

AP

AGRO PRODUCTIVIDAD

ISSN-0188-7394



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
CONACYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Efectividad y rentabilidad de técnicas de siembra de caña de azúcar (*Saccharum* spp.)

pág. 40

Año 9 • Volumen 9 • Número 3 • marzo, 2016

INMUNODETECCIÓN DE LA BACTERIA <i>Leifsonia xyli</i> subsp <i>xyli</i> EN CLONES COMERCIALES DE <i>Saccharum</i> spp. EN TABASCO, MÉXICO	3
FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE <i>Aeneolamia contigua</i> (WALKER) EN EL CULTIVO DE CAÑA DE (<i>Saccharum</i> spp.) EN TABASCO, MÉXICO	10
RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.) BAJO SUSPENSIÓN DE RIEGO PREVIO A LA COSECHA	15
EVALUACIÓN AGROINDUSTRIAL DE DIEZ VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.)	21
OPCIONES DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.) EN TABASCO, MÉXICO	27
CERTIFICACIÓN FITOSANITARIA DE VITROPLANTAS DE <i>Saccharum</i> spp., PARA ESTABLECER SEMILLEROS BÁSICOS	35

y más artículos de interés...

PRECIO AL PÚBLICO \$75.00 PESOS



COLEGIO DE
POSTGRADUADOS

Estructura

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

La estructura de la contribución será la siguiente:

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

Formato

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

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

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

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

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

Citas libros y Revistas:

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

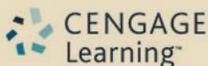


Contenido

- 3** INMUNODETECCIÓN DE LA BACTERIA *Leifsonia xyli* subsp *xyli* EN CLONES COMERCIALES DE *Saccharum* spp. EN TABASCO, MÉXICO
- 10** FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Aeneolamia contigua* (WALKER) EN EL CULTIVO DE CAÑA DE (*Saccharum* spp.) EN TABASCO, MÉXICO
- 15** RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) BAJO SUSPENSIÓN DE RIEGO PREVIO A LA COSECHA
- 21** EVALUACIÓN AGROINDUSTRIAL DE DIEZ VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)
- 27** OPCIONES DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN TABASCO, MÉXICO
- 35** CERTIFICACIÓN FITOSANITARIA DE VITROPLANTAS DE *Saccharum* spp., PARA ESTABLECER SEMILLEROS BÁSICOS
- 40** EFECTIVIDAD Y RENTABILIDAD DE TÉCNICAS DE SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)
- 48** EVALUACIÓN A LA ESCALDADURA (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) DE LA HOJA DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)
- 54** DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE ONCE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN EL INGENIO AZSUREMEX TENOSIQUE, TABASCO
- 60** EVALUACIÓN DE ALIMENTOS FERMENTADOS CON TALLOS CRUDOS Y QUEMADOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)
- 66** CLASIFICACIÓN SEXUAL DE LINALOE (*Bursera linanoe*, Burseraceae) E IMPLICACIONES PRODUCTIVAS DE ACEITE ESENCIAL, EN TRES POBLACIONES NATURALES DE GUERRERO, MÉXICO
- 73** PROPIEDADES AGROPRODUCTIVAS DE *Ricinus communis* L. Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE



 **ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS**
CONACYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Master Journal List
THOMSON REUTERS

Corrección de estilo: Hannah Infante Lagarda

Maquetación: Alejandro Rojas Sánchez

Suscripciones, ventas, publicidad, contribuciones de autores:

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

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

Impresión 3000 ejemplares.

©Agroproductividad, publicación mensual respaldada por el Colegio de Postgraduados. Derechos Reservados. Certificado de Licitud de Título Núm. 0000. Licitud de Contenido 0000 y Reserva de Derechos Exclusivos del Título Núm. 0000. Editorial del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Núm. 036.

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.

Impreso en México • Printed in México
PRINTING ARTS MEXICO, S. de R. L. de C. V.
Calle 14 no. 2430, Zona Industrial
Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44940
Fax: 3810 5567
www.tegrafik.com
RFC: PAM991118 DGO

Directorio

Said Infante Gil
Editor General del Colegio de Postgraduados

Rafael Rodríguez Montessoro[†]
Director Fundador

Jorge Cadena Iñiguez
Director de Agroproductividad

Comité Técnico-Científico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Editorial

Volumen 9 • Número 3 • marzo, 2016.

Azúcar, del jugo de la caña de azúcar, su evolución como ingrediente en diferentes segmentos de la sociedad la han transformado de indispensable en la mesa, generadora de riqueza e impulso tecnológico hasta enemigo público número uno por sus efectos en la salud. El consumo de azúcar per cápita ha aumentado 45.6% desde 1970, esto quiere decir que cada mexicano (aritméticamente) consume entre 42 y 52 kilos de azúcar al año, atribuido al consumo disimulado en muchos alimentos industrializados en forma de dulces, panes y refrescos principalmente. El dato de su salida de África hacia Asia, se estima en 4500 a.C., es decir que la travesía hacia el cultivo y el gusto por el dulce han acompañado a las incipientes y grandes sociedades de antaño. Para México representa la generación de empleos locales rurales, y el área cultivada en Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí es equivalente a 58.4% nacional, cuyo nivel de rendimientos en campo y fabricación, son superiores al promedio mundial, sin embargo, con costos más altos que su pares en América latina. Recientemente las corrientes sobre nutrición coinciden en que el consumo de azúcar promueve enfermedades de interés público, tales como, la obesidad, y se han realizado pugnas legislativas por el ánimo de gravar fiscalmente a los productos que utilicen azúcar como materia prima para su elaboración, lo cual, a decir de los productores, traería un efecto recesivo en la Agroindustria Mexicana de la Caña de Azúcar, bajo la premisa de que "el azúcar de caña no se debe estigmatizar; y el impuesto (a las bebidas azucaradas y a productos que usen azúcar) afectaría a la población de menores ingresos que consumen más refrescos". Es importante analizar si bajo el enunciado anterior, la óptica socioeconómica de las agrupaciones cañeras en México debe reforzar la búsqueda del equilibrio en el sector, mediante la diversidad de usos de la caña de azúcar más allá de endulzar los alimentos, por ejemplo, como bioenergético, y reducir la refinación. Sin duda la caña de azúcar es parte importante del motor "energético" de México, pero su futuro no puede depender del uso como endulzante.

Dr. Jorge Cadena Iñiguez
Director de  AGRO
PRODUCTIVIDAD

INMUNODETECCIÓN DE LA BACTERIA *Leifsonia xyli* subsp *xyli* EN CLONES COMERCIALES DE *Saccharum* spp. EN TABASCO, MÉXICO

IMMUNODETECTION OF THE *Leifsonia Xyli* ssp. *Xyli* BACTERIA IN COMMERCIAL CLONES OF *Saccharum* spp. IN TABASCO, MEXICO

García-Juárez, H.S.¹; Ortiz-García, C.F.^{1*}; Salgado-García, S.¹; Valdez-Balero, A.¹; Silva-Rojas, H.V.²; Ovalle-Saenz, W.R.³

¹Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N, 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. Grupo MASCA.A-LPI-2: AEES. ²Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Texcoco 56230, Estado de México. ³Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Carretera Escuintla-Mazatenango km. 92.5, Santa Lucía, Escuintla, Guatemala.

***Autor responsable:** cfortiz@colpos.mx

RESUMEN

Se evaluó el método de inmunoensayo de adsorción de gota para determinar la presencia de la bacteria *Leifsonia xyli* subsp *xyli* en cinco clones comerciales cultivados de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para determinar su distribución en el área cañera de la Chontalpa, mediante 105 sitios de muestreos en dicha zona. El método de inmunoensayo fue informativo, se detectó la bacteria atacando a los clones Mex 69-290, Mex 68-P-23, CP 72-2086 y RD 75-11 con incidencias de 0 a 10% para los tres primeros clones y de 0 a 30% para el último clon. Las plantaciones positivas se distribuyeron formando tres focos en el sur de la zona cañera.

Palabras claves: Inmunoensayo de adsorción de gota, RDS, *Leifsonia xyli* subsp *xyli*, caña de azúcar.

ABSTRACT

The drop adsorption immunoassay method was evaluated to determine the presence of the *Leifsonia xyli* ssp. *xyli* bacteria in five commercial cultivated sugar cane (*Saccharum* spp.) clones, to determine its distribution in the sugar cane area of Chontalpa, through 105 sampling sites in that zone. The immunoassay method was informative; the bacteria was detected attacking the clones Mex 69-290, Mex 68-P-23, CP 72-2086 and RD 75-11 with incidence of 0 to 10% for the first three clones and 0 to 30% for the latter clone. The positive plantations were distributed forming three focuses in the south of the sugar cane zone.

Keywords: Drop adsorption immunoassay, RDS, *Leifsonia xyli* subsp *xyli*, sugar cane.



INTRODUCCION

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo muy importante económicamente en el trópico y sub trópico por su alta productividad, eficiente uso de insumos y facilidad de procesamiento de productos y subproductos (Moore, 2014). En México se cultivan anualmente 780,254 ha, con un rendimiento promedio de 75.63 t ha⁻¹; en el estado de Tabasco, México, se cultivan 36,287 ha, con bajos rendimientos promedio de 56.47 t ha⁻¹ (INFOCAÑA, 2014); 25% menos que la media nacional. Salgado *et al.* (2009) mencionan que entre las causas de esta baja productividad, entre otros factores, pueden estar problemas fitosanitarios. En los últimos años se confirmó la presencia de patógenos como la bacteria *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson, agente causal de la enfermedad conocida como “**escaldadura de la hoja**”, cuya principal forma de diseminación es por uso de partes vegetativas infectadas para siembra importada y no tratadas térmicamente (Silva, 2013). El proceso de diseminación es equivalente para la bacteria *L. xyli* subsp *xyli* (Hoy *et al.*, 1999) agente causa de la enfermedad **Raquitismo de las socas de la caña de azúcar o RSD (Ratoon stunting disease)**; enfermedad que impacta negativamente la producción (Davis, 1980; Hoy *et al.*, 1999), cuya presencia en México ha sido reportada por Flores (1997) desde 1953. La RSD, es una enfermedad desatendida en México por lo complicado que resulta su diagnóstico, debido a los pocos y difíciles síntomas a apreciar tales como, disminución del diámetro de tallos y acortamiento de entrenudos debido al taponamiento vascular (Gillaspie y Teakle, 1989). Ovalle (2012) reporta que las plantaciones infectadas con RSD muestran anualmente una reducción progresiva del rendimiento de campo; debido a la pérdida de vigor y reducción del número de tallos sin mostrar un impacto negativo significativo en el contenido de azúcar del jugo. El RSD fue reportado por primera vez en 1944 en Australia, atacando al clon Q 28; actualmente su presencia está en la mayoría de las áreas productoras de caña de azúcar del mundo, en países y regiones como: Argentina, Brasil, Centro América, Colombia, Cuba, Fiji, Hawaii, India, Indonesia, Jamaica, Kenya, Mauricio, México, Perú, Taiwán y Estados Unidos de América (Davis y Bailey, 2000). Comstock (2002) señala que la pérdida en rendimiento es variable, y depende del clon, condiciones climatológicas y grado de infección de la plantación. Así, las mayores pérdidas de producción se asocian con periodos de sequía y condiciones de estrés, oscilando en clones susceptibles desde 35.4% (clon CP 44-101) hasta 12.7% (clon CP 52-68). Davis *et al.*, (1984) cuantificaron aumento de pérdidas referente a los ciclos de cultivo de 37% en el ciclo de plantilla y 67% en la primera soca del clon Q 28 en Australia. La misma relación se registró en otros clones menos susceptibles donde las pérdidas variaron de entre 10% a 15% en plantilla y de 20% a 25% en socas.

Agente causal. Inicialmente el RSD se le atribuyó a la acción de un virus, debido a que no se asociaba algún patógeno y que el jugo de plantas enfermas mantenían su infectividad. Posteriormente, Davis (1980) mostró que el patógeno era una bacteria corineforme, que coloniza las células del xilema, a la que se le registró como *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* (Davis *et al.*, 1984). Finalmente, fue reubicada dentro del género *Leifsonia* conservando la es-

pecie y subespecie (Evtushenko *et al.*, 2000). La especie *L. xyli* cuenta con dos subespecies: *L. xyli* subespecie *cynodontis* que afecta a gramíneas y provoca el raquitismo de pasto Bermuda; y *L. xyli* ssp. *xyli* que parasita a la caña de azúcar (Locci, 1994). *L. xyli* subsp. *xyli* es una bacteria gram positiva, no móvil, aeróbica, se divide por fisión binaria transversal, y es un parásito obligado de la planta (Comstock, 2002; Davis, 1980). Existen varios procedimientos para determinar la etiología de una enfermedad (Agrios, 2005), y para la detección y la identificación de este tipo de patógeno se han adoptado métodos serológicos como la inmunofluorescencia, ELISA, inmunoensayo de adsorción de gota (Comstock e Irey 1992; Rao y Singh, 2000), o el PCR reacción en cadena de la polimerasa (Gao *et al.*, 2008; Shen *et al.*, 2006) debido a la difícil detección en campo de plantas enfermas y el complicado proceso para el aislamiento de la bacteria en medio de cultivo (Rott y Davis, 2000). Por lo que probar el método serológico de inmunoensayo de adsorción de gota, determinar la presencia de dicha bacteria y conocer su distribución en los principales clones comerciales cultivados en la zona Chontalpa, fueron los principales objetivos del presente trabajo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio, se desarrolló en la zona productora de caña de la Chontalpa, en Tabasco, México (17° 15' y 17° 40' N; 90° 59' y 94° 06' O), con clima es cálido húmedo [Am(i'g)], con promedios anuales de temperatura y precipitación de 26 °C y 2163 mm, respectivamente (Salgado *et al.*, 2009); y una superficie cultivada de 29 263 ha de caña de azúcar (INFO-CAÑA, 2014).

Puntos de muestreo: Para detectar la presencia de la bacteria en las plantaciones se realizó un muestreo de tallos de plantaciones comerciales con los clones: MEX 69-290, MEX 79-431, MEX 68-P-23, CP 72-2086 y RD 75-11 en el ciclo 2013-1014, enfocado a explorar la heterogeneidad ambiental de la zona cañera de la Chontalpa, para lo cual se combinaron los factores clones con mayor superficie cultivada, tipos de suelo dominantes (Cambisol, Vertisol, Gleysol y Fluvisol), y régimen de precipitación de 1793-1936 mm y de 1937-2085 mm (Salgado *et al.*, 2009). El muestreo incluyó 105 sitios (plantaciones), considerando tres muestras dentro cada combinación de factor. La preubicación de los puntos de muestreo se realizó mediante el programa Arc.GIS versión 9.3; mediante la sobreposición de los plano edafoclimático regional y el de distribución de las plantaciones a escala a 1:50,000 del estudio SIRDIF (Salgado *et al.* 2009).

Toma de muestras: La ubicación en campo de las plantaciones correspondiente a los sitios de muestreo predeterminados se realizó con el apoyo de un GPS (Garmin GPSmap 62) y personal técnico de dos ingenieros, quienes confirmaban, el clon cultivado y meses de desarrollo. Así, en cada plantación mayor a siete meses, de forma sistemática se recolectaron tallos de 10 macollas (plantas) diferentes, siguiendo un esquema de muestreo sistemático y sin hacer distinción del tipo de tallo (Ovalle y García, 2010). De cada tallo se tomó la sección basal y una vez etiquetados por parcela, se trasladaron al laboratorio de Fitopatología del CP-Campus Tabasco.

Extracción y deposición de jugo en las membranas:

De un entrenu-

do de cada tallo se extrajo el jugo en condiciones asépticas ejerciendo presión negativa y 2.5 μ l se depositaron inmediatamente sobre una membrana de nitrocelulosa (Millipore 0.45 μ m Cat. No. HAWG047S6) (Figura 1a). Una vez llenadas las celdas de la membrana se completó con 2.5 μ l de dos extractos testigos, uno positivo y otro negativo, tomados como indicadores de la confiabilidad de la prueba de dicha membrana. Las muestras se fijaron a la membrana, mediante calor seco (70 ± 1 °C) por 1 h con la ayuda de un horno (RIOSSA H-33) de acuerdo a lo descrito por (Ovalle y García, 2010).

Inmunoensayo: Todo el procedimiento serológico se realizó en agitación suave (50 xg) y a temperatura ambiente, siguiendo la metodología descrita por Comstock y Irely (1992) modificado por Ovalle y García (2010). Para fijar con proteína de lactosa los espacios libres de jugo de caña de la membrana, ésta se incubó por 1 h en 10 mL de solución búfer TBS (Tris HCL 0.1 M, NaCl 0.15 M, pH 7.5) enriquecida con 2% (P/V) de leche en polvo descremada. Posteriormente, las membranas se enjuagaron durante 1 min en 10 mL de la solución pura del búfer TBS. Para fijar el primer anticuerpo, las membranas se incubaron en 10 mL de solución búfer TBS enriquecido con 1% (P/V) de leche en polvo, a la cual se le adicionó el anticuerpo anti-Lxx IgG Policlonal a una concentración de 1:5000. Una hora después se lavaron tres veces, durante 5 min en 10 mL de búfer TBS puro. Para fijar los anticuerpos de *L. xyly* subsp. *xyli* a las celdas de la membrana, se incubaron durante una hora en la solución búfer TBS con 1% (P/V) de leche y el anticuerpo secundario cabra IgG anti-conejo conjugado con Fosfatasa alcalina (SIGMA Cat.No. A8025) a una concentración de 1:10000. Seguidos de dos lavados, durante 15 min en 10 mL de la solución TBS. El revelado de las membranas se realizó por separado, en recipiente ámbar y en la cámara de extracción de gases a partir de 10 mL de la solución madre (Tris base 0.2 M, pH 9.1, más 0.3 g Naftol-AS-fosfato disuelto en 5 mL de Dimetilformamida), a los que se les adicionó 0.01 g de Fast Blue y 0.05 mL de MgCl₂ 0.1M. y en agitación suave durante 20 min en la oscuridad. Después de enjuagar con agua destilada las membranas, se pasaron a una solución blanqueadora de hipoclorito de sodio a una concentración de 1.31% por 10 min, enjuagadas

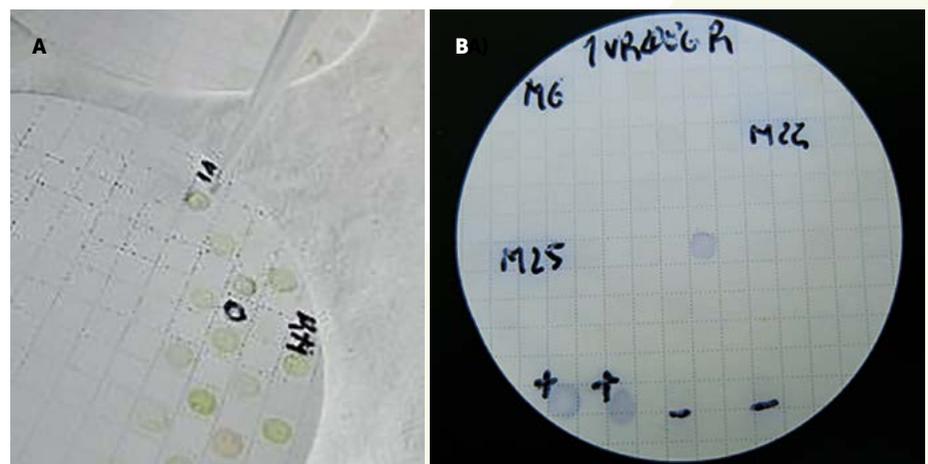


Figura 1. Deposición del jugo en las celdas en Membrana de nitrocelulosa (A). Membrana del inmunoensayo de adsorción de gota revelada mostrando las celdas azules del testigo positivo (+) y la de muestra 25 positiva al centro de la membrana. El resto de celdas son negativas como el testigo - (B).

con agua destilada y secadas entre papel filtro. Las lecturas de las celdas teñidas de azul, como en la celda del testigo positivo, indicarían la presencia de *L. xyly* subsp. *xyly* y se cuantificó como tallo positivo de la muestra, por sitio de muestreo, clon o condición ambiental y se emplearon para el cálculo de la incidencia de tallos infectados por muestra (Figura 1b).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el plano de la Figura 2, se presentan ubicados los 105 sitios de muestreo, diferenciándolos conforme a los resultados positivos del inmunoensayo de adsorción de gota (puntos verdes) y negativos (puntos negros). Así, cinco plantaciones muestreadas resultaron positivas, lo que indicó que la bacteria *L. xyli* subsp. *xyli* está parasitando la caña cultivadas en la zona de estudio. Es relevante señalar que tres de los cinco sitios con resultado positivo se ubican a 3.5 km de distancia una de las otras, por lo que se considera un foco de la enfermedad. Otra plantación positiva se localizó hacia el centro de la parte sur, a 10 km, y la quinta plantación (sitio) positiva se ubicó al sureste a 25 km del foco, por lo que ambas plantaciones se tomaron como sitios de dispersión. Tomando en cuenta el valor de Índice de Morisita calculado ($I_{\delta}=7.5$) es mayor a 1, es decir el valor de $I_{\delta}>1$ y la dispersión es agregada (Badii et al., 2011). Esto puede deberse a la llegada reciente de la bacteria a Tabasco, México y encontrarse en fase de dispersión, o que ya estaba presente y debido a que es parásito obligado y los largos periodos de cultivos de una misma plantación favorece a que la bacteria no se haya diseminada ampliamente, dado que su principal forma de propagación es a través de tallos infectados usados para siembras o a través de herramientas de corte (Ovalle et al., 2012). Estos resultados son sólidos, ya que la bacteria *L. xyli* subsp. *xyli* en Gram positiva y no ha revelado variabilidad genética según reporta Young et al. (2006), en un estudio, utilizando 105 aislamientos de nueve países, es difícil encontrar que este anticuerpo policlonal se

acople con alguna otra bacteria fitopatogénica presente en el jugo de la caña de azúcar, ya que todas las bacterias conocidas en este cultivo son Gram negativas. Además, presentan la ventaja de ser más tolerantes a cambios menores en el antígeno, como polimorfismo, heterogeneidad de glicosilación o ligera desnaturalización (Narayanasamy, 2011).

Análisis por clon

Los resultados mostraron que de 210 muestras por clon (10 tallos/21 sitios) el clon Mex 79-431 fue negativa a la bacteria. Por el contrario los clones Mex 69-290, Mex 68-P-23, CP 72-2086 y RD 75-11 mostraron resultados positivos. Los clones Mex 69-290, Mex 68-P-23, CP 72-2086 resultaron positivas en una muestra de uno de los 21 sitios; en tanto el clon RD 75-11 resultó positivo en cuatro muestras de dos de los 21 sitios muestreados, por lo que se sugiere que solo siete tallos de 1050 muestras analizadas resultaron positivas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Castillo et al. (2009), quienes reportan la presencia de esta bacteria en Veracruz, México en los clones Mex 69-290, Mex

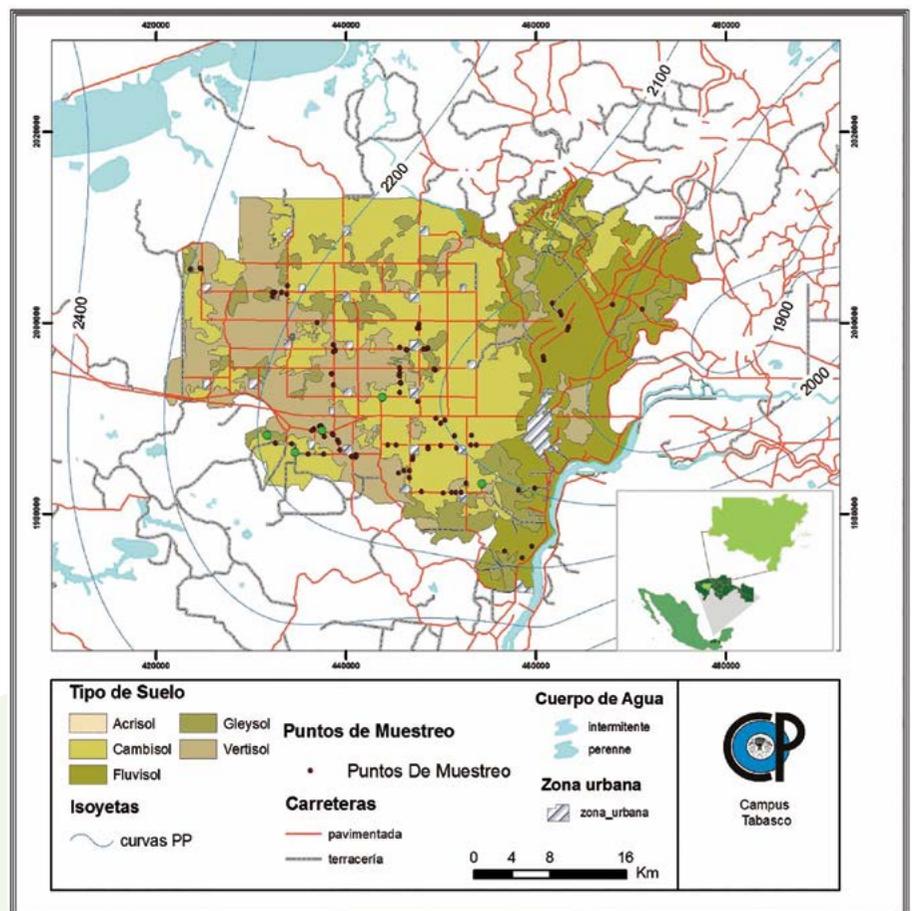


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo de *L. xyli* subsp. *xyli* y tipo de relación en el análisis serológico, puntos de muestreo positivos (verde) y puntos negativos color (café).

68-P-23, Mex 79-431, CP 72-2086 y RD 75-11. Asimismo, Comstock (2008) reportó al clon CP 72-2086 como tolerante, sin inducir pérdidas significativas del contenido de azúcar. Brumbley *et al.* (2006) señalan que *S. spontaneum* es un hospedero natural de *L. xyli* subsp. *xyli* y que desde el inicio del mejoramiento genético de la caña de azúcar, esta especie se hibridó con *S. officinarum*, en la década de 1920, para producir el primer clon híbrido moderno lo que reduce la proporción de clones resistentes a esta bacteria.

Análisis por tipo de suelo y régimen de lluvia

La bacteria *L. xyli* subsp. *xyli* se detectó en plantaciones con suelo Vertisol y Cambisol en dos plantaciones para cada tipo de suelo; en tanto que el suelo Gleysol sólo reveló un sitio positivo, y ninguna muestra positiva en suelo Fluvisol. Respecto a los sitios positivos y régimen pluvial, dos puntos fueron ubicados en precipitación baja (1793-1936 mm) y tres puntos en el régimen alto (1937-2085 mm). Los pocos sitios de muestreos positivos registrados no evidenciaron tendencia respecto la dispersión de la enfermedad y condiciones ambientales estudiadas. Sin embargo esta debe ser mínima dada el carácter de parásito obligado de la bacteria (Comstock, 2002; Davis, 1980); aunque China *et al.* (2000) mencione expresiones severas de la enfermedad en condiciones de estrés hídrico y temperaturas altas.

