaron cuatro alícuotas que se midieron en el espectrofotómetro programado para leer absorbancias a 600 nm. Con el objetivo de conocer el comportamiento de los promedios de las absorbancias observadas en función de los ciclos de centrifugado, 10 modelos lineales y no lineales fueron ajustados y analizados con el

## INTRODUCCIÓN

La producción y consumo de bebidas alcohólicas fermentadas ha sido una práctica común en muchas de las culturas del mundo (García-Garibay y López-Munguía, 1993; Hulse 2006; McKay *et al.*, 2011). Cada substrato que se va a fermentar se asocia a un producto, por ejemplo, la uva (*Vitis vinifera* L.) con el vino, la cebada (*Hordeum vulgare* L.) con la cerveza, y el maguey (*Agave* sp.) con el pulque. Como parte fundamental del proceso, las levaduras, por ejemplo, *Saccharomyces cerevisiae* se multiplican y consumen los azúcares y fuentes de nitrógeno de los substratos produciendo etanol y CO<sub>2</sub> (Hulse, 2006), generando también algunos compuestos aromáticos como ésteres, aldehídos y cetonas (Casp Vanaclocha, 1998). Una vez que las levaduras han finalizado la fermentación, los líquidos se observan muy turbios debido a partículas vegetales suspendidas y las levaduras. La turbidez generalmente se elimina mediante el proceso de la clarificación, quedando colores translúcidos (Figura 1).

Existen varias técnicas para hacer la clarificación (Cuadro 1).

La clarificación por centrifugación de flujo continuo es un método de alta inversión (Ribereau-Gayon *et al.*, 2006) y es poco conocido por microempresarios. Con base en lo anterior, el objetivo fue desarrollar un proceso de clarificación de vinos y cervezas por centrifugación de flujo continuo a pequeña escala y desarrollar un método de evaluación de la clarificación por espectrofotometría de luz visible.

## MATERIALES Y MÉTODOS

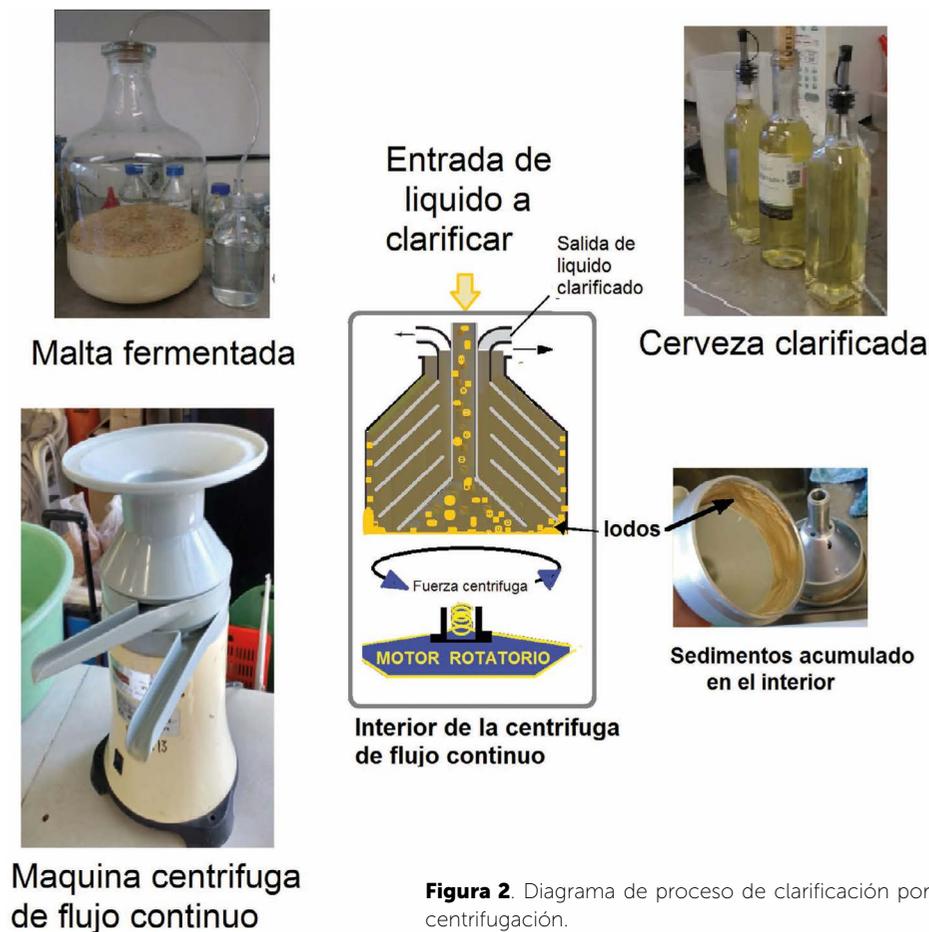
Para el desarrollo de la investigación, se prepararon 10 L de cerveza y 10 L de vino de uva siguiendo los métodos de Nout (2001) y Palacios (2017). El proceso de fermentación se llevó a cabo en un recipiente de vidrio con un tubo para la salida del CO<sub>2</sub> de modo similar al de la Figura 2. El proceso se dio por concluido después de 7 d. Se analizaron los datos del proceso de clarificación de cerveza. El líquido fermentado (cebada fermentada) se



**Figura 1.** Botellas conteniendo vino de uva de playa clarificado (izquierda) y sin clarificar (derecha).

**Cuadro 1.** Principales métodos de clarificación de vinos y cervezas.

Métodos de Clarificación	Tipos	Principio; alcances y limitaciones
Físicos	Sedimentación	Las partículas sólidas suspendidas en el líquido se separan por gravedad. La claridad se logra mediante un asentamiento gradual, seguido del trasiego para eliminar lodos que se van depositando en el fondo. Es un proceso lento que tiene una duración de semanas a meses (Molina, 2000; Ribereau-Gayon et al., 2006)
	Centrifugación de flujo continuo con discos cónicos	La velocidad de sedimentación del líquido fermentado se acelera haciendo girar al contenedor a más de 5000 revoluciones por minuto (Mierczynska-Vasilev y Smith, 2015), pasando el fluido por un arreglo de platos cónicos que proveen una mayor superficie de contacto para la sedimentación. Por un lado entra líquido turbio y por el otro sale líquido clarificado. Es una técnica muy recomendable (Ribereau-Gayon et al., 2006) pues es rápida, se afecta poco la composición química del vino y hay pocas mermas (McKay et al., 2011).
	Filtración: tradicional, microfiltración, y microfiltración tangencial.	Es la retención de sólidos y paso de fluidos a través de filtros elaborados a base de papel o polímeros. En la filtración convencional, la gravedad es la principal fuerza de paso de fluidos. En la micro filtración, se aplica presión para acelerar el proceso. En la micro filtración tangencial se usa un flujo cruzado o tangencial para evitar taponamientos (Molina, 2000; Zamora et al., 2018).
Uso de sustancias clarificantes	Gelatina, caseínas, bentonita, enzimas pectolíticas, o $\beta$ - glucanasas,	Se usan agentes que interactúan con los sólidos suspendidos presentes en el fermentado, que flocculan o se aglutinan formando una gran sustancia coloidal que en algunos casos facilita su decantación y en otros su flotación y posterior separación (Mierczynska-Vasilev y Smith, 2015). Uno de los aspectos negativos es que hay mermas de hasta 10%.

**Figura 2.** Diagrama de proceso de clarificación por centrifugación.

uso del software "R". La eficiencia del procesado en ciclos continuos iniciando del primer al ciclo 15 se calculó con la siguiente formula:

$$Eficiencia = \frac{Absorbancia\ final}{Absorbancia\ inicial} \times 100$$

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo que presentó el mejor ajuste y otras bondades, fue un modelo no lineal de tipo exponencial (Figura 3), cuya expresión es la siguiente:

$$Absorbancia = \frac{-0.25}{1 - 1.0758 \times e^{0.17255 \times (\# \text{ de ciclos})}}$$

Este modelo mostró que la turbidez disminuye exponencialmente después de cada ciclo de centrifugado. Al procesar el líquido 15 veces (15 ciclos de centrifugado), la eficiencia de remoción de la turbidez fue de 99.6 %. Así, que es posible afirmar que se puede clarificar vinos y cervezas por centrifugación de flujo continuo a pequeña escala con una eficiencia de clarificación de 99.6% según las mediciones de la absorbancia por espectrofotometría de luz visible. La clarificación no fue posible en un solo paso, pero si en 15 como puede notarse en la Figura 3 en que la cerveza clarificada se observa como translúcida. En la Figura 1 el vino también se observa como translucido, pero no se muestran los datos de absorbancia. Generalmente la turbidez de vinos y cervezas se mide con un turbidímetro (Benavent y Tudó, 2010), pero al no disponer para pequeñas escalas de producción de dicho equipo, se puede utilizar un espectrofotómetro que con las mediciones de absorbancia puede cumplir la misma función que el turbidímetro, que consiste en medir la absorbancia y reflectancia de la luz a través del fluido de interés (Balch, 1931).

El equipo de centrifugación es fácilmente utilizado por cualquier operador, es de fácil transportación (semiportátil), pesa menos de 3 kg. Es fácilmente desarmable para su limpieza y su costo es de menos de US \$2000 dls. Se puede comprar prácticamente en cualquier parte del mundo. La eficiencia del centrifugado para remover los sólidos suspendidos podría alcanzarse en menos ciclos aumentando el número de revoluciones que las centrifugadoras alcancen en el proceso (Ribereau-Gayon et al., 2006), o también reduciendo el caudal de salida (Alfa Laval, 2009). La mayoría de las centrifugas que se usan

en la vinificación son separadoras de discos que procesan entre 10 y 200 hL h<sup>-1</sup> con eliminación del sedimento regular y automática que se instalan en viñas grandes debido a sus importantes gastos por concepto de inversión de capital (Ribereau-Gayon et al., 2006).

### CONCLUSIONES

El proceso de centrifugación de flujo continuo de líquidos fermentados permite la clarificación de vinos y cervezas en varios ciclos y representa una alternativa viable a pequeña escala de producción.

### AGRADECIMIENTOS

A Mrs. Lorna Gooden del Rural Agricultural Development Agency (RADA) de Jamaica, y Hipólito Ortiz Laurel (CP-Campus Córdoba) con quienes el primer autor inició los trabajos de clarificación de vinos por filtración.

### LITERATURA CITADA

Alfa Laval 2009. Separator Manual: High Speed Separator S821 & S826. Published By: Alfa Laval Tumba AB. SE-147 80 Tumba, Sweden <http://maytau.ut.edu.vn/userfiles/files/Instruction%20Book.pdf>

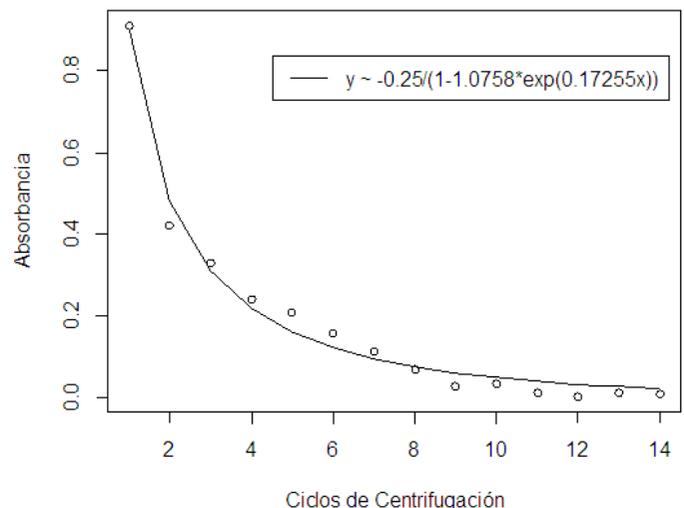
Balch, R. T. (1931). Measurement of turbidity with a spectrophotometer. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, 3(2), 124-127.

Benavent, J. L. A., y Tudó, J. L. A. (2010). *Manual de vinos y bebidas*. Editorial UPV.

Buglass, A. J. Buglass, A. J. (2011). *Handbook of alcoholic beverages: technical, analytical and nutritional aspects*. John Wiley & Sons. 1174p

Casp Vanaclocha, A. (1998). *Procesos de conservación de alimentos*. Mundi-Prensa-

García-Garibay, M., and López-Munguía, A. (1993). "Bebidas alcohólicas no destiladas," in *Biología Alimentaria*, eds M. García-Garibay, R. Quintero Ramírez, and A. López-Munguía (México: LIMUSA), 263-311.



**Figura 3.** Cinética de reducción de sólidos suspendidos de cerveza en relación al número de ciclos de centrifugado.

- Hulse, J. H. (2006). Biotecnologías: historia pasada, situación presente y perspectivas futuras. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19(3), 317-340.
- McKay, M. A., Buglass, A. J., & Lee, C. G. (2011). Fermented beverages: Beers, cidars, wines and related drinks. En Buglass, A. J. (Ed.). (2011). *Handbook of alcoholic beverages: technical, analytical and nutritional aspects*. John Wiley & Sons. 1174p.
- Mieczynska-Vasilev, A., & Smith, P. A. (2015). Current state of knowledge and challenges in wine clarification. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21, 615-626.
- Molina, R. (2000). *Teoría de la clarificación de mostos y vinos y sus aplicaciones prácticas*. Madrid: AMV Ediciones, Mundi Prensa. 317p.
- Nout, M. R. (2001). Fermented foods and their production. En *Fermentation and Food Safety*. M. R. Adams, & M. R. Nout (Eds.). Aspen.
- Palacios, M. E. A. (2017). Estandarización del proceso de una cerveza artesanal. Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. <http://reini.utcv.edu.mx/bitstream/123456789/345/1/007241-Estandarizaci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20una%20cerveza%20artesanal.pdf>
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (Eds.). (2006). *Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine-Stabilization and Treatments (Vol. 2)*. John Wiley & Sons.





# Effect of fires on understory vegetation and chemical properties of temperate forest soil

## Efecto de incendios en la vegetación de sotobosque y propiedades químicas de suelo de bosques templados

Cadena-Zamudio, Daniel A.<sup>1</sup>; Flores-Garnica, José German<sup>2\*</sup>; Flores-Rodríguez, Ana G.<sup>2</sup>; Lomelí-Zavala, Mónica E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología A.C. Red de Biología Evolutiva, Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, México. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

\*Autor de correspondencia: flores.german@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

**Objective:** to assess the severity of a forest fire and its impact on understory vegetation (shrubs, herbs, grasses) and on the chemical properties of the soil.