Porcentaje de Incidencia de *L. xyli* ssp. *xyli* por clon

El Cuadro 1, muestra el porcentaje de la incidencia de *L. xyli* subsp. *xyli* detectada en las plantaciones de los sitios muestreados, por clon, tipo de suelo y régimen de lluvia. Se observó que la incidencia detectada varía en un rango de 10% a 30% tomando en cuenta los cinco sitios muestreados que resultaron positivas. Las plantaciones de los clones CP 72-2086, Mex 69-290 y Mex 68-P-23 mostraron incidencias de 10% en un solo sitio de muestreo respectivamente; en tanto que, las dos plantaciones positivas cultivadas del clon RD 75-11, mostraron incidencia de 10% y 30% en cada punto de muestreo.

Comstock (2002), menciona que las pérdidas en rendimiento debidas al raquitismo de la socas varían, dependiendo del clon, de las condiciones climatológicas y del grado de infección. Estos resultados coinciden parcialmente con Castillo *et al.* (2009) quienes calificaron mediante la técnica de tención de vasos por transpiración a los clones Mex 69-290 y Mex 68-P-23 como susceptibles al raquitismo de las socas. Sin embargo, deja entrever a

los clones Mex 79-431 y CP 72-2086 como tolerante, de igual manera que lo calificó Comstock, (2008). Aunque del clon RD75-11 no se tienen estudio de la respuesta genética al RSD, se consideró que tiene un nivel de susceptibilidad igual o mayor a los clones Mex 69-290 y Mex 68-P-23 dada la detección de dos plantaciones de este clon positivos e incidencia máxima del 30%. Con base a lo anterior se puede señalar que el bajo rendimiento de caña de azúcar la zona cañera estudiada señalada por Salgado *et al.* (2009), podría ser explicado parcialmente por efecto de *L. xyli* subsp. *xyli* patógeno del RSD. Por lo que se debe hacer un estudio global para determinar el impacto del RSD en la región, además de emplear clones resistentes o tolerantes a las condiciones climáticas de la zona estudiada, además de emplear material de siembra sano, tratado con termoterapia (desinfección térmica) por cultivo de tejidos, o provenientes de semilleros sanos certificados conforme a Victoria *et al.* (1997).

CONCLUSIONES

El método serológico de inmunoensayo de adsorción de gota resultó efectivo para detectar la presencia de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, parásito obligado de la caña de azúcar y agente causal del

Cuadro 1. Porcentaje de incidencia de *L. xyli* subsp. *xyli* en tallos de *Saccharum* sp. de cinco clones, cultivados en cuatro tipos de suelo y dos régimen de lluvia en 105 sitios de muestreo en Tabasco, México.

Suelo/Clon	Régimen de humedad (1793-1936 mm)										Régimen de humedad (1937-2085 mm)										
	Cambisol		Gleysol		Vertisol		Fluvisol		N/P		Cambisol		Gleysol		Vertisol		Fluvisol		N/P		
CP 72-2086	0	0	0	0	0	0	0	10	0	N/P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mex 68-P-23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/P	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mex 69-290	0	10	0	0	0	0	0	0	0	N/P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mex 79-431	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RD 75-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/P	0	0	0	0	30	0	0	10	0	0	0

Nota: NP=Suelo no presente en este régimen de humedad.

Raquitismo de las socas. Dicha bacteria de detectó infectando cepas en plantaciones de los clones CP 72-2086, Mex 68-P-23, Mex 69-290 y RD 75-11 con niveles de incidencia entre 0-30%, de la región cañera de la Chontalpa, Tabasco, México, y los sitios positivos representan focos de dispersión.

AGRADECIMIENTO

A los apoyos recibidos de las gerencias de los ingenios Presidente Benito Juárez y Santa Rosalía por los apoyos logísticos aportados. Así como al Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS del Colegio de Postgraduados por el financiamiento económico parcial.

LITERATURA CITADA

- Agrios G.N. 2005. Plant pathology. 5th ed. Nueva York: Elsevier Academic Press. 903 p.
- Badii M.H., Guillen A., Cerna E., Landeros J. 2011. Dispersión Espacial: El Prerrequisito Esencial para el Muestreo. International Journal of Good Conscience. 6(1):40-71.
- Brumbley S.M., Petrasovits L.A., Hermann S.R., Young A.J., Croft B.J. 2006. Recent advances in the molecular biology of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*: causal organism of ratoon stunting disease. Australasian Plant Pathology 35(6): 681-689.
- Castillo M.A., Rodríguez D.A.L., Herrera A.S., Enríquez V.R., Mayo R.L. 2009. Diagnóstico del raquitismo de los retoños de la caña de azúcar en los ingenios el Potrero y La Margarita. Avances en la investigación agrícola, pecuaria, forestal y acuícola en el trópico mexicano. Universidad Veracruzana. pp 167-172.
- China A., Nass H., Daboin C., Díez M.D. 2000. Enfermedades y daños de la caña de azúcar en Latinoamérica. FonalAP, INICA, FUNDAZUCAR, Universidad de los Andes. Barquisimeto, Venezuela. 108 p.
- Comstock J.C. 2008. Sugarcane yield loss due to ratoon stunt. Journal Association Sugar Cane Technologists: 28: 22-31.
- Comstock J.C. 2002. Ratoon stunting disease. Sugar Technology. 4(2): 1-6.
- Comstock J.C., Irely M.S. 1992. Detection of the leaf scald pathogen (*Xanthomonas albilineans*) using tissue blot immunoassay, ELISA, and isolation techniques. Plant Disease 76: 103-105.
- Davis M.J. 1980. Ratoon stunting disease of sugarcane: Isolation of the causal bacterium. Science 210: 1365-1367.
- Davis M.J., Bailey R.A. 2000. Ratoon stunting. In: A guide to sugarcane diseases. P. Rott, R. A., Bailey, J. C. Comstock, B. J., Croft, A.S. Saumtally. (eds). Charter: Diseases caused by bacteria. pp: 49-54.
- Davis M.J., Gillaspie A.G.Jr., Vidaver A.K., Harris R.W. 1984. *Clavibacter*: a new genus containing some phytopathogenic coryneform bacteria, including *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* and *Clavibacter xyli* subsp. *cynodontis*, pathogens that cause ratoon stunting disease of sugarcane and Bermuda grass stunting disease. Int. Journal Systematic Bacteriology 34: 107-117.
- Evtushenko L.I., Dorofeeva L.V., Subbotin S.A., Cole J.R., Tiedje J.M. 2000. *Leifsonia poae* gen. nov., sp. nov., isolated from nematode galls on *Poa annua*, and reclassification of '*Corynebacterium aquaticum*' Leifson 1962 as *Leifsonia aquatica* (ex Leifson 1962) gen. nov., nom. rev., comb. nov. and *Clavibacter xyli* Davis et al. 1984 with two subspecies as *Leifsonia xyli* (Davis et al. 1984) gen. nov., comb. Nov. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 50: 371-380.
- Flores C.S. 1997. Las Enfermedades de la Caña de Azúcar en México. Núñez (Ed). Córdoba, Veracruz, México. 285 p.
- Gao S.J., Pan Y.B., Chen R.K., Chen P.H., Zhang H., Xu L.P. 2008 Quick detection of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* by PCR and nucleotide sequence analysis of PCR amplicons from Chinese *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* isolates. Sugar Tech 10: 334-340.
- Gillaspie A.G., Teakle D.S. 1989. Ratoon stunting disease. In: Diseases of Sugarcane; Major Diseases. C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie, Jr., and C. G. Hughes. (eds). Elsevier Science Publishing, Inc., New York. pp: 59-80.
- Grisham M.P., Pan Y.B., Richard Jr. E.P. 2007. Early Detection of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* in Sugarcane Leaves by Real Time Polymerase Chain Reaction. Plant Disease 91: 430-434.
- Harrison N.A., Davis M.J. 1988. Colonization of vascular tissues by *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* in stalks of sugarcane cultivars differing in susceptibility to ratoon stunting disease. Journal of Phytopathology. 78 722-727.
- Hoy J.W., Flynn J.L. 2001. Control of ratoon stunting disease of sugarcane in Louisiana with seedcane produced through micropropagation and resistant cultivars. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 24: 417-421.
- Hoy J.W., Grisham M.P., Damann K.E. 1999. Spread and increase of ratoon stunting disease of sugarcane and comparison of disease detection methods. Plant Disease. 83: 1170-1175.
- INFOCAÑA. 2014. Lista de boletines. Disponible en línea en: http://www.infocana.gob.mx/lista_boletines.php?t=1
- Locci R. 1994. Actinomycetes as plant pathogens. European Journal of Plant Pathology, Kluwer academic publisher. Netherlands. 100: 179-200.
- Moore P.H., Paterson A.H., Tew T. 2014. Sugarcane: The Crop, the Plant, and domestication. In: Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology. P. H. Moore, C. B. Frederyk (eds). Word and agriculture series pp: 1-17.
- Narayanasamy P. 2011. Detection of Bacterial and Phytoplasmal Pathogens. In: Microbial Plant Pathogens-Detection and Disease Diagnosis. Bacterial and Phytoplasmal Pathogens, Volume 2. Department of Plant Pathology Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, India. 256 p.
- Ovalle W. 2012. Enfermedades de la caña de azúcar. En: El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala. M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, R. Espinosa. (eds). Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Guatemala. pp 233-258.
- Ovalle W., García S. 2008. Efecto de la enfermedad del Raquitismo de las socas (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) en el rendimiento de caña de nueve variedades en cinco cortes. 2004-2008. En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2007-2008. CENGICAÑA, Guatemala. pp 89-93.
- Ovalle W., García S. 2010. Incidencia de patógenos en semilleros de caña de azúcar en la zafra 2009-2010: In: Memoria de presentación de resultados de investigación. CENGICAÑA, Guatemala. Pp 127-132.
- Rao I., Singh G. 2000. Serological Diagnosis of Ratoon Stunting Disease of Sugarcane in India. Sugar tech. 2(4): 35-36.
- Salgado S., Palma D., Zavala J., Lagunes L., Castelán M., Ortiz C., Juárez J., Armida L., Rincon J. 2009. Sistema integrado para

- recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 81 p.
- Shen W.K., Zhou G.H., Deng H.H., Zhou L.Y. 2006. Detection of sugarcane ratoon stunting disease pathogen with polymerase chain reaction (PCR) and nucleotide sequence analysis. Chinese Agricultural Science Bulletin. 22(1): 413-416.
- Silva R.H.V. 2013. Enfermedades Bacterianas Asociadas a Caña de Azúcar. Revista Mexicana de Fitopatología. 31: 63-64.
- Victoria J.I., Viveros C., Cassalet C., Calderón H. 1997. Establecimiento de semilleros limpios, serie técnica No. 22. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Cali, Colombia. 19 p.
- Young A.J., Petrasovits L.A., Croft B. J., Gillings M., Brumbley S.M. 2006. Genetic uniformity of international isolates of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, causal agent of ratoon stunting disease of sugarcane (*Saccharum* interspecific hybrids). Australasian Plant Pathology. 35: 503-511.



FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Aeneolamia contigua* (WALKER) EN EL CULTIVO DE CAÑA DE (*Saccharum* spp.) EN TABASCO, MÉXICO

POPULATION FLUCTUATION OF *Aeneolamia contigua* (WALKER) IN THE CULTIVATION OF SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) IN TABASCO, MÉXICO

Olán-Hernández, J.F.¹; Sánchez-Soto, S.^{1*}; Bautista-Martínez, N.²; Zaldivar-Cruz, J.M.¹; Cortez-Madriral, H.³

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n, H. Cárdenas, Tabasco, México. ² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km 36.5 carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ³ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán, Instituto Politécnico Nacional. Justo Sierra 28, Jiquilpan, 59510, Michoacán, México.

*Autor responsable: sssoto@colpos.mx



RESUMEN

Entre los problemas fitosanitarios que limitan la producción del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) destaca la especie *Aeneolamia contigua* (Walker) que ocasiona reducciones de rendimientos de hasta 60%, y con base en ello se identificó la fluctuación poblacional de ninfas y adultos de *A. contigua* durante un año en la zona de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez, en Tabasco, México. Se realizaron muestreos semanales de noviembre de 2007 a octubre de 2008 en una plantación de caña de una hectárea con la variedad CP722086. El muestreo de adultos se realizó utilizando cinco trampas adhesivas de color amarillo. El muestreo de ninfas se realizó contando los insectos presentes en 10 cepas de caña elegidas al azar entre las cepas próximas a las trampas. La población de adultos presentó tres escaladas durante el período de estudio, en febrero, agosto y octubre, los cuales fueron precedidos respectivamente por un pico poblacional de ninfas en enero, julio y septiembre. El análisis de correlación entre datos poblacionales de la plaga, temperatura y precipitación durante el período de estudio, indicó que ésta última influye significativamente en su desarrollo poblacional.

Palabras clave: Caña de azúcar, mosca pinta, fluctuación poblacional, Tabasco.

ABSTRACT

Among the phytosanitary problems that limit the production of the sugar cane (*Saccharum* spp.) crop, the species *Aeneolamia contigua* (Walker) stands out, which causes yield reductions of up to 60 %; based on this, the population fluctuation of *A. contigua* nymphs and adults was identified for one year in the supply zone of the Presidente Benito Juárez Sugar Plant, in Tabasco, México. Weekly samples were taken from November 2007 to October 2008, in a one-hectare sugar plantation with the variety CP722086. Sampling of adults was carried out by using five yellow adhesive traps. The nymph sampling was carried out by counting the insects present in 10 sugar cane strains chosen randomly between the strains near the traps. The adult population presented three rises during the study period, in February, August and October, which were preceded respectively by a nymph population peak in January, July and September. The correlation analysis between population data of the plague, temperature and precipitation during the study period indicated that the latter influences population development significantly.

Keywords: Sugar cane, spittlebug, population fluctuation, Tabasco.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 10-14.

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



INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) representa actualmente una actividad de mayor importancia económica en México, donde se siembran alrededor de 845,000 ha con una producción aproximada de 61 millones de toneladas anuales (SIAP, 2015a). En el estado de Tabasco, México, se cultivan 34,344 ha, de las cuales 30,691 (89.3%) se localizan en la subregión La Chontalpa (SIAP, 2015b), y uno de los factores que limita seriamente su producción es el daño ocasionado por la mosca pinta (*Aeneolamia contigua* Walker), distribuida en las regiones cañeras de México. Los adultos se alimentan succionando la savia del follaje de modo que durante este proceso inyectan una toxina que provoca el secamiento de las hojas y consecuentemente pérdidas que varían de 3 a 6 t ha⁻¹ de caña (Flores, 1994). En el estado de Tabasco no se han realizado estudios de población de la especie *A. contigua* en caña de azúcar, por ello, fue importante generar información regional que permitiera tomar decisiones oportunas para la aplicación de medidas de control de la plaga, razón por la que se identificó la fluctuación poblacional de adultos y ninfas de esta especie durante un año en La Chontalpa, Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en una plantación de caña de azúcar de una hectárea de la variedad CP-72-2086 del ciclo de resoca 2007-2008, localizada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco (17° 59' 08" N, 93° 35' 22" O) a 16 m de altitud, con clima cálido húmedo, presencia de una época seca de mar-

zo a mayo, época de lluvias de junio a noviembre, y de nortes en diciembre-febrero con precipitación total anual superior a 2000 mm. El promedio de temperatura máxima y mínima de 30 °C y 18 °C respectivamente. Suelos profundos, arcillosos, pH ligeramente ácido a neutro, buena disponibilidad de nutrientes y poca pendiente superficial. En la plantación en estudio el suelo es de tipo Vertisol gleyi-estagnico (Palma *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2008). Los muestreos para determinar la fluctuación poblacional de adultos y ninfas de *A. contigua* se realizaron semanalmente del noviembre-2007 a octubre-2008. Los adultos se capturaron mediante trampas adhesivas de plástico color amarillo de 50×50 cm impregnado en ambas caras de adhesivo para insectos compuesto de resina fenol-butilénica aplicado con brocha y en su instalación en campo,

se hizo sujetándola en sus cuatro esquinas mediante hilos a un par de estacas de madera. Se utilizaron cinco trampas dispuestas en un diseño rectangular con una al centro (cinco de oro), de la plantación y cuatro en las esquinas a de 25 m distancia de los bordes (Figura 1).

Las trampas se colocaron inicialmente a un metro de altura sobre el nivel de suelo y posteriormente a 1.5 m conforme al desarrollo del cultivo. En cada muestreo los adultos capturados se retiraron de las trampas mediante un pincel impregnado de gasolina blanca, y fueron identificados directamente en campo comparándolos con especímenes determinados previamente. El adherente se renovó cada quince días limpiando las trampas previamente con gasolina blanca, y cuando éstas se saturaron de insectos fueron sustituidas por trampas nuevas. El muestreo de ninfas se realizó contando los insectos presentes en 10 cepas de caña elegidas al azar entre las cepas próximas a las trampas, en un radio máximo de 8 m, considerando dos cepas cercanas a cada una de las trampas. Las ninfas se encontraban localizadas en las raíces superficiales de las plantas dentro de su masa espumosa, la cual fue removida parcialmente con un pincel fino para cuantificar el número de individuos presentes. Con la finalidad de determinar una posible relación entre temperatura, precipitación y la fluctuación de la plaga, se obtuvieron los datos de ambos factores climáticos de la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, localizada aproximadamente a 20 m de la plantación. Para el análisis de las poblaciones del salivazo se utilizaron estadísticas descriptivas y análisis de correlación simple para conocer la

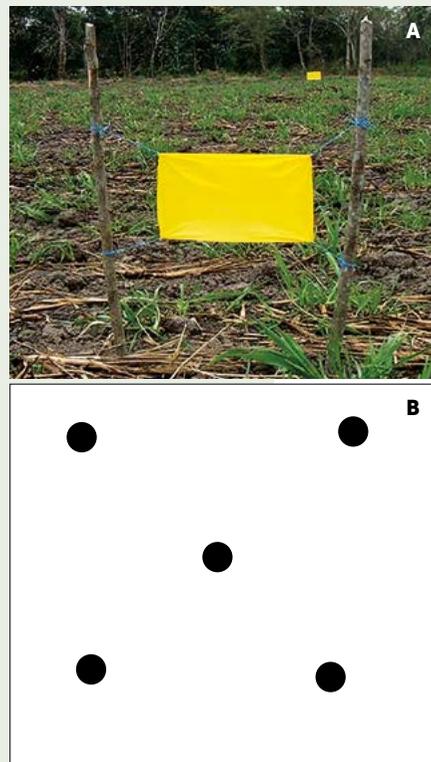


Figura 1. A: Trampa utilizada para la captura de adultos de *Aeneolamia contigua*. B: Distribución de las trampas.

relación de las poblaciones de la plaga con los factores climáticos. Se utilizó el programa SAS 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período de estudio se realizaron 52 muestreos semanales en los que se capturaron 3063 especímenes adultos y contabilizaron 2465 ninfas de *A. contigua*. Al inicio del experimento, en noviembre y diciembre-2007, el promedio mensual de adultos capturados fue similar en ambos meses; posteriormente la población aumentó hasta alcanzar un máximo en el mes de febrero y decreció constantemente hasta el mes de mayo, en el cual se registró el menor número de individuos capturados; a partir de junio la población aumentó notablemente hasta alcanzar un máximo en el mes de agosto, mayor al de febrero; y en septiembre la población disminuyó ligeramente para aumentar en octubre alcanzando su máximo poblacional (Figura 2).

En el caso de ninfas, durante los primeros meses de muestreo la población presentó un aumento hasta alcanzar el máximo valor en enero-2008; al siguiente mes la población disminuyó presentando un valor similar al del mes de noviembre de 2007; en el mes de marzo la población de ninfas se incrementó ligeramente, y luego decayó abruptamente en los siguientes dos meses, de modo que en mayo la presencia de ninfas fue casi nula. A partir de junio la población aumentó gradualmente, y en julio incrementó rápidamente alcanzando un máximo poblacional ligeramente menor al del mes de marzo; en agosto la población disminuyó levemente, para verse aumentada considerablemente en septiembre, de tal forma que en este mes se presentó un máximo poblacional ligeramente menor al registrado en enero para disminuir en octubre de forma semejante a lo registrado en noviembre del año anterior (Figura 2).

En general, la fluctuación poblacional de adultos y ninfas de *A. contigua* presentaron un patrón similar, con la diferencia de que los adultos registraron tres picos (máximos) poblacionales y las ninfas cuatro de ellos. Los tres picos poblacionales de los adultos registrados en los meses de febrero, agosto y octubre fueron antecedidos, respectivamente por un pico poblacional de ninfas en los meses de enero, julio y septiembre (Figura 2). Este resultado es similar al registrado para la especie *Zulia carbonaria* (Lallemand) en el cultivo de pastos en el Valle Geográfico del Río Cauca, Colombia, ya que los picos poblacionales de ninfas de esta especie originaron un máximo posterior de adultos (Castro *et al.*, 2005). El análisis de correla-

ción entre la población de adultos y ninfas de *A. contigua* durante el período de estudio fue significativa ($r=0.520$, $p<0.05$), lo que indicó que el aumento o disminución de la población de adultos estuvo determinada por el aumento o disminución de la población de ninfas. El máximo poblacional de ninfas registrado en enero no fue consecuente con el máximo poblacional de adultos registrado un mes después, ya que la mayor población de adultos se mostró en octubre. En

cambio, la mayor población de adultos registrados en agosto y octubre respectivamente, fueron precedidos por picos poblacionales de ninfas menores al que se presentó en enero (Figura 2). Este hecho pudo estar relacionado con condiciones de precipitación en la zona de estudio, ya que se le ha reportado

como un factor fundamental para el incremento poblacional de *A. contigua* (Flores, 1994; García *et al.*, 2006). Según Fewkes (1969) y King (1975) la precipitación es importante debido a que su cantidad y frecuencia repercuten directamente sobre el grado de humedad del suelo y del ambiente. La humedad del suelo favorece la hidratación de los huevecillos, lo que permite que inicien su periodo de incubación.

En este trabajo, se observó que los tres picos de máxima precipitación registrados en enero, julio y septiembre (Figura 3), coincidieron con los tres máximos poblacionales de ninfas que originaron los tres

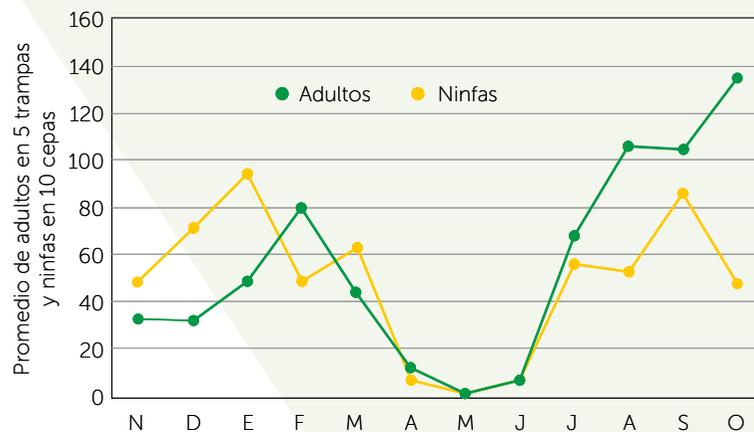


Figura 2. Fluctuación poblacional de adultos y ninfas de *Aeneolamia contigua* en caña de azúcar del noviembre-2007 a octubre-2008 en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco..

máximos poblacionales de adultos (Figura 2), sin embargo, la precipitación del mes de enero fue menor a la de julio y septiembre, de modo que la mayor cantidad de ninfas registrada en enero posiblemente no estuvo muy relacionada con las precipitaciones de ese mes y de los dos meses anteriores (noviembre-diciembre-2007) en los cuales las precipitaciones fueron bajas, sino que probablemente el incremento poblacional de ninfas estuvo relacionada, con la condición hídrica del suelo resultante de las altas precipitaciones registradas durante septiembre-octubre, 2007, favoreciendo el desarrollo y eclosión de huevecillos presentes en el mismo. Al respecto, se sabe que los huevecillos diapáusicos de *A. contigua* son los depositados por las hembras de la última generación antes de la época seca del año (Flores, 1994), que en el caso del sitio de estudio, correspondió a los meses de marzo a mayo (Figura 3), en los cuales se registraron las poblaciones más bajas de ninfas y adultos de *A. contigua* (Figura 2). Por lo anterior, es probable, que debido al inicio del período de sequía el pico poblacional de adultos ya no progresó y no fue tan alto como el registrado en agosto y octubre correspondientes al período con mayores precipitaciones (Figura 3). Por la misma razón, la población de ninfas decayó después de enero hasta mayo, a pesar de que en marzo la población fue mayor que en el mes de febrero (Figura 2).

El análisis de correlación entre la fluctuación poblacional de la plaga y factores climáticos indicó que

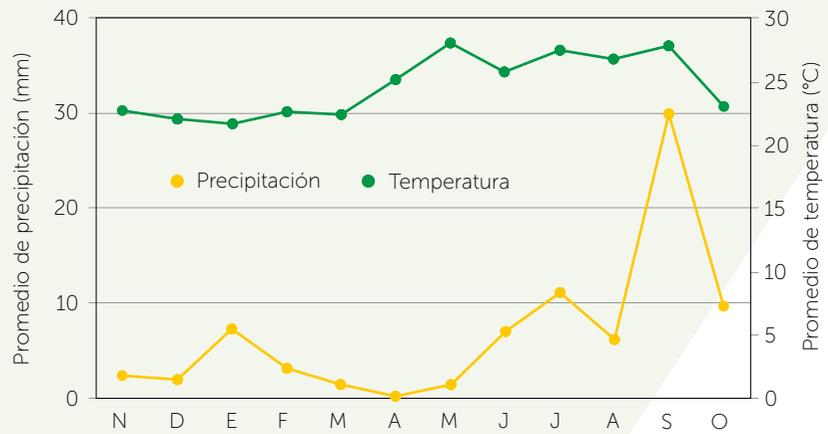


Figura 3 Fluctuación de la temperatura y precipitación durante el período de noviembre, 2007 a octubre, 2008, en campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

hubo correlación significativa entre la fluctuación de adultos y precipitación (Cuadro 1). Lo anterior confirma que la precipitación es esencial para el desarrollo poblacional de la especie, a pesar de que el análisis realizado entre la población de ninfas y este factor climático no fue significativo (Cuadro 1), atribuido al posible efecto discutido anteriormente sobre las condiciones hídricas del suelo que prevaleció después de las precipitaciones intensas que se presentaron en los meses de septiembre y octubre de 2007, las cuales no fueron incluidas en el análisis de correlación por quedar fuera del período de estudio, y que probablemente propiciaron alta población de ninfas durante noviembre de 2007 a marzo de 2008, similar a la registrada en la época lluviosa de julio a octubre del 2008 (Figura 2), a pesar de que en el primer período las precipitaciones fueron menores comparadas con este último (Figura 4). En realidad, al igual que en el caso de huevecillos y

adultos, la precipitación es determinante para el desarrollo de ninfas de *A. contigua* (Flores, 1994; De la Cruz *et al.*, 2005; García *et al.*, 2006) así como, para otras especies plaga de mosca pinta en el neotrópico (Barrientos, 1986; Castro *et al.*, 2005).