**Design/methodology/approach:** in an area of 100 m<sup>2</sup>, individuals of shrubs, herbs and grasses were recorded. Soil was also collected in 60x60 cm subsites in all sampling sites in three regions of a temperate forest considering the severity of the fire as intact, intermediate and severe.

**Results:** it was found that the relative abundance of different life forms varied in relation to severity, only herbaceous benefited in intermediate severity, shrubs and grasses decreased. Soil pH and exchangeable cations Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Ca<sup>++</sup> increased as fire severity increased. N, P, K nutrients increased mainly in the intermediate severity, contrary to expectations for N.

**Limitations of the study/implications:** not having more temperate forest zones replicated reduces the ecological patterns of understory vegetation succession and chemical soil changes.

**Findings/conclusions:** the intermediate fire severity presented greater abundance of herbaceous plants. Similarly, the interchangeable cations, nitrogen, phosphorus and potassium increased in the same severity.

**Keywords:** Life forms, forest ecosystems, severity, nutrients, pH.

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar la severidad de un incendio forestal y su impacto en la vegetación de sotobosque (arbustos, hierbas, pastos) y en las propiedades químicas del suelo.

**Diseño/metodología/aproximación:** en un área de 100 m<sup>2</sup> se registraron los individuos de arbustos, herbáceas y pastos. También se recolectó suelo en cuadros de 60x60 cm en todos los sitios de muestreo en tres regiones de un bosque templado considerando la severidad del incendio como intacto, intermedio y severo.

**Resultados:** se encontró que la abundancia relativa de las diferentes formas de vida varió en relación a la severidad, solo las herbáceas se beneficiaron en severidades intermedias, los arbustos y pastos disminuyeron. El pH del suelo y los cationes intercambiables  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  y  $Ca^{++}$  aumentaron conforme aumentó la severidad del incendio. Los nutrientes N, P, K aumentaron principalmente en las severidades intermedias, contrario a lo esperado para N.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** no contar con réplicas de más zonas de bosques templados reduce los patrones ecológicos de la sucesión de la vegetación del sotobosque y los cambios químicos del suelo.

**Hallazgos/conclusiones:** la severidad intermedia del incendio presentó mayor abundancia de herbáceas. De igual manera, los cationes intercambiables, el nitrógeno, fósforo y potasio aumentaron en la misma en severidad.

**Palabras clave:** Formas de vida, ecosistemas forestales, severidad, nutrientes, pH.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son una de las principales causas que afectan los ecosistemas forestales del mundo (Pausas y Keeley, 2009), impactando por año entre 330 y 431 millones de hectáreas de vegetación (Van der Werf *et al.*, 2010). Específicamente, estos influyen en los patrones espaciales y temporales de la biodiversidad, impactando la composición de la comunidad de plantas y animales, así como la riqueza y abundancia de las mismas. No obstante, el nivel de impacto se encuentra relacionado con la intensidad, tamaño y frecuencia del incendio (Sugihara *et al.*, 2006). De esta forma, el impacto ambiental de los incendios forestales puede ir desde la modificación y modelación de los ecosistemas forestales, de tal manera que se contribuye a la selección de especie y se influye en su densidad, productividad, y estabilidad (González *et al.*, 2008). De igual forma los incendios pueden alterar los procesos ecológicos como el ciclo de nutrientes, la estructura del suelo (Wohlgemuth *et al.*, 2006) y el almacenamiento de carbono (North y Hurteau, 2011), los cuales están determinados por la resiliencia de los ecosistemas en relación al impacto del fuego.

Como consecuencia de lo anterior, se afecta la dinámica de la vegetación, la cual está en función de las diferentes formas de vida y sus características para tolerar el fuego y su nivel de severidad (Lloret y Vila, 2003). De esta forma un incendio puede modificar la estructura y composición de las especies, llegando incluso a alterar el hábitat y el paisaje (Stephens *et al.*, 2009). Sin embargo, los incendios también pueden ser benéficos para ciertos procesos, como el caso de los conos serótinicos (pinos), donde el calor de un incendio les permite liberar su semilla. Además, la disminución de densidad de la vegetación favorece la entrada de luz, haciendo disponibles algunos residuos orgánicos del suelo (Rodríguez, 1996). Las propiedades físicas y químicas del suelo son considerados como los factores con mayores alteraciones después de un incendio forestal (Kay *et al.*, 2008). En las

primeras se registran cambios en el color, textura, temperatura, capacidad de retención de agua y erosión del suelo en condiciones extremas del incendio (Mac Donald y Huffman, 2004). Mientras que, las propiedades químicas se relacionan con la pérdida de nutrimentos y minerales de los combustibles vivos por lixiviación o volatilización. Así mismo la severidad puede generar cambios de mayor magnitud, como el incremento del pH del suelo (alcalinos), además de pérdidas de C, P, Ca, Mg,  $NO_3$  y  $NH_4$  (Knicker, 2007).

Si bien se han documentado los cambios por la severidad de los incendios forestales sobre la vegetación (Rodríguez *et al.*, 2007), la mayoría de los estudios se han enfocado a evaluar la regeneración de la vegetación arbórea (Vera y Rodríguez, 2007), sin considerar los cambios que se dan en la vegetación del sotobosque, donde se encuentran diferentes formas de vida (arbustos, herbáceas y pastos); además de las alteraciones dadas en función a la severidad de los incendios, tales como las propiedades químicas del suelo (pH y componentes químicos). De acuerdo con lo anterior, se evaluó el impacto de la severidad de un incendio forestal en la vegetación no arbórea (arbustos, herbáceas y pastos) así como en las propiedades químicas del suelo de un bosque templado en el estado de Jalisco, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

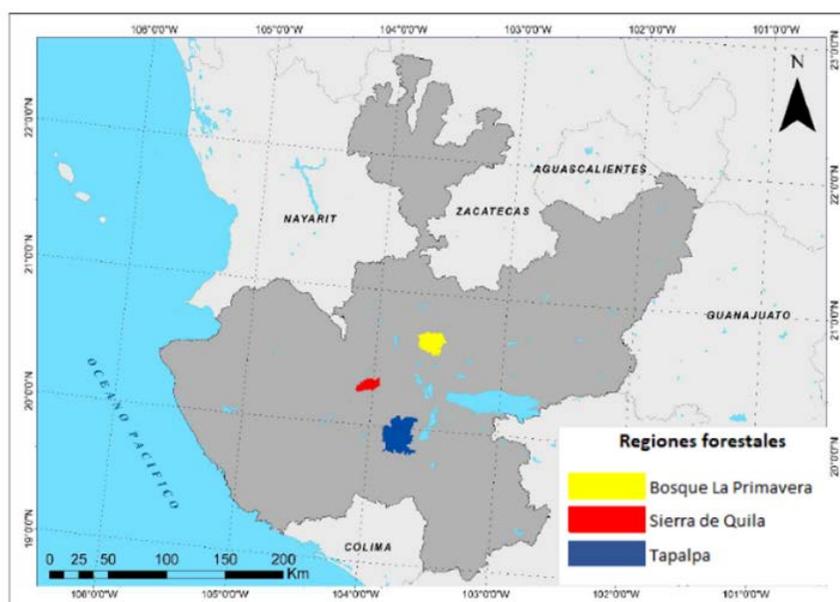
El estudio se desarrolló en el estado de Jalisco, México, el cual cuenta con diversas áreas forestales, dentro de las cuales se seleccionaron de acuerdo al tipo de vegetación, condiciones ambientales y altitud. Con base a lo anterior se eligieron las

siguientes regiones: El bosque La Primavera, Sierra de Quila y Tapalpa (Figura 1).

**Caracterización de Regiones:** El bosque de La Primavera (103° 35' 57.8" N, 20° 36' 30.4" O) registra precipitación media anual de 800 a 1000 mm, y temperatura media anual de 20.6 °C. La vegetación se caracteriza por bosque de encino-pino, pino-encino, bosque de encino y pastizal inducido (CONANP, 2000). La Sierra de Quila (104° 01' 35.7" N, 20°18' 08.5" O), se caracteriza por tener vegetación dominante de bosque de encino y en menor proporción el bosque encino-pino. La temperatura media anual es de 18 °C, con lluvias en verano que se presenta en la mayor parte de la sierra (SEMADES, 2016). La sierra de Tapalpa se localiza al suroeste del estado de Jalisco (19° 36' 49" a 20° 05' 54" N, 103° 36' 20" a 103° 54' 00" O) (INAFED, 2018). Los tipos de vegetación son el bosque de pino-encino, pastizal inducido, matorral subtropical y selva baja caducifolia. La temperatura media anual es de 16.7 °C, con precipitación media anual de 883.1 mm (INAFED, 2018).

El propósito de este estudio fue determinar si existe diferencia de la vegetación de sotobosque y el suelo al ser impactadas por el fuego, considerando diferentes niveles de severidad y su relación con las tres regiones consideradas. De acuerdo con esto, el estudio se basó en un diseño experimental factorial compuesto de dos factores: 1) Regiones (Bosque de la Primavera, Sierra de Quila y Tapalpa); y 2) Condiciones (sin incendio, con incendio intermedio y con incendio extremo). Para determinar la severidad de los incendios se evaluaron las áreas de muestreo mediante recorridos en campo por las áreas forestales y la observación directa de la vegetación local. Una vez ubicadas estas condiciones, se seleccionaron nueve sitios de muestreo en forma de círculos de 400 m<sup>2</sup>, con tres sub sitios en cada uno n=27 unidades experimentales (Flores et al., 2019).

**Evaluación de vegetación de sotobosque:** Para la toma de datos en el sitio de 400 m<sup>2</sup> (Aguirre et al., 1997), se definió un área de 100 m<sup>2</sup> la cual se dividió en tres tercios, en donde se registraron los individuos de arbustos, herbáceas y pastos (Poaceae) con el género, nombre común, porcentaje de cobertura, altura, diámetro de copa menor y copa mayor. Para evaluar las propiedades químicas



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las regiones forestales de estudio (Bosque de La Primavera, Sierra de Quila y Tapalpa) en el estado de Jalisco, México (Flores et al., 2019).

del suelo, en los diferentes niveles de severidad del incendio se extrajeron tres muestras de 1 kg suelo. Para esto se usó un cuadro de 60x60 cm, a una profundidad de 0-10 cm quitando la capa de hojarasca (Alcántara et al., 1992) esto debido a que es la capa que está más expuesta a los impactos del fuego y en la que se establece la regeneración vegetal. Las muestras se analizaron mediante la metodología de Jackson (1982) y Tan (1996). El pH se determinó por medio de la relación suelo agua 1:2 Walkley-Black, el nitrógeno inorgánico fue extraído con cloruro de potasio 2N. El fósforo por hidrómetro de Bouyoucos. El potasio fue extraído en acetato de amonio 1,0N. El calcio y magnesio fueron extraídos en acetato de amonio 1,0N pH 7,0 relación 1:20. El hierro, cobre, zinc y manganeso por medio DTPA relación 1:4.

En cuanto a las variables del suelo, cada registro físico-químico se promedió para cada región, y debido a que no se cumplieron los supuestos de normalidad, los datos fueron transformados a base logarítmica (10). Se usó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey para identificar diferencias significativas en los nutrientes del suelo, entre los sitios con respecto a la severidad del incendio y la región.

### Abundancia relativa

A partir de los datos de campo, se calculó la abundancia relativa para cada forma de vida en las diferentes severidades del incendio (Magurran, 2004). Si bien la ecuación usada toma en cuenta el número de individuos por especie, en este estudio se modificó la variable especies

por las formas de vida del sotobosque, obteniendo el número de individuos para arbustos, herbáceas y poáceas. La abundancia relativa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$A_i = \frac{N_i}{S}$$

$$AR_i = \left( \frac{A_i}{\sum A_i} \right) * 100$$

$$i = 1...n$$

Donde:  $AR_i$  = Abundancia relativa de la especie  $i$  respecto a la abundancia total,  $A_i$  = Abundancia absoluta,  $N_i$  = Número de individuos por forma de vida  $i$ ,  $S$  = Superficie de muestreo (ha).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH del suelo en los sitios de estudio se clasificó para cada región, sin registrar diferencias significativas entre las severidades del incendio para las tres regiones de estudio ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, los valores de pH mostraron aumento en las severidades intermedias y extremas en más de una unidad para las regiones de Tapalpa y Quila (Cuadro 2 y 3). Lo anterior se puede atribuir a la incorporación de cenizas, las cuales contienen cationes básicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) y carbonato potásico ( $K_2CO_3$ ), que al proceder de un ácido débil y de una base fuerte, presenta reacción básica cuando se hidroliza con el consiguiente aumento del pH del suelo (Granged *et al.*, 2011). Contrario a las regiones de Tapalpa y Quila, en el bosque de la primavera el pH disminuyó en relación a la severidad del incendio (Cuadro 1) (Martínez *et al.*, 1991).

Al evaluar los cationes intercambiables como el  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$  en las áreas con diferentes severidades del incendio, se registró incremento para las condiciones intermedias y extremas en las tres regiones (Cuadro 1, 2 y 3). Lo que concuerda a lo reportado por Capulín *et al.* (2010), con aumentos en  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$  en bosques con incendios forestales recurrentes. Estos aumentos se deben principalmente a la disminución del intercambio catiónico del suelo por efecto de la destrucción de la materia orgánica (Cuesta y Giraldo, 2013). Aunque existen incrementos, estos se pueden perder debido al lavado del suelo, lo que lo puede volver a empobrecer a corto plazo (Cuesta y Giraldo, 2013).

**Cuadro 1.** Propiedades químicas del suelo de la región de Bosque de la primavera Jalisco, México.

Propiedad (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel de severidad		
	Intacto	Intermedio	Extremo
Fósforo	0.602	0.954*	0.699*
Potasio	2.140	2.057	2.509*
Calcio	2.401	2.718*	2.316
Magnesio	1.934	2.021*	1.820
Azufre	1.079	0.602	0.845
Boro	0.523	0.523	0.699*
Cobre	1.000	1.000	1.000
Hierro	2.140	2.230*	2.021
Manganeso	1.415	1.415	0.954
Zinc	0.491	0.672*	0.230
Sodio	1.204	1.114	1.279*
K/Mg	0.310	0.481*	0.179
Ca/Mg	0.246	0.474*	0.274*
Nitrógeno-nitrato	0.477	0.954*	0.699*
pH	6.4	5.6	5.4

Los datos fueron transformados a base logarítmica (10), excepto el pH. n=126. \*Incrementos de las propiedades químicas en relación al nivel de severidad.