Con relación a la temperatura, la falta de correlación significativa entre ésta y la fluctuación de adultos y ninfas (Cuadro 1) indicó que las condiciones de temperatura en la zona no estuvieron relacionadas directamente con las fluctuaciones poblacionales de estos dos estados biológicos del insecto plaga. No obstante, se sabe que la temperatura es un factor importante debido a su relación directa con el desarrollo de huevos, ninfas y adultos de *A. contigua* (García *et al.*, 2006). De acuerdo con Silveira *et al.* (1976) el rango óptimo de temperatura que permite el desarrollo y la actividad de los insectos oscilan entre 15 °C y 38 °C, con óptima de 25 °C. Con respecto a la especie *A. contigua* se ha registrado que la duración del desarrollo ninfal varía conforme cambia la temperatura, demorando 54 días a 22 °C y 23 días

Cuadro 1. Valores del coeficiente de correlación (r) entre la fluctuación de *Aeneolamia contigua* y la precipitación y temperatura.

<i>A. contigua</i>	Coeficiente de correlación ($p \leq 0.05$)	
	Precipitación	Temperatura
Ninfas	0.464 (0.05)	- 0.381 (0.05)
Adultos	0.556 (0.05)	0.019 (0.05)



Figura 4. A: Mosca pinta (*Aeneolamia contigua* Walker) sobre follaje de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). B: salivazo en la base de los tallos. C: daño al follaje por mosca pinta.

a 27 °C (De la Cruz *et al.*, 2005). Con base en lo anterior, y considerando que las fluctuaciones de la temperatura registradas en el presente estudio variaron de 21.7 °C a 28 °C (Figura 3), se puede deducir que las condiciones de temperatura en la zona de estudio permiten el desarrollo de *A. contigua* en cualquier época del año, independientemente de que el desarrollo sea más lento durante el período con temperaturas más bajas, registrado (noviembre a marzo) (Figura 3). Por consiguiente, el factor que determina el desarrollo poblacional de la especie en la localidad de estudio es la humedad en el suelo debido a precipitaciones (Figura 4).

CONCLUSIONES

La fluctuación poblacional de ninfas y adultos de *A. contigua* registró un patrón similar durante el período de estudio. Después de la época seca, con las precipitaciones de mayo y junio la plaga inició el incremento de su población alcanzando la máxima densidad de adultos en octubre, por lo cual se sugiere vigilar el desarrollo de su población especialmente a partir del inicio del período de lluvias, para implementar medidas de control que eviten el aumento poblacional y consecuentemente daños y pérdidas económicas.

LITERATURA CITADA

- Barrientos A. 1986. Fluctuación de *Aeneolamia* varia en pastura de *Brachiaria decumbens*. *Pastura Tropical* 8: 10-13.
- Castro U., Morales A., Peck D.C. 2005. Dinámica poblacional y fenología del salivazo de los pastos *Zulia carbonaria* (Lallemand) (Homoptera: Cercopidae) en el Valle Geográfico del Río Cauca, Colombia. *Neotropical Entomology* 34: 459-470.
- De la Cruz J.J., Vera J., López J., Pinto V.M., García R. 2005. Una técnica simple para el desarrollo de ninfas de *Aeneolamia postica* (Homoptera: Cercopidae). *Folia Entomológica Mexicana* 44: 91-93.
- Fewkes D.W. 1969. The biology of sugar cane froghoppers. Pp. 283-307. *In: Pests of sugar cane* (Williams J.R., Metcalfe J.R., Mungomery R.W., Mathes R. eds.) Elsevier. Amsterdam. 568 p.
- Flores C. 1994. Las plagas de la caña de azúcar en México. S/Ed. México D.F. 350 p.
- García C., Collado J.L., Nava M.E., Villanueva J.A., Vera J. 2006. Modelo de predicción de riesgo de daño de la mosca pinta *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (Hemiptera: Cercopidae). *Neotropical Entomology* 35: 677-688.
- King A. 1975. Factors affecting the phenology of first brood of the sugar-cane froghopper *Aeneolamia varia saccharina* (Dist.) (Homoptera: Cercopidae) in Trinidad. *Bulletin of Entomological Research* 65: 359-372.
- Palma D., Cisneros J., Moreno E., Rincón J. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados, Tabasco, México. 280 p.
- Salgado S., Palma D., Zavala J., Lagunes L.C., Castelán M., Ortiz C.F., Juárez J.F., Ruíz O., Armida L., Rincón J. 2008. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, *Campus Tabasco*. H. Cárdenas, Tabasco, México. 81 p.
- SIAP. 2015a. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consultado el 8 de abril de 2015).
- SIAP. 2015b. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> (consultado el 8 de abril de 2015).
- Silveira S., Nakano O., Barbin D., Villa N. 1976. Manual de ecología dos insetos. Agonomica Ceres Ltda. Piracicaba, São Paulo, Brasil. 419 p.

RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) BAJO SUSPENSIÓN DE RIEGO PREVIO A LA COSECHA

RELATIONSHIP BETWEEN PHYSIOLOGICAL PARAMETERS IN SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) UNDER IRRIGATION SUSPENSION PRIOR TO THE HARVEST

Méndez-Adorno, J.M.¹; Salgado-García, S.²; Lagunes-Espinoza, L.C.^{2*}; Mendoza-Hernández, J.R.H.²; Castelán-Estrada, M.²; Córdova-Sánchez, S.³; Hidalgo-Moreno, C.I.⁴

¹ Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco. ² Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco Grupo MASCAÑA-LPI-2: AEES. Periférico Carlos A. Molinas s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México. ³ Agronomía, Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco. ⁴ Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Carr. México-Texcoco Km. 36.5, Texcoco, Estado de México.

*Autor responsable: lagunes@colpos.mx

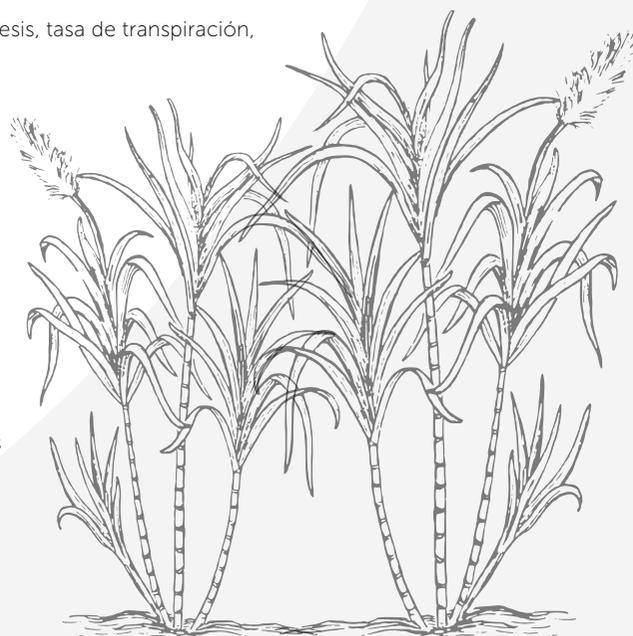
RESUMEN

En caña de azúcar (*Saccharum* spp.), durante la maduración del cultivo es necesario un déficit hídrico para restringir crecimiento vegetativo y promover acumulación de sacarosa en tallos, afectando procesos fisiológicos y respuesta compensatoria ante el estrés. Se evaluó la respuesta de la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) en las variedades Mex69-290 y CP72-2086 sometidas a suspensión de riego 15, 30, 45, 60 y 75 días previos a la cosecha. Los tratamientos de suspensión afectaron significativamente los parámetros fisiológicos evaluados. La tasa de fotosíntesis y conductancia estomática disminuyeron con la duración del tratamiento. El efecto de la variedad solo fue observado para tasa de fotosíntesis y tasa de transpiración. El análisis de varianza mostró interacción significativa entre tratamientos y variedades, indicando que la respuesta de la variedad en relación con las variables evaluadas depende de la disponibilidad de agua en el suelo. Alta correlación se observó entre E y g_s en ambas variedades. Bajo las mismas condiciones de estrés hídrico, la variedad Mex 69-290 registró mayor E ($4.69 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) que CP72-2086 ($2.92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Palabras claves: *Saccharum officinarum*, déficit hídrico, tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración, conductancia estomática

ABSTRACT

In sugar cane (*Saccharum* spp.), water deficit is necessary during crop maturation to restrict vegetative growth and promote the accumulation of saccharose in the stems, affecting physiological processes and the compensatory response when exposed to stress. The response in photosynthesis rate (A), transpiration rate (E) and stomata conductance (g_s) in cultivars Mex69-290 and CP72-2086 subjected to irrigation suspension for 15, 30, 45, 60 and 75 days prior to the harvest was evaluated. The suspension treatments affected the physiological parameters



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 15-20.

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

evaluated significantly. The photosynthesis rate and stomata conductance decreased with the duration of the treatment. The effect of the cultivar was only observed for the photosynthesis rate and transpiration rate. The variance analysis showed a significant interaction between treatments and cultivars, indicating that the response of the cultivar in relation to the cultivars evaluated depends on the water availability in the soil. A high correlation was observed between E and g_s in both cultivars. Under the same conditions of water stress, the Mex 69-290 cultivar showed a higher E ($4.69 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) than CP72-2086 ($2.92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Keywords: *Saccharum officinarum*, water deficit, photosynthesis rate, transpiration rate, stomata conductance.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales para producción de azúcar y recientemente para biocombustible (Wang *et al.*, 2013). Durante su maduración, los tallos acumulan sacarosa en células del parénquima, y las hojas disminuyen su actividad fotosintética significativamente ya que esta actividad es determinada por la demanda de carbono (C) en los tejidos de demanda en los tallos (McCormick *et al.*, 2009), aunque la deficiencia de nitrógeno en hojas maduras de caña de azúcar también causa algunas veces depresión de la fotosíntesis (Wang *et al.*, 2013). Varios procesos fisiológicos pueden limitar el grado de acumulación de sacarosa en tallos de *Saccharum spp.*, entre ellos la tasa fotosintética y repartición de C en los tallos, la sensibilidad de la fuente fotosintética a la demanda, así como, la duración y tiempo de maduración (McCormick *et al.*, 2008). Estos procesos son afectados por eventos bióticos o abióticos lo que incide en el rendimiento de biomasa y sacarosa (Inman-Bamber y Smith, 2005). Particularmente el contenido de sacarosa en los tallos varía con la variedad, edad del cultivo, tiempo de cosecha y estrés hídrico (Singels *et al.*, 2005). El estrés hídrico es uno de los factores más limitantes de la productividad de cultivos a nivel mundial (Inman-Bamber *et al.*, 2012). En caña de azúcar el déficit afecta la planta entera, entre y dentro de variedades, a través de la disminución en la conductancia estomática y tasa de fotosíntesis (Perez

da Graça *et al.*, 2010). En la etapa de maduración del cultivo se requiere de periodos limitantes en agua para restringir crecimiento vegetativo y promover acumulación de sacarosa en tallos. Durante esta etapa los procesos fisiológicos cambian debido a mayor longevidad de las hojas y menor respuesta compensatoria ante algún estrés abiótico (Smit y Singels, 2006). En Sudáfrica se ha observado que varios tratamientos de suspensión del riego antes del periodo de cosecha incrementan el contenido de sacarosa en 18% y reducen el rendimiento en biomasa, debido a la relativa insensibilidad de los estomas al estrés lo que puede afectar menos la tasa de fotosíntesis y acumulación de sacarosa (Inman-Bamber y Smith, 2005).

La caña de azúcar requiere aproximadamente 1500 mm de agua para su normal desarrollo (Irvine, 1983). En el área del Ingenio Pujiltic, Chiapas, México, se registra una precipitación de 950 a 1250 mm (Salgado *et al.*, 2008), por lo que se aplican riegos de auxilio incluso durante la etapa de maduración del cultivo para mantener la humedad del suelo. La aplicación del riego durante ésta etapa puede favorecer el crecimiento del cultivo y reducir la acumulación de sacarosa (Inman-Bamber y Smith, 2005). El efecto de la suspensión de riegos de auxilio durante éste periodo ha sido ampliamente estudiado, pero su efecto sobre la actividad fotosintética y parámetros relacionados ha sido menos documentado, y es importante para conocer las relaciones existentes entre variedades que permitan predecir su comportamiento. Por ello se evaluó la respuesta fisiológica de la caña de azúcar sometida a suspensión de riego a 75, 60, 45, 30 y 15 días antes de la cosecha bajo condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en dos parcelas de productores del área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas, México ($16^{\circ} 17' 32'' \text{ N}$ y $92^{\circ} 25' 17'' \text{ W}$), cultivadas con las variedades MEX69-290 y CP72-2086 establecidas el 17 de diciembre de 2010 y cosechadas el 24 de marzo de 2012, a una altitud media de 625 m con clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura promedio anual de 25° C y precipitación anual de 1006 mm (Conagua, 2010). Cada parcela se dividió en cinco secciones de forma tal que una sección correspondiera a un tratamiento de suspensión de riego. Estos tratamientos se ubicaron en función de la "regadera" (llegada del agua) en la parcela (Figura 1). El manejo agronómico estuvo a cargo de cada productor cooperante



Figura 1. Regadera en parcela de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) del área de abastecimiento del Ingenio Pujiltilic, Chiapas, México.

y consistió en resiembra, cultivo con ganchos, control de malezas y fertilización aplicada a 2.5 meses de edad usando las fuentes 17N-17P-17K y urea (46N-00-00) (Salgado *et al.*, 2008), para mantener el cultivo sin estrés nutrimental. Se utilizó un diseño factorial 2×5 con dos cultivares de caña (variedad de maduración temprana CP72-2086 establecida en suelo Vertisol éutrico y variedad de maduración media Mex69-290 en un suelo Gleysol mólico (Salgado *et al.*, 2008) y cinco niveles de suspensión del riego a 15, 30, 45, 60 y 75 días antes de la cosecha con cinco repeticiones.

tesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s). En cada hoja se tomaron lecturas en el tercio medio, con un equipo portátil para medir fotosíntesis marca ADC modelo LCi, BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK, con un total de 92 mediciones por tratamiento. Las mediciones fueron hechas entre las 10:00 am y 14:00 pm, con una radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) de 800 a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los datos obtenidos para cada variable fueron sometidos a análisis de varianza bajo un diseño factorial y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con el programa SAS 9.3., así como, regresiones con el programa Excel®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos de suspensión de riego afectaron significativamente a los parámetros fisiológicos evaluados (Cuadro 1). La tasa de fotosíntesis y conductancia estomática disminuyeron con la duración del tratamiento (Cuadro 2). El efecto de la variedad solo fue observado para tasa de fotosíntesis y tasa de transpiración. El análisis de varianza también mostró interacción significativa entre tratamientos y variedades, indicando que la respuesta de la variedad en relación con las variables evaluadas dependió de la disponibilidad de agua en el suelo. Resultados similares del efecto del estrés hídrico sobre parámetros fisiológicos en caña de azúcar han sido observados por Perez da Graça *et al.* (2010) y Da Silva *et al.* (2012) mencionando que las variedades de caña de azúcar difieren en el tiempo de maduración. Cardozo *et al.* (2013) reportan que los cultivares de maduración temprana tienden a ser más sensibles a las condiciones climáticas, especialmente al déficit

Al finalizar cada tratamiento, a los 14 y 15 meses de edad de la caña, en la cuarta hoja (contada en sentido apical hacia basal) de dos tallos tomados al azar en cuatro cepas de caña (ocho tallos) se midió la tasa de fotosíntesis

Cuadro 1. Análisis de varianza para la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) de dos variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) bajo suspensión de riego previo a cosecha en Ingenio Pujiltilic, Chiapas, México.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio		
		A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	E $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$g_s \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Suspensión riego (SR)	4	415.7***	7.29**	0.02***
Variedad (V)	1	128.1*	462.8***	0.0036NS
SR*V	4	130.7**	39.8***	0.0041NS
Error		26.3	1.51	0.0011

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, NS: No significativo.

Cuadro 2. Medias de tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en tratamientos de suspensión de riego en Ingenio Pujiltilic, Chiapas, México.

Suspensión del Riego	A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	E $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$g_s \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
15 días	11.11b	4.02bc	0.09b
30 días	12.91c	4.15c	0.11c
45 días	11.24bc	3.60a	0.09b
60 días	8.49a	3.67ab	0.07a
75 días	8.42a	3.59a	0.07a
CP72-2086	9.97a	2.92a	0.08a
Mex69-290	10.9b	4.69b	0.09b

de agua y por lo tanto maduran antes. Mientras que los cultivares de maduración tardía son menos sensibles a tales condiciones alcanzando niveles más altos de sacarosa al final de la estación de cosecha.

Esta sensibilidad de las variedades al estrés hídrico observada en el estudio se atribuyó a que la repuesta de la variedad dependió de la duración del periodo de estrés antes de la cosecha (Figura 2). La tasa fotosintética (A), la tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (g_s) disminuyeron en la variedad temprana CP72-2086 conforme aumentó el número de días que el cultivo permaneció sin riego, lo cual fue indicativo de que esta variedad ha completado su ciclo y sus hojas han iniciado el proceso de senescencia, ya que el estrés hídrico causa reducción significativa en la tasa de aparición de hojas y acelera la senescencia en las hojas más viejas, lo que conlleva a un menor número de hojas verdes maduras (Smit y Singels, 2006). Estos autores observaron reducción en número de hojas de 10.8 a 5.2 para la variedad N22 después de 38 días de suspensión de riego.

En contraste la variedad de maduración media Mex 69-290 también disminuyó la tasa de fotosíntesis y g_s con la duración de la suspensión del riego, sin embargo a los 75 días se registró aumento en ambas variables, y de igual forma se observó con E, lo cual sugiere que esta variedad continúa su maduración bajo las mismas condiciones de falta de agua en el suelo. Diferencias significativas en tasa de fotosíntesis relacionadas con la edad de la planta han sido observadas en hojas individuales de caña de azúcar (McCormick *et al.*, 2008). Plantas jóvenes asimilan a tasas significativamente más altas que las plantas viejas, debido a que la tasa de fotosíntesis es dependiente de la edad y la acumulación de sacarosa en los tallos maduros influye en la actividad fotosintética de la hoja.



Da Silva *et al.* (2012) reportan que bajo estrés hídrico la variedad RB867515 mostró mejor desempeño al mantener alta tasa fotosintética ($7.96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), g_s ($0.08 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), tasa de transpiración ($1.88 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en relación con la variedad RB92579. Las relaciones entre parámetros fisiológicos evaluados por tiempo de suspensión de riego no siempre muestran una

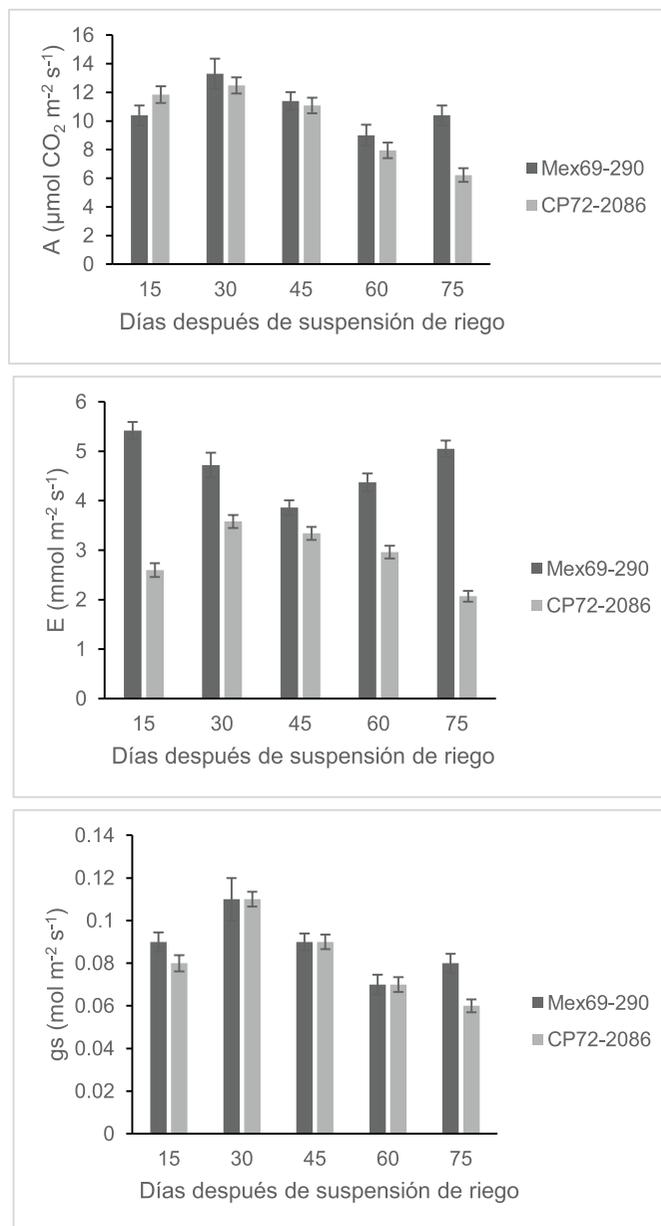


Figura 2. Efecto de suspensión del riego a partir de 75 días antes de la cosecha en variedades de *Saccharum* spp., CP72-2086 y Mex69-290, en Ingenio Pujilic, Chipas, México.

tendencia lineal. La Figura 3 indica las relaciones entre conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis de las variedades considerando 15 y 75 días de suspensión de riego previo a la cosecha. En ambas variedades se observa una relación lineal entre E y g_s en ambas condiciones de estrés, indicando una reacción generalizada al estrés donde el cierre estomático es una respuesta para reducir la pérdida de agua vía transpiración (Inman-Bamber y Smith, 2005). En contraste con E, la respuesta de A al cierre estomático presenta mayor variación. Singels *et al.* (2010) y Da Silva *et al.* (2012), analizando los componentes fisiológicos para selección de variedades de caña de azúcar tolerantes

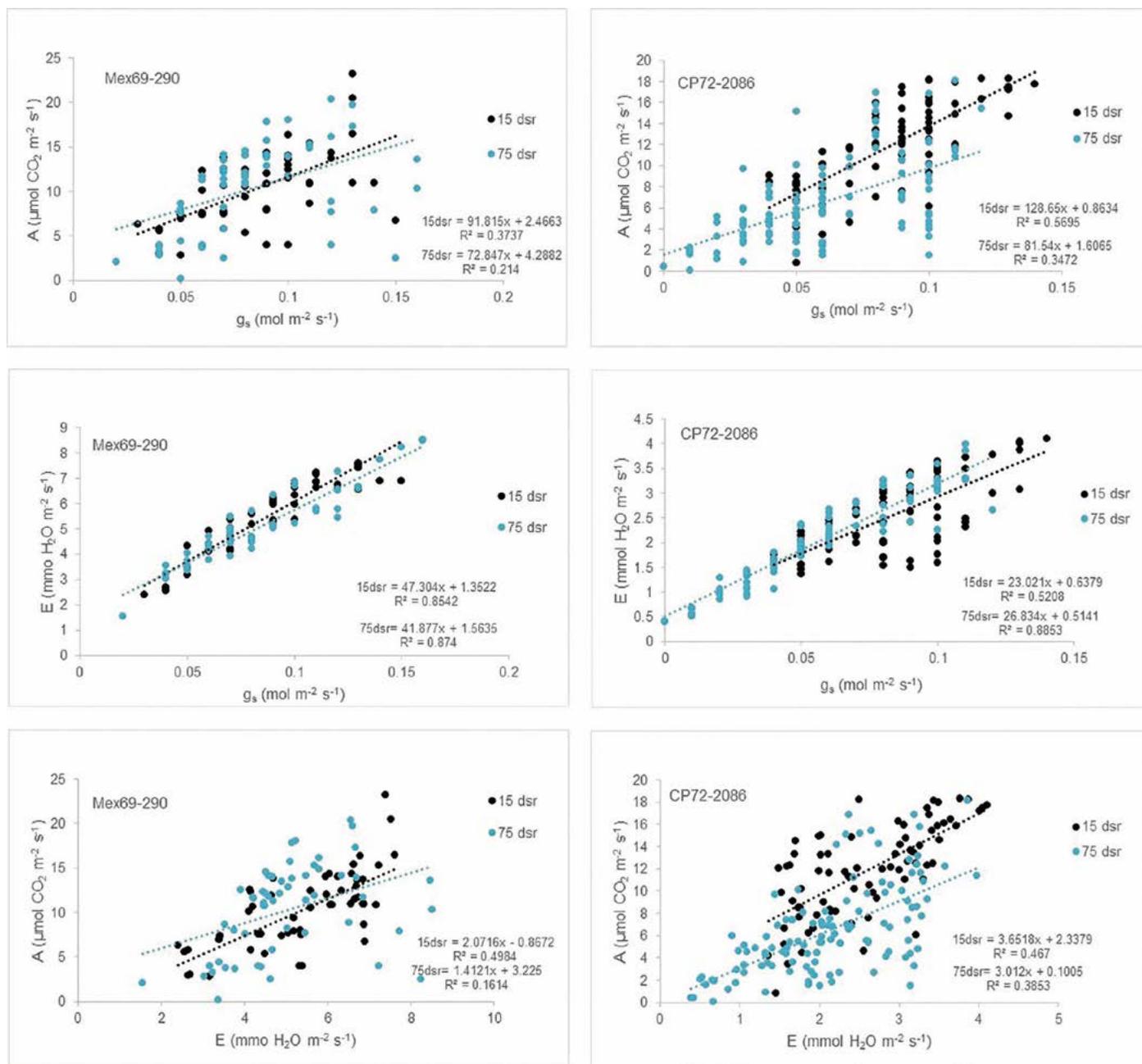


Figura 3. Relaciones entre la conductancia estomática (g_s), tasa de transpiración (E) y tasa de fotosíntesis (A) en *Saccharum* spp., variedades CP72-2086 y Mex69-290 bajo suspensión de riego 15 y 75 días previo a la cosecha en el Ingenio Pujilic, Chiapas, México. dsr=días de suspensión de riego previo a la cosecha.

a sequía observaron altas y significativas correlaciones genéticas entre la conductancia estomática, la tasa de transpiración y el índice SPAD (medición de clorofila), por lo que concluyen que estos parámetros pueden ser considerados para seleccionar variedades de caña de azúcar más productivas y tolerantes a déficit hídrico, lo cual promovería ganancias en tasas fotosintéticas. La evaluación de estos parámetros fisiológicos durante el crecimiento del cultivo de caña en diferentes variedades y condiciones de estrés hídrico son necesarios para

conocer la respuesta al estrés hídrico de las variedades presentes en los campos cañeros y definir criterios de selección.

CONCLUSIONES

La suspensión del riego en la fase de madurez del cultivo de caña de azúcar mostró diferencias entre variedades para los parámetros fisiológicos evaluados, indicando que la respuesta al estrés depende de la variedad, bajo condiciones de campo.



AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Chiapas, A.C., Al ingenio Pujiltilic, y a la LPI-2 Agroecosistemas sustentables por el apoyo económico y logístico para realizar el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Cardozo N.P., Sentelhas P.C. 2013. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola* 70(6): 449-456.
- Conagua 2010. Estadísticas del Agua en México, edición 2010. www.conagua.gob.mx.
- Da Silva P.P., Soares L., Gomes da Costa J., da Silva V.L., Farias de Andrade J.C., Rebelo G.E., dos Santos J.M., de Souza B.G.V., Nascimento V.X., Reis T.A., Riffel A., Grossi-de-Sa M.F., Pereira B.M.H., Goulart S.A.E., Ramalho N.C.E. 2012. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. *Industrial Crops and Products* 37: 11-19.
- Inman-Bamber N.G., Lakshmanan P., Park S. 2012. Sugarcane for water-limited environments: Theoretical assessment of suitable traits. *Field Crops Research*. 134: 95-104.
- Inman-Bamber N.G., Smith D.M. 2005. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research* 92: 185-202.
- Irvine J.E. 1983. Sugarcane. *En: Potential productivity of field crops under different environments*. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños, Laguna. Filipinas. pp. 361-381.
- McCormick A.J., Cramer M.D., Watt D.A. 2008. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. *Field Crops Research* 108: 250-258.
- McCormick A.J., Watt D.A., Cramer M.D. 2009. Supply and demand: sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. *Journal of Experimental Botany* 60(2): 357-364.
- Perez da Graça J., Rodríguez F.A., Bouças F.J.R., Neves de Oliveira M.C., Hoffmann-Campo C.B., Zingaretti S.M. 2010. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 22(3): 189-197.
- 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., Rincón-Ramírez J.A., Hernández-Nataren E. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujiltilic, Chiapas, México. *Terra-Latinoamericana* 26 (4):361-373.
- Singels A., Donaldson R.A., Smit M.A. 2005. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. *Field Crops Research* 92: 291-303.
- Singels A., van den Berg M., Smit M.A., Jones M.R., van Antwerpen R. 2010. Modelling water uptake, growth and sucrose accumulation of sugarcane subjected to water stress. *Field Crops Research* 117: 59-69.
- Smit M.A., Singels A. 2006. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research* 98: 91-97.
- Wang J., Nayak S., Koch K., Ming R. 2013. Carbon partitioning in sugarcane (*Saccharum* species). *Frontiers in Plant Science* 4(201): 1-6.



EVALUACIÓN AGROINDUSTRIAL DE DIEZ VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

AGROINDUSTRIAL EVALUATION OF TEN VARIETIES OF SUGAR CANE (*Saccharum* spp.)

Javier Vera-Espinosa, J.¹; Carrillo-Ávila, E.^{1*}; Flores-Cáceres, S.²; Arreola-Enríquez, J.¹; Osnaya-González, M.¹; Castillo-Aguilar, C.D.C.¹

¹ Colegio de Postgraduados *Campus* Campeche. Carretera Federal Haltunchén-Edzná Km. 17.5, Sihochac, Municipio de Champotón, Campeche. ² Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. In memoriam.

*Autor de correspondencia: ceugenio@colpos.mx

RESUMEN

Para ofrecer variedades de caña (*Saccharum* spp.) con mejores características agronómicas a productores, se evaluaron diez variedades introducidas al estado de Campeche, México, usando la variedad NCo 310 como testigo, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se evaluaron los ciclos plantilla y soca, midiéndose: rendimiento de campo (*RC*), azúcar (*RA*), grados brix (*Brix*), pureza (*P*), contenido de sacarosa (*Sac*), fibra (*F*), azúcares reductores (*AR*) y humedad (*H*). Todas las variedades presentaron valores estadísticos semejantes en cuanto a *F*, *H* y *AR* durante el ciclo soca, e igual *Brix* y *P* en ambos ciclos ($p \leq 0.05$). Las variedades con *RC* significativamente mayor durante el ciclo plantilla fueron SP 83 5073 y SP 80 1816, y durante el ciclo soca CP94 1674 y SP 83 5073, superiores al de la variedad testigo ($p \leq 0.05$). La variedad SP 83 5073 registró significancia en *Sac* que el testigo durante la plantilla, y durante la soca CP94 1674 mostró la mayor concentración. En la soca, *RA* fue estadísticamente mayor en variedades CP94 1674 y SP 83 5073 ($p \leq 0.05$). Las variedades CP94 1674 y SP 83 5073 fueron las recomendadas para el área cañera de la zona de evaluación.

Palabras clave: *Saccharum officinarum* L., variedades, selección, rendimiento.

ABSTRACT

In order to offer sugar cane (*Saccharum* spp.) varieties with better agronomic characteristics to producers, ten cultivars introduced to the state of Campeche, México, were evaluated, using the NCo 310 cultivar as control, under a random block design with three repetitions. The plantilla (seedling) and soca (root) cycles were evaluated, measuring: field yield (*RC*), sugar (*RA*), Brix degrees (*Brix*), purity (*P*), saccharose content (*Sac*), fiber (*F*), reducing sugars (*AR*) and moisture (*H*). All the varieties presented similar statistical values in terms of *F*, *H* and *AR* during the soca cycle, and also *Brix* and *P* in both cycles ($p \leq 0.05$). The varieties with significantly higher *RC* during the plantilla cycle were SP 83 5073 and SP 80 1816, and during the soca cycle CP94 1674 and SP 83 5073, higher than the control cultivar ($p \leq 0.05$). The cultivar SP 83 5073 showed greater significance in *Sac* than the control during the plantilla, and during the soca CP94 1674 showed the highest concentration. During the soca, *RA* was statistically higher in cultivars CP94 1674 and SP 83 5073 ($p \leq 0.05$). The cultivars CP94 1674 and SP 83 5073 were the ones recommended for the sugar cane area in the evaluation zone.

Keywords: *Saccharum officinarum* L., varieties, selection, yield.

INTRODUCCIÓN

Un aspecto fundamental para mejorar la productividad del sector azucarero es la selección de nuevas variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), con resistencia a plagas y con mayor rendimiento en azúcar. El cultivo de caña de azúcar, es económicamente muy importante y antiguo, genera empleos e ingresos para un amplio sector social principalmente en Latinoamérica y Asia. En México proporciona empleo directo a más de 300 mil personas (García, 1999), se cultiva en 15 provincias (845,162 ha), con rendimiento promedio de 78.16 t ha⁻¹ (SIAP, 2015). En el Ingenio "La Joya", en Campeche, México, la superficie sembrada en 2013 fue de 12,307.68 ha con rendimiento de campo promedio de 62.95 t ha⁻¹ (SIAP, 2015), uno de los más bajos en el país, atribuido que no se han introducido nuevas variedades, y la superficie irrigada representa 19.1% del total (SIAP, 2015), además se presenta la incidencia de mosca pinta (*Aeneolamia postica*) y la enfermedad del carbón (*Ustilago scitaminea*) como problemas fitosanitarios importantes, debido a que la variedad más cultivada NCo 310 es susceptible a esta última. Los brotes de enfermedades epidémicas han sido la causa fundamental de la necesidad de renovar las variedades cultivadas y una de las principales causas de su deterioro y decaimiento productivo (Flores, 2001), destacando en México el raquitismo del retoño (*Leiftonia xyli* sub sp *xyli*), la roya (*Puccinia melanocephala*) y la escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* A.) (Flores, 2001; Flores, 2002; Huerta et al., 2003). Además del propósito permanente de aumentar la productividad, la declinación clonal por pérdida de vigor después de varios años de cultivo determina la necesidad de realizar cambios de variedades (Chavanne et al., 1997). Los países cañeros han establecido programas de mejoramiento genético para la generación y selección de variedades mejoradas (Flores, 2002; Ramdoyal et al., 2002; Bischoff y Gravois, 2004; Magarey et al., 2004), a fin de producir variantes biológicas con mejor rendimiento de campo, contenido de azúcar, resistentes a plagas, con adaptación a condicio-

nes de suelo, clima y fácil cosecha mecánica (Jackson, 2005). Bischoff y Gravois (2004) señalan que la selección de variedades permite mantener la competitividad del sector cañero, así como aumentar la resistencia del cultivo a la roya, virus del mosaico, síndrome del amarillamiento y escaldadura de la hoja; subrayan además que las enfermedades de la caña son controladas casi exclusivamente con el uso de variedades resistentes. Por ello, la selección de mejores variedades de caña de azúcar es una alternativa para aumentar la productividad (Ramdoyal et al., 2002). Además de la cruce y selección, otra alternativa es la introducción y prueba de adaptabilidad de variedades ya seleccionadas en otros países con condiciones de suelo y clima similares a los de la región en la que se planea establecerlas. Con base en lo anterior, se evaluaron diez variedades de caña procedentes de diversos países, con el objetivo de seleccionar las de mejor rendimiento en campo y azúcar, para contribuir a incrementar la productividad del sector cañero en Campeche, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 53 variedades de caña introducidas a México de diversos países recibidas durante 2001 y 2002 en Colegio de Postgraduados *Campus* Campeche. Se establecieron en campo en fase de cepa, evaluando longitud y grosor de tallo, número y tamaño de hojas, número de tallos por cepa en plantilla y soca, para identificar las diez mejores evaluando adaptabilidad en campo a condiciones de suelos, clima y fitopatógenos. Además de las diez variedades preseleccionadas (Cuadro 1), se incluyó la variedad NCo 310 como testigo, que es la de mayor área cultivada en la región de estudio. la evaluación se desarrolló en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados *Campus* Campeche (19° 29' 48" N y 90° 32' 47" O), a 16 m de altitud, con clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano, Aw₀ de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1988), y temperatura y precipitación pluvial media anuales de 26 °C y 1150 mm respectivamente, temporada de lluvias bien definida en verano que incluye

Cuadro 1. Variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp*) evaluadas en Campeche, México.

Nombre	País de origen	Nombre	País de origen	Nombre	País de origen
CMT 70 611	China	SP 81 1763	Brasil	LAICA 96 606	Costa Rica
CYZ 82 154	China	SP 83 5073	Brasil	LAICA 92 13	Costa Rica
SP 80 3280	Brasil	CP 94 1674	E.U.A.	NCo 310	Testigo
SP 80 1816	Brasil	B 86 326	Barbados		

parte del otoño, y una temporada de secas de enero a mayo. La siembra se llevó a cabo el 14 de julio de 2004 mediante tallos de 10 meses de edad como "semilla" con dos a cuatro yemas. Se fertilizó con 240N-120P-120K, más urea (46N-00P-00K, además de 17N-17P-17K, fraccionando en cuatro aplicaciones cada 45 días desde la siembra. Se aplicaron tres riegos en los periodos secos (febrero y marzo de 2005). Para el ciclo de soca se fertilizó con la misma dosis y frecuencia, pero bajo condiciones de temporal. Dado que la variable principal fue la adaptación, no se realizó algún tipo de control, aunque se instalaron trampas amarillas para tener idea de la incidencia de mosca pinta (*Aeneolamia* spp).

Se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en ambos ciclos, con las variedades consideradas como tratamientos, establecidas en unidades experimentales de seis surcos de 20 m de largo espaciados a 1.4 m. La parcela útil fue de dos surcos centrales, eliminando 2.5 m exteriores. En el ciclo plantilla se determinó: rendimiento de campo (*RC* t ha⁻¹) y azúcar (*RA* t ha⁻¹), grados *Brix*, contenido de sacarosa (*Sac* %) y pureza (*P* %). En el ciclo soca se evaluó también el contenido de fibra (*F* %) y azúcares reductores (*AR* %). El análisis industrial está caracterizado por las variables *Brix*, *Sac*, *P*, *F* y *AR*; y para determinar sus valores durante los dos ciclos se colectaron muestras de seis tallos de caña por variedad en los cuatro meses previos a la cosecha, los cuales fueron procesadas y analizadas.

La cosecha del ciclo plantilla se realizó en abril de 2005 y la del ciclo soca en junio de 2006, cortando y pesando la caña en cada parcela útil. El *RA* se calculó multiplicando el contenido de sacarosa de cada variedad por su *RC*. Se realizó el análisis de varianza del diseño de bloques en cada variable de respuesta con el uso del paquete SAS (2003) y las medias en las variables con diferencias estadísticas se compararon con la prueba de Tukey (1991) con un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$).

resistencia a plagas en variedades cultivadas muchos años.

Los cuadros 2 y 3 muestran la comparación múltiple de medias para las variables con diferencias estadísticas significativas entre variedades para los ciclos plantilla y soca respectivamente.

Rendimiento de campo (RC)

No se encontraron diferencias significativas durante el ciclo de plantilla. Los valores más altos se registraron en las variedades SP 83 5073 y SP 80 1816, de 73.45 y 65.0 t ha⁻¹ respectivamente, superiores al de la variedad testigo (que ocupó el cuarto puesto) y al promedio regional. En la soca se obtuvieron diferencias altamente significativas, con valores mayores en CP 94 1674 y SP 83 5073 que en la variedad testigo. La ausencia de diferencia estadística en la plantilla y su registro en soca también fue reportada por Uzcátegui y Bastardo (1988), y se relaciona con la estabilización en el rendimiento de la caña a partir de la soca. El *RC* del testigo de la plantilla a la soca pasó del cuarto al décimo puesto,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó la enfermedad del carbón (*Ustilago scitaminea*) en la variedad testigo en los dos ciclos sin observarse en las demás variedades. Se registró la presencia de mosca pinta (*Aeneolamia* spp.), sobre todo durante la soca atacando a todas las variedades, capturando 100 adultos por trampa. Si bien no se realizó una evaluación sistemática, el testigo fue visualmente más susceptible a la plaga. Ambos resultados confirman lo señalado por autores tales como, Chavanne *et al.* (1997), Flores (2001) y Ramdoyal *et al.* (2002), en cuanto a la pérdida de

Cuadro 2. Comparación múltiple de medias de once variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en ciclo plantilla.

Variedad	Sacarosa (%)**	Variedad	Azúcares reductores (%)**
SP 83 5073	19.51 a	B 86 326	1.08 a
CMT 70 611	19.15 a	SP 81 1763	0.92 ab
LAICA 92 13	18.61 ab	NCo 310	0.88 ab
SP 80 3280	18.36 ab	SP 80 3280	0.86 ab
CYZ 82 154	18.21 ab	CYZ 82154	0.84 ab
CP 94 1674	18.11 ab	SP 80 1816	0.68 ab
LAICA 96 606	17.88 ab	LAICA 96 606	0.68 ab
SP 81 1763	17.84 ab	SP 83 5073	0.57 ab
B 86 326	17.75 ab	LAICA 92 13	0.57 ab
SP 80 1816	16.86 ab	CMT 70 611	0.44 ab
NCo 310	15.94 b	CP 94 1674	0.39 b

**DMS=3.10%; **CV=5.83%. ++DMS=0.69%; ++CV=32.40%.

Medias con diferente letra en columna no son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS=Diferencia mínima significativa; CV=Coefficiente de variación.

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias de once variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en ciclo soca.

Rendimiento de campo (t ha ⁻¹)*			Contenido de sacarosa (%)**			Rendimiento de azúcar (t ha ⁻¹)**		
Variedad	Media		Variedad	Media		Variedad	Media	
CP 94 1674	90.63	a	CP 94 1674	17.15	a	CP 94 1674	12.45	a
SP 83 5073	83.98	ab	SP 80 3280	16.67	ab	SP 83 5073	10.57	ab
LAICA 96 606	71.13	abc	SP 81 1763	16.63	ab	SP 81 1763	9.39	abc
SP 81 1763	71.12	abc	SP 80 1816	16.44	ab	SP 80 3280	9.23	abc
SP 80 3280	69.52	abc	SP 83 5073	16.15	ab	SP 80 1816	8.98	abc
SP 80 1816	68.33	abcd	CMT 70 611	16.14	ab	LAICA 96 606	8.28	abcd
LAICA 92 13	67.97	abcd	CYZ 82154	15.74	ab	LAICA 92 13	8.17	bcd
B 86 326	53.15	bcd	NCo 310	15.74	ab	B 86 326	5.99	cd
CMT 70 611	44.40	cd	LAICA 92 13	15.52	ab	CMT 70 611	5.61	cd
NCo 310	43.67	cd	LAICA 96 606	15.51	ab	NCo 310	5.36	cd
CYZ 82 154	38.33	d	B 86 326	14.84	b	CYZ 82 154	4.71	d

*DMS=30.99; *CV=16.46%. **DMS=1.92; **CV=4.06%. ***DMS=4.174; ***CV=17.54%

Medias con distinta letra en columna no son iguales estadísticamente (Tukey, p≤0.05). DMS=Diferencia mínima significativa. CV=Coefficiente de variación.

evidencia de su decaimiento productivo, concordando con lo señalado por Chavanne *et al.* (1997) y Flores (2001), en el sentido de que las variedades abaten su rendimiento. Variedades con RC superior al testigo fueron SP 83 5073, SP 80 1816 en la plantilla y CP 94 1674 en la soca (Figura 1).

No se encontraron diferencias estadísticas en ninguno de los ciclos para Brix. Todas las variedades tuvieron niveles similares en el jugo, con valores que variaron de 17.35 en la variedad B 86 326 durante el ciclo soca, a 21.08 en la variedad CP 94 1674 en la plantilla. Este resultado coincide con lo señalado por Jackson (2005), quien indica que los programas de hibridación y selección se han enfocado a mejorar el rendimiento de campo más que el contenido de azúcar. Por lo que respecta al contenido de Sac, se registraron diferencias estadísticas significativas tanto para plantilla como para soca (Cuadros 2 y 3 respectivamente). En la plantilla las variedades SP 83 5073 y CMT 70 611 fueron estadísticamente superiores al testigo, en el que se observó el nivel

más bajo. Para el ciclo soca, siete variedades presentaron valores de Sac promedio mayores que el testigo (Cuadro 3), aunque en ningún caso se declararon diferencias significativas con éste. Lo anterior se relaciona con lo señalado por Jackson (2005) quien resalta que en la selección de nuevas variedades no se ha dado suficiente importancia a la ganancia en sacarosa, aunque Uzcátegui y Bastardo (1988) encontraron diferencias estadísticas entre variedades en esta variable tanto para plantilla como para soca, y considerando ambos ciclos, SP 83 5073 y CP 94 1674 ocuparon los primeros lugares tanto en Sac como RC.

Pureza del jugo, contenido de azúcares reductores, humedad y fibra

No se encontraron diferencias estadísticas significativas para P en la plantilla (CV=6.32%) ni en soca (CV=2.73%). Cabe señalar que en

plantilla las variedades SP 80 3280 y SP 83 5073 tuvieron los valores más altos con 85% y 81% respectivamente. Para el ciclo soca las variedades con mayores valores en P fueron SP 80 1816, SP 80 3280 y CP 94 1674 (91.26,



Figura 1. Cosecha de la variedad testigo para evaluar grados Brix y contenido de sacarosa.

90.89 y 90% respectivamente). En cuanto a *AR*, en la plantilla se encontraron diferencias significativas: la variedad CP 94 1674 presentó la menor cantidad y B 86 326 la mayor (Cuadro 2). Para el ciclo soca no se encontraron diferencias estadísticas, aunque las variedades con menor contenido fueron SP 80 1816 y CP 94 1674, con 0.4% y 0.49% respectivamente. Ambos resultados fortalecen la selección de la variedad CP 94 1674.

En las variables *H* y *F* no se realizaron determinaciones durante la plantilla, y en el ciclo de soca, el análisis de varianza no arrojó diferencias estadísticas significativas entre variedades. Todas presentaron contenidos de fibra menores a 15%, límite máximo considerado como deseable para el procesamiento de caña, aunque cabe señalar que la variedad CP 94 1674 tuvo el porcentaje más bajo de fibra (12.15%) y SP 83 5073 ocupó el cuarto lugar de menor a mayor contenido (13.14%).

La ausencia de diferencias estadísticas entre variedades para *AR* en el ciclo soca y para *P*, *H* y *F* en los dos ciclos, se debe a que son variables de importancia relativamente secundaria en el proceso de selección de nuevas variedades, en los que se busca en principio aumentar el rendimiento de campo y resistencia a plagas con diferentes curvas de madurez (Ramdoyal *et al.*, 2002; Bischoff y Gravois, 2004; Magarey *et al.*, 2004; Jackson, 2005).

Rendimiento de azúcar

En la plantilla no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre variedades ($CV=30.58\%$), debido a que esta variable está influenciada por *RC* (en la que no existieron diferencias estadísticas). Las variedades SP 83 5073 y SP 80 3280 registraron el mayor rendimiento (10.78 y 8.12 t ha⁻¹ respectivamente), y la testigo NCo 310 el menor (5.60 t ha⁻¹). Para el ciclo soca se observaron diferencias altamente significativas entre variedades: CP 94 1674 y SP 83 5073 presentaron un *RA* significativamente mayor que el testigo, seguidas de SP 81 1763 y SP 80 3280. La variedad SP 81 1763 presentó valores aceptables en *RA*, pero presentó acame, cierre de campo tardío y mayor cantidad de *AR*, características que son indeseables.

La influencia de *RC* en los valores de *RA* es notable: el orden al colocar las variedades del mayor al menor rendimiento en ambas variables para el ciclo soca es casi idéntico (Cuadro 3), acorde a lo señalado por Jackson (2005), quien indica que en el proceso de selección de nuevas variedades se ha aumentado el rendimiento de azúcar con base en la mejora del rendimiento de caña.

CONCLUSIONES

Las variedades CP 94 1674 y SP 83 5073 superaron estadísticamente en rendimiento de caña y de azúcar a la variedad testigo en el ciclo soca. También presentaron valores altos consistentes en concentración de sacarosa así como, bajos en las variables no deseables, con diferencias estadísticas respecto al testigo en la mayoría de los casos, por lo que se recomendó su multiplicación para la región de estudio, especialmente para las comunidades de Sihochac, Hool y Villa Madero del municipio de Champotón, Campeche, México (Figura 2).



Figura 2. Establecimiento de semillero de la variedad SP 83 5073 en la comunidad de Sihochac, Campeche, México.

LITERATURA CITADA

- Bischoff K.P., Gravois K.A. 2004. The development of new sugarcane varieties at the LSU Agcenter. *Journal of American Society of Sugar Cane Technologist* 24:142-164.
- Chavanne R., Erazzu E.L., Cuenya M., Ahmed M.A., Espinosa A.M., García M.B., Díaz R.C. 1997. RA-87-2: una variedad promisorio de caña de azúcar de maduración temprana. *Avance Agroindustrial (Argentina)* 18 (71):12-15.
- Flores C.S. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. ATAM, México. 308 p.
- Flores C.S. 2002. 50 años del Centro de Investigación y Desarrollo de la caña de Azúcar 1952-2002. Boletín divulgativo. Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA) México: 16-25.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera edición. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. 246 p.

- García Ch.L.R. 1999. Comercialización y seguridad alimentaria en relación al azúcar en América Latina y el Caribe. *In: Proceedings of the Cuba/FAO Internacional Sugar Conference*. Havana, Cuba, 7-9 December 1999.
- Huerta L.M., Ortega A.L.D., Landeros S.C., Fucikovsky Z.L., Marín G.M. 2003. Respuesta de 10 variedades de caña de azúcar a la escaldadura de la hoja [*Xantomonas albilineans* (Ashby) Dowson] en la región central costera de Veracruz. *Agrociencia* 37 (5): 511-519.
- Jackson P.A. 2005. Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Fields Crops Research* 92: 277-290.
- Magarey R.C., Bull J.I., Neilsen W.A., Camilleri J.R., Magnanini A.J. 2004. Relating cultivar resistance to sugarcane yield using breeding selection trial analyses; orange rust and yellow spot. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 1057-1064.
- Ramdoyal K., Bissessur D., Badaloo G.H., Mungur H., Rivet L. 2002. Review of production trends, variety situation and breeding efforts for sustainable sugar production in the Central Sector of Mauritius. *Revue Agricole et Sucrière de l'île Maurice* 80 (3), 81 (1-3): 216-227.
- SAS. 2003. Versión para Windows 9.1.3. Service pack 2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SIAP. 2015. Anuario de Estadística Básica Agrícola. SAGARPA. México. <http://www.siap.gob.mx>. Página consultada el 6 de abril de 2015.
- Tukey J.W. 1991. The philosophy of multiple comparisons. *Statistical science*. Vol. 6: 100-116.
- Uzcátegui C., Bastardo J. 1988. Evaluación de variedades de caña de azúcar en el Valle de Aragua. Período 1985-1989. *Caña de azúcar* 6 (1): 75-104.



OPCIONES DE FERTILIZACION PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum* spp.) EN TABASCO, MÉXICO

FERTILIZATION OPTIONS FOR THE CULTIVATION OF SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) IN TABASCO, MÉXICO

Córdova-Gamas, G.¹; Salgado-García, S.^{2*}; Castelán-Estrada, M.²; Palma-López, D.J.²; García-Moya, E.³; Lagunes-Espinoza, L.D.C.²; Córdova-Sánchez, S.⁴

¹ Asociación Local de Productores de caña de azúcar CNC-Ingenio Pdte. Benito Juárez. ² Colegio de Postgraduados–Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco, México. Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS. ³ Colegio de Postgraduados–Campus Montecillos. ⁴ Centro Maya de Estudios Agropecuarios - Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Catazajá-Palenque km. 4. C. P. 29980 Catazajá, Chiapas, México. Grupo Colegiado D TSA- LGASSA.

*Autor de correspondencia: salgados@colpos.mx

RESUMEN

La fertilización orgánica puede ser superior a la fertilización química en algunos parámetros nutrimentales y de crecimiento. Con el objetivo de evaluar fuentes alternativas de nutrición al cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Tabasco, México, se evaluaron las especies fijadoras de nitrógeno *Canavalia ensiformis* y *Cajanus cajan*, tres dosis de composta y un biofertilizante en un suelo Cambisol flúvico (Arcillico Éutrico), comparados con fertilización química y un testigo absoluto en la variedad Mex 79-431. Se registró que la demanda nutrimental del cultivo fue $K > N > P$, evidenciando buen crecimiento con relación paja-tallo de 0.33. *C. ensiformis* registró mayor competencia al cultivo que *C. cajan*. En los ciclos plantilla y soca se lograron rendimientos medios de 67 t ha^{-1} y 102 t ha^{-1} respectivamente, aunque no se registraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En el ciclo soca se observaron deficiencias foliares de N y K, y deficiencia de K en el suelo sin reflejar efecto en la calidad del jugo por el tipo de fertilización en ningún ciclo.

Palabras clave: Crecimiento, composta, entrenudos, extracción nutrimental.

ABSTRACT

Organic fertilization can be superior to chemical fertilization in some nutritional and growth parameters. With the objective of evaluating alternative sources of nutrition for sugar cane (*Saccharum* spp.) cultivation in Tabasco, México, the nitrogen fixing species *Canavalia ensiformis* and *Cajanus cajan* were evaluated, with three compost doses and one biofertilizer in a Cambisol fluvic soil (Clayey Eutric), compared to chemical fertilization and an absolute witness of the cultivar Mex 79-431. It was found that the nutritional demand from the crop was $K > N > P$, evidencing good growth with relation to straw-stem of 0.33. *C. ensiformis* showed higher competition to the crop than *C. cajan*. In the plantilla and soca cycles, average yields of 67 t ha^{-1} and 102 t ha^{-1} were found, respectively, although no significant statistical differences were recorded between the treatments. In the soca cycle, leaf deficiencies of N and K were observed, and K deficiency in the soil without reflecting an effect on the quality of the juice in any cycle as a result of the type of fertilization.

Keywords: Growth, compost, internodes, nutritional extraction.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 27-34.

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



INTRODUCCIÓN

El Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) es el de mayor importancia en el estado de Tabasco, México; en 2014 registró una superficie de cultivo de 23,745 ha, con rendimientos en campo de 53.1 t ha⁻¹ y en fábrica de 4,824 kg ha⁻¹ de azúcar (CAÑEROS, 2016), considerados como bajos y atribuidos a baja densidad de tallos, presencia de plagas, excesos de humedad, programa deficiente de fertilización y elevados costos de fertilizantes. Para aplicar las dosis recomendadas de nutrimentos, existen diferentes fuentes tales como, composta, abonos verdes, biofertilizantes, vinazas y otras (Salgado *et al.*, 2011) que pueden suplir a los fertilizantes químicos. La cachaza es un material orgánico que se genera durante la clarificación de los jugos, y por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30-50 kg que pueden usarse como abono, pero se necesitan grandes volúmenes para aportar cantidades suficientes de nutrientes al cultivo, sin embargo, mediante el composteo es posible reducir el volumen y concentrar los nutrientes para fertilizar la caña de azúcar con menores volúmenes de abono (Arreola *et al.*, 2004). En Brasil, para el abonado en verde en sistemas de rotación, se destaca el uso de fabáceas (antes leguminosas) por ser fijadoras de nitrógeno atmosférico (N), y en la actualidad muchas especies poáceas (gramíneas) y crucíferas (nabo forrajero) son consideradas como abonos verdes por acción de cobertera, además de incorporar carbono al suelo. En la India reportan que fabáceas como el chícharo (*Vigna radiata* L.) y frijol Adzuki (*Vigna mungo* L.) pueden ser asociadas a caña en plantilla durante primavera y en cultivo de soca. Las mediciones de la tasa fotosintética, conductancia estomática, tasa de transpiración e índice de área foliar fueron similares, tanto asociadas como en monocultivo; concluyen que el establecimiento de estas leguminosas es promisorio para el cultivo de caña (Singh y Lal, 2007). Considerando que los fertilizantes químicos registran incrementos continuos, y que existe suficiente información sobre el uso de compostas, abonos verdes (Pérez *et al.*, 2006) y biofertilizantes (Salgado *et al.*, 2013), y que estos pueden aportar nutrientes suficientes al cultivo de la caña de azúcar, se evaluaron diferentes fuentes de fertilizantes para caña de azúcar cultivada en Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo del sitio experimental es Cambisol flúvico (Éutrico Arcílico) caracterizado por pH de 5.7, MO 1.8%, N total 0.09%, P-Olsen 10.6 mg kg⁻¹, y bases K 0.24, Ca 12.9,

Mg 6.0 y CIC 22.3 cmol (+) kg⁻¹, su textura es arcillosa y forma parte de la zona de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez (684796 X, 4751227 Y). Las labores de preparación del terreno consistieron en barbecho cruzado, rastreo doble y surcos de 1.35 m de ancho, con la variedad Mex 79-431 en cordón doble punta-cola; la cosecha se realizó a los 10 meses para el ciclo plantilla y 11 meses para el ciclo de soca. A partir de los registros climáticos de 29 años (1971-2000) de temperaturas máximas, mínimas, precipitación y evaporación de la estación meteorológica más cercana se generó un climograma de Thornthwaite para el área de estudio.

Diseño experimental y manejo agronómico

Se establecieron ocho tratamientos más un testigo (Cuadro 1) bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental fue de ocho surcos de 1.35 m de ancho por 10 m de largo; para evitar el efecto de borde la parcela útil fue de seis surcos de 8 m de largo. Para el ciclo de soca se incluyó un tratamiento adicional (T4 aplicado en solución); mientras que en los T2 y T3, solo se evaluó el efecto residual de las fabáceas. El resto de los tratamientos se aplicaron como se indica en el Cuadro 1. Las malezas se controlaron con una aplicación pre-emergente de Hexazinona+Diurón a razón de 926.8 g y 327.2 g de i.a. ha⁻¹ en 200 L de agua, tres meses después se realizó una limpieza manual.

Características de la composta de cachaza

El análisis químico de muestras de composta mostró pH ligeramente ácido, bajo contenido de MO, rico contenido de N, alto contenido de P, medio de K, alto Ca y Mg y alto de micronutrimentos (Cuadro 2). Por su potencial de aporte destacó el N, siendo pobre en P y K.

Variables de estudio

Materia seca (MS) y nitrógeno en fabáceas. Por cada repetición se muestrearon al azar tres plantas en la etapa de floración (120 a 145 ddg), se pesaron en fresco y después se secaron a 60 °C por 72 h en estufa con circulación de aire, para estimar la producción de materia seca. Posteriormente, se molieron las muestras para determinar el N total por el método Kjeldahl y calcular el contenido de N total (%) con la siguiente fórmula:

$$N(\%) = [20\text{mL Cl } 0.1\text{N-G (mL Na OH } 0.1\text{ N)} \times 1.4\text{mg N/PSM mg}] \times 100$$

Donde; G=Gasto; PSM=Peso seco de la muestra.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización para el ciclo plantilla de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), variedad Mex 79-431 en Tabasco, México.

Tratamiento	Descripción
1	Testigo sin fertilizante ^Y
2	<i>Cajanus cajan</i> , dos hileras establecidas a 30 cm del surco y 10 cm entre plantas; una semilla por sitio de siembra después de la brotación de la caña.
3	<i>Canavalia ensiformis</i> , dos hileras establecidas a 30 cm del surco y 33 cm entre plantas, una semilla por sitio de siembra después de la brotación de la caña.
4	Fertilización química: 120N-80P-80K = 357 kg de triple 17+ 200N kg de urea, aplicación superficial al lado del surco, dos meses después de la brotación ^Y
5	Composta 10 t ha ⁻¹ aplicada sobre la cepa al mes de la brotación
6	Composta 15 t ha ⁻¹ aplicada sobre la cepa al mes de la brotación
7	Composta 20 t ha ⁻¹ aplicada sobre la cepa al mes de la brotación ^Y
8	Biofertilizantes combinado de <i>Azospirillum brasilensis</i> y micorrizas vesículo-arbusculares al mes de la brotación.
9	Igual al T4, se aplicó en forma líquida usando una relación 1:1.5 de fertilizante: agua ^E

^Y Tratamientos aplicados en el ciclo plantilla. ^E Sólo se aplicó en ciclo soca.

Rendimiento de N total (Rnt) de las fabáceas. Esta variable se calculó multiplicando el N total (%) por el rendimiento de materia seca (kg ha⁻¹):

$$RNT = \%NT * RMS$$

Donde; %NT = Porcentaje de nitrógeno total; RMS = Rendimiento de materia seca.

Crecimiento de la caña de azúcar. A partir de los tres meses de edad se realizaron muestreos mensuales de biomasa total en los tratamientos T1, T4 y T7 en el ciclo plantilla (Cuadro 1); cada muestreo constó de cuatro repeticiones. La biomasa total fue pesada (kg m⁻¹), después el material fue separado en hojas y tallos, registrando el peso de los tallos; las muestras se molieron en una picadora, tomando una submuestra de 500 g que fue secada a 70 °C para determinar el porcentaje de humedad y calcular el rendimiento de materia seca. Con estos datos se calculó la materia seca de paja, tallo y biomasa total.

Número de tallos y entrenudos. En cada muestreo, durante la separación de la paja de los tallos se realizó el conteo de nudos y entrenudos por tallo, en ciclo plantilla. Este conteo se hizo en cada muestreo de los tratamientos T1, T4 y T7.

Extracción nutricional NPK. En las submuestras donde se determinó el porcentaje de humedad en cada etapa de muestreo, se hizo el análisis de N, P y K de acuerdo con los métodos del laboratorio de suelos, plantas y aguas del Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. A partir de los datos de materia seca y concentraciones nutrimentales se calcularon las cantidades de N, P y K extraídas por el cultivo en ciclo plantilla.

Diagnóstico nutricional. A los cuatro meses de edad del cultivo se realizó un muestreo foliar tomando la hoja número cuatro, recolectando 15 hojas por parcela eliminando la punta, la base y la nervadura central (Salgado-García *et al.*, 2013). El muestreo se llevó entre 7:00-9:00 am en todos los tratamientos; las muestras se transpor-

Cuadro 2. Composición química de la composta de cachaza usada como biofertilizante en caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en Tabasco, México.

	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
		%		Mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
Concentración nutrimental de la composta:	6.2	3.3	0.14	12.3	0.25	19.6	3.1	0.11	107	28.8	26.5	20.9
Aporte nutrimental (en kg) de una dosis de 15 t ha ⁻¹ de composta:		495	21	0.18	1.46	117.8	11.3	0.37	1.6	0.43	0.39	0.31

taron a ± 4 °C al Laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas para su análisis.

Rendimiento de caña ($t\ ha^{-1}$). La cosecha se realizó a los 10 meses de edad para el ciclo plantilla y a 11 meses para el ciclo soca. Se cosechó la parcela útil de forma manual bajo el sistema de cosecha en verde, se eliminaron hojas secas y verdes, y se despuntó en la sección 8-10. La caña se pesó en una balanza digital marca Owen; estos datos se utilizaron para calcular el rendimiento.

Calidad de jugos. Antes de la cosecha se tomaron cinco tallos al azar de cada parcela experimental y enviaron al laboratorio de fábrica para analizar la calidad de los jugos (grados Brix, pureza = [(sacarosa/Grados Brix)*100], sacarosa (%) y azúcares reductores (%)) mediante el método del Molino Cubano.

Estimación de clorofila. A los cuatro meses de edad del cultivo en el ciclo de plantilla, se efectuaron mediciones de clorofila con un equipo SPAD-Minolta, en la hoja cuatro.

Análisis estadístico

Para el rendimiento de caña, calidad de jugos y actividad de clorofila se realizaron análisis de varianza bajo un diseño en bloques al azar; para el resto de las variables se efectuó un análisis de varianza bajo un diseño factorial 3×7 (tres tratamientos de fertilización y siete fechas de muestreo) y la prueba de comparación múltiple de medias, usando el paquete SAS 6.11 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aporte de N por las fabáceas. Se registró que las fabáceas aportan más nitrógeno que el requerido por el cultivo de caña de azúcar ($77.6\ kg\ ha^{-1}$) (Salgado-García *et al.*, 2011), donde *C. cajan* aportó $155\ kg\ ha^{-1}$ cantidad superior al aporte de *C. ensiformis*, coincidiendo con reportes sobre el la fijación biológica de N por Córdova-Sánchez *et al.* (2013).

Influencia del Clima. Durante los primeros tres meses de crecimiento el cultivo de caña recibió 916.6 mm de precipitación (Figura 1), lo que favoreció su crecimiento. De noviembre de 2009 a junio de 2010 se realizó la cosecha, y durante este periodo se registraron 729.4 mm acumulando 1646 mm durante el ciclo. Esta precipitación satisface los 1500 mm de agua requeridos

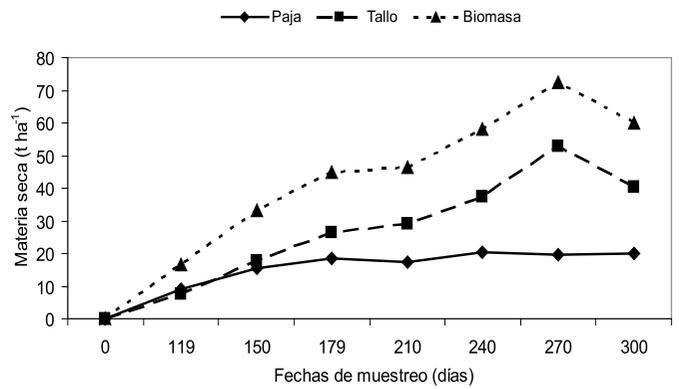


Figura 1. Acumulación de materia seca de paja, tallo y biomasa aérea en la variedad Mex 79-431 de *Saccharum* spp. en un ciclo de cultivo de plantilla, bajo tratamientos de fertilización.

por el cultivo, pero la distribución irregular limita el desarrollo; los últimos cuatro meses de crecimiento coincidieron con la época de sequía retrasando el desarrollo del cultivo. La temperatura mínima fue superior a 20 °C, favorable para el crecimiento del cultivo.

Crecimiento. A los tres meses de edad el cultivo produjo 21% de su materia seca total, valor superior al reportado por Gava *et al.* (2006); durante esta etapa la producción de paja fue mayor que la de tallo (Figura 1) debido a que la planta presentó un crecimiento acelerado del sistema foliar que finalizó hacia fines de abril de 2010. En una etapa posterior se observó una producción de biomasa más lenta, que coincidió con la sequía, y afectó que la variedad evaluada no alcanzara la madurez porque las parcelas fueron cosechadas a los 10 meses. Al momento de cosecha la variedad Mex 79-431 presentó la relación paja:tallo de 0.33 que indicó desarrollo promedio adecuado durante el ciclo, observándose diferencias altamente significativas en la producción de materia seca entre tratamientos de fertilización (Cuadro 4). La dosis de $20\ t\ ha^{-1}$ de composta de cachaza produjo mayor materia seca que el

Cuadro 3. Aporte de nitrógeno de *Cajanus cajan* L. y *Canavalia ensiformis* L. a un suelo cultivado con caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Tabasco, México.

Especie	Concentración foliar N (%)	Materia seca ($kg\ ha^{-1}$)	Aporte de N al suelo ($kg\ ha^{-1}$)
<i>Canavalia ensiformis</i> L.	$2.19 \pm 0.35^\dagger$	$7,236 \pm 1789$	155 ± 25
<i>Cajanus cajan</i> L.	2.40 ± 0.30	$16,970 \pm 3446$	413 ± 117

[†] Promedio de cuatro repeticiones.

Cuadro 4. Valores de componentes del rendimiento y concentración nutrimental de la variedad Mex 79-431 de *Saccharum* spp., bajo tres tratamientos de fertilización en ciclo plantilla de 10 meses, en Tabasco, México.

Tratamiento	Número de tallos m ⁻¹	Nutrimentos en Paja (%)			Nutrimentos en Tallo (%)		
		N	P	K	N	P	K
Testigo	14.5a [†]	0.80a	0.19b	1.37a	0.26a	0.12a	0.80a
120N-60P-80K	14.3a	0.91a	0.19b	1.45a	0.31a	0.10a	0.80a
20 t ha ⁻¹ de composta	15.1a	0.90a	0.21a	1.39a	0.24a	0.13a	0.79a
Media	14.6	0.87	0.20	1.40	0.27	0.12	0.80
CV (%)	16	26	15	15	48	35	35
Prob. de F. Trat.	0.45NS	0.13NS	0.01**	0.32NS	0.14NS	0.06NS	0.96NS
DMS	1.5	0.14	0.02	0.14	0.08	0.03	0.18

Tratamiento	Número de entrenudos m ⁻¹	Producción Materia Seca (t ha ⁻¹)			Extracción Nutrimental (kg ha ⁻¹)		
		Paja	Tallo	Total	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Testigo	192a	17.3ab	26.2b	43.5c	203a	142b	483b
120N-60P-80K	195a	16.2b	30.8a	47.0b	230a	142b	502ab
20 t ha ⁻¹ de composta	203a	18.2a	33.4a	51.6a	237a	187a	560a
Media	197	17.21	30.17	47.38	223	157	515
CV (%)	27	18	15	11	25	22	19
Prob. de F. Trat.	0.72NS	0.05*	0.01**	0.01**	0.06NS	0.01**	0.01**
DMS	36.7	1.9	3.0	3.3	35.7	22.4	63.6

[†] Medias con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente Tukey (P ≤ 0.05). NS no significativo, ** altamente significativo, * significativo.

testigo y fertilización química, coincidente con lo reportado por Arreola *et al.* (2004) y Hernández *et al.* (2008).

Entre los tratamientos no se observaron diferencias significativas respecto **número de entrenudos y tallos** (Cuadro 4), los promedios de 14.6 tallos y 197 entrenudos por metro lineal, indicaron que el suelo es de mediana fertilidad (Salgado-García *et al.*, 2011). Respecto al **contenido de N, P y K**, la paja presentó mayor contenido nutrimental en comparación con el tallo (Figura 2). La demanda nutrimental fue K > N > P en ambos componentes del cultivo, y la mayor demanda se observó a los 119 días de crecimiento, después tendió a disminuir. Las concentraciones promedio en la paja fueron 1.41% K, 0.87% N y 0.20% P; para el tallo fueron 0.79% K, 0.27% N y 0.12% P, este balance se pudo atribuir a que en las hojas ocurre la fotosíntesis y demandan más nutrimentos que el tallo que es un órgano de reserva de azúcares. Respecto a los contenidos nutrimentales de N, P y K de paja y tallo, sólo en K se observaron diferencias altamente significativas a los tratamientos de fertilización (Cuadro 4), mientras que en la fertilización con 20 t ha⁻¹ de cachaza, la variedad de caña evaluada obtuvo la concentración foliar más alta

de K (0.21%), lo cual podría deberse a un efecto residual de K en la composta. El **diagnóstico foliar** realizado a los cuatro meses en el ciclo de plantilla indicó que no hubo respuestas significativas en la concentración NPK a la fertilización. Los valores promedio fueron 1.22% N, 0.26% P y 0.22% K en este caso destacó la deficiencia de N y K al comparar los valores obtenidos contra los estándares reportados (1.5-1.7% de N, 0.18-0.22% de P y 1.2-1.8% de K) por Salgado *et al.* (2013). Esta deficiencia fue

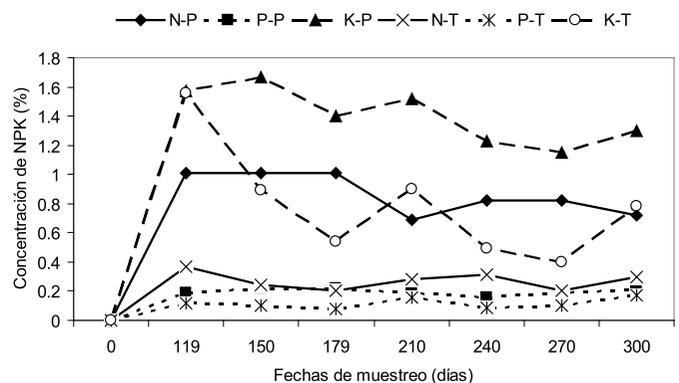


Figura 2. Concentración de NPK (%) en paja y tallo durante un ciclo de cultivo de la variedad Mex 79-431 de *Saccharum* spp. ciclo plantilla bajo tratamientos de fertilización en Tabasco, México.

corroborada por el análisis químico de suelo que indicó contenido bajo de K ($0.22 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de suelo).

Extracción de N, P₂O₅ y K₂O. Durante el crecimiento de la caña de azúcar se observó acumulación de N, P₂O₅ y K₂O en biomasa (Figura 4); el orden de extracción de estos nutrientes se mantuvo en $K > N > P$. Las cantidades extraídas al momento de la cosecha fueron 257 kg ha^{-1} de N, 249 kg ha^{-1} de P₂O₅ y 676 kg ha^{-1} de K₂O que superaron a las cantidades reportadas de 78 kg ha^{-1} de N, 70 kg ha^{-1} de P₂O₅ y 35 kg ha^{-1} de K₂O para el cultivo en el mismo tipo de suelo con fertilización pobre (Salgado-García *et al.*, 2011). En el mes de mayo se observó que Mex 79-431 continuó extrayendo más P y K, lo que indicó que la caña es un cultivo muy extractivo. De estos nutrientes 142 kg ha^{-1} de N, 94 kg ha^{-1} de P₂O₅ y 362 kg ha^{-1} de K₂O se quedan en la paja, por lo que se sugiere que parte de ella se incorpore al suelo para reponer estos nutrientes pues superan a los aportados por la fertilización. Las extracciones de N, P₂O₅ y K₂O solo registraron diferencias significativas en P y K (Cuadro 4). La extracción de N fue similar en todos los tratamientos, y el suelo aportó la misma cantidad de N en

los tratamientos con fertilización química y orgánica. Respecto a P, el cultivo de caña extrajo la misma cantidad de este nutriente en el testigo y en el tratamiento que recibió la fertilización química, pero ello no implica que sea recomendable suspender la fertilización. La composta presentó un efecto residual mayor que la fertilización química, razón por la cual aportó más P y K al cultivo (Figura 3).

Rendimiento de tallo

Se observaron diferencias altamente significativas en el rendimiento de tallo moleadero entre tratamientos en el ciclo plantilla (Cuadro 5). Se observó que *C. ensiformis* compitió más con el cultivo que *C. cajan*, por ello el rendimiento de tallo fue menor en ese tratamiento. Según la literatura un efecto similar fue observado en Guatemala por Pérez *et al.* (2006). La distancia de siembra de las leguminosas fue inadecuada ya que debe ser a 40 cm de las cepas de caña. *C. ensiformis* no completó su ciclo de crecimiento ya que por el sombreado no llegó a floración y continuó su crecimiento vegetativo por lo que se cosechó y depositó como abono verde en el entresurco, a los cuatro meses de edad. La caña de estas parcelas presentó un retraso de dos meses en su crecimiento. Por ser este suelo de mediana fertilidad, el crecimiento de ambas fabáceas fue exuberante, lo que redujo el ahijamiento del cultivo de la caña y produjo ahilamiento. En estos tratamientos no fue necesario aplicar herbicida para el control de malezas. El rendimiento del testigo corroboró que el suelo es de mediana fertilidad, ya que fue similar al resto de los tratamientos fertilizados. Para el ciclo soca no se observaron diferencias significativas entre tratamientos con una media de rendimiento de 102 t ha^{-1} y un CV de 16.5% (Cuadro 5); los rendimientos de tallo se consideran aceptables, y se obtuvo un incremento promedio de 35 t ha^{-1} en soca en comparación con el ciclo plantilla.

Calidad del jugo y actividad de clorofila

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la calidad del jugo en el ciclo de plantilla, con excepción de azúcares reductores (Cuadro 5). Los valores promedio de sacarosa 9.46% , $18.8 \text{ }^\circ\text{Brix}$, pureza 50% y azúcares reductores 0.97% corroboran que la caña estaba inmadura, los valores establecidos en México para definir jugos de buena calidad son $>12.5\%$ de sacarosa, $18-22 \text{ }^\circ\text{Brix}$, 79 a 89% de pureza y $<1\%$ de azúcares reductores (Salgado *et al.*, 2003). A la variedad Mex 79-431, le faltaron cuatro meses de crecimiento para concluir el proceso de madurez. Un efecto similar se observó para el ciclo soca, los valores medios fueron: pureza 91% , Fibra 20% , $12.7 \text{ }^\circ\text{Brix}$, sacarosa 11.62% y azúcares reductores 0.52% (datos no presentados). No hubo diferencias significativas en la actividad de clorofila en los diferentes tratamientos de fertilización para el ciclo plantilla lo que indicó que la caña estaba bien nutrida en N (Cuadro 4). El valor promedio de la actividad de clorofila fue 27 Spad , el cual resultó menor a los 41.1 Spad observado en Pujiltic en las variedades Mex 69-290 y Mex 73-431 (Hernández *et al.*, 2008).

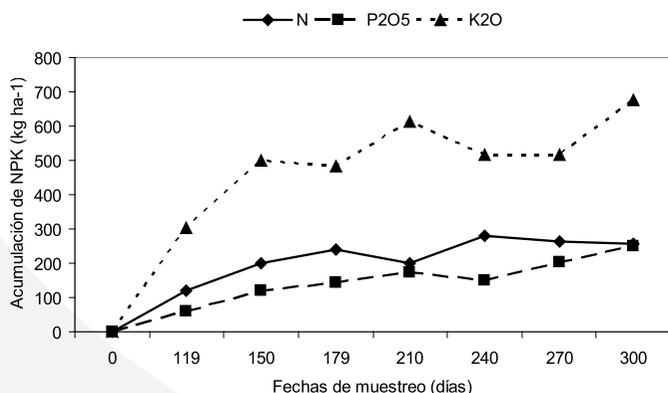


Figura 3. Acumulación de N, P y K durante un ciclo de cultivo de la variedad Mex 79-431 de *Saccharum* spp. en plantilla bajo tratamientos de fertilización.

Cuadro 5. Rendimiento de tallo, calidad de jugo y actividad de clorofila en la variedad Mex 79-431 de *Saccharum* spp., ciclo plantilla bajo diferentes fuentes de fertilización en Tabasco, México.

No.	Tratamientos	Plantilla	Soca	Calidad del jugo de caña plantilla				Clorofila (Spad)
		(t de tallo ha ⁻¹)		Sacarosa (%)	°Brix	Pureza (%)	Azúcares reductores (%)	
1	Testigo	69.2a [†]	99.5 a	8.61a	18.5a	46.2a	0.77ab	26.0a
2	<i>C. cajan</i>	38.4b	93.5 a	9.25a	19.1a	48.5a	0.96ab	25.9a
3	<i>C. ensiformis</i>	51.5ab	124.0 a	9.62a	18.2a	52.7a	0.79ab	23.8a
4	FQ 120-80-80	71.7a	101.7a	9.52a	19.4a	49.0a	0.77b	29.4a
5	Composta 10 t ha ⁻¹	77.1a	95.2 a	9.40a	19.0a	49.2a	1.53a	29.0a
6	Composta 15 t ha ⁻¹	70.5a	107.2 a	10.12a	18.7a	53.7a	1.13ab	26.1a
7	Composta 20 t ha ⁻¹	76.1a	104.0 a	9.25a	19.3a	48.0a	0.68b	26.9a
8	Biofertilizantes	71.0a	99.5 a	9.90a	18.6a	53.2a	1.15ab	27.9a
9	FQ 120-80-80 L	-	95.2 a	-	-	-	-	-
Media		67	102.2	9.46	18.8	50	0.97	27
CV (%)		17	16.5	13	7	10	33	9
Prob de F. Trat.		0.01**	0.33NS	0.80NS	0.92NS	0.37NS	0.01**	0.06NS
DMS		26	40.6	2.9	3.2	12.3	0.76	5.7

[†] Medias con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$). NS no significativo, ** altamente significativo.

CONCLUSIONES

Respecto a parámetros nutrimentales y de crecimiento, la fertilización orgánica es una fuente alternativa para sustituir a la de fuente química en la variedad Mex 79-431. El suelo Cambisol flúvico (Arcílico Eútrico) es de mediana fertilidad, pero es necesario un programa de fertilización para conservar sus propiedades a mediano y largo plazo. La variedad de caña evaluada presentó buen crecimiento, ya que su relación paja: tallo fue de 0.33, se determinó que las demandas nutricionales del cultivo de caña son $K > N > P$. La especie *C. ensiformis* en el tratamiento de siembra de 30 cm presentó mayor competencia con la caña que *C. cajan*, pero redujo la población de malezas. Para el ciclo plantilla y soca no se observaron diferencias significativas; las medias de rendimiento fueron 67 t ha⁻¹ y 102 t ha⁻¹ respectivamente. La calidad de los jugos en plantilla y soca, no fueron modificada por las fuentes de fertilización. Para el ciclo de soca se observaron deficiencias de N y K en tejido foliar y suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité de Producción y Calidad Cañera del Ingenio Presidente Benito Juárez, por el financiamiento para esta investigación. Al Sr. Ovidio Córdova Gamas por la parcela donde se estableció el experimento.

LITERATURA CITADA

Arreola E.J., Palma L.J.D., Salgado G.S., Camacho Ch. W., Pastrana A.

I. 2004. Efecto de Cachaza enriquecida sobre la producción y la calidad de la caña de azúcar. *TERRA* 22: 351-357.

Cañeros. 2016. Unión nacional de cañeros A.C. CNPR. Disponible en: <http://www.caneros.org.mx/estadisticas.html> (Fecha de consulta: 07/01/2016).