Un aspecto importante que destaca en este estudio son los altos niveles de calcio (3.67 mg kg<sup>-1</sup>), magnesio (2.24 mg kg<sup>-1</sup>) y fósforo (2.50 mg kg<sup>-1</sup>) para las regiones

**Cuadro 2.** Propiedades químicas del suelo de la región de Tapalpa Jalisco, México.

Propiedad (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel de severidad		
	Intacto	Intermedio	Extremo
Fósforo	0	0.699*	1.079*
Potasio	2.201	2.444*	2.609*
Calcio	3.128	3.670*	3.597*
Magnesio	2.117	2.455*	2.605*
Azufre	1.176	1.342*	1.342
Boro	0.699	0.204	0
Cobre	0.222	0.155	0.301*
Hierro	1.602	1.908*	2.033*
Manganeso	1.041	1.771*	1.362*
Zinc	0.301	0	0.362*
Sodio	1.362	1.176*	1.322
K/Mg	0.432	0.523*	0.509*
Ca/Mg	0.790	0.991*	0.769
Nitrógeno-nitrato	0.845	1.230*	1.322*
pH	6.3	7.4*	7*

Los datos fueron transformados a base logarítmica (10), excepto el pH. n=126. \*Incrementos de las propiedades químicas en relación al nivel de severidad.

Tapalpa, Quila y bosque de La Primavera respectivamente (Cuadro 1, 2 y 3), que se atribuyen a la repuesta de los nutrientes del suelo en función a la temperatura registrada (Zavala et al., 2014). En este sentido, el fósforo se considera moderadamente sensible, con un umbral de 774 °C, mientras que el calcio y el magnesio son considerados como relativamente insensibles, con umbrales que van desde 1107 °C hasta 1484 °C. Lo que podría indicar que los incendios que ocurrieran para las tres regiones probablemente fueron muy intensos generando altas temperaturas (Cuesta y Giraldo, 2013).

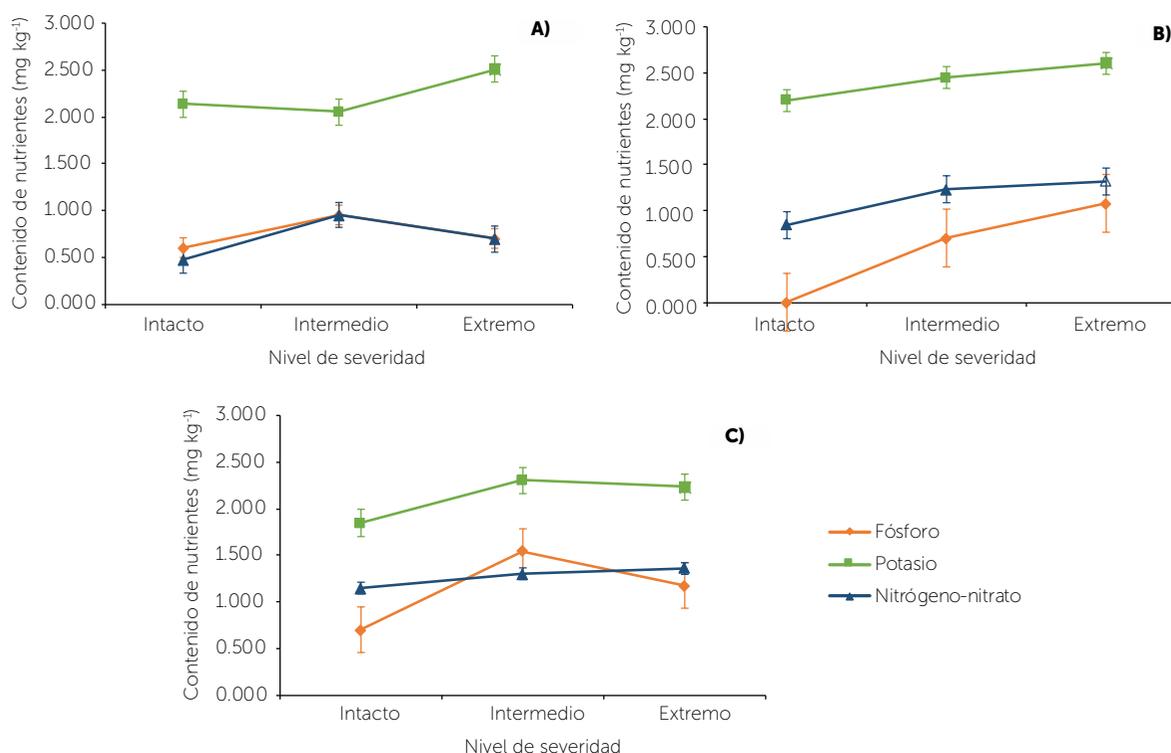
La dinámica de los nutrientes fue similar para las tres regiones de muestreo en áreas sin incendio, como en las que tuvieron impacto del incendio en diferentes severidades; así, por ejemplo, el fósforo (P) registró incremento en áreas con severidad intermedia en el bosque de la primavera con valores de 0.95 mg kg<sup>-1</sup>, y Quila 1.54 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2 A y C), lo cual puede estar relacionado con el aporte de las cenizas de la materia carbonizada, pero también con la temperatura, la cual probablemente no fue suficiente para que el fósforo se volatilizara (Caldwell et al., 2002). Lo anterior es semejante a lo reportado por Maycotte et al. (2002), quienes observaron mayor contenido de P en condiciones de severidad intermedia.

**Cuadro 3.** Propiedades químicas del suelo de la región de Quila Jalisco, México.

Propiedad (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel de severidad		
	Intacto	Intermedio	Extremo
Fósforo	0.699	1.544*	1.176*
Potasio	1.845	2.305*	2.236*
Calcio	3.108	3.258*	3.222*
Magnesio	2.272	2.328*	2.394*
Azufre	1.255	1.255	1.279*
Boro	0.398	0.301	0.301
Cobre	0.699	1.000*	0.699
Hierro	2.049	2.241*	1.924
Manganeso	1.041	1.839*	1.568
Zinc	0.222	0.415*	0.041
Sodio	1.114	1.322*	1.176*
K/Mg	0.921	0.538	0.678
Ca/Mg	0.614	0.706*	0.604
Nitrógeno-nitrato	1.146	1.301*	1.362*
pH	5.5	5.9*	6.3*

Los datos fueron transformados a base logarítmica (10), excepto el pH n=126. \*Incrementos de las propiedades químicas en relación al nivel de severidad.

El Potasio (K) mostro una tendencia con valores más altos en áreas con severidades extremas para el bosque de la primavera con valores de 2.50 mg kg<sup>-1</sup>, Tapalpa



**Figura 2.** Contenido de nutrientes del suelo en relación a la severidad del incendio para las regiones A) Bosque de la primavera, B) Sierra de Tapalpa, C) Sierra de Quila, en Jalisco, México.

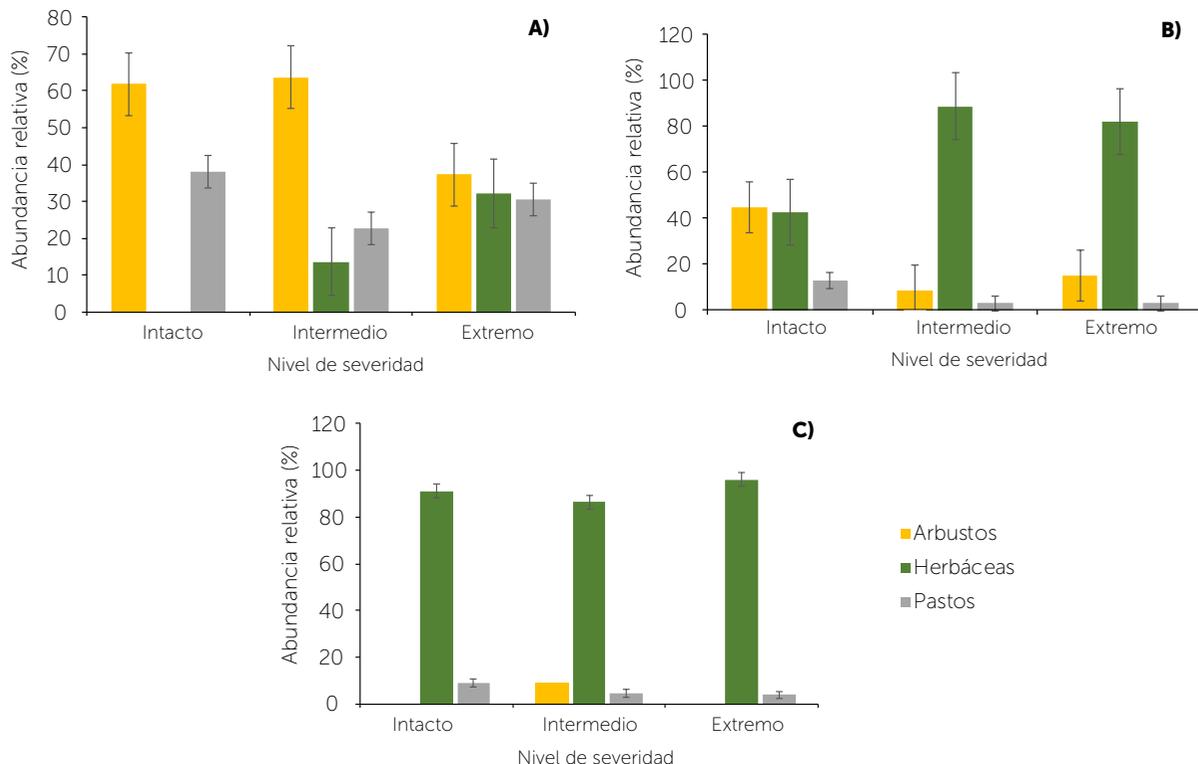
2.60 mg kg<sup>-1</sup>, y Quila 2.26 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2 A, B y C). El potasio es considerado un constituyente no volátil, lo que significa que puede permanecer en la superficie de las cenizas, aunque la severidad del incendio sea extrema (Rosero y Osorio, 2013). Sin embargo, estos valores pueden disminuir a corto plazo debido a la lixiviación por el efecto de las lluvias post-incendio.

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes del suelo que son considerado sensibles ya que presentan un umbral entre 200 y 375 °C, por lo que fácilmente se volatilizan (Gimeno *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2000). Sin embargo, en este estudio se encontraron valores altos de nitrógeno para las severidades intermedias 0.95 (mg kg<sup>-1</sup>), y extremas 1.32 (mg kg<sup>-1</sup>), 1.36 (mg kg<sup>-1</sup>) (Figura 2 A, B y C). Lo que podría indicar que el nitrógeno disponible en el suelo se encuentra de forma de amonio (NH<sub>4</sub>) (Bodí *et al.*, 2012). De igual manera, en meses posteriores al incendio la concentración de nitrógeno aumenta debido a microorganismos y especies fijadoras (Raison *et al.*, 2009).

Respecto a la dinámica de la vegetación, el incendio para las regiones evaluadas fue de tipo superficial, con severidad de intermedia a extrema, lo que afectó principalmente a la vegetación de sotobosque (arbustos,

herbáceas y pastos) de diferentes formas. En particular, el número de individuos de arbustos y poáceas disminuyó considerablemente respecto a los sitios intactos, observando una tendencia negativa en el aumento de la severidad del incendio y el descenso en su abundancia (Figura 3 B y C). Para el caso de los arbustos se ha reportado que después de un incendio de severidad alta, el crecimiento del estrato arbustivo se incrementa debido a que no hay limitación de luz generada por árboles (Collins y Roller, 2013). Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio demostraron lo contrario, con disminución de especies en áreas con severidad extrema, lo cual podría obedecer a los bajos niveles de nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como a cambios en los pH generados por las altas temperaturas registradas (Li *et al.*, 2013).

Al evaluar los pastos en las diferentes severidades del incendio se encontró un patrón similar al de los arbustos (Figura 3 B y C); y si bien, los resultados obtenidos se pueden atribuir a la relación entre la severidad extrema y los nutrientes, también es posible que el tipo de perturbación pueda determinar la asignación relativa de recursos a brotes versus semillas en pastos perennes (Gagnon *et al.*, 2015; Moore *et al.*, 2019). Lo que genera la poca abundancia registrada para las tres regiones.



**Figura 3.** Abundancia relativa de las diferentes formas de vida (arbustos, hierbas y pastos) en relación a la severidad del incendio para las regiones (promedio ± EE). A) Bosque de la primavera, B) Sierra de Tapalpa, C) Sierra de Quila, Jalisco, México.

Aunado a lo anterior, se ha reportado que las poáceas que no brotan a simple vista, tiempo después se recuperan en masa por medio de semillas almacenadas en el suelo (Lindenmayer et al., 2014).

Las herbáceas aumentaron en las severidades intermedias y extremas del incendio forestal (Figura 3 A, B y C). Lo anterior concuerda a los encontrado por Capulin et al. (2010), quienes registraron incremento del estrato herbáceo de hasta un 600% respecto a los sitios no quemados. Una explicación a este patrón puede ser que los espacios abiertos generados post-incendio son más susceptible al establecimiento de nuevos individuos (Spurr y Barnes, 1982). Otra, es que la mayoría de especies registradas en este estudio se reproducen por bulbos o rizomas (Cyperaceae y Pteridaceae), lo cual las beneficia permaneciendo latentes después del disturbio, y susceptibles a factores abióticos que les ayuden a emerger. Aunque la más adecuada a los resultados de este estudio fue lo reportado por Carbone y Aguilar (2016), quienes encontraron aumentos en las concentraciones de nitrógeno y fósforo en severidades intermedias y extremas con mayor abundancia de herbáceas.