Córdova-Sánchez S., Cárdenas-Navarro R., Peña-Cabriales J.J., Salgado-García S., Castelán-Estrada M., Lobbit-Phellipe C., Vera-Núñez J. A. 2013. Fijación biológica de nitrógeno por cuatro fabáceas en suelos ácidos de Tabasco, México. *Rev. FCA UNCUYO*. 45: 01-09.

Gava J.C.G., Silva M.A., Ocheuze T.P.C., Vitti, A. C., Penati, C.P., Caputo M.M. 2006. Acumulación de fitomasa y macronutrientes en rebrotes de caña de azúcar cultivados en suelos cubiertos por paja. *In: Memorias del VI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latino América y el Caribe, ATALC*. Guayaquil, Ecuador. p 1-9.

Hernández M.G.I., Salgado G.S., Palma-López D.J., Lagunes E.L.C., Castelán E.M., Ruiz R. O. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de Nutrientes en caña de azúcar en un Gleysol Mólico de Chiapas, México. *Interciencia* 29: 855-860.

Pérez O., Hernández F., López A., Balaña P., Solares E. 2007. El uso de abonos verdes como alternativa para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo de la caña de azúcar. *ATAGUA*. Edición julio-septiembre. Guatemala. p 6-10.

Salgado G.S., Lagunes E.L.C., Núñez E.R., Ortiz G.C.F., Bucio A.L., Aranda I.E.M. 2013. CAÑA DE AZÚCAR: Producción sustentable. BBA, Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México D.F. 520 p.

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-Rosad, 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. AIA 15: 45-65.

Salgado G.S., Núñez E.R., Peña C.J.J., Etchevers B.J.D., Palma L.D.J., Soto H.M.R. 2003. Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. Interciencia 28: 576-580.

Singh, A.K., Lal, M. 2007. Assessment of system productivity, cane physiology and economic viability of sugarcane (*Saccharum* complex hybrid)-based crop diversification options through on station and on-farm trials. Indian Journal of Agricultural Sciences 77: 866-869.



CERTIFICACIÓN FITOSANITARIA DE VITROPLANTAS DE *Saccharum* spp., PARA ESTABLECER SEMILLEROS BÁSICOS

PHYTOSANITARY CERTIFICATION OF VITROPLANTS OF *Saccharum* spp., TO ESTABLISH BASIC SEEDBEDS

Bello-Bello J. J.^{1*} y Flores-Revilla C.²

¹ Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, C. P. 94946, Veracruz, México.

² Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar, Río Niágara No 11-1, Col. Cuauhtémoc, C.P. 06500, D.F., México.

*Autor responsable: jericobello@gmail.com

RESUMEN

El saneamiento y propagación *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es importante para la obtención de semilleros certificados: planta libre de patógenos, genéticamente homogénea y vigorizada. Se describe el proceso de certificación para la producción de plántula de caña de azúcar ante el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), utilizando Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV) para el establecimiento de semilleros básicos y certificados. Se utilizaron ápices como explantes sometidos a termohidroterapia y cultivados *in vitro* en medio semisólido Murashige y Skoog con reguladores de crecimiento para inducir la regeneración celular y se aplicaron nanopartículas de plata para eliminar enfermedades. Después de tres subcultivos, se tomaron brotes como muestra de material vegetal y fueron enviadas al Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (CNRF) para su diagnóstico, resultando negativo para las principales enfermedades de caña de azúcar. Finalmente, los brotes fueron transferidos a Biorreactores de Inmersión Temporal para su multiplicación a gran escala para establecer semilleros básicos y certificados.

Palabras clave: Micropropagación, Sanidad vegetal, vitroplanta.

ABSTRACT

The *in vitro* sanitation and propagation of sugar cane (*Saccharum* spp.) is important to obtain certified seedbeds for plants that are free of pathogens, genetically homogeneous and invigorated. The process of certification of sugar cane seedling production is described, before the National Service for Agrifood Sanitation, Innocuousness and Quality (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SENASICA), using Plant Tissue Cultivation (PTC) for the establishment of basic and certified seedbeds. Apices were used as explants subjected to thermos-hydrotherapy and were cultivated *in vitro* in semisolid Murashige and Skoog medium, with growth regulators, to induce cellular regeneration, and silver nanoparticles were applied to eliminate diseases. After three sub-cultivations, buds were taken as samples of plant material and sent to the National Center for Phytosanitary Reference (Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, CNRF) for their diagnosis, and it was negative for the principal sugar cane diseases. Finally, the buds were transferred to Temporary Immersion Bioreactors for their large-scale multiplication to establish basic and certified seedbeds.

Keywords: Micropropagation, plant sanity, vitroplant.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 35-39.

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

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es uno de los más importantes en la economía de México. Sin embargo, su producción está caracterizada por bajo rendimiento en campo debido, entre otras causas, a la escasa renovación de plantaciones por la falta de material vegetativo certificado. De acuerdo a Flores (2001), las variedades de caña envejecen con el transcurso de los años, perdiendo poder productivo, el cual pueden llegar a deteriorarse y finalmente desaparecer del cultivo comercial. En México, la mayor parte de la semilla vegetativa es propagada por métodos convencionales mediante siembra de esquejes que contienen yemas, sin embargo, esto no garantiza el saneamiento y rejuvenecimiento de las variedades seleccionadas en campo. Una alternativa es el uso de las técnicas de Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV), para obtener plantas rejuvenecidas, genéticamente homogéneas y libres de plagas y enfermedades. En caña de azúcar, mediante técnicas de micropropagación o clonación *in vitro* de plantas, se puede llegar a tener un suministro de material vegetal de manera constante, a diferencia de la propagación vegetativa convencional, que es de naturaleza estacional. La micropropagación ha permitido la rápida multiplicación de nuevas variedades, el rejuvenecimiento de variedades deterioradas y la facilitación del transporte de material vegetal (Lal *et al.*, 2014). Sawant *et al.* (2014) mencionan que la micropropagación de caña de azúcar aumenta la productividad en campo (hasta 25%) y el rendimiento en azúcar por unidad de superficie. Estas ventajas han permitido la explotación comercial de la micropropagación en la industria azucarera a nivel mundial (Pandey *et al.*, 2011). Actualmente los avances biotecnológicos han permitido hacer de la micropropagación en caña de azúcar una técnica rentable. En México, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), dependencia de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV-SAGARPA), certifica los procedimientos para la obtención de vitroplantas de caña de azúcar libre de plagas y enfermedades, y determina los requisitos necesarios para la certificación fitosanitaria relacionada al cultivo *in vitro* de la misma bajo la Ley Federal de Sanidad Vegetal en el Artículo 7 fracción XIII, XIX y XXI; 19 Fracción I incisos f, g, h, k y Normas Oficiales Fitosanitarias NOM-016-FITO 1995 y NOM-036-FITO-1995. Para obtener la certificación, un laboratorio debe cumplir una serie de requisitos que demuestren la capacidad técnica, organizativa y sanitaria para la producción de material vegetal *in vitro*. En este sentido, el objetivo de este trabajo

fue obtener la certificación de procedimientos para la producción de vitroplantas de caña de azúcar libres de plagas y enfermedades mediante técnicas de cultivo *in vitro* en dos laboratorios de CTV de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron ápices como explantes y fueron sometidos a termohidroterapia. Posteriormente, los meristemos fueron extraídos bajo condiciones asépticas y cultivados *in vitro* en medio semisólido Murashige y Skoog (1962) conteniendo 2 mg L⁻¹ de benciladenina, para inducir la regeneración celular, y 50 mg L⁻¹ de nanopartículas de plata para la eliminación de enfermedades. Se solicitó ante SENASICA la certificación del laboratorio de CTV del Colegio de Postgraduados (COLPOS) *Campus* Córdoba y el Laboratorio de CTV del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA). El SENASICA emitió una serie de requisitos que debían cumplir los laboratorios para su certificación. Se presentó una evidencia documental y presencial de los requisitos. El SENASICA envió un evaluador en sitio para verificar los criterios de evaluación requeridos en la certificación. El evaluador (Jefe del Departamento de Cuarentena y Saneamiento) del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (CNRF), evaluó las instalaciones de los Laboratorios, sus procedimientos y realizó la toma de muestras de material vegetal para el diagnóstico fitosanitario de las plagas y enfermedades cuarentenarias reglamentadas en la NOM-016-FITO-1995 (Cuadro 1).

Finalmente, el evaluador emitió una lista de sugerencias y recomendaciones para obtener la certificación de los laboratorios. La Figura 1 muestra el proceso para obtener el certificado fitosanitario de cumplimiento de la NOM-016-FITO-1995 y de producción de material vegetal *in vitro*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los requisitos, y recomendaciones emitidas por el evaluador fueron atendidos satisfactoriamente. Los diagnósticos realizados por el CNRF con número de orden 56677 y 86507, para el COLPOS *Campus* Córdoba y el CIDCA respectivamente fueron negativos para todas las enfermedades (Cuadro 2), por lo que se obtuvo la certificación para la producción de vitroplántulas de caña de azúcar para ambos laboratorios. A la fecha, los laboratorios de CTV del *Campus* Córdoba y el CIDCA, cuentan con la certificación de los métodos empleados en cultivo *in vitro* de plantas de caña de azúcar en México, con la

Cuadro 1. Organismos plagas cuarentenarias reglamentadas en la NOM-016 FITO-1995 para material vegetal de *Saccharum* spp., libre.

Nombre Común	Nombre científico
Escama de la caña de azúcar	<i>Aulascaspis tegalensis</i>
Chicharrita de la caña de azúcar	<i>Perkinsiella sacharicida</i>
Cicadela de la caña de azúcar	<i>Pyrrilla perpusilla</i>
Barrenador manchado del tallo	<i>Chilo partellus</i>
Barrenador de la caña de azúcar	<i>Eldana saccharina</i>
Barrenador púrpura del tallo de la caña de azúcar	<i>Sesamia inferens</i>
Piojo harinoso de Kenya	<i>Planococcus kenyae</i>
Taladrador gigante de la caña de azúcar	<i>Castnia licoides</i>
Mildiú suave de la caña de azúcar	<i>Peronosclerospora sacchari</i>
Gomosis de la caña de azúcar	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vasculorum</i>
Raquitismo de las socas	<i>Leifsonia xyli</i> ssp. <i>xyli</i>
Cancro bacteriano	<i>Dickeya chrysanthemi</i>
Marchites bacteriana	<i>Pantoea stewartii</i>
Escaldadura de la hoja	<i>Xanthomonas albilineans</i>
Virosis	<i>Sugar Cane Streak Virus</i> .
Virosis	<i>Sugarcane Sereh virus</i>
Cuervo de la caña de azúcar	<i>Sphacelotheca erianthi</i>
Cuervo de la caña de azúcar	<i>Sphacelotheca macrospora</i>
Carbón de la caña de azúcar	<i>Ustilago scitaminea</i>

certificación 01/2016/COLPOS y 02/2016/CIDCA respectivamente. Una vez obtenida la certificación, se inicia con la producción masiva de vitroplantas mediante Biorreactores de Inmersión Temporal semiautomatizados (Figura 2).

De acuerdo a Caamal-Velázquez y Bello-Bello (2014), con plántulas certificadas es posible establecer un semillero básico con aproximadamente 10,000 vitroplántulas por hectárea, y después de 7-8 meses de desarrollo, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad: Sanidad vegetal: libres de plagas y enfermedades; Alta pureza varietal: no haber más de una variedad dentro del semillero; Homogeneidad genética: sin presencia de variantes genéticas (mutaciones). Si las plantas obtenidas del semillero básico cumplen con los requisitos de calidad, entonces

podrán ser utilizadas para formar parte de un semillero semicomercial certificado; y el área de cultivo para éste es diez veces mayor que el semillero básico y deben cumplirse los criterios mencionados para pasar a semillero comercial certificado. Este se establece con material proveniente de la plantilla o de la primera soca de un semillero semicomercial certificado. Finalmente la plantación comercial provendrá de la plantilla o soca de un semillero comercial certificado (Figura 3).

CONCLUSIONES

En México, la certificación fitosanitaria de laboratorios dedicados a la micropropagación comercial de plantas no ha sido completamente aprovechada. Un laboratorio certificado permite la producción masiva de plantas libres de plagas, además, estas unidades de producción pueden ser utilizadas para la conservación *in vitro* de germoplasma, programas de mejoramiento genético, biotecnológico e intercambio de variedades con otros países.

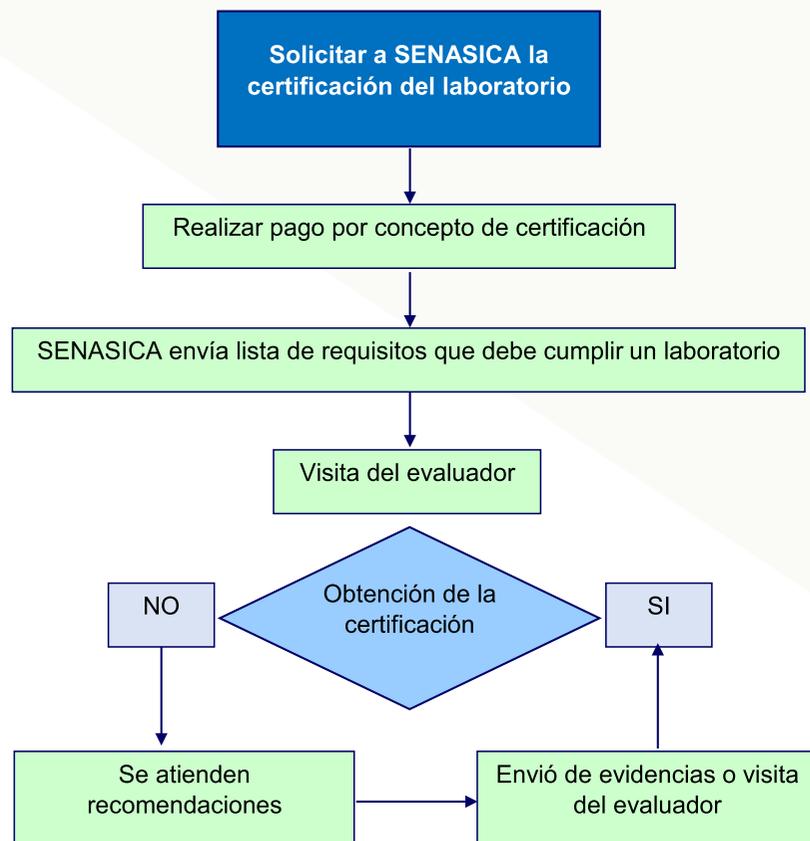


Figura 1. Proceso para obtener la certificación fitosanitaria de un laboratorio de cultivo de tejidos vegetales.

Cuadro 2. Resultados del diagnóstico fitosanitario de dos laboratorios de cultivo de tejidos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Nombre científico	Método de detección	Laboratorio	
		Campus Córdoba	CIDCA
<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>vasculorum</i>	Aislamiento+ Patogenicidad+ bioquímicas PCR	Negativo	Negativo
<i>Leifsonia xyli</i> ssp. <i>xyli</i>	Aislamiento+ Patogenicidad+ bioquímicas	Negativo	Negativo
<i>Xanthomonas albilineans</i>	Aislamiento+ Patogenicidad+ bioquímicas PCR+ Secuenciación ELISA	Negativo	Negativo
<i>Dickeya chrysanthemi</i>	Aislamiento	Negativo	Negativo
<i>Pantoea stewartii</i>	Aislamiento ELISA	Negativo	Negativo
<i>Ustilago scitaminea</i>	Cámara húmeda-PDA+ Monosporicos+ Esteromicroscopio y compuesto+ claves taxonómicas	Negativo	Negativo
<i>Peronosclerospora sacchari</i>	PDA+ Monosporicos+ Esteromicroscopio y compuesto+ claves taxonómicas	Negativo	Negativo
<i>Sphacelotheca erianthi</i>	PDA+ Monosporicos+ Esteromicroscopio y compuesto+ claves taxonómicas	Negativo	Negativo
<i>Sphacelotheca macrospora</i>	PDA+ Monosporicos+ Esteromicroscopio y compuesto+ claves taxonómicas	Negativo	Negativo
Sugar Cane Streak Virus.	RT-PCR	Negativo	Negativo
Sugarcane Sereh virus	RT-PCR	Negativo	Negativo



Figura 2. A: Micropropagación de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en biorreactores de Inmersión Temporal semiautomatizados. B: Plántulas aclimatadas obtenidas de laboratorios certificados para la producción de material vegetal de caña de azúcar.

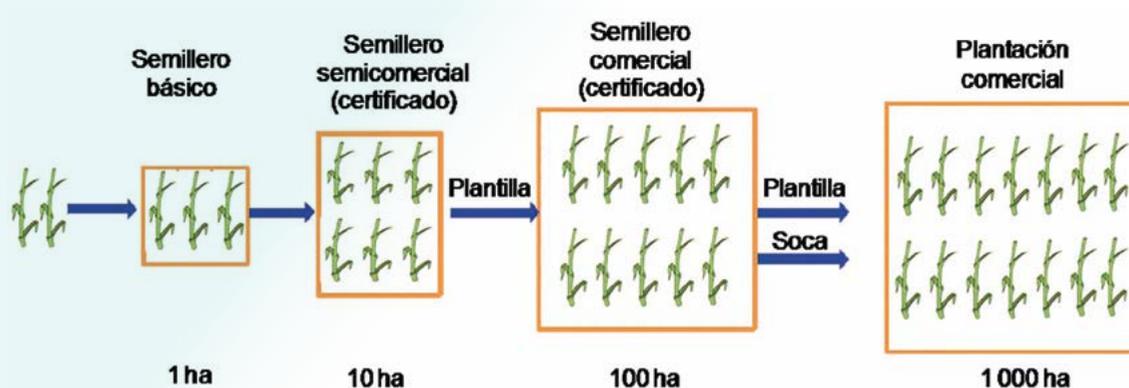


Figura 3. Proceso para establecer y aprovechar los semilleros básicos, semicomerciales y comerciales de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

AGRADECIMIENTOS

Al Comité Técnico Administrativo del CIDCA, A. C. y al Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA) por su apoyo y facilidades brindadas.

LITERATURA CITADA

- Caamal-Velázquez J.H., Bello-Bello J.J. 2014. Micropropagación de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Colegio de Postgraduados. México. 23 p.
- Flores C.S. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. 1ª. Ed ATAM. México. 238 p.
- Lal M., Tiwari A.K., y Gupta G.N. 2015. Commercial Scale Micropropagation of Sugarcane: Constraints and Remedies. *Sugar Tech* 17: 339-347.
- Murashige T., Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum* 15:473-497.
- Pandey R.N., Rastogi J., Sharma M.L., Singh R.K. 2011. Technologies for cost reduction in sugarcane micropropagation. *African Journal of Biotechnology* 10: 7814-7819.
- Sawant R.A., Tawar P.N., Meti N.T., Ranjekar P.K. 2014. Role of Sugarcane Micropropagation for Production of Quality Seed. *International Journal of Recent Biotechnology* 2: 34-41.



EFECTIVIDAD Y RENTABILIDAD DE TÉCNICAS DE SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

EFFECTIVENESS AND PROFITABILITY OF SOWING TECHNIQUES FOR SUGAR CANE (*Saccharum* spp.)

**Ortiz-Laurel, H.^{1*}; Rosas-Calleja, D.¹; Dietmar Rössel-Kipping, D.¹;
Sergio Salgado-García, S.¹; Debernardi de la Vequia, H.¹**

Colegio de Postgraduados. LPI-2 Agroecosistemas Sustentables-Grupo MASCAÑA. km. 36.5,
Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, 56230, Estado de México, México.

***Autor de correspondencia:** hlaurel@colpos.mx

RESUMEN

Las superficies cultivadas con caña de azúcar (*Saccharum* spp.) requieren y deben ser renovados, aunque es en esta etapa donde la experiencia de producir caña de azúcar debe expresarse; adecuando e incorporando tecnologías y metodologías novedosas. A pesar del rezagado tecnológico que vive el sector cañero en ciertas áreas de México, éste no debe ser obstáculo para mejorar tareas y procesos, cuando el objetivo de producir debe ser incrementar rendimientos y rentabilidad del cultivo. Con el propósito de orientar a los actores, este documento examina aspectos básicos y tecnologías de actualidad que intervienen en la siembra de la caña de azúcar, considerada una actividad clave para mejorar la productividad del cultivo.

Palabras clave: Cultivo de caña, siembra, plántulas de caña

ABSTRACT

The surfaces cultivated with sugar cane (*Saccharum* spp.) require and must be renovated, although it is in this stage when the experience from producing should be expressed, adapting and incorporating innovative technologies and methodologies. Despite the technological backwardness in the sugar cane sector of certain areas in México, it should not be an obstacle to improve the tasks and processes, when the objective of producing must be increasing the crop's yields and profitability. With the purpose of orienting the actors, this document examines basic aspects and current technologies that intervene in sugar cane planting, which is considered a key activity to improve the crop's productivity.

Keywords: Productivity, sowing topology, sowing bed, best practices.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo. 2016, pp. 40-47.

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



INTRODUCCIÓN

México es el séptimo productor mundial de azúcar y la industria azucarera Mexicana es una de las más importantes debido a su impacto económico y social, generando más de 2.5 millones de empleos; se desarrolla en 227 municipios de 15 entidades federativas, con un valor de producción primaria de alrededor de 30 mil millones de pesos. En México existen 55 ingenios que procesaron caña de azúcar procedente de alrededor de 790 000 ha en la zafra 2013/2014, que produjeron 6000,000 toneladas de endulzante por zafra y cuyo rendimiento promedio fue de 69 t ha⁻¹ (CONADESCA, 2014), sin embargo, los bajos precios del azúcar, altos costos de producción del cultivo y bajos rendimientos, están obligando a que los productores revisen cuidadosamente como es cultivada la caña de azúcar. Este análisis permitirá identificar áreas o actividades susceptibles de mejora, que conlleven a lograr ahorros y optimizar la productividad del cultivo. En el logro de este objetivo intervienen varios factores, tales como, mejorar y aplicar prácticas de campo, nuevas variedades resistentes a plagas y de alto rendimiento y cosecha de caña cruda, entre otros. La preparación del suelo para acondicionar una adecuada cama de siembra para la semilla de caña y la siembra misma han sido identificadas como áreas donde los costos pueden reducirse. La siembra es el primer paso para lograr el desarrollo y rentabilidad del cultivo (Yadav *et al.*, 2003). Esta es una de las etapas de producción de caña de azúcar que demanda más conocimiento técnico y planificación apropiada, ya que las decisiones tomadas en repercuten a lo largo

del ciclo de producción, el cual se extiende de 5 a 8 años, además de su alto costo, pudiendo variar de \$18,000.00 a \$24,000.00 por hectárea. Se ha querido minimizar el costo aduciendo de que se prorratea durante los años de permanencia de la caña en campo, afirmando que el costo de producción es menor al de un cultivo anual (Molin *et al.*, 2013). En México, este costo incluye; costo de semilla, corte y traslado, destrucción de cepas viejas y prácticas de preparación del suelo, acondicionamiento de semilla (desinfección y tratamientos), siembra, fertilización y tapado de la semilla, todos estos factores varían tanto en calidad como en cantidad, dependiendo de la región. Generalmente se emplean prácticas de labranza innecesaria, inadecuada y en muchos casos insuficientes, lo cual contribuye a que el suelo carezca de la condición apropiada y escasa humedad, lo que ocasiona una germinación desde deficiente a irregular. Para remediar estas inconsistencias en esta etapa, obligará a realizar tareas de último minuto para tratar de corregir lo faltante, de ahí los bajos rendimientos, además de que agrava el problema de altos costos de producción. En un esquema de explotación industrial del cultivo de la caña de azúcar, las necesidades de renovación de los cañaverales deben ofrecer solución a los siguientes contratiempos; a) La disminución gradual de los rendimientos, b) Los daños ocasionados consecutivamente durante la cosecha, c) A la adecuación de los campos para la introducción de nuevas técnicas de producción y d) Al incremento en los problemas sanitarios. Tradicionalmente, la caña de azúcar es sembrada a partir de un tallo o una porción de tallo maduro de caña (Salassi *et al.*,

2004). En México, el proceso de la siembra de caña de azúcar es semi-mecanizado, que incluye operaciones manuales y mecanizadas, que no siguen un orden específico. Esta división de actividades genera inconvenientes y deficiencias operativas entra cada una de las tareas involucradas; requiriéndose primeiramente, el aseguramiento y suministro de alrededor de 12-18 t ha⁻¹ de material vegetativo apropiado, que regularmente es proporcionado por tallos de caña vigorosos y completos, así como su corte y traslado hacia el sitio de siembra (Figura 1). En segundo lugar, este proceso demanda mucha mano de obra y aunque se podría especular que esto contribuye a realizar una siembra eficaz y con mayor cuidado, el resultado difiere mucho de la realidad, ya que la germinación no es uniforme y tampoco se tiene un prendimiento vigoroso del cultivo.

En sí, la siembra de caña de azúcar consiste en tirar manualmente los tallos de la semilla en el fondo de surcos previamente formados con maquinaria. Los tallos, algunos de hasta dos metros se acomodan para que exista traslape. Un trabajador camina sobre el surco y con machete corta los tallos en trozos pequeños (dos a tres yemas), aunque la decisión del tamaño de los trozos no esta del todo claro, muy probablemente éste está dictado en términos económicos – trozos largos, menos tiempo de la tarea y menor costo. Finalmente, los trozos son cubiertos con suelo y como se observa en la Figura 2, se arrastra suelo seco de los costados del surco al mismo tiempo que el trabajador lo compacta, al pisar el suelo sobre la semilla. En México, la siembra de la caña de azúcar en la que se utilizan medios mecánicos, se le considera



Figura 1. Corte y carga manual de semilla de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

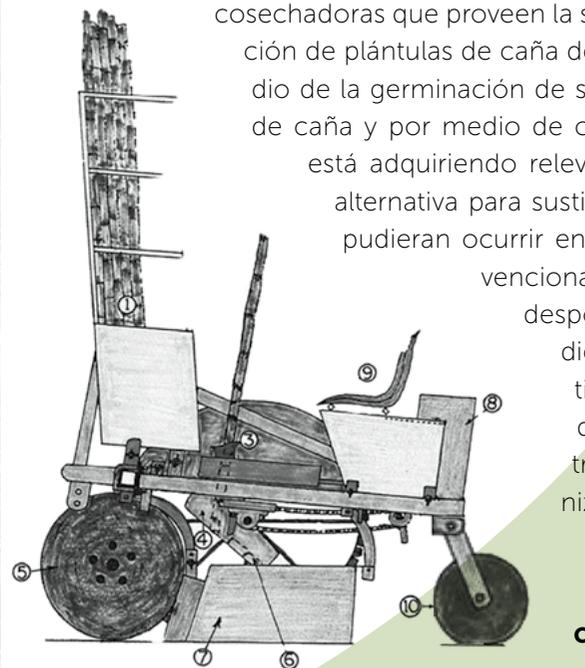


Figura 2. A-B: Colocación de semilla de caña de azúcar en surcos y operación de su tapado. C: Esquema de máquina picadora-sembradora de trozos de caña de azúcar.

aún una práctica no totalmente explorada y aunque, se le cataloga como innovadora, no se dispone de muchas experiencias. Las primeras máquinas de siembra de caña únicamente colocaban y cubrían con suelo los trozos. Aunque requerían que los surcos ya estuvieran formados y la tarea de la fertilización se realizaba por una máquina adicional.