## CONCLUSIONES

El pH incremento principalmente en condiciones extremas de incendio alcalinizando el suelo. Los cationes intercambiables, fósforo y potasio aumentaron en severidades intermedias, al igual que el nitrógeno, contrario a lo reportado en la literatura. En las tres regiones de muestreo las herbáceas presentaron aumentos en la abundancia relativa en las severidades intermedias del incendio forestal, los arbustos y pastos disminuyeron en la severidad extrema respecto a la condición intacta e intermedia. En este sentido, se sugiere monitorear en nuevos eventos de incendio en las zonas de estudio los mecanismos de regeneración de la vegetación del sotobosque, así como su relación con los cambios en el suelo generados por los incendios forestales.

## AGREDECIMIENTOS

La presente investigación fue financiada por el proyecto (1-16-14573934545-F-M.2.1) del Dr. German Flores Garnica. Agradecemos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por darnos todas las facilidades para realizar el presente trabajo, así como a Nancy, Ana y Mónica por su ayuda en el presente estudio.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre, C.O., J.P. Jiménez, E.G. Treviño y A. Meras. (1997). Evaluación de diversos tamaños de sitio de muestreo en inventarios forestales. *Madera y Bosques*, 3 (1), 71-79.
- Alcántara, G.G. (1992). Análisis vegetal. In: G.G. Alcántara; J.D. Etchevers Barra y A. Aguilar, eds. *Los análisis físicos y químicos, su aplicación en agronomía*. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México. p:108-124.
- Bodí, M.B., A. Cerdà, J.M. Solera, y S.H. Doerr. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de la asociación de Geógrafos Españoles*, (58), 33-56.
- Caldwell, T.G., D.W. Johnson, W.W. Miller y R.G. Qualls. (2002). Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Science Society of America Journal*. 66:262-267
- Capulin, G.J., C.L. Mohedano y R. Razo-Zarate. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1):79-87.
- Carbone, L.M y R. Aguilar. (2016). Contrasting effects of fire frequency on plant traits of three dominant perennial herbs from Chaco Serrano. *Austral Ecology*, 41:778-790.
- Collins, B.M y G.B. Roller. (2013). Early forest dynamics in stand-replacing fire patches in the northern Sierra Nevada, California, USA. *Landscape Ecology*, 28:1801-1813.
- CONANP. (2000). Programa de manejo del área de protección de flora y fauna La Primavera. 134 p.
- Cuesta, J.R, I.O. Giraldo. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa*, (5), 59-67.
- Flores-Garnica, J.G., E. Ruiz-Guzmán, A.G. Flores-Rodríguez, M.E. Lomelí-Zavala, y J.M. García-Bernal. (2019). Metodología para toma de datos de regeneración natural en áreas afectadas por incendios forestales. Folleto técnico. INIFAP.
- Gagnon, P.R., H.A. Passmore, M. Slocum, J.A Myers, K.E. Harms, W.J. Platt y C.T. Paine. (2015). Fuels and fires influence vegetation via above -and belowground pathways in a high- diversity plant community. *Journal of Ecology*, 103(4), 1009-1019.
- Gimeno-García, E., V. Andreu y J.L. Rubio. (2000). Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *European Journal of Soil Science*, 51(2), 201-210.
- González, M.A., L. Schwendenmann, J. Jiménez y R. Schulz. (2008). Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256: 161-167.
- Granged, A., L. Zavala, A. Jordan y M.G. Bárcenas. (2011). Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. *Geoderma*. 164 (1&2): 85-94.
- INAFED. (2018). Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Jalisco. Tapalpa. Fecha de consulta: 08 de octubre de 2018. Tomado de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14086a.html>
- Jackson, L. M. (1982). Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona, España.

- Kay, A.D., J. Mankowski y S.E. Hobbie. (2008). Long-term burning interacts with herbivory to slow decomposition. *Ecology* 89, 1188-1194.
- Knicker, H. (2007). How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry* 85: 91-118.
- Li, Y., F. Yang, Y. Ou, D. Zhang, J. Liu y G. Chu. (2013). Changes in forest soil properties in different successional stages in lower tropical China. *PLoS ONE*, 8(11): e81359
- Lindenmayer, D.B., W. Blanchard, L. McBurney, D. Blair, S. Banks, C., D.A. Driscoll y A.M Gill. (2014). Complex responses of birds to landscape-level fire extent, fire severity and environmental drivers. *Diversity and Distributions*, 20(4), 467-477.
- Lloret, F y F. Vila. (2003). Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands. *Journal of Vegetation Science*, 14: 387-398.
- Mac Donald, L.H y E.L. Huffman. (2004). Post-fire soil water repellency: persistence and soil moisture thresholds. *Soil Science Society of America Journal*. 68: 1729-1734.
- Magurran, A.E. (2004). Species abundance distributions: pattern or process? *Functional Ecology*, 19(1), 177-181.
- Martínez, J., J. De las Heras y J. Herranz. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. La Mancha.
- Maycotte, M.C.C, A.M. Velásquez, J.J.H. Vargas, A. S. Trinidad, M.A.S. Musálem y G.C. Vera. (2002). Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques* 8: 39-55.
- Moore, N. A., J. S. Camac y J.W. Morgan. (2019). Effects of drought and fire on resprouting capacity of 52 temperate Australian perennial native grasses. *New Phytologist*, 221(3), 1424-1433.
- North, M.P., M.D. Hurteau. (2011). High-severity wildfire effects on carbon stocks and emissions in fuels treated and untreated forest. *Forest Ecology and Management* 261: 1115-1120.
- Pausas, J.G., y J.E. Keeley. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience* 59: 593-601
- Raison, R. J., P. K. Khanna, K., L. S. Jacobsen, J. Romanya, I. Serrasolses. (2009). «Effect of fire on forest nutrient cycles», en *Fire effects on soils and restoration strategies* (Cerdà, A. y Robichaud, P. R., coord.). Enfield, Edit. Science Publishers, 225-256
- Rodríguez, D.A, U.B. Castro, M. Zepeda y R. Carr. (2007). First year survival of *Pinus hartwegii* following prescribed burns at different intensities and different seasons in Central Mexico. *International Journal of Wildland Fire*, 16: 54- 62.
- Rodríguez, D.A. (1996). Incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo y Editorial Mundi Prensa. México, D. F
- Rosero, J., I. Osorio. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa*, 5, 59-67.
- Secretaría Del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES). Sin fecha. BIODIVERSIDAD. Tomado de: <http://sigajalisco.gob.mx/assets/pdf/biodiversidad.pdf> Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.
- Spurr, S.H., B.V. Barnes. (1982). *Ecología forestal*. AGT Editor. México, D. F.
- Stephens, S.L., J. J. Moghaddas, C. Edminster, C. Fiedler, S. Haase, M. Harrington, C.N. Skinner. (2009). Fire treatment effects on vegetation structure, fuels, and potential fire severity in western US forests. *Ecological Applications*, 19(2), 305-320.
- Sugihara, N.G., J.W. Van Wagtenonk, J. Fites-Kaufman, K.E. Shaffer, A.E. Thode. (2006). *Fire in California's ecosystems*. University of California Press.
- Tan, K.H. (1996). *Soil sampling, preparation and analysis*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. 408 p.
- Van der Werf, G.R., J.T. Randerson, L. Giglio, G.J. Collatz, M. Mu, P.S. Kasibhatla y T.T. Van Leeuwen. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). *Atmospheric chemistry and physics*, 10(23), 11707-11735.
- Vega, J., J. Landsberg, S. Bará, T. Paysen, L.M. Fontúrbe, M. Alonso. (2000). Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de *P. pinaster* en suelos forestales de Galicia y Andalucía. *Cuadernos de la S.E.C.R.*, N° 9, pp. 123-136.
- Vera, V., D.A. Rodríguez. (2007). Supervivencia y crecimiento en altura de *Pinus hartwegii* a dos años de quemas prescritas e incendios. *Agrociencia*, 41: 219-230
- Wohlgenuth, P. M., K. Hubbert, M.J. Arbaugh. (2006). Fire and physical environment interactions. Pages 75-93 in N. G. Sugihara, J. W. van Wagtenonk, K. E. Shaffer, J. Fites-Kaufman, and A. E. Thode, editors. *Fire in California's ecosystems*. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Zavala, L., R. DE Celis, A. Jordan. (2014). How wildfires affect soil properties. A briefreview. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 40(2):311-331.

## Preparation and nutritional characterization of liquid organic fertilizers in tropical conditions

### Elaboración y caracterización nutrimental de abonos orgánicos líquidos en condiciones tropicales

Rojas-Pérez, Francisco<sup>1</sup>; Palma-López, David J.<sup>1</sup>; Salgado-García, Sergio<sup>1</sup>; Obrador-Olán, José J.<sup>1</sup>; Arreola-Enríquez, Jesús<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México, 86500. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Champotón, Campeche, México, 24450.

\*Autor para correspondencia: dapalma@colpos.com

#### ABSTRACT

**Objective:** to characterize the nutritional properties of liquid organic fertilizers (vermicompost tea, organic leachate and biol) made with crop residues.

**Design/methodology:** the design for the preparation of liquid organic fertilizers was based on the recommendations issued by FAO. Nutrient estimates were according to the methods of Semi-micro Kjeldahl for N, Vanadio-molybdcic for P and digestion with HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> for K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn and Mn.

**Results:** worm leachate was the one that presented the highest values significantly with concentration of major elements NPK with 1.27%, 1.17% and 2.04% respectively, followed by bovine biol with 1.02%, 0.95% and 1.19% of NPK respectively, finally compost tea with the lowest statistically concentrations. In terms of micronutrients such as iron, copper, zinc and manganese, bovine biol presented the highest contents.

**Limitations/implications:** the chemical composition of liquid organic fertilizers depends on the quality of the organic matter with which they were made and their preparation form either aerobic or anaerobic.

**Findings/conclusions:** the leachate of earthworm and biol are the fertilizers that presented the highest concentration of nutrients, concluding that bovine biol is the fastest, most economical and profitable way to use it in agriculture.

**Keywords:** bovine biol, leachate of californian earthworm and compost tea

#### RESUMEN

**Objetivo:** caracterizar las propiedades nutrimentales de abonos orgánicos líquidos (té de vermicompost, lixiviados orgánicos de vermicompost y biol) elaborados con residuos de cultivos.

**Diseño/metodología:** el diseño para la elaboración de los abonos orgánicos líquidos fue basado conforme a las recomendaciones emitidas por la FAO. las estimaciones de los nutrientes fueron conforme a los métodos de Semi-micro Kjeldahl para N, Vanadio-molibdico para P y por digestión con HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> para K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn).

**Resultados:** los lixiviados de vermicompost fueron lo que presentaron los valores más altos significativamente con concentración de elementos mayores N, P y K de 1.27%, 1.17% y 2.04%, respectivamente, seguido del biol de bovino con 1.02%, 0.95% y 1.19% de N, P y K respectivamente, finalmente el té de vermicompost con las concentraciones más bajas estadísticamente. En cuanto a micronutrientes como hierro, cobre, zinc y manganeso, el biol de bovino presentó los contenidos más altos.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 4, abril. 2020, pp: 73-78.

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

**Limitaciones/implicaciones:** la composición química de los abonos orgánicos líquidos depende de la calidad de la materia orgánica con la que fueron elaborados y su forma de preparación ya sea de forma aeróbica o anaeróbica.

**Hallazgos/conclusiones:** los lixiviados de vermicompost y biol son los abonos que presentaron mayor concentración de nutrientes, concluyendo que el biol de bovino es la forma más rápida, económica y rendidora para su uso en la agricultura.

**Palabras clave:** biol de bovino, lixiviados de lombriz californiana y té de compost.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica se basa en el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica para el reciclado y aprovechamiento de los nutrientes. Uno de los subprocesos de reciclado de la materia orgánica es la obtención de los abonos líquidos, como es el caso de los bioles, lixiviados de lombriz y tés de compost (Soto, 2003). Los procesos de fermentación varían de acuerdo al tipo de abono líquidos que se desea crear, los bioles, por ejemplo, son abonos de tipo foliar, resultado de un proceso de digestión anaeróbica de restos de animales y vegetales. La producción de biol es una técnica utilizada con el objetivo de incrementar la cantidad y calidad de las cosechas, es fácil y barato de preparar, ya que se usan insumos locales, y se obtiene en un tiempo corto (1 - 4 meses), con la ventaja de que se pueden añadir plantas repelentes para combatir insectos en los cultivos (INIA, 2005; Siura y Davila, 2008; Álvarez-Solís *et al.*, 2010). Los sistemas de lombricomposteo que son el producto formado única y exclusivamente por las excretas o turrículos, producto de la digestión natural de las lombrices composteadoras, se deben regar constantemente, ya que las lombrices requieren humedad de entre 70 y 80% para facilitar su locomoción y el consumo del sustrato, y al líquido que escurre de las camas después del riego se conoce como lixiviados o efluentes (Gómez *et al.*, 2011). La aplicación de efluentes vía foliar o adicionados al suelo aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos, además favorece la sanidad vegetal debido a que contienen microorganismos benéficos capaces de suprimir ciertas enfermedades en los cultivos (Ingham, 2003; Pant *et al.*, 2009). El té de compost, es un método para extraer del compost los compuestos que sean solubles en agua, y adicionalmente microorganismos. Los nutrientes solubles en el té pueden ser absorbidos por las plantas y al mismo tiempo favorecen el desarrollo de los microorganismos benéficos, que permiten también suprimir ciertas enfermedades en los cultivos (Scheuerell, 2004; Angulo *et al.*, 2011). La eficiencia de los abonos orgánicos líquidos depende de la preparación, manipulación del proceso de producción del compost o vermicompost, uso de nuevas técnicas para la caracterización de la materia orgánica

y el perfil de la comunidad microbiana, lo cual puede mejorar la eficacia y fiabilidad del control de una determinada enfermedad (Eghball, 2000). Con base en lo anterior, se caracterizaron las propiedades nutritivas de abonos orgánicos líquidos elaborados con residuos de cultivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó del 21 de mayo al 07 de diciembre de 2018 en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco (17° 58' 34" N y 3° 23' 16" O), en Cárdenas, Tabasco, México. Esta región presenta un clima característico tropical húmedo, de acuerdo con el sistema de Köppen, modificado por García (2004), clasificado como Am(g)'' w'', con lluvias abundantes en el verano y sequía prolongada en los meses de marzo-abril, se presentan nortes a finales del año. La temperatura media anual es de 26 °C, con poca variación, precipitación promedio anual de 2,324 mm (Rivera-Hernández *et al.*, 2016) (Figura 1).