En su siguiente etapa, la máquina sembradora llevan los tallos enteros de semilla y normalmente dos trabajadores alimentan esos tallos dentro de un mecanismo que los corta en trozos de alrededor 300 mm de largo, los que son depositados en el fondo del surco que la misma máquina abre con una reja surcadora en su parte anterior (Figura 2 B). Los trozos de caña se traslapan en dos hileras. Simultáneamente, se puede agregar fertilizante y con el uso de discos cubridores se tapa la semilla. Algunos países cañeros han impulsado la siembra mecanizada integral, minimizando la mano de obra, utilizando máquinas sembradoras que realizan todas las labores (Ripoli y Ripoli, 2010; Robotham, 2004). Generalmente, estas máquinas manipulan trozos de caña, los cuales son proporcionados mediante un sistema de cosecha mecanizada (Nova Vargas, 2009). Sin embargo, a pesar de tener más de una década de experiencia, aún no se ha logrado reducir la cantidad de semilla requerida, más bien se ha duplicado (Robotham, 2004). Este incremento en la dosificación/densidad de semilla no ha repercutido en un incremento en el rendimiento y por lo general la semilla

presenta daños, lo que afecta la germinación, debido principalmente a un manejo deficiente de las cosechadoras que proveen la semilla. La obtención de plántulas de caña de azúcar por medio de la germinación de semilla, de yemas de caña y por medio de cultivo de tejidos, está adquiriendo relevancia como una alternativa para sustituir las fallas que pudieran ocurrir en la siembra convencional y para cubrir la despoblación que pudiera afectar al cultivo (Viveros y Calderón, 1995). El trasplante mecanizado de plántulas



puede realizarse como una actividad de siembra. Una de las mayores ventajas es que las plantas ya están germinadas y con altura de 25 cm en promedio aseguran un prendimiento superior a 96%, una distribución uniforme y paralela en el surcado y además el equipo puede aplicar de manera directa a las plántulas productos fitosanitarios y agroquímicos, que coadyuvan al prendimiento y nutrición de la planta al momento de la siembra, lo cual reduce gastos de operación (Lopes Garcia, 2008; Naik *et al.*, 2013). El propósito de este trabajo fue analizar los principales aspectos de la siembra de caña de azúcar en México, que incluyen la preparación del suelo; haciendo énfasis en comparar la efectividad de la siembra convencional o semi-mecanizada (también llamada manual) con la siembra mecanizada con máquinas sembradoras que realizan todas las labores de forma integral y del trasplante mecanizado de plántulas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los campos de caña de azúcar productivos requieren plantaciones eficientes, lo que se logra con semilla apropiada, variedades adaptadas a las condiciones de suelo y ambientales predominantes en campo, sin dejar de lado la importancia de una adecuada preparación del suelo. La densidad de siembra más común es de 10 a 12 yemas por metro lineal con un espaciamiento entre los surcos que varía de 1.2 m a 1.5 m, dependiendo de la preferencia de los productores, la aprobación por los técnicos y la región de producción (Gould *et al.*, 2003).

Preparación del suelo y siembra manual

La preparación de una cama de siembra tiene como fin acondicionar el suelo, hasta lograr una condición tal que le proporcione una calidad óptima para ofrecer las mejores oportunidades de germinación de la semilla, una emergencia satisfactoria y el desarrollo de una planta de caña saludable (Robotham, 2004). Aunque no se sigue una secuencia regular de actividades en la preparación del suelo; cada ingenio sigue su propio ritual de tareas, a las que se les considera imprescindibles. Idealmente, cualquier actividad de manipulación de suelo debe regirse en función del tipo de suelo y condición predominante, al cual se le deben de aplicar técnicas de labranza racional y sustentable (Ortiz Laurel y Rössel Kipping, 2007). Para esto último, todas las semillas demandan una condición física adecuada del suelo, por lo que suelos diferentes; requerirán diferentes tratamientos e igualmente diversas herramientas agrícola-

las para proporcionar esas condiciones, de aquí que la disponibilidad de máquinas e implementos apropiados es por demás vital. Por lo general, es común encontrar que, posterior al volteado o destrucción de la cepa de caña vieja, la preparación del suelo está constituida por las tareas de paso arado de discos para el barbecho, seguido de la rastra de discos (usualmente se sugieren de dos a tres pasadas), subsuelo (usualmente se sugiere cruzado), y el objetivo de todas éstas es, descompactar y conseguir una estructura adecuada del suelo, y la formación de los surcos. Finalmente, el surcado del terreno el cual consiste en abrir surcos donde serán colocados los tallos de la caña. Esta labor se realiza utilizando tractores que llevan acoplados dos o más rejas surcadoras (mariposas), que al ser arrastradas forman los surcos (Ortiz Laurel y Rössel Kipping, 2007). Por un lado, existe la creencia popular de que la profundidad de siembra debe ser grande para cubrir adecuadamente la semilla con suelo, por lo que es común encontrar que la profundidad de los surcos varía de 200 a 300 mm. Esto sin lugar a dudas, consume grandes cantidades de combustible y la operación es lenta por la cantidad de suelo a mover, además de que es posible encontrar que, una vez realizado la primera línea de surcos, se utilice un surco de éstos como referencia para formar los próximos surcos, disminuyendo la productividad hasta en 50% y en casos extremos se repite una pasada sobre los surcos recién formados, argumentando que es benéfico para la caña disponer de surcos bien construidos. Sin embargo, ajeno a todo lo anterior el surcado se realiza con demasiada anticipación a la siembra de la caña; así con los surcos expuestos al ambiente provoca la pérdida de humedad, principalmente en los costados que es el suelo que cubrirá a las semillas. Una vez más, el desconocimiento de técnicas para mejorar esta labor, la carencia de accesorios mecánicos adecuados y de una programación satisfactoria, limitan la efectividad de una buena siembra, así como el que se facilite la brotación y emergencia uniforme e incrementando innecesariamente los costos. De igual manera, una siembra efectiva no se ejecuta con sólo disponer de la semilla "madre" adecuada y tampoco por el simple tirado de los tallos de caña en los surcos, por lo que conviene señalar los tipos de técnicas para colocación de la semilla; en función de las variedades y del tipo y condición de los suelos de la región cañera (Figura 3), cuya finalidad es obtener una densidad adecuada, amacollamiento apropiado y población de tallos significativa para asegurar un rendimiento previsible (Serafim *et al.*, 2013). Una vez concluido este proceso, se puede



Figura 3. Diversas formas de arreglo de la semilla de caña de azúcar para su siembra.

agregar algún agroquímico, tapar y consolidar el suelo alrededor de la semilla. Debe evitarse el “tapado” mecánico mediante la improvisación de equipo agrícola, ya que no ha dado resultados satisfactorios, pero si incrementado los costos.

Siembra semi-mecanizada y mecanizada integral

Las agravantes de los bajos precios del azúcar, bajos rendimientos y carencia de experiencias con tecnologías ajenas y aún novedosas en este medio, lanzan señales de una mayor restricción de inversiones en el sector y poco se puede aportar. Por lo que, este tema está fuera del alcance de este documento. El establecimiento del cultivo de caña utilizando plántulas; requiere primeramente de buena prepara-

ción del terreno para asegurar un suelo suelto y para que éste mantenga rápidamente un contacto efectivo con el cepellón de la plántulas y asegurar su prendimiento. Por lo tanto, la ejecución de esta práctica debe programarse escrupulosamente en periodos de alta precipitación y en suelos arcillosos con alta capacidad de retención de humedad, para prever que la maquinaria pueda ingresar al terreno y realizar una buena preparación del suelo. Actualmente, los ingenios y las organizaciones de productores cañeros utilizan estas técnicas de multiplicación para el establecimiento de semilleros y para Incrementar en poco tiempo la cantidad de material de siembra disponible. Aunque por el momento, la utilización de las plántulas se ha destina-

do a cubrir la despoblación de los cañaverales y en los puntos de una nula germinación durante la siembra convencional.

El trasplante de las plántulas en campo se puede realizar tanto de forma manual como mecanizada. Un primer indicador de la eficiencia del proceso es asegurarse que el trasplante sea exitoso; cuando se repuebla el cañaveral la operación se realiza manualmente y cuando se siembra el lote completo la opción viable es mecanizarse para alcanzar ese objetivo, ya que de antemano, la siembra manual es costosa y no del todo satisfactoria (Leonel Bottegam *et al.*, 2013). En el caso de utilizar una trasplantadora, se necesita un tractor agrícola con capacidad suficiente para arrastrar

a una velocidad de trabajo adecuada el número de unidades de trasplante con las que pretenda operar (Rasavi y Namjoo, 2010). Asimismo; la trasplantadora debe calibrarse previamente para conseguir la distancia de siembra deseada, así como, prever que la profundidad de la plántula en el surco sea de 100 mm y asegurar que la plántula debe permanecer firme y en contacto con el suelo.

Un sistema de siembra mecanizada en la que se utilicen plántulas puede asegurar una reducción en los costos de siembra si se compara con la práctica convencional; por un lado, la operación del trasplante se efectúa con mayor rapidez, se logra uniformidad en la profundidad de colocación de las plántulas, lo que puede permitir el rápido desarrollo radicular del cultivo (Naik *et al.*, 2013). Sin embargo, la germinación de las plántulas y la serie de actividades que demanda su manejo hasta alcanzar el porte suficiente para su trasplante en campo, con-

vierten a este sistema en uno de alto costo, laborioso y lento. Romero Márquez y Camarena Ramos (2011) identificaron nueve etapas del proceso completo desde la selección del semillero hasta que la plántula es colocada en campo. Los criterios que se siguen para definir el ancho de separación entre los surcos son iguales a los de la siembra por trozos de caña. Igualmente, los surcos son formados a profundidad similar a la que se utiliza para la siembra con trozos, es decir, de 200 a 300 mm. Apoyados en la experiencia de los centros de multiplicación, en el trasplante la separación entre plántulas es de 700 mm; ya que se consigue la misma población de cepas que en la siembra comercial tradicional (Viveros y Calderón, 1995; Victoria *et al.*, 1997). Esta población garantiza buena producción de tallos, aunque, con variedades de baja capacidad de amacollamiento, esta distancia se puede reducir hasta en 100 mm entre plántulas. Esta técnica entra dentro de la categoría de semi-mecanizada, ya que un operador sentado sobre la máquina coloca las plántulas dentro de los orificios (cuatro a seis) de un carrusel (las plántulas derivadas de esquejes tienen un cepellón de un diámetro de 64 mm y las obtenidas por cultivo de tejidos de 45 mm), el cual gira conforme se avanza sobre el terreno y cuando un orificio coincide con la abertura de descarga, la plántula se desliza hasta el surco recién abierto por la misma máquina y la cual es inmediatamente aprisionada y cubierta con suelo (Figura 4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La competitividad y rentabilidad del cultivo de caña de azúcar se ven afectadas por diversos factores de la producción y atraso tecnológico (Nova Vargas, 2009; Ripoli y Ripoli, 2010; Taghinezhad *et al.*, 2014). El manejo del suelo tiene dos objetivos fundamentales; facilitar el desarrollo del cultivo para obtener ganancias y mantener o mejorar la fertilidad del suelo a largo plazo. Por lo que, una manipulación adecuada del suelo debe proporcionar un medio apropiado en el que las semillas puedan germinar y las raíces puedan crecer y, éste debe suministrar los nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo. Tres aspectos destacan respecto a las necesidades de una buena preparación del suelo para la siembra de caña de azúcar; desconocimiento de la calidad del suelo requerido por la semilla y plántula de caña, desconocimiento de las técnicas de manipulación mecánicas racionales y sustentables para la preparación de una cama de siembra para la semilla y plántula de caña y carencia de equipo mecánico de labranza con herramientas simples o en combinación, para



Figura 4. Evaluación de funcionamiento de un prototipo de trasplantadora en donde destaca la uniformidad de la siembra.

conseguir la mejor preparación del suelo al menor costo, así como la habilidad para seleccionar el equipo en función de la fuente motriz y adaptado a las condiciones y tipo de suelo. Cualquier sistema de siembra mecanizada posee diversas ventajas agronómicas y técnicas cuando es comparada con la no mecanizada, como pueden ser; la conservación de la humedad del suelo influenciada por la exposición de los surcos, temperatura del ambiente y radiación solar, por lo que el equipo debe abrir el surco, depositar la semilla y cerrarlo en la misma pasada, se logra la dosificación simultánea de agroquímicos en la siembra, se reduce la demanda de mano de obra y se consigue una disminución de los costos (Nova Vargas, 2009; Ripoli y Ripoli, 2010; Yadav *et al.*, 2003), siempre y cuando el equipo sea utilizado en al menos, el mínimo de terreno en que su amortización sea viable. Así, una unidad mecánica de trasplante en una jornada de ocho horas puede trasplantar 12000 plántulas. Por lo que, esta eficiencia se puede incrementar colocando dos o más unidades sobre la misma barra de acople de unidades, acorde a la capacidad de la fuente motriz. Las mayores ventajas con este sistema son realizar una excelente selección del material a germinar y selección de las plántulas para ser sembradas, además de que se gana en que la siembra en si ya tiene al menos un mes avanzado

y que en improbables pero aún eventuales fallas en el prendimiento se corregirán rápidamente. El proceso de siembra es rápido; se abre el surco, es posible adicionar fertilizante y coadyuvantes y se cubre el cepellón de la plántula conforme pasa la máquina sobre el terreno y las demandas de mano de obra son bajas. Mientras que del lado negativo la obtención de las plántulas no es económico, debido a todo el proceso involucrado. Por lo que es conveniente realizar un análisis para identificar aquellas etapas con oportunidad de mejora. En este proceso de trasplante, se evaluó la demanda de potencia, el consumo de combustible, la eficiencia en términos de porcentaje y se comparó el ahorro en tiempo y los costos de operación, respecto a la siembra manual por espeque (Cuadro 1). Los resultados de las pruebas mostraron ventajas en el sistema de trasplante mecánico, respecto al manual considerando factores como el prendimiento y tiempo de operación. Otro factor importante fue el bajo consumo de potencia (20.52 kW) por unidad de trasplante.

Con una velocidad de avance promedio de $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la capacidad de campo para las condiciones operativas de las zonas de pruebas, con una separación entre plántulas de 700 mm y una distancia entre surcos de 1.20 m fue de $2.5 \text{ ha}\cdot\text{día}^{-1}$. Por lo que, en términos operativos, es posible recuperar la inversión en un lapso de dos años, teniendo una productividad de al menos $2 \text{ ha}\cdot\text{día}^{-1}$ y operando durante 120 días por temporada. Mientras que, en el trasplante manual con un terreno previamente surcado y con las mismas condiciones de separación de surcos y entre plántulas, se requiere de $18 \text{ jornales}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$. Otro factor importante es el paralelismo del surcado, que para el caso del trasplante mecánico es de 98%, mientras que para el trasplante manual es de 70%, lo anterior es fundamental en las áreas cañeras donde se realiza la cosecha mecánica. Este método puede incorporar aditamentos novedosos para aplicar productos fitosanitarios y agroquímicos justo antes de que el cepellón con las raíces de las plántulas llegue al suelo, además de que, debe cerciorarse de su correcta colocación en el suelo y que asegure el seguro y rápido prendimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

Para estar seguro de tener el mejor establecimiento del cultivo, es recomendable conseguir y utilizar trozos de caña de la más alta calidad y que éstos sean colocados en un suelo que presente las condiciones que promuevan una eficaz brotación y mayor prendimiento. Las deficiencias en una siembra adecuada ocasionan problemas de competencia debido a las malezas, insumos no aprovechados racionalmente y bajos rendimientos de caña y azúcar, además de incremento en costos de

Cuadro 1. Potencia requerida, el consumo de combustible y las eficiencias de la operación del trasplante.

Separación entre surcos (m)	Demanda de potencia (kW)	Consumo de combustible ($\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Eficiencia trasplante mecanizado (%)	Eficiencia trasplante manual (%)
1.20	20.52	13.28	96	90
1.30	20.52	12.35	96	92
1.40	20.52	10.50	96	91

producción del cultivo. No se dispone de una receta perfecta para la siembra de caña de azúcar, pero puede dilapidarse el dinero si el cultivo es pobremente establecido y un cultivo deficientemente sembrado nunca obtendrá el rendimiento de un cultivo bien sembrado. Para conseguir óptimos resultados; la preparación del suelo y siembra deben acompañarse del uso de tecnologías innovadoras y aplicar metodologías oportunas, rentables y sustentables. La prioridad debe enfocarse en que la selección de las técnicas y tecnologías debe realizarse bajo la premisa de maximizar las ganancias, por personal experto y con conocimiento del proceso en su conjunto y que las decisiones no perjudiquen otras operaciones involucradas en el sistema.

LITERATURA CITADA

- CONADESUCA. 2014. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. SAGARPA, México. Estadísticas de la Zafra 2013-2014. www.conadesuca.gob.mx. Acceso 12 de septiembre de 2014.
- Gould J.M., Irey M.S., Larsen J.F., McGahee S.E. 2003. Methods of planting sugarcane seed to achieve a high plant density. Patent No. 6543373B1. U.S.A. 8p.
- Leonel Bottegam E., Luis Muniz R., Legnani Galan G., Guarido R.C., von Linsingen Piazzetta H. 2013. Estimativa do custo horário das operações de campo de dois sistemas de plantio de cana-de-açúcar. *Journal of Agronomic Sciences*. 2(2): 251-259.
- Lopes-Garcia M.A. 2008. Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana de açúcar. Queiroz, Área do Conhecimento: Máquinas Agrícolas, Piracicaba, 2008.
- Molin J.P., Portz G., Rios do Amaral L. 2013. Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection: precision agriculture in sugarcane production. Eds. Oliver, M., Bishop, T. y Marchant, T.B. *Earthscan Food and Agriculture*. Routledge, Reino Unido. 233-242.
- Naik R., Annamalai S.J.K., Vijayan Nair N., Rajendra Prasad N. 2013. Studies on mechanisation of planting of sugarcane bud chip settling raised in protrays. *Sugar Tech*, 15(1): 27-35.
- Nova Vargas J. 2009. Siembra mecanizada de la caña de azúcar en Brasil. *Revista Tecnicaña*. 13(22): 31-36.
- Ortiz Laurel H., Rössel Kipping D. 2007. Herramientas para la Labranza de los Suelos Agrícolas. Colegio de Postgraduados. México. 160 p.
- Razavi J., Namjoo M. 2010. Determination of forward speed effect on planting uniformity in a sugarcane billet planter. Proc. of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR). Paper No. CSBE001142. Quebec City, Canada. 11 p.
- Ripoli M.L.C., Ripoli T.C.C. 2010. Evaluation of five sugar cane planters. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 30 (6):1110-1122.
- Robotham B.G. 2004. Sugarcane planters: characteristics of different types, soil disturbance and crop establishment. Proc. Aus. Soc. Sugar Cane Technol, Vol. 26: 9 p.
- Romero-Márquez M.A., Camarena Ramos J. 2011. Elaboración de plántulas a partir de yemas de caña de azúcar. Ingenio La Margarita, S.A de C.V. 19 p.
- Salassi M.E., Breaux J.R., Hoy J.W. 2004. Estimated cost differences between whole-stalk and billet sugarcane planting methods in Louisiana. *Journal American Society Sugar Cane Technologists*. 24: 250-257.
- Serafim L.G.F., Stolf R., Silva J.R., Silva L.C.F., Maniero M.A., Bassinello A.I. 2013. Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana de açúcar. *STAB, Piracicaba*. 31(3): 21-25.
- Taghinezhad J., Alimardani R., Jafary A. 2014. Design and evaluation of three metering devices for planting of sugarcane billets. *Journal of Agricultural Sciences*. 20:164-174.
- Viveros C.A., Calderón H. 1995. El Cultivo de la Caña de Azúcar en la Zona Azucarera de Colombia: siembra. *CENICAÑA*. 131-139.
- Victoria J., Viveros C.A., Cassalet C., Calderón H. 1997. Establecimiento de Semilleros Limpios. *CENICAÑA*. Cali, Colombia. 20 p.
- Yadav R.N.S., Yadav S., Tejra R.T. 2003. Labour saving and cost reduction machinery for sugarcane cultivation. *Sugar Tech*, 5(1 & 2): 7-10.



EVALUACION A LA ESCALDADURA (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) DE LA HOJA DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum* spp.)

EVALUATION OF SCALDING (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) OF THE LEAF IN SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) CULTIVARS

López-Vázquez, J.J.¹; Valdez-Balero, A.¹; Silva-Rojas, H.V.²; Flores-Revilla, C.³; Rangel-Ortega, C.A.³

¹ Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. ² Colegio de Postgraduados Campus Montecillos.

³ Centro de Investigación y Desarrollo de Caña de Azúcar (CIDCA, AC.).

*Autor de correspondencia: apolonioub@colpos.mx

RESUMEN

La escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson), es una enfermedad que afecta la calidad del jugo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y en clones altamente susceptibles las pérdidas se estiman de 90% a 100%. Se evaluaron 41 clones de caña de azúcar para identificar la menor susceptibilidad a escaldadura, inoculándolos en campo a 120 días después de siembra, con una suspensión bacteriana de 9×10^{-8} ufm ml⁻¹. Se evaluó la incidencia determinada por el número de tallos enfermos con relación al total de la población, y severidad de acuerdo a escalas. El clon COLPOSCTMEX 05-51 presentó incidencia de 35.67% respecto al resto de los tratamientos y el clon YZ 84-7 presentó severidad de 33%, clasificándose como altamente susceptible. Los clones CP 87-1233, MEX 02-16, SP 74-5203, CP 89-2143, EMEX 00-62, MEX 95-3 y MEX 94-192, no presentaron síntomas de la enfermedad, por lo que se clasificaron como resistentes.

Palabras claves: Azúcar, enfermedad, bacteriosis, inoculación, clasificación.

ABSTRACT

Leaf scalding (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) is a disease that affects the quality of the sugar cane juice (*Saccharum* spp.), and in highly susceptible clones the losses are estimated at 90 % to 100 %. Forty-one sugar cane clones were evaluated in order to identify the lowest susceptibility to scalding, inoculating them in the field at 120 days after planting, with a bacteria suspension of 9×10^{-8} ufm ml⁻¹. The incidence determined by the number of sick stems was evaluated, compared to the population total and severity according to scales. The COLPOSCTMEX 05-51 clone presented an incidence of 35.67% with regard to the rest of the treatments and the YZ 84-7 clone presented a severity of 33 %, classifying them as highly susceptible. The clones CP 87-1233, MEX 02-16, SP 74-5203, CP 89-2143, EMEX 00-62, MEX 95-3 and MEX 94-192 did not present symptoms of the disease, so they were classified as resistant.

Keywords: Sugar, disease, bacteriosis, inoculation, classification.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 48-53.

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



INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es uno de los principales cultivos de importancia en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Chastel, 1994). Se cultiva en más de 130 países, siendo Brasil el mayor productor con un aporte del 28% del total de la producción, seguido por la India, China, Tailandia, México y Pakistán (USDA, 2010). México ocupa el quinto lugar a nivel mundial con 786,539 hectáreas sembradas y producción de 51,304,319 toneladas con rendimiento promedio nacional de 69.661 t/ha (SIAP, 2012). Para el subsistema campo, el rendimiento de caña de azúcar ($t\ ha^{-1}$) es la variable clave y es muy importante por su relación directa con la fábrica. La concentración de sacarosa y el contenido de fibra de los tallos dependen de la variedad cultivada, cantidad y disponibilidad de agua, cantidad, calidad y oportunidad en la aplicación de fertilizantes y productos agroquímicos, tipo de suelo utilizado para el cultivo, prácticas de cultivo, condiciones climáticas durante el cultivo y control de plagas. Éstos, junto al rendimiento agroindustrial, son indicadores de la eficiencia en el cultivo de la caña (ISO, 2005). Los principales problemas fitopatológicos asociados al cultivo de la caña son el raquitismo (*Clavibacter xyli*), el síndrome de la hoja amarilla (*Sugarcane yellow leaf virus-ScYLV*), la escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*), la roya café (*Puccinia Melanocephala* H. Sydow y P. Sydow), la roya naranja (*Puccinia kuehnii*), el Carbón (*Sporisorium scitamineum* M. Piependr; M. Stoll y Oberwinkler F.) y el virus del mosaico común (*Sugarcane mosaic virus-ScMV*) (Victoria et al., 1995; 1997), todas clasificadas como limitantes económicas en variedades susceptibles. La escaldadura de la hoja, es una enfermedad de importancia en caña por sus efectos sobre el rendimiento, calidad del jugo y elevadas pérdidas que ocasiona en su fase aguda, estimadas entre el 90% y 100% (Ricaud y Ryan, 1989; Hoy y Grisham, 1994). En variedades moderadamente susceptibles ocasionan pérdidas en los rendimientos de campo que pueden llegar hasta 15% afectando los grados Brix y concentración de sacarosa (Flores 1997; Rott et al., 1997; Lopes et al., 2001; Iglesia et al., 2003; Huerta, 2000 y 2004) y está presente en los países productores de caña (Rott et al., 1995). En México fue detectada en la variedad Mex 64-1487 en 1992 en las zonas de abastecimiento de los ingenios

La Gloria y El Modelo, en Ciudad Cardel, Veracruz, y posteriormente observada en la variedad SP 70-1284 en Tres Valles, Veracruz (Irvine et al., 1993). Los últimos muestreos realizados en los ingenios Santa Rosalía y Benito Juárez en el Estado de Tabasco, México, indicaron que la enfermedad estaba presente en las variedades Mex 68-P-23, Mex 79-431 y CP 72-2086 (Valdez, 2010). Numerosas estrategias han sido evaluadas para intentar disminuir los daños económicos ocasionados por esta enfermedad en diferentes regiones del mundo. No obstante, el uso de variedades resistentes constituye el mejor método de control de la enfermedad. Según Rott et al. (1995), la incidencia de la escaldadura logró disminuirse considerablemente en Australia y en Isla de Guadalupe con la introducción de variedades resistentes. Debido a lo anterior se evaluó la respuesta de 41 variedades de caña de azúcar en fases avanzadas de selección, a la escaldadura de la hoja.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó, en el campo experimental del Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco, ubicado en el Km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am) (93° 35' 36.69" N y 17° 59' 10.20" O) a 10 m de altitud. Se evaluaron 41 variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) de fases avanzadas de selección en diferentes zonas cañeras del país. Se evaluaron en ciclos planta (preliminares) y soca (definitivo) (Cuadro 1) La unidad experimental estuvo conformada por un sur-

Cuadro 1. Variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) evaluadas a la escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson).