Para la elaboración del biol se usaron como materia prima los residuos orgánicos de la región: 50 kg de peso seco de estiércol de bovino,



**Figura 1.** Ubicación del módulo de compost donde se llevó a cabo la recolección del lixiviado y elaboración del té de compost.

6 kg de melaza (mieles no cristalizables de la caña de azúcar), 0.5 kg de levadura, 6 kg ceniza de leña, 10 kg de hojas de fabáceas recién cortada, 0.5 kg de cal, 100 L de agua, con base en la recomendación de INIA (2005) que indica además, que la relación de materia orgánica y agua sea 1:1. Los residuos fueron recolectados en los primeros días del mes de mayo del 2018, y fueron picados a tal grado que pudieran atravesar el tapón del biorreactor (cilindro plástico con capacidad de 200 L) con un diámetro de entrada de 10 cm, se mezclaron todos los ingredientes en el interior del contenedor, buscando siempre su homogeneización. Finalmente se agregaron 100 L de agua de pozo. Después se procedió a sellar herméticamente el biorreactor. Para la expulsión de los gases del biorreactor y evitar la entrada de oxígeno se conectó una manguera de plástico transparente del biorreactor a una botella pet de 6 L (Figura 2). La elaboración del biol cumplió con los requerimientos de elaboración mencionados por INIA (2005), Siura y Davila (2008) y Álvarez-Solís et al. (2010), con un periodo de digestión de seis semanas.

El biol fue almacenado en un lugar fresco y sombreado en garrafas herméticas con capacidad de 20 L que impiden el paso de la luz para evitar la fotoxidación del mismo como lo describe Medina (1990) y TQC (2005).

**Recolección del lixiviado de vermicompost:** Los lixiviados de vermicompost fueron recolectados en un módulo de lombricultura, y el vermicompost fue elaborado de las siguientes materias orgánicas: cachaza de la industria azucarera, hojas de tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*), hojas de cocoite (*Gliricidia sepium*), estiércol de bovino y cascarrilla de cacao (*Theobroma cacao*), con una relación volumétrica de 2:1:1:2:1, respetivamente de acuerdo con Palma-López et al. (2016). Estos residuos se suministraron como alimento para la lombriz californiana (*Eisenia foetida*), como lo describe Romero, (2003). Las lombrices se reprodujeron y alimentaron, en contenedores de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>, se mantuvieron a una humedad constante y los excesos de humedad filtrados a través de las capas de vermicompost fueron recolectados a través de una llave ubicada en el fondo del contenedor, y acumulados en garrafas con capacidad de 20 L (Figura 3). Este proceso fue repetido cuatro veces consecutivas con el fin de concentrar los nutrientes solubles en el lixiviado como lo sugiere Gómez et al. (2011).

**Elaboración del té de vermicompost:** Para la elaboración del té se usó el vermicompost elaborado previamente, en un costal se pesaron 5 kg de vermicompost y se le anexo una manguera con piedra difusora dentro del costal, la cual se conectó a una bomba de aire con



**Figura 2.** A) Introducción de los materiales orgánicos al digestor, B) y C) homogeneización de los materiales dentro del digestor, D) adición de melaza después de la homogeneización de los materiales sólidos, E) vista de las materias primas después del aforo con 100 L de agua, F) comprobación de que exista un sellado hermético y vista previa del biodigestor en funcionamiento, G) vista después de la terminación de proceso de biodigestión, H) extracción de los componentes del biol, I) filtrado para la separación de líquido y sólidos, J) biol en su estado líquido listo para su almacenaje, K). biol listo para su uso en la agricultura.



**Figura 3.** A) Materia orgánica cruda que funciona de alimento para las lombrices californianas, B) y C) Tina de lombricompostaje, 1<sup>er</sup> y 2<sup>da</sup> recolección de lixiviados.

capacidad de oxigenar 40 L de agua. Esto se introdujo en un contenedor con agua de pozo con capacidad de 20 L, siguiendo las instrucciones de la FAO (2013). Se dejó oxigenar por un periodo de 24 h, tiempo suficiente para el traspaso de nutrientes y organismos benéficos que se encuentran en el material sólido a la solución del té. Finalmente se agitó vigorosamente y filtró por mallas con micro poros, con lo cual quedó listo para su uso en la agricultura (Ingham, 2003) (Figura 4).

**Variables de estudio:** Para la caracterización de los abonos orgánicos líquidos, se extrajeron tres alícuotas de 500 mL de biol, lixiviado y té de compost, y se almacenaron en botellas oscuras y bajo refrigeración, evitando así la degradación de sus componentes como lo establece Cano-Hernández *et al.* (2016). Posteriormente se analizaron las concentraciones totales de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn). En el Cuadro 1 se muestran los métodos que se usaron para la determinación de los elementos, dado que no hay una norma oficial para la determinación de nutrientes en abonos orgánicos líquidos se buscó la norma que

más se acoplara a las necesidades de estimación de nutrientes.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 muestra los resultados de los análisis químicos realizados a los abonos orgánicos líquidos. En ellos se observa que, los elementos nitrógeno, fósforo, potasio y sodio en el lixiviado de vermicompost presentaron las mayores diferencias significativa con concentraciones de 1.27% para nitrógeno, 1.17% para fosforo, 2.04% para potasio, 0.71% para magnesio y 0.15% para sodio, estos valores fueron mayores a los presentados por Pomboza-Tamaquiza *et al.* (2016) quienes encontraron valores de 0.41% de N, 0.10% de P, y 0.18% de Mg con un tiempo de digestión del biol de 150 d. Con datos recabados por los mismos autores, donde muestran el tiempo de digestión de 60 d, los valores de concentraciones de nutrientes no variaron más allá del 1%.

El biol de bovino presentó concentraciones de 1.02% de N, 0.95% de P, 1.19% de K, 0.62% de Mg y 0.09% de Na, y finalmente, el té de vermicompost mostró concentraciones de 1.02% de N, 0.12% de P, 1.44% de K, 0.5% de Mg



**Figura 4.** A) Vista previa de la elaboración del té de compost, B) y C) oxigenación del vermicompost para la reproducción de microorganismos y fijación de nutrientes.

**Cuadro 1.** Métodos para la estimación de la concentración de nutriente a determinar basados en Soria et al. (2001), Quipezco et al. (2011) y Cano-Hernández et al. (2016).

Elemento	Método	Unidad	Elemento	Método	Unidad
N	Semi micro Kjeldahl	%	K	Por digestión con HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub>	%
			Ca		
P	Vanado-molibdico	%	Fe	HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub>	mg kg <sup>-1</sup>
			Zn		
					mg kg <sup>-1</sup>

Para el análisis de los datos recabados se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para cada cultivo, con un nivel de significancia de  $P < 0.05$ , usando el software estadístico R Studio 3.4.1.

y 0.10% de Na. Para el elemento Ca, el té de vermicompost presentó el valor más alto estadísticamente seguidos de los lixiviados de lombriz y biol con 2.10%, 0.61% y 0.49% respectivamente. Para los elementos hierro, cobre, zinc y manganeso, el biol de bovino fue el que registró la mayor diferencia estadística con 85.99 mg L<sup>-1</sup>, 62.12 mg L<sup>-1</sup>, 20.84 mg L<sup>-1</sup> y 14.32 mg L<sup>-1</sup> respectivamente, quedando intermedio los lixiviados de lombriz con 35.23 mg L<sup>-1</sup> de Fe, 26.85 mg L<sup>-1</sup> de Cu, 17.89 mg L<sup>-1</sup> de Zn y 12.11 mg L<sup>-1</sup> de Mn. Los valores más bajos estadísticamente los presentó el té de vermicompost con 20.05 mg L<sup>-1</sup> de Fe, 10.3 mg L<sup>-1</sup> de Cu, 8.3 mg L<sup>-1</sup> de Zn y 6.60 mg L<sup>-1</sup> de Mn.

Se considera que no se puede estandarizar la elaboración de abonos orgánicos sólidos o líquidos ya que la calidad de las materias primas depende de la procedencia de recolección, así como, de los procesos de nutrición o descomposición de éstas cuando estaban en un estado vivo (Suquilanda, 1996; Soria et al., 2001). Los resultados obtenidos por Ramírez et al. (2016) y Cano-Hernández et al. (2016) en la evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca (*Vicugna pacos*), mostraron valores similares a los descritos en esta investigación, donde los contenidos más altos de nutrientes los presentaron los elementos de nitrógeno, fósforo y potasio, con intervalos de 1 a 3%.

## CONCLUSIONES

De los tres abonos orgánicos líquidos caracterizados, los que destacaron por su concentración nutrimental fueron los lixiviados de vermicompost con 1.27% de nitrógeno, 1.17% de fósforo y 2.04% de potasio, seguido del biol de bovino con 1.02% de N, 0.95% de P y 1.19% de K, mientras que té de compost presentó los contenidos más bajos en porcentaje de estos elementos. Respecto al tiempo y facilidad de obtención de los abonos orgánicos se recomienda el uso de los bioles de bovino.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez-Solís J. D.; Gómez-Velasco, D. A.; León-Martínez N. S.; Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44: 575-586.
- Angulo, J.; Alfonso, A.; Martínez, M.; García, A. (2011). Estimación de la transferencia de *E. coli* desde compost a té de compost durante el proceso de elaboración. Congreso Agronómico de Chile. Antofagasta, Chile.
- Cano-Hernández, M.; Bennet-Eaton, A.; Silva-Guerrero E.; Robles-González, S.; Sainos-Aguirre, U.; Castorena-García, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*, 50 (4): 471-479.
- Eghball, B. (2000). Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2002-2030.
- FAO. (2013). Manual del compostaje del agricultor, Roma, Italia. 72 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. (Consultado en mayo 2019).

**Cuadro 2.** Contenido nutrimental de los abonos orgánicos líquidos: lixiviado de vermicompost, biol a base de estiércol de bovino y té de vermicompost.

Identificación	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
	%						mg L <sup>-1</sup>			
Lixiviados vermicompost	1.27 a	1.17 a	2.04 a	0.61 b	0.71 a	0.15 a	35.23 b	26.85 b	17.89 b	12.11 b
Biol de Bovino	1.02 b	0.95 b	1.19 b	0.49 c	0.62 b	0.09 b	85.99 a	62.12 a	20.84 a	14.32 a
Té de vermicompost	1.02 b	0.12 c	1.08 c	2.10 a	0.5 c	0.05 c	20.5 c	10.3 c	8.3 c	6.60 c
Media	1.1	1.44	1.44	1.07	0.61	0.1	47.24	33.09	15.68	11.01
Pr(>F)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

\*Pr(>F)=Valor de Significancia; NS=No hay Significancia; <.0001=altamente significativo, Alpha=0.05.

- García, E. (2004). Modificaciones al Régimen de Clasificación Climática de Köppen, Quinta edición. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 97p.
- Gómez, R.S.; Ángeles, M.L.; Becerra, J. (2011). Alternativas para el reciclaje de excretas animales. Uso de humus de lombriz y otros derivados de la lombricultura. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP-SAGARPA. Publicación Técnica No. 14, Colón, Querétaro. 1-64 p.
- Ingham E. (2003). The compost tea brewing manual; latest methods and research. Soil Food Web Incorporated. Fifth Edition. Corvallis, Oregon, USA. 79 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria). (2005). Producción de Biol abono líquido natural y ecológico. (en línea). Consultado 25-mayo-2019. Disponible en:[https://www.academia.edu/23671098/PRODUCCION\\_DE\\_BIOL\\_ABONO\\_LIQUIDO\\_NATURAL\\_Y\\_ECOLOGICO\\_ESTACION\\_EXPERIMENTAL\\_ILLPA\\_PUNO\\_PUNO\\_PERU\\_SEPTIEMBRE\\_2005\\_inia\\_Instituto\\_Nacional\\_de\\_Investigacion\\_y\\_Extension\\_Agraria](https://www.academia.edu/23671098/PRODUCCION_DE_BIOL_ABONO_LIQUIDO_NATURAL_Y_ECOLOGICO_ESTACION_EXPERIMENTAL_ILLPA_PUNO_PUNO_PERU_SEPTIEMBRE_2005_inia_Instituto_Nacional_de_Investigacion_y_Extension_Agraria)
- Medina, A. (1990). El biol fuente de fitoestimulantes en el desarrollo agrícola. UMSS-GTZ. Cochabamba, Bolivia. 23 p.
- Palma-López, D.J.; Zavala-Cruz, J.; Cámara-Reyna, J. C.; Ruiz-Maldonado, E.; Salgado-García, S. (2016). Uso de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para elaborar abonos orgánicos. *AgroProductividad*, 9(7): 29-34.
- Pant, A. P.; Radovich, K. T. J.; Hue, V. N.; Talcott T. S.; Krenek, A. K. (2009). Effects of vermicompost tea (Aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Science & Utilization*, 19(4): 279-292.
- Pomboza-Tamaquiza, P.; León-Gordón, O.A.; Villacís-Aldaz, L.A.; Vega, J.; Aldáz-Jarrín, J.C. (2016). Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L. variedad Iceberg. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2): 84-92.
- Quipuzco, U.L.; Baldeón Q. W.; Tang C.O. (2011). Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. *Rev. Inst. Inv. Fac. Geolog. Minas, Metalurg. Cienc. Geográf.* 14: 99-107.
- Ramírez, H.Q.; Trejo, C.W.; Morales, J.J. (2016). Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2): 133-142.
- Rivera-Hernández, B.; Aceves-Navarro L. A.; Arrieta-Rivera, A.; Juárez López, J. F.; Méndez-Adorno J. M.; Ramos-Álvarez, C. (2016). Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14: 2645-2656
- Romero, M. (2003). La lombriz de tierra una alternativa para enriquecer la fase orgánica del suelo. En: *Memorias. II Taller de Hortalizas, Productividad Mercadeo. CORPOICA, Bogotá.* pp. 69-72.
- Scheuerell, S. J. (2004). Compost tea production practices, microbial properties, and plant disease suppression. I International Conference Soil and Compost Eco-Biology. September 15th- 17th. León- Spain. 41-51.
- Siura S. y S. Davila. (2008). Effect of green manure rotation, biol and cultivar on the production of organic spinach (*Spinacea oleracea*). 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20. 4p.
- Soria, F.M.J.; Ferrera-Cerrato, R.; Etchevers, B.J.; Alcántar, G.G.; Trinidad, S.J.; Borges, G.L.; Pereyda, P.G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19: 353-362.
- Soto G. (2003). Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Unidad Regional de Asistencia Técnica (RUTA), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Turrialba, Costa Rica. 115 p.
- Suquilandá, M. (1996). Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro. UPS. Fundación Para El Desarrollo Agropecuario. Fundagro. Programa De Agricultura Orgánica. Quito, Ecuador. 654p.
- TQC (Tecnología Química y Comercio). (2005). El biol (en línea). Disponible en <http://www.tqc.com.pe/uploads/fichas/agricola/biol.pdf>. (Consultado septiembre 2018).

# Use of the CMT and somatic cell counter<sup>®</sup> test to evaluate quality of cow milk in tank

## Aplicación de la prueba de CMT y somatic cell counter<sup>®</sup> para evaluar calidad de leche de vaca en tanque

Bucio-Galindo, Adolfo<sup>1\*</sup>; Castañeda-Vázquez, Hugo<sup>2</sup>; Izquierdo-Reyes, Francisco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. km 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N, C.P. 86500, H. Cárdenas, Tabasco. México; <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara, Laboratorio de Mastitis y Diagnóstico Molecular, Depto. de Medicina Veterinaria.

\*Autor de correspondencia: adbucio@colpos.mx

### ABSTRACT

**Objective:** evaluate whether California mastitis test (CMT) values for bulk milk depend on its somatic cell content. Evaluate if the composition of the milk changes as a function of the number of somatic cells.

**Design/methodology/approach:** 48 samples of bulk milk from different dairy farms and cheese factories in Tabasco, Mexico were taken randomly. Measured parameters were: California Mastitis Test (CMT), the somatic cell count (CCS), fat, protein, non-fat solids, lactose. The values of CCS were grouped in 3 intervals: (<500,000), (>500,000-1,000,000), (>1,000,000) to be compared with qualitative data of CMT (0, 1, 2) in a two-way contingency table. Milk samples were also grouped in 4 categories according to their number of somatic cells A (0-250,000), B (>251,000-500,000), C (>500,000-750,000) y D (>750,000) to compare fat, protein, non-fat solids, lactose by one-way ANOVA and Tukey test at a 5% confidence level.

**Results:** the CMT values were dependent on its somatic cells content intervals; ( $\chi^2=88.1$ ,  $p<0.05$ ). A lower amount of non-fat solids, lactose and protein was observed in the group D, with highest category of somatic cells ( $p\leq 0.05$ ).

**Limitations on study/implications:** the CMT test depend on the somatic cell content in cow's bulk milk. Milk with high somatic cell content had less non-fat solids, and less lactose.

**Findings/conclusions:** the CMT have been traditionally used to assess the udder's health of individual cows; in this research, we validate to use CMT to assess bulk milk samples. Samples with high somatic cell content had less non-fat solids, less lactose and less protein.

**Keywords:** California Mastitis test, somatic cells, bulk milk, health, cows.

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar si los valores de prueba de mastitis de California (CMT) para la leche de tanque dependen de su conteo de células somáticas. Evaluar si la composición de la leche cambia en función del número de células somáticas.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 4, abril. 2020. pp: 79-84.

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



**Diseño/metodología/aproximación:** se tomaron al azar 48 muestras de leche de tanque de diferentes granjas lecheras y fábricas de queso en Tabasco, México. Los parámetros medidos fueron: Prueba de mastitis de California (CMT), conteo de células somáticas (CCS), grasas, proteínas, sólidos no grasos, lactosa. Los valores de CCS se agruparon en 3 intervalos: (<500,000), (>500,000-1,000,000), (>1,000,000) para compararlos con los datos cualitativos de CMT (0, 1, 2) en una tabla de contingencia de dos vías. Los valores de las muestras de leche también se agruparon en 4 categorías según su número de células somáticas A (0-250,000), B (>251,000-500,000), C (>500,000-750,000) y D (>750,000) para la comparación de contenido sólidos no grasos, lactosa, y proteína para ser analizados usando ANOVA con un factor; y la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 5%.

**Resultados:** los valores de CMT dependen del contenido de células somáticas; ( $\chi^2=88.1$ ,  $p<0.01$ ). Se observó una menor cantidad de sólidos no grasos, lactosa y proteínas en el grupo de muestras de leche D, con mayor contenido de células somáticas ( $p\leq 0.05$ ).

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** la prueba de CMT depende del contenido de células somáticas en la leche de tanque. Las muestras con mayor número de células somáticas en la leche presentaron menor proporción de sólidos no-grasos, menor lactosa y menor proteína.

**Hallazgos/conclusiones:** la CMT se ha utilizado tradicionalmente para evaluar la leche de la ubre de las vacas individuales; en esta investigación, validamos el uso de CMT para evaluar muestras de leche de tanque. Eso es importante para los productores de queso porque el alto contenido de células somáticas está relacionado con menor contenido de sólidos no grasos y un menor rendimiento para queso.

**Palabras clave:** California Mastitis test, células somáticas, leche de tanque, salud, vacas.

*et al.*, 2019). En caso de que haya una invasión muy fuerte de bacterias, el contenido de células somáticas de tipo inmunológico tipo leucocitos y células polimorfas nucleares aumenta como una respuesta a los microorganismos invasores. En el caso de la mastitis aguda los conteos pueden llegar hasta millones de células somáticas por mililitro (Castañeda Vazquez *et al.*, 2019).

El conteo de células somáticas (CCS) ha sido aceptado como el mejor índice cuantitativo de inflamación de la glándula mamaria bovina y se usa tanto para evaluar la calidad de la leche y para predecir la infección de la ubre. Existen varios métodos para hacer el CCS (Bedolla *et al.*, 2007), los más usados son el conteo de células somáticas por microscopía y el conteo electrónico de células somáticas como la citometría de flujo laminar (FOSS). La prueba de mastitis de California (CMT) es una estimación indirecta del CCS que se aplica en condiciones de campo. La CMT es una indicación cualitativa para saber si el recuento de células somáticas es elevado o bajo (Bedolla *et al.*, 2007). La prueba de CMT mide el grado de gelificación que tiene lugar cuando el ADN es liberado de las células somáticas presentes en la leche por la acción del reactivo; a mayor contenido celular en la leche, mayor gelificación y viscosidad (Serratos Arevalo *et al.*, 2019). Debido a que las células somáticas se producen como una reacción fisiológica en la vaca, es de esperarse que su contenido no puede aumentar en la leche una vez ordeñada; aunque si se esperaría autólisis después de periodos prolongados de almacenamiento. Así, la CMT se puede utilizar tanto para evaluar leche de muestra de cuartos mamarios, como una muestra

## INTRODUCCIÓN

**La mastitis** es una inflamación de la glándula mamaria en el ganado lechero como consecuencia de la introducción y multiplicación de microorganismos patógenos. La mastitis bovina es uno de los grandes problemas de los productores de leche y de la industria lechera en general (Wolter *et al.*, 2004), y se asocia con pérdidas económicas debido a una disminución en la cantidad y calidad de la leche producida y los costos del uso de terapias (El-Sayed *et al.*, 2017). Un cuarto de la ubre sano es aquel que no muestra alguna alteración patológica externa, la leche no contiene microorganismos patógenos y tiene menos de 100,000 células somáticas por mL (Castañeda *et al.*, 2019). Las células somáticas no son parte de la secreción láctea y se encuentran presentes en la leche, algunas de ellas son células producidas por el sistema inmunológico, otras son células epiteliales que son producidas por descamación de los tejidos que dan recubrimientos a la ubre de la vaca y son diferentes de las bacterias (Blowey y Edmondson, 2010). En condiciones fisiológicas normales el conteo de células somáticas de la leche después del parto aumenta, y disminuye gradualmente a niveles basales mínimos entre cuatro y seis semanas después en vacas libres de infección intraglandular mamaria (Bedolla *et*

de leche del tanque enfriador (Bedolla et al., 2008). Sin embargo no hay datos que validen su uso para tanque enfriador o bote lechero. Debido a que es muy común que los productores de leche duden de que la prueba de CMT sea válida para evaluar la calidad de la leche de tanque, o bote lechero. Se evaluó si los valores de CMT para la leche de tanque dependen de su contenido de células somáticas, y además saber si la composición de la leche cambia en función del número de células somáticas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 48 muestras de leche de vaca cebuina y cruza en diversas proporciones recolectadas de diversos ranchos y queserías tomadas al azar en dos de las localidades más productoras de leche en Tabasco, México, que son Balancan y Huimanguillo de Julio a septiembre, entre 2016-2018. A las muestras se les hizo la prueba (CMT) y el conteo de células somáticas (CCS). La CMT se realizó utilizando un reactivo comercial (Mastitest). Se mezclaron 2 mL de leche con 2 mL de CMT reactivo. La interpretación fue calificada con cuatro puntajes: 0, reacción negativa; 1, positivo; 2, fuerte; 3, muy fuerte basados en la intensidad de formación de viscosidad y gelificación. El conteo de células somáticas (CCS) en leche se realizó utilizando el equipo DeLaval<sup>®</sup> Cell Counter (DDC), el cual cuenta las células ópticamente y de forma automática. La metodología empleada fue la indicada por el fabricante. El principio se basa en aspirar una pequeña cantidad de leche en un cassette que contienen un reactivo que emite fluorescencia cuando tiñe al ADN de las células con núcleo (células somáticas) presentes en la leche (Ortiz 2011), este cassette es introducido al DCC el cual cuenta con una cámara digital que toma una fotografía de las células que se tiñen, las cuenta y muestra los resultados expresados en CS/ $\mu$ l de leche en una pantalla en 45 s, en este caso se multiplicaron los datos por 1000 para tener los resultados en CCS/mL. El análisis de la composición nutricional de contenido de grasa, proteína cruda (PC), lactosa y sólidos no grasos (SNG), se realizó con el Milk Analyzer Lactoscan<sup>®</sup> (Milkotronic<sup>®</sup>) (Citalan Cifuentes et al., 2016).

Se elaboró una tabla de contingencia de dos vías (McClave y Sincich, 2017). Las dos vías fueron los intervalos de clase de células somáticas (columnas) y la calificación de CMT ( renglones). Las columnas fueron (<500,000), (>500,000-1,000,000), (>1,000,000) y los renglones 0,1 y 2. Las cuarenta y ocho muestras tomadas aleatoriamente se contabilizaron en alguna de las celdillas de la

tabla de contingencia. La prueba  $\chi^2$  se hizo en el software Excel aplicando los procedimientos de tabla de contingencia de 2 vías (McClave y Sincich, 2017):

$$\chi^2 = \sum_{k=0}^n \frac{[n_{ij} - \hat{E}(n_{ij})]^2}{\hat{E}(n_{ij})}$$

$$\text{Donde } \hat{E}(n_{ij}) = \frac{r_i c_j}{n},$$

$r$ , son los renglones, y  $c$  las columnas. El rechazo de la hipótesis de independencia se da con  $\chi^2 > \chi_{\alpha}^2$ , donde los valores críticos de  $\chi_{0.05}^2$  tiene  $(r-1)(c-1)$  grados de libertad.

Para determinar si la composición de la leche cambia en función del número de células somáticas, los conteos observados de  $n$  son muestras aleatorias de la población de interés, y por ello, los valores de las muestras de leche también se agruparon en cuatro categorías según su número de células somáticas A (0-250,000), B (>251,000-500,000), C (>500,000-750,000) y D (>750,000) para la comparación de contenido sólidos no grasos, lactosa, y proteína para ser analizados usando ANOVA con un factor; y la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 5%. Los datos se analizaron con el Proc GLM ANOVA del SAS Versión 9.4, SAS Institute, Inc. Los datos de localidad no se reportaron pues no hubo muestras de las dos localidades en las dos categorías.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de CMT y número de células somáticas de las muestras de leche de tanque se presentan en orden ascendente Figura 1. Los valores de células somáticas menores a 500 se asociaron con valores de CMT=0. Valores de células arriba de 500 células somáticas por mililitro se asociaron con valores de CMT de 1 y 2. Para análisis estadístico, de los datos cualitativos y cuantitativos, se hizo una tabla de contingencia de dos vías. En la Figura 2, se presentan una gráfica del análisis de frecuencias, en la que se observa claramente que las dos variables, calificación CMT y los intervalos de células somáticas son mutuamente dependientes; pues la  $\chi^2$  calculada=88.06 >  $\chi_{0.05,4}^2$ ; >9.48. Considerando una explicación biológica, y una explicación de causa-efecto, las categorías de CMT dependen del rango de células somáticas presentes en la muestra. Así, CMT=0 cuando CCS está en los bajos intervalos. Algunas otras generalizaciones pueden ser que a mayor nivel de CCS mayor calificación CMT.

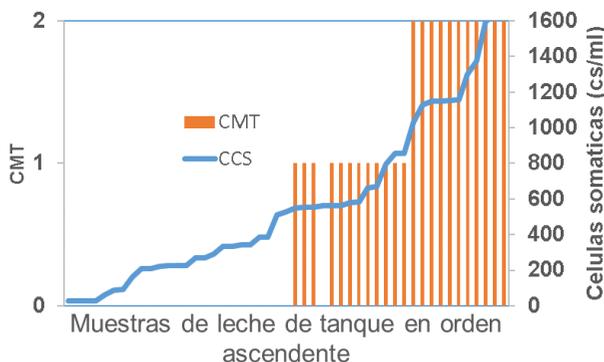
Las muestras de la clase <500,000 tiene 100% de muestras con categorías de CMT=0; las muestras de la clase 500,000-1000,000 tienen la mayor parte de las asignaciones a CMT=1 y solo 13.3% a CMT=0. Las muestras de leche de la clase >1,000,000 células somáticas, fueron 100% positivas a CMT=2. El rango de dispersión de los valores de células somáticas para cada categoría de CMT se muestra en la Figura 3, donde se observa que los tres grupos (CMT: 0,1,2) son estadísticamente diferentes en su número de células somáticas. Debe aclararse que no se puede hacer un análisis de correlación de Pearson entre los datos cuantitativos y cualitativos como son las células somáticas y CMT respectivamente.

La evaluación anteriormente presentada demuestra que la prueba CMT se puede utilizar para hacer una estimación del intervalo de células somáticas presentes en la leche y monitorear el estado sanitario de la leche de vacas en tanque directamente como una "prueba para centros de acopio de leche", o "prueba de leche para queserías". Muchas empresas no tienen los equipos, o los reactivos para las pruebas; y pueden usar la prueba CMT en complemento a otras pruebas como el Portachek, que se usa en algunos centros de acopio. Algunos autores han demostrado que la CMT, que se basa en la reacción química entre el reactivo y el ADN celular está bien correlacionado en

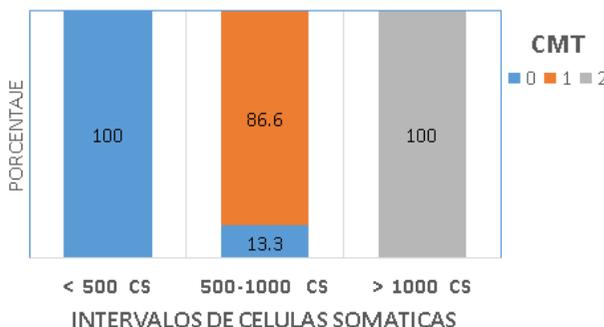
leche con conteo de células somáticas medidas con el FOSSOMATIC, tanto en términos de sensibilidad como de especificidad (Perrin et al., 1997). Así, se han diseñado sensores para estimación del recuento de células somáticas en línea basado en la formación de gel utilizando la prueba de CMT (Hogeveen, 2011).

Un número superior a 400,000 CCS indica mastitis subclínica (Wolter et al., 2004). De acuerdo a (Castañeda Vazquez et al., 2019) en los casos de mastitis subclínica hay una considerable reducción en la producción diaria de leche y cambios importantes en la composición de la leche. Se perjudica el valor higiénico de la leche, pues algunos agentes causales de mastitis son patógenos en humanos que afectarían los quesos con leche cruda; además puede haber residuos de antibióticos o químicos en la leche por el tratamiento de la ubre.

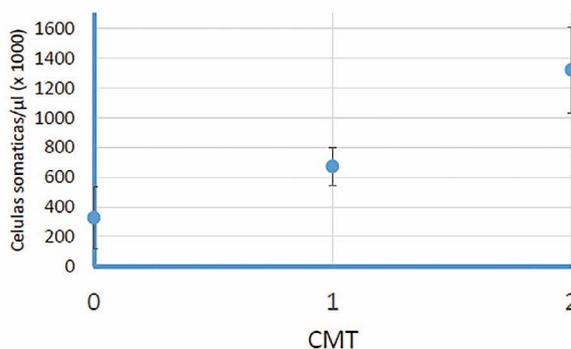
El pequeño productor de queso, o el acopiador de leche, usualmente no evalúa si las leches provienen de animales sanos, en lo que a mastitis se refiere. Es importante que los centros de acopio de leche; así como los procesadores de leche para queso evalúen el CCS de la leche que reciben, ya sea usando CMT u otros, pues números altos de células somáticas, reduce la aptitud de leche para procesarse. De acuerdo a Jaeggi, et al. (2003), a medida que aumenta el nivel de células somáticas, aumenta el tiempo requerido para cuajado de la leche. Los contenidos de grasa y humedad son más bajos en los quesos con mayor (CCS). Aumentan los niveles de ácidos grasos de cadena corta. Los niveles de ácidos butírico y caprílico son significativamente más altos en los quesos del grupo >1,000,000 Conteo de Células Somáticas (CCS) en todas las etapas de maduración; además



**Figura 1.** CMT y Células somáticas para cada muestra de leche de tanque ordenadas ascendentemente con base al número de células somáticas. La leche de tanque es colectada de varias vacas.



**Figura 2.** Gráfica de barras que muestra el porcentaje de valores CMT para cada intervalo de clase de las células somáticas en la leche de tanque.



**Figura 3.** Conteo de Células somáticas (CCS) mostrando desviación estándar en relación a calificación CMT.

se asocian con un sabor rancio en los quesos con el nivel más alto de Conteo de Células Somáticas (CCS). Los quesos se maduran con cierto amargor, afectando la calidad sensorial de los productos y las ventas.

En relación a la composición nutrimental de la leche con diferentes niveles de células somáticas (Cuadro 1), se observó que no hubo variaciones en grasa entre los grupos ( $p \geq 0.05$ ), pero si se observaron variaciones en otros componentes. En el grupo D, se redujeron los sólidos no grasos, la lactosa y la proteína. Esto reafirma lo que otros autores han encontrado en relación a que un recuento elevado de células somáticas, reduce el contenido de lactosa (entre 5-20%) y caseína (Le Maréchal et al., 2011). Mientras el nivel de proteína total permanece casi sin cambios, el nivel de caseína es disminuido hasta en 20%, pero las proteínas del suero aumentan especialmente en albúmina sérica y la inmunoglobulina G (Le Maréchal et al., 2011). La reducción de dichos componentes lácteos tiene impacto económico, pues para los fabricantes de queso, se reduce el rendimiento de la leche (Blowey y Edmondson, 2010). En varios estudios, un alto CCS se asocia con un aumento significativo en el tiempo de coagulación, menor firmeza en la cuajada y tasa más lenta de cuajada reafirmante, lo que puede conducir a bajo rendimiento y baja calidad del queso resultante (Le Maréchal et al., 2011).

El uso de la prueba de CMT a partir de leche de tanque permite tener una evidencia presuntiva para conocer si la leche proviene de hatos de animales sanos o no sanos (Bedolla et al., 2007). y genera información para el productor lechero, generar mayor supervisión al hato de vacas para detectar a los animales con mastitis subclínica o clínica para excluirlos de la ordeña. Es necesario enseñar a los productores lecheros en pequeño como hacer la prueba de CMT.

## CONCLUSIONES

La prueba CMT se puede utilizar como una medida del contenido de células somáticas en la leche de tanque de

vaca. El alto contenido de células somáticas está relacionado con un menor contenido de sólidos no grasos, menos lactosa y menos proteína.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a fondos de las Microrregiones de atención prioritaria (MAP-Tabasco) del CP por financiamiento de reactivos; también se agradece a "Quesos poros genuinos de Balancan, SPR de RL" por haber financiado la compra de los equipos de análisis de leche y contador de células somáticas Delaval Cell Counter. Agradecimiento a los organizadores de la cátedra Jean Monet de la Unión Europea "Higiene y bienestar animal: medidas preventivas de la salud del hato" 2018 por haber financiado la presentación de la primera versión de este manuscrito en el CUCBA, de la Universidad de Guadalajara.

## LITERATURA CITADA

- Bedolla Cedeño, C., Velázquez Ordoñez, V., Valladares Carranza, B., Cordova Izquierdo, A., Saltijeral Oaxaca, J., Castañeda Vázquez, H., Castañeda Vázquez, M.A., & Wolter Wilfred (2019). Factores de Riesgo asociados en la mastitis de las vacas. En: La mastitis bovina, Editores Castañeda Vázquez, H. Wilfried Wolter, Martha Alicia Castañeda Vázquez. ISBN 9 786078 490752
- Bedolla, C. C., Castañeda, V. H., & Wolter, W. (2007). Métodos de detección de la mastitis bovina (Methods of detection of the bovine mastitis). Redvet. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090907/090702.pdf>
- Blowey, R. W., & Edmondson, P. (2010). Mastitis control in dairy herds. Cabi.2nd ed
- Castañeda Vázquez, H., Castañeda Vázquez, M. A., Wolter, W., Padilla, Ramirez, F. J., Bedolla Cedeño C., & Salas Castañeda, E.P.(2019). La producción sustentable de leche. En: La mastitis bovina, Editores Castañeda Vázquez, H. Wilfried Wolter, Martha Alicia Castañeda Vázquez. ISBN 9 786078 490752
- Castañeda Vázquez, H., Castañeda Vázquez, Serratos Arevalo, J. C., Wolter, W., Padilla, Ramirez, F. J., & Salas Castañeda, E.P. (2019). Mecanismos de defensa de la ubre. En: La mastitis bovina, Editores Castañeda Vázquez, H. Wilfried Wolter, Martha Alicia Castañeda Vázquez. ISBN 9 786078 490752
- Citalan Cifuentes, L. H., Ramos Juárez, J. A., Salinas Hernández, R., Bucio Galindo, A., Osorio Arce, M. M., Herrera Haro, J. G., & Orantes Zebadua, M. A. (2016). Análisis sensorial de leche de vacas suplementadas con un alimento fermentado a base de pollinaza. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 3: 181-191. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282016000200181&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282016000200181&script=sci_arttext&tlng=en)

**Cuadro 1.** Contenido de grasa y otros nutrientes de leche con diferentes números de células somáticas.

Categoría de número de células somáticas	Numero de muestras	Grasa (%)	Sólidos no grasos (%)	Lactosa(%)	Proteína(%)
A (0-250)	14	3.16	8.26 A*	4.53 A	3.22 A
B (251-500)	9	3.50	8.29 A	4.54 A	3.25 A
C (501-750)	13	3.32	8.34 A	4.60 A	3.18 A
D (>751)	12	3.80	7.98 B	4.39 B	3.08 B

\*Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

- El-Sayed, A., Awad, W., Nadra-Elwgoud Abdou, & Castañeda Vázquez, H. (2017). Molecular biological tools applied for identification of mastitis causing pathogens. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*. 5: 89-97. doi.org/10.1016/j.ijvsm.2017.08.002
- Hogeveen, H. (2011). Mastitis therapy and control—Automatic on-line detection of abnormal milk. In *Encyclopedia of Dairy Science* (Ed: Roginski, H., Fuquay, J. W., and Fox, P. F.). (pp. 422-428). Academic Press. *Encyclopedia of Dairy sciences*. Volumes 1-4. Academic press.
- Jaeggi, J. J., Govindasamy-Lucey, S., Berger, Y. M., Johnson, M. E., McKusick, B. C., Thomas, D. L., & Wendorff, W. L. (2003). Hard ewe's milk cheese manufactured from milk of three different groups of somatic cell counts. *Journal of Dairy Science*, 86: 3082-3089.
- Le Maréchal, C., Thiéry, R., Vautor, E., & Le Loir, Y. (2011). Mastitis impact on technological properties of milk and quality of milk products—a review. *Dairy Science and Technology*, 91: 247-282.
- McClave, J. T., y Sincich, T. (2017). *Statistics*. 13ed. Pearson, 330 Hudson Street, NY NY 10013.
- Ortiz Z., C, Concha U., A., & Cayro C., J. (2011). Recuento de células somáticas en leche contaminada con residuos de antibióticos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 22(2), 151-154. Recuperado en 09 de febrero de 2020, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172011000200011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172011000200011&lng=es&tlng=es).
- Perrin, G. G., Mallereau, M. P., Lenfant, D., & Baudry, C. (1997). Relationships between California mastitis test (CMT) and somatic cell counts in dairy goats. *Small Ruminant Research*, 26: 167-170.
- Serratos Arevalo, J. C., Castañeda Vázquez H, Castañeda Vazquez M. A., Padilla Ramírez F.J., Salas Castañeda, E.P., Bedolla Cedeño C., Wolter W. 2019. Mastitis causada por Enterobacterias. En: *La mastitis bovina*, Editores Castañeda Vázquez, H. Wilfried Wolter, Martha Alicia Castañeda Vázquez. ISBN 9 786078 490752
- Wolter, W., Castañeda, H., Kloppert, B., & Zschöck, M. 2004. Mastitis bovina: prevención, diagnóstico y tratamiento. Editorial Universitaria. Guadalajara. No. Pp.19.



# Costs of the application of different products for the control of garrapata (*Rhipicephalus microplus*) in vaccine livestock

## Costos de la aplicación de diferentes productos para el control de garrapata (*Rhipicephalus microplus*) en ganado vacuno

Rocha-Méndez, C.<sup>1</sup>, Chiquini-Medina, R. A.<sup>1</sup>, Herrra-Guzmán, C. J.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México Campus Chiná. Campeche, Campeche, México.

\*Autor para correspondencia: herrragcj@gmail.com

### ABSTRACT

The objective of this work was to compare the costs of the application of acaricides used in the control of *Rhipicephalus microplus* ticks, considering the necessary inputs for the application, the personnel involved and the indirect expenses generated in each treatment. The methodology consisted of applying different products Cypermethrin<sup>®</sup>, Azuntol<sup>®</sup>, Fluazuron<sup>®</sup>, Ivermectin<sup>®</sup>, and a parasitic fungus (*Metarhizium anisopliae*) to control the tick and identify the costs of the application. The highest cost per year of treatment per head of cattle corresponded to Fluazuron<sup>®</sup> with an amount of \$1,282.50 per head of cattle, secondly Ivermectin<sup>®</sup> with a total of \$1,053.45, followed by *Metarhizium anisopliae* with the amount of \$279.00, Azuntol<sup>®</sup> with a total of \$162.85 and finally Cypermethrin<sup>®</sup> \$109.93. Although the use of the parasitic fungus was not the most economical, it offers environmental advantages over the other products.

**Keywords:** Ticks, Livestock, *Metarhizium anisopliae*.

### RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la comparación de costos de la aplicación de acaricidas usados en el control de garrapata *Rhipicephalus microplus*, considerando los insumos necesarios para la aplicación, el personal que interviene y los gastos indirectos generados en cada tratamiento. La metodología consistió en aplicar diferentes productos Cipermetrina<sup>®</sup>, Azuntol<sup>®</sup>, Fluazurón<sup>®</sup>, Ivermectina<sup>®</sup>, y un hongo parasitario (*Metarhizium anisopliae*) para controlar la garrapata e identificar los costos de la aplicación. El mayor costo por año de tratamiento por cabeza de ganado correspondió al Fluazuron<sup>®</sup> con un importe de \$1,282.50 por cabeza de ganado, en segundo lugar la Ivermectina<sup>®</sup> con un total de \$1,053.45, seguido por *Metarhizium anisopliae* con la cantidad de \$279.00, Azuntol<sup>®</sup> con un total de \$162.85 y finalmente Cipermetrina<sup>®</sup> \$109.93. A pesar de que el uso del hongo parasitario no fue el más económico, este ofrece ventajas ambientales sobre los demás productos.

**Palabras Clave:** Garrapatas, Ganadería, *Metarhizium anisopliae*.



## INTRODUCCIÓN

Las garrapatas son ácaros artrópodos, comprendidas en dos familias: Ixodidae o garrapatas duras y Argasidae o garrapatas blandas. Se reporta la existencia de un total de 899 especies que integran la lista de garrapatas identificadas a nivel mundial. En la familia Ixodidae se incluyen 713 especies, en el género Ixodes se enlistan 249, Amblyomma 14, Anomalohimalaya 3, Bothriocroton 5, Cosmiomma 1, Dermacentor 36, Haemaphysalis 166, Hyalomma 25, Margaropus 3, Nosomma 1, Rhipicentor 2 y Rhipicephalus 79 (Ojeda Chi, Rodríguez Vivas, Galindo Velasco, Lezama Gutiérrez, & Cruz Vázquez, 2011).

Actualmente, en el mundo existen programas integrados de control parasitario y en México existen algunos programas que han mostrado resultados promisorios; sin embargo, es necesario usar métodos químicos y no químicos que sean factibles (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014; Esteve-Gassent *et al.*, 2016). Un verdadero control integrado de garrapatas (CIG) puede promover a un control integrado de parásitos (CIP) y dichos controles, considerarán por definición, la combinación de métodos químicos y no químicos, por ejemplo, ixodicidas+vacuna+hongos. El CIG consiste en la asociación del medio ambiente y la dinámica de población de las especies de parásitos, utilizando una combinación de técnicas y métodos sostenibles que sean compatibles y que mantengan niveles bajos de las poblaciones de parásitos que causan pérdidas económicas. El CIG se asocia a una drástica disminución de la frecuencia de tratamientos y por consiguiente una disminución en la presión de selección genética y en la aparición de resistencia de los parásitos. Para

prevenir y manejar la resistencia, es necesario además utilizarlos en épocas/momentos/animales que no aumenten la presión de selección genética (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014a). El CIG en los rumiantes ha sido exitoso en ciertas circunstancias, pero es necesario poner énfasis al control integral de parásitos y transferir esta tecnología a nivel de campo. Ejemplos de control integrado de garrapatas es el uso de acaricidas y vacuna antigarrapata, acaricidas y LM, y el uso de acaricidas y hongos entomopatógenos (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014a). El reto principal que tienen los usuarios, es integrar las tecnologías químicas y no químicas disponibles para el control de garrapatas. Recientemente se han reportado en México los primeros casos de *R. microplus* resistente a Fipronil e Ivermectina<sup>®</sup>, lo que pone de manifiesto la necesidad de buscar nuevas alternativas de control, para reducir el uso de ixodicidas<sup>®</sup> y retrasar el proceso de selección de poblaciones de garrapatas resistentes a los productos químicos (Ojeda *et al.*, 2011). Los químicos disponibles que se utilizan para el tratamiento de ectoparásitos de importancia en medicina veterinaria son sistémicos, todos los ixodicidas son neurotóxicos, y ejercen su efecto sobre el sistema nervioso de los ectoparásitos. Los métodos tradicionales del tratamiento ixodicida, para el control de garrapatas requieren de formulaciones que se diluyan en agua y se apliquen por aspersión o inmersión en los animales. Además, se incluyen los métodos de derrame (pour-on), inyectables, bolos intraruminales, aretes impregnados con ixodicidas y feromonas.

*R. microplus* produce el mayor problema global de ectoparasitosis en la ganadería bovina de las regiones

tropicales y subtropicales. El impacto económico se debe al daño a las pieles por acción de las picaduras, pérdida de sangre, efectos tóxicos, reducción en la producción de leche, en la producción de becerros y el incremento en los costos de control; además de los agentes etiológicos que transmiten como virus, bacterias, rickettsias y protozoos (Rodríguez-Vivas, 2005). Tomando en cuenta que este paracito afecta la economía del productor, el objetivo del presente trabajo fue realizar la comparación de costos de acaricidas usados en el control de garrapata *Rhipicephalus microplus*, considerando los insumos necesarios para la aplicación, el personal que interviene y los gastos indirectos generados en cada tratamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como parte de un estudio para validación de dosis y frecuencia de aplicación de una cepa altamente agresiva de *Metarhizium anisopliae* para el control biológico de garrapatas en bovinos del municipio de Campeche, México, se realizó la determinación del costo del tratamiento por bovino y su comparación con tratamientos comerciales: primero se identificaron los insumos comerciales comunes, de acuerdo a las especificaciones técnicas de cada producto se determinaron varios elementos: en primer lugar la dosis y su costo unitario, en segundo lugar el tiempo de aplicación (determinando así el número de tratamientos al año), para después obtener el costo de la dosis al año; en segundo lugar se obtuvo el importe de la mano de obra por ovino para posteriormente determinar el costo de la mano de obra al año; en tercer lugar se identificaron los materiales complementarios necesarios para la aplicación del tratamiento

inyectado, para el tratamiento biológico se usa un Adherente dispersante y finalmente para los tratamientos por baño con bomba. Se determinó el importe del desgaste para su consideración dentro del costo total por tratamiento por ovino al año. En hojas de cálculo se realizó el análisis para identificar e integrar cada uno de los elementos por tratamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación se realizó entre cinco tratamientos: Cipermetrina<sup>®</sup>, Azuntol<sup>®</sup>, Fluazurón<sup>®</sup>, Ivermectina<sup>®</sup>, Hongo (*Metarhizium anisopliae*); considerando la dosis, el peso, el número de tratamientos al año como factor fundamental para determinar el costo; es así que se obtiene que el mayor costo por año de tratamiento por cabeza de ganado correspondió al Fluazurón<sup>®</sup> con un importe de \$1,282.50 por cabeza de ganado, en segundo lugar la Ivermectina<sup>®</sup> con un total de \$1,053.45 (Cuadro 1), seguido por *Metarhizium anisopliae* con la cantidad de \$279.00, Azuntol<sup>®</sup> con un total de \$162.85 y finalmente Cipermetrina<sup>®</sup> \$109.93 (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Obtención del costo total de tratamiento por cabeza de ganado al año (aplicación por inyección y Pouron).

Variable	Elemento	Tratamiento	
		Fluazurón <sup>®</sup>	Ivermectina <sup>®</sup>
Dosis por bovino	Dosis en mL indicados por el laboratorio	35	7
Tratamientos por bovino al año	Número de tratamientos al año	18	18
Dosis total por bovino al año	Dosis por bovino × número de tratamientos al año por bovino.	630	126
Costo por ml	Costo de 1 mL del acaricida	1.95	7.00
Costo de la dosis por bovino al año	Costo de 1 mL del acaricida × dosis del bovino en mL.	1,228.50	881.37
Costo del material por aplicación al año	Precio de jeringas de 5 mL × número de tratamientos al año	0.00	118.08
Costo de mano de obra por tratamiento por bovino al año	(Número de trabajadores × salario del trabajador) / (número de cabezas de ganado × número de tratamientos al año por bovino).	54.00	54.00
Gastos indirectos	Depreciación de motobomba para baño (1800 baños al año)	0.00	0.00
Costo total de tratamiento por bovino al año	Costo de la dosis por bovino + costo del material para la aplicación + costo de mano de obra del tratamiento.	\$1,282.50	\$1,053.45

**Cuadro 2.** Obtención del costo total de tratamiento por cabeza de ganado al año (aplicación por baño).

Variable	Ecuación	Tratamiento		
		Hongo	Fluazurón <sup>®</sup>	Azuntol
Dosis por bovino	Dosis en mL indicados por el laboratorio.	30	3	3
Tratamientos por bovino al año	Número de tratamientos al año	27	18	18
Dosis total por bovino al año	Dosis por bovino × número de tratamientos al año por bovino.	810	54	54
Costo por ml	Costo de 1 mL del acaricida	0.18	0.37	1.35
Costo de la dosis por bovino al año	Costo de 1 mL del acaricida × dosis del bovino en mL.	144.00	19.93	72.85
Costo del material por aplicación al año	Adherente dispersante	4.86	0	0
Costo de mano de obra por tratamiento por bovino al año	(Número de trabajadores × salario del trabajador) / (número de cabezas de ganado × número de tratamientos al año por bovino).	81	54	54
Gastos indirectos	Depreciación de motobomba para baño (1800 baños al año)	2	2	2
total de gastos indirectos por año	(depreciación por baño × baños al año)	54	36	36
Costo total	Costo de la dosis por bovino + mano de obra + material de aplicación.	\$279.00	\$109.93	\$162.85

\* Las dosis y la frecuencia del tratamiento por bovino se calcularon siguiendo las especificaciones técnicas que el laboratorio indica en cada producto..



Al analizar la información obtenida y considerando que los ixodicidas tradicionales pueden desarrollar resistencia debido al uso inadecuado. La demanda actual de alimentos libres de compuestos químicos, así como el interés por el cuidado del ambiente ha fomentado un gran interés en la evaluación, desarrollo y uso de métodos alternativos de control parasitario como la rotación de praderas, selección de razas de bovinos resistentes, mezclas de acaricidas, nematodos, vacunas, bacterias y hongos entomopatógenos, que minimicen el uso de pesticidas.

Los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) son una alternativa viable para la aplicación de los métodos de control antes mencionados de acuerdo a investigaciones, sobre factibilidad del uso de diferentes métodos de control biológico basados en estudios de dinámica poblacional (Walker *et al.*, 1998). Una de las alternativas con mayor viabilidad es el uso de hongos entomopatógenos (Camacho *et al.*, 1998). Se ha reportado que hongos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* causan mortalidad en garrapatas adultas, a la vez que disminuyen su fecundidad en las supervivientes (Barcelos *et al.*, 1998; Kaaya, 2000; Asan, 2000; Benjamín *et al.* 2002). El costo del tratamiento biológico alternativo se encuentra compitiendo directamente con los dos costos más bajos, con el beneficio que representa para el cuidado del medio ambiente y de los alimentos.

## CONCLUSIONES

**LOS** resultados muestran que el uso del hongo no fue el más económico, pero tampoco el más costoso; sin embargo, presenta ventajas ambientales.

## LITERATURA CITADA

- Barcelos, A., Fiorin, A., Monteiro, A., & Veríssimo, C. (1998). Effects of *Metarhizium anisopliae* on the tick *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in stabled cattle. *Journal of Invertebrate Pathology*, 71 (2): 189-191.
- Benjamín, M., Zhioua, E., & Ostfeld, R. (2002). Laboratory and field evaluation of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycetes) for controlling questing adult *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology* 39 (5): 72, 39 (5): 72.
- Camacho, E., Mavarro, G., Rodríguez, R., & Murillo, E. (1998). Efectividad del *Verticillium lecanii* sobre la fase parasítica de la garrapata *Boophilus microplus*. (Acari: Metastigmata: Ixodidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 67-68.
- Esteve-Gassent MD, C. I. (2016). Translating Ecology, physiology, biochemistry, and population genetics research to meet the challenge of tick and tick-borne diseases in North America. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 92,38-64.
- Kaaya, G., & Asan, S. (2000). Entomogenous fungi as promising biopesticides for tick control. *Experimental and Applied Acarology*, 24 (12): 913-926.
- Ojeda Chi, M. M., Rodríguez Vivas, R. I., Galindo Velasco, E., Lezama Gutiérrez, R., & Cruz Vázquez, C. (2011). Control de *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) mediante el uso del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae). Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10.
- Rodríguez-Vivas RI, Q. A. (2005). Epidemiología y control de la garrapata *Boophilus* en México. (R.-V. RI, Ed.) *Enfermedades de importancia económica en producción animal.*, 571-592.
- Rodríguez-Vivas RI, P.-C. L.-A.-C.-M. (2014). *Rhipicephalus microplus* resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *brazilian journal of veterinary parasitology impact factor*, 113-122.
- Walker, A., Benavidez Ortiz, E., & Betancourt Echeverry, J. (1998). Manejo integrado de plagas para el control de garrapatas. *Carta Ganadera*, 52-57.





## MAESTRÍA en CIENCIAS INNOVACIÓN en MANEJO de RECURSOS NATURALES

### OBJETIVO

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

*Innovando con ciencia y visión sustentable*



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

Duración: 2 años

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

Fechas límite para recepción de documentos:

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

Los requisitos de ingreso y formato de admisión pueden descargarse en [www.colposlp.mx](http://www.colposlp.mx)

### Informes

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





# INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

## PROGRAMA DE MAETRÍA EN CIENCIAS

### Objetivo

Formar talento humano con conocimiento de vanguardia en los procesos de producción, transformación y comercialización, que cuenten con habilidades y actitudes pertinentes, que les permitan contribuir al desarrollo e innovación tecnológica, socioeconómica y ambiental de los sistemas agroalimentarios, bajo una perspectiva sustentable.

### Perfil de ingreso

El aspirante a la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable debe tener estudios concluidos de licenciatura o ingeniería en las áreas de agronomía, biología, veterinaria, agroindustria, alimentos, química, maquinaria, estadística, economía, psicología, sociología, administración y carreras afines.



### Lineas del Conocimiento (LGAC)

Las líneas de investigación del programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable se dividen en tres ejes principales:

**1** Eficiencia y sustentabilidad en la producción primaria en sistemas agroalimentarios

**2** Innovación y desarrollo de procesos agroalimentarios para el bienestar social

**3** Comercialización y competitividad agroalimentaria con responsabilidad social y ambiental



**CONACYT**

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Programa Nacional de  
Posgrados de Calidad (PNPC)

#### Becas

Contamos con becas del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) del CONACYT

#### Informes

Subdirección de Educación del  
Campus Córdoba  
☎ 01(271) 716 60 00 / 57 / 55 Ext. 114  
✉ admision\_cordoba@colpos.mx

Los requisitos de ingreso y formatos de admisión pueden ser obtenidos en la página web oficial [www.colpos.mx/posgrado/ias/index.php](http://www.colpos.mx/posgrado/ias/index.php)  
**www.colpos.mx**

📘 Colegio de Postgraduados Campus Córdoba

📌 Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable

✉ [mcinnovaciones@colpos.mx](mailto:mcinnovaciones@colpos.mx)

📍 Colegio de Postgraduados / Campus Córdoba  
km 348 / Carr. Federal Córdoba-Veracruz  
Amatlán de Los Reyes, Ver. / CP 94946