Variedad	Variedad	Variedad
CP 94-1674	MEX 91-566	SP 72-4928
SP 83-5073	ITV 92-373	SP 74-5203
COLMEX 95-27	ITV 92-1424	CP 89-2143
COLMEX 94-8	CP 80-1743	LT MEX 94-2
MEX 94-192	EMEX 00-21	LGM 92-65
TCP 89-3493	MEX 95-3	SP 71-6180
YZ 84-7	MEX 95-52	CP 87-1233
MEX 95-104	B 46-492	LT MEX 96-10
B 78-266	SP 80-1816	MEX 69-290 (t+)
MEX 95-60	CXZ 75-644	MEX 68-P-23 (t+)
MEX 96-19	COLPOS CT MEX 05-224	CP 72-2086 (t+)
SP 80-1815	CP 90-1424	MEX 79-431 (t+)
L79-321	MEX 02-16	CO 997 (t-)
EMEX 00-62	COLPOS CT MEX 05-051	

t(+)=testigo positivo, t(-)=testigo negativo.



co de tres metros de largo, sembrado a 1.4 metros entre surcos. Las labores de cultivos se realizaron de acuerdo a lo recomendado para el cultivo por el Ingenio receptor, y se fertilizó con 120N-60P-60K, 350 kg de 17N-17P-17K al momento de la siembra y 150 kg de urea (46% N) al cierre de campo, según lo recomendado por Valdez *et al.* (2009).

Fuente de inóculo

El inóculo fue obtenido en el laboratorio del Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco, donde se aisló y purificó la bacteria a partir de hojas con síntomas de las variedades CP 72-2086, MEX 69-290, MEX 79-431 y MEX 68-P-28 (Figura 1 A).

Inoculación

A 120 días después de sembrada la caña, se realizó la inoculación a las variedades empleando el método decapitado consistente en efectuar un corte transversal con tijeras sobre el cogollo (yema apical) sin llegar al meristemo localizado entre la tercera y cuarta lígula visible (Figura 1 B). Después de realizado el corte se colocó algodón mojado con la suspensión bacteriana de *X. albilineans* a una concentración de 9×10^{-8} ufm ml⁻¹ (Figura 2) con las variables incidencia y severidad.

Incidencia de la enfermedad

La incidencia (%) se determinó de acuerdo a la relación de tallos enfermos con el total de la población (tallos enfermos+tallos sanos). Se utilizó la fórmula:

$$P.I. = 100 \times (\sum TA / \sum TT)$$



Figura 2. Inoculación con la bacteria *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson después del decapitado.



Figura 1. A: Raya fina blanca en la hoja, daño por escaldadura (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson). B: Decapitado del tallo en la tercera lígula visible.

Dónde: *P.I.* = Porcentaje de incidencia de la enfermedad (%); $\sum TA$ = Tallos enfermos; $\sum TT$ = Total de tallos (tallos enfermos+tallos sanos).

La severidad, se determinara mediante la escala propuesta por Chavarria (2006) (Cuadro 2) y la calificación de la reacción se realizó bimestralmente. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SAS, comparación de medias con prueba de Tukey (0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indicaron que existen diferencias significativas productivas entre las variedades COLPOS CT MEX 05-051 (35.67%), LGM 92-65 (29%), B 78-266 (23.67%), EMEX 00-21 (22.33%), **seguida por las variedades** SP 72-4928 (19.33%), MEX 95-60 (18%), COLMEX 95-27 (17.67%), LTMEX 94-2 (16.67), CP 90-1424 (16.33%), ITV 92-1424 (16.33%), L 79-321 (15.67%), YZ 84-7 (15%),

Cuadro 2. Escala de evaluación para escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Grado	Reacción	Descripción
1	Resistente (R)	Sin síntomas visibles
2	Moderadamente resistente (MR)	Rayas blanquecinas o amarillentas en la lámina foliar 1% hasta un 5%.
3	Moderadamente susceptible (MS)	Rayas blanquecinas o amarillentas y /o quemadas 6% hasta un 15% del tejido foliar.
4	Susceptible (S)	Entre un 16 a 30% del área foliar quemada.
5	Altamente susceptible (AS)	Más de un 31% del área foliar quemada y con emisión de brotes laterales

LT MEX 96-10 (15%). SP 80-1815 (14.67%), SP 71-6180 (12.33%), ITV 92-373 (11.33%), COLPOS CT MEX 05-224 (11.33%), CP 72-2086 (11%), SP 80-1816 (11%), CXZ 75-644 (11%), CP 80-1743 (10%).

En menor grado les siguieron las variedades MEX 95-104 (8%), B 46-492 (7.67%), MEX 68 P 23 (7.67%), CP 94-1674 (7.67%), MEX 95-52 (7.33%), SP 83-5073 (7%), MEX 91-566 (5.67%), MEX 79-431 (5.67%), CO 997 (5%), MEX 69-290 (5%), COLMEX 94-8 (3%), TCP 89-3493 (1.67%), MEX 96-19 (1%). **Por último las variedades** MEX 95-3 (0%), CP 89-2143 (0%), SP 74-5203 (0%), CP 87-1233 (0%), MEX 02-16 (0%), EMEX 00-62 (0%), MEX 94-192 (0%) no presentaron síntomas visibles (Cuadro 3).

Rott *et al.* (1995), y Huerta (2000) señalaron a la variedad CO 997 como resistente al registrar 3.5% de incidencia y 2.5% de severidad, sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio indicaron en esta variedad 5% de incidencia y 3% de severidad. A este respecto, Rott *et al.* (1997), indican que si la bacteria no coloniza la parte basal o apical de los tallos de la caña si es resistente. Las variedades MEX 68-P-23 registró incidencia (7.67%) y severidad de 4.33%; MEX 79-431 una incidencia de 5.67% y severidad de 4.33%; la MEX 69-290 con incidencia de 5% y severidad de 2.67%, y bajo las condiciones ambientales de campo, se clasificaron como moderadamente resistente. Sin embargo, Chávez (2000) bajo condiciones ambientales

del estado de Veracruz, clasificó como resistente a las variedades CP 72-2086, Co 997, y tolerantes a las variedades MEX 68-P-23, MEX 69-290 y como moderadamente resistente a la variedad MEX 79-431. La CP 72-2086 en las condiciones ambientales de Tabasco se clasificó como moderadamente susceptible (Figura 2).

La severidad que presentaron las 41 variedades se permitió clasificar en cinco grupos: **Resistente**: CP 87-1233, MEX 02-16, SP 74-5203, CP 89-2143, EMEX 00-62, MEX 95-3, MEX 94-192; **Moderadamente Resistente**: MEX 95-104, SP 83-5073, CP 94-1674, MEX 95-52, MEX 91-566, COLMEX 94-8, TCP 89-3493, MEX 96-19, CO 997, MEX 68-P-23, MEX 79-431, MEX 69-290; **Modera-**

Cuadro 3. Porcentaje de incidencia de variedades evaluadas a escaldadura.

Variedades	Incidencia (%)	Agrupación	Variedades	Incidencia (%)	Agrupación
COLPOS CT MEX 05-051	35.67	A	MEX 95-104	8	EFGHI
LGM 92-65	29	AB	B 46-492	7.67	EFGHI
B78-266	23.67	ABC	MEX 68 P 23 (t)	7.67	EFGHI
EMEX 0021	22.33	BCD	CP 94-1674	7.67	EFGHI
SP 72-4928	19.33	BCDE	MEX 95-52	7.33	EFGHI
MEX 95-60	18	BCDEF	SP 83-5073	7	EFGHI
COLMEX 95-27	17.67	BCDEFG	MEX 91-566	5.67	FGHI
LT MEX 94-2	16.67	BCDEFG	MEX 79-431 (t)	5.67	FGHI
CP 90-1424	16.33	BCDEFG	CO 997 (t)	5	GHI
ITV 92-1424	16.33	BCDEFG	MEX 69-290 (t)	5	GHI
L79-321	15.67	CDEFGH	COLMEX 94-8	3	HI
YZ 84-7	15	CDEFGH	TCP 89-3493	1.67	I
LT MEX 96-10	15	CDEFGH	MEX 96-19	1	I
SP 80-1815	14.67	CDEFGH	MEX 95-3	0	I
SP 71-6180	12.33	CDEFGHI	CP 89-2143	0	I
ITV 92-373	11.33	CDEFGHI	SP 74-5203	0	I
COLPOS CT MEX 05-224	11.33	CDEFGHI	CP 87-1233	0	I
CP 72-2086	11	CDEFGHI	MEX 02-16	0	I
SP 80-1816	11	CDEFGHI	EMEX-0062	0	I
CXZ 75-644	11	CDEFGHI	MEX 94-192	0	I
CP 80-1743	10	DEFGHI			



damente Susceptible: MEX 95-60, COLMEX 95-27, ITV 92-1424, L 79-321, CP 90-1424, LT MEX 96-10, LT MEX 94-2, COLPOS CT MEX 05-224, SP 71-6180, CXZ 75-644, SP 80-1815, SP 80-1816, ITV 92-373, CP 80-1743, B 46-492, CP 72-2086; **Susceptible:** COLPOS CT MEX 05-051, B 78-266, LGM 92-65, EMEX 00-21, SP 72-4928 (Figura 3) y **Altamente Susceptible:** YZ 84-7 (Cuadro 4).

CONCLUSIÓN

Las variedades Co 997, CP 87-1233, MEX 02-16, SP 74-5203, CP 89-2143, EMEX-0062, MEX 95-3 y MEX 94-192 son resistentes a la escaldadura de la hoja de la caña de azúcar causada por la bacteria *Xanthomonas albilineans* y las variedades COLPOS CT MEX 05-051, B 78-266, LGM 92-65, EMEX 00-21, SP 72-4928 son susceptibles y YZ 84-7 es Altamente Susceptible.

LITERATURA CITADA

Chastel J.M. 1994. Le sucre et ses marchés, Agriculture et développement, 4:4-11
 Chavarría S.E. 2006. Escalas Descriptivas para la evaluación de Enfermedades de la Caña de Azúcar. San José, Costa Rica, P.33.



Figura 3. Tallo dañado por *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson de la variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) SP 72-4928.

Chávez M.R. 2000. Resistencia Varietal a la enfermedad de escaldadura de la caña de azúcar (*Xanthomonas albilineans*), Programa Nacional de Variedades del FOCYTCAÑA, México, D.F., 50 pp.
 Flores C.S. 1997. Enfermedades de la caña de azúcar en México. 285 p.
 Hernández R. 2006. Análisis de la competitividad y productividad de las ramas y subramas de la agroindustria en México 1994-2004. Tesis profesional Departamento de Ingeniería agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo.
 Hoy J.W., Grisham M.P. 1994. Sugarcane leaf scald distribution, symptomatology, and effect on yield in Louisiana, Plant Disease, 78:1083-1087.

Cuadro 4. Porcentaje de severidad de 41 variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a la escaldadura (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson).

Variedad	Severidad (%)	Agrupación	Reacción	Variedad	Severidad (%)	Agrupación	Reacción
MEX 94-192	0	J	R	ITV 92-373	7.67	EFGHIJ	MS
EMEX-0062	0	J	R	SP 80-1816	8	EFGHIJ	MS
MEX 95-3	0	J	R	CP 72-2086	8.33	DEFGHIJ	MS
MEX 02-16	0	J	R	SP 80-1815	8.67	CDEFGHIJ	MS
SP 74-5203	0	J	R	CXZ 75-644	9	CDEFGHIJ	MS
CP 89-2143	0	J	R	COLPOS CT MEX 05-224	9.33	CDEFGHIJ	MS
CP 87-1233	0	J	R	SP 71-6180	9.33	CDEFGHIJ	MS
MEX 96-19	0.67	J	MR	LT MEX 94-2	10.33	CDEFGHIJ	MS
TCP 89-3493	1	IJ	MR	CP 90-1424	12.33	CDEFGHIJ	MS
COLMEX 94-8	1.33	HIJ	MR	LT MEX 96-10	12.33	CDEFGHIJ	MS
MEX 69-290	2.67	GHIJ	MR	L79-321	13.67	CDEFGHI	MS
CO 997	3	GHIJ	MR	ITV 92-1424	13.67	CDEFGHI	MS
MEX 91-566	3.33	GHIJ	MR	COLMEX 95-27	14	CDEFGH	MS
MEX 95-52	3.67	GHIJ	MR	MEX 95-60	15	CDEFG	MS
CP 94-1674	4.33	FGHIJ	MR	SP 72-4928	16.67	CDEF	S
SP 83-5073	4.33	FGHIJ	MR	EMEX 0021	18.67	BCDE	S
MEX 95-104	4.33	FGHIJ	MR	LGM 92-65	21	ABCD	S
MEX 68 P 23	4.33	FGHIJ	MR	B78-266	21.33	ABC	S
MEX 79-431	4.33	FGHIJ	MR	COLPOS CT MEX 05-051	30.33	AB	S
B 46-492	6	EFGHIJ	MS	YZ 84-7	33	A	AS
CP 80-1743	7.33	EFGHIJ	MS				

AS=Altamente Susceptible. **S**=Susceptible. **MS**=Moderadamente Susceptible. **MR**=Moderadamente Resistente. **R**=Resistente.

- Huerta L.M. 2000. Susceptibilidad de 10 variedades comerciales de caña de azúcar (*Saccharum Officinarum* L.) a la *Xanthomonas albineans* (Ashby) Dowson, agente causal de la escaldadura de la Hoja en la región central costera de Veracruz. Tesis de Maestría en ciencias. Colegio de postgraduados, México. 73 pp.
- Huerta L.M. 2004. La escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson): Diagnostico, Variabilidad y evaluación de resistencia en caña de azúcar. Tesis de Doctor en ciencias. Colegio de postgraduados, México. 4 pp. 51.
- Iglesia A.M., Díaz E.A., Peralta E.L., Pazos V. 2003. Optimización del diagnóstico múltiple de la escaldadura de la escaldadura foliar y el raquitismo de los retoños de la caña de azúcar. Rev. Protecc. Veg. P.18.15-18.
- International Sugar Organization. 2005. An International Survey of Sugar Crop Yields and Prices Paid for Sugar Cane and Beet. Market evaluation consumption and Mecas (05)05 Statistics Committee, 49 p.
- Irvine J.E., Amador J.M., Gallo M.I.R., Riess C.M., Comstock J.C. 1993. First report of leaf scald, caused by *Xanthomonas albilineans*, of sugarcane in Mexico, Plant Disease 77: 846.
- Lopes S.A. 1996. *Xanthomonas albilineans*: detection, identification and infectivity titration in sugarcane. Dissertation for PhD. in Plant Health. Department of Plant Pathology and Crop Physiology, Louisiana State University. 90 p.
- Ricaud C., Ryan C.C. 1989. Leaf scald: In: Diseases of sugarcane. Major diseases. Eds: C Ricaud, BT Egan, AG Gillaspie Jr & C.G Hughes. Amsterdam. The Netherlands: Elsevier Science Publishers: 39-58, 39-45.
- Rott P., Soupa D., Brunet Y., Feldmann P., Letourmy P. 1995. Leaf scald (*Xanthomonas albilineans*) incidence and its effect on yield in seven sugarcane cultivar in Guadalupe. Plant Pathology 44:1075-1084.
- Rott P., Mohaemd I.S., Klett P., Soupa D., de Saint-Albin A., Feldman P., Letourmy P. 1997. Resistance to leaf scald disease is associated with limited colonization of sugarcane and wild relatives by *Xanthomonas albilineans* Phytopathology 87:1202-1213.
- Rott P. 1995. Leaf scald of sugarcane. Agriculture and Developpment; CIRAD-CA, 51-58.
- SIAP. 2012. con información de las Delegaciones de la Sagarpa, avance de siembras y cosechas, resumen nacional por estado (Perennes) 2012; Riego+Temporal.
- USDA. 2010. Agricultural Statics. www.hars.usda.gov
- Valdez B.A., Guerrero P.A., García L.E., Obrador O.J. 2009, Manual para el cultivo y producción de caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.
- Valdez B.A. 2010. Reporte técnico de la enfermedad de la escaldadura (*Xanthomonas albilineas*) y gomosis (*Xanthomonas vascularum*). Colegio de Postgraduados.
- Victoria J.I., Guzmán M.L.Y., Ángel F. 1995. Enfermedades de la caña de Colombia. En C. Cassalett, J. Torres y C. Isaacs (eds). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. P. 265-293.
- Victoria J.I., Viveros C., Cassalett C., Calderón H. 1997. Establecimiento de semilleros limpios, serie técnica No. 22. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CEÑICAÑA), Cali. Colombia.



DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE ONCE VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN EL INGENIO AZSUREMEX TENOSIQUE, TABASCO

NUTRITIONAL DIAGNOSIS OF ELEVEN VARIETIES OF SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) IN THE AZSUREMEX SUGAR PLANT IN TENOSIQUE, TABASCO

**Espinosa Sánchez José Orlando¹, Salgado García Sergio², Córdova Sánchez Samuel^{3*},
Castelán Estrada Mepivoseh², Rodríguez Valencia Nalda Juventina¹, Santos Arguelles Rosa Graciela³**

¹ Universidad Autónoma de Chiapas-Escuela Maya de Estudios Agropecuarios. Carretera Catazajá-Palenque Km. 4 C.P. 29980, Catazajá, Chiapas, México. ² Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Grupo MASCA.A-LPI-2: AESS. Km. 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. ³ Universidad Popular de la Chontalpa. Cuerpo Académico de Química Verde y Desarrollo Sostenible (CA-QVyDS). Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500.

*Autor de correspondencia: sacorsa_1976@hotmail.com

RESUMEN

Se desarrolló una investigación para conocer el diagnóstico nutrimental de nueve variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) introducidas y dos locales en el ingenio Azsuremex en Tenosique, Tabasco, México. El diseño experimental consistió en 11 tratamientos y tres repeticiones en bloques completos al azar (DBCA). Se aplicó la dosis de fertilización 100N-80P-60K, y realizó análisis foliar para determinar deficiencias nutrimentales y valorar la eficiencia del fertilizante en la nutrición. Los resultados registraron que todas las variedades presentaron concentraciones medias de nitrógeno, potasio, magnesio, hierro y manganeso. En las nueve variedades introducidas se registraron concentraciones medias de calcio y cobre, y cuatro variedades presentaron concentraciones medias de zinc. La variedad MEX 69-290 mostró concentraciones medias de fósforo. Sin embargo, con el diagnóstico nutrimental se observó que el azufre parece ser el más limitante en el suelo gleysol haplico arcilloso eutrítico húmico, aunque no existieron diferencias significativas en las once variedades respecto a las concentraciones foliares de los nutrimentos estudiados, se cuenta con la respuesta de las variedades introducidas a la zona de producción.

Palabra clave: *Saccharum officinarum*, dosis fertilizante, macronutrientes, micronutrientes.

ABSTRACT

Research was carried out to understand the nutritional diagnosis of nine introduced varieties of sugar cane (*Saccharum* spp.) and two local ones in the Azsuremex Sugar Plant in Tenosique, Tabasco, México. The experimental design consisted of 11 treatments and three repetitions in randomized complete blocks (RCB). The fertilization dose of 100N-80P-60K was applied, and leaf analysis was performed to determine the nutrimental deficiencies and assess the efficiency of the fertilizer in nutrition. The results showed that all the varieties presented average concentrations of nitrogen, potassium, magnesium, iron and manganese. Mean concentrations of calcium and copper were found in the nine varieties introduced, and four varieties presented mean concentrations of zinc. The MEX 69-290 variety showed mean concentrations of phosphorus. However, with the nutritional diagnosis it was observed that sulfur seems to be the most limiting in the gleysol haplic clayey eutric humic soil, although there were no significant differences in the eleven varieties with regard to the leaf concentrations of the nutrients studied, there is the response of the varieties introduced to the production zone.

Keywords: *Saccharum officinarum*, fertilizing dose, macronutrients, micronutrients.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 54-59.

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

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.), es el segundo cultivo de importancia por su impacto económico y social en Tenosique, Tabasco. En la zafra 2012/13 se cosecharon 3,615 ha con un rendimiento promedio de 53.833 t ha⁻¹ y un total de caña molida de 2,049.20 toneladas equivalente a 194.610 toneladas de azúcar en el Ingenio Azsuremex (CNPR, 2013). Estos bajos rendimientos indican, entre otras causas, que la fertilización recomendada podría no estar siendo correctamente aplicada (Salgado-García *et al.*, 2009). Aunque durante las fases iniciales los requerimientos nutrimentales son bajos, durante la formación de raíces y el desarrollo de la parte aérea las necesidades aumentan y se caracteriza por ser un cultivo perenne con elevada extracción de nutrientes. Por esta razón es recomendable llevar a cabo un plan de fertilización que restituya lo extraído por cultivo (Subirós, 1995; Cruz, 2010; Alcántar *et al.*, 2007). Uno de los métodos de diagnóstico más utilizados para conocer en una edad determinada las concentraciones nutrimentales en caña de azúcar, es el análisis foliar de tejidos de plantas; cuyo resultado suministra un nivel puntual de la concentración de los nutrimentos (Marschner, 1990), ya que las concentraciones de cada uno de estos se relacionan directamente con la producción (Subirós y Salas, 1999). Con base en lo anterior, se evaluó el estado nutrimental de nueve variedades de caña de azúcar introducidas, comparándolos con dos variedades establecidas en la zona de abastecimiento del Ingenio Azsuremex en Tenosique, Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El periodo de investigación fue de diciembre 2013 a mayo del 2014 en el ciclo plantilla, en el Ejido Boca del Cerro, municipio de Tenosique, Tabasco (coordenadas UTM X 0660258, Y 1928058). El sitio experimental presentó registros de temperaturas máximas y mínimas de 31.9 °C a 21.6 °C, precipitación de 2,310.3 mm, evaporación de 1,286.1 mm y altura de 14 m. El experimento se estableció en un suelo gleysol haplico (arcilloso, eutrítico, húmico), y se realizó un análisis fisicoquímico previo para conocerlos contenidos nutrimentales del suelo.

Cuadro 1. Variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) evaluadas en diagnóstico nutricional en ciclo plantilla del Ingenio Azsuremex, Tenosique, Tabasco, México.

Tratamiento	Variedades
1	MÉX SFC 95- 46
2	LT MÉX 94- 2
3	M 1658-78
4	LT MÉX 96-10
5	MÉX 96- 35
6	MOTZ MÉX 00- 3461
7	MOTZ MÉX 01- 403
8	V 71- 39
9	CP 94- 1100
10	MÉX 68- P-23
11	MÉX 69- 290

Tratamientos y

Diseño experimental

Se establecieron 11 tratamientos en campo (Cuadro 1), en diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela consistió de seis surcos de 21 m de largo y 1.35 m de ancho. La parcela útil estuvo conformada por cuatro surcos centrales de 17 m de largo, para eliminar el efecto orilla, teniendo una superficie útil de 91.8 m². La superficie total del experi-

mento fue de 4,158 m² (Flores *et al.*, 2011 y Martínez, 2009).

Siembra

Se efectuó un barbecho cruzado, dos pasos de rastra y surcado a 1.35 m. Se colocaron las variedades siguiendo el orden del sorteo al azar en las 33 parcelas experimentales. Los tallos (semilla vegetativa), se colocaron en el fondo de los surcos, picaron y taparon con una capa ligera de tierra y evitar así la quemadura de las yemas.

Fertilización

Se fertilizaron con 100N-80P-60K kg ha⁻¹, las fuentes de fertilizantes comerciales empleadas fueron: urea (46N-0-0), superfosfato triple (0N-46P-0K), y complejo (20N-10P-20K). La fertilización se realizó en las primeras horas de la mañana, para cada una de las repeticiones a dos meses después de siembra (Martínez, 2009). Todas las unidades experimentales se sometieron a un mismo manejo agronómico.

Muestreo foliar

A los cuatro meses de edad del cultivo se realizó el muestreo foliar en las 33 repeticiones, tomando la hoja número cuatro, recolectando 15 hojas en total en un recorrido en zig-zag dentro de la parcela útil. Tomando 20 cm de la parte central de la hoja, eliminando la base, la punta y la nervadura central (Salgado *et al.*, 2013). El muestreo se realizó entre las 8:00 y 10:00 am, las muestras se guardaron en una bolsa de papel perforada y llevadas inmediatamente al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agroindustrial del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco (LASPA-CP), donde se lavaron con agua destilada y deshidrataron hasta peso constante en una estufa a 65 °C por 72 horas con

flujo de aire, para posteriormente ser molida y analizada (Mabry *et al.*, 2013). Análisis estadístico Se realizaron los análisis de prueba de comparación múltiples de medias de Tukey al 0.05 y análisis de varianza usando el paquete SAS 9.3 para Windows (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelo

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 el pH es de clase neutro, la conductividad eléctrica (CE) baja (Sudduth *et al.*, 2003) y bajo contenido de materia orgánica (MO), contenidos altos de nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y contenidos deficientes de Zinc; capacidad de intercambio catiónico (CIC) clase media, y textura del suelo arcillosa (Cuadro 2).

Concentración foliar de Nitrógeno (N)

De acuerdo con los resultados de análisis de varianza (Cuadro 3), no se encontraron diferencias significativas en los contenidos de N foliar en las 11 variedades evaluadas. La media para N fue 1.97% y el coeficiente de variación de 6.96% lo que indica poca variabilidad en este elemento. Las variedades LTMEX 69-10, MEX 69-P23, MEX96-35, V71-39, CP94-1100, LT-MEX 94-2, M 1658-78, MEX 69-290, MEX SFC 95-46, MOZT MEX 00-3461, MOZT MEX 01-403 presentaron porcentajes medios, (Halliday y Trenkel, 1992), lo cual indicó que las variedades tuvieron poca eficiencia en la absorción del N del fertilizante, debido a que el suelo presenta altos contenidos de este elemento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de macro y micro nutrientes de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo del experimento Boca del Cerro (BC).

pH (H ₂ O)	CE	MO	Nt	P Olsen	B	K	Ca	Mg	Na	CIC	Fe	Cu	Zn	Mn	Arcilla	Limo	Arena	Textura
rel. 1:2	dS cm ⁻¹	%		mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				%				
6.26	85.6	1.87	0.22	12.03	0.25	3.04	15.77	4.58	0.35	19.67	23.86	0.71	0.36	27.46	36	25	39	Arcilla

Cuadro 3. Concentración foliar de N, P, K de once variedades de caña de azúcar en el Centro de Abastecimiento del Ingenio Azsuremex.

CULTIVARES	N	P	K
		(%)	
CP 94-1100 R1	1.93a	0.05a	1.57a
LT MEX 96-10 R1	2.13a	0.07a	1.69a
LT-MEX 94-2 R1	1.86a	0.05a	1.30a
M 1658-78 R1	1.92a	0.05a	1.57a
MEX 68-P23 R1	2.10a	0.05a	1.58a
MEX 69-290 R1	1.83a	0.18a	1.41a
MEX96-35 R1	2.04a	0.05a	1.52a
MEX-SFC 95-46 R1	1.95a	0.06a	1.45a
MOZT MEX 00-3461 R1	1.85a	0.05a	1.60a
MOZT MEX 01-403 R1	1.91a	0.05a	1.49a
V 71 - 39 R1	2.18a	0.04a	1.29a
Media	1.97	0.06	1.50
C.V. (%)	6.96	106.89	16.18
Prob. de F.	0.05	0.50	0.64
DMS	0.40	0.20	0.71
Rangos medios de Jones <i>et al.</i> , (1991)	2.00-2.60	0.18-0.30	1.10-1.80
Rangos medios de Halliday y Trenkel (1991)	1.5-1.7	0.16-0.18	1.6-1.8
Rangos medios de Mabry McCray <i>et al.</i> , 2013	2.00-2.60	0.22-0.30	1.00-1.60

Datos con la misma literal en cada una de las columnas, significa que no existe diferencia significativa al 0.05%.

Concentración foliar de Fosforo (P)

El Cuadro 3 muestra la varianza de P, no encontrando diferencia significativa en los contenidos foliares de este elemento en las 11 variedades. La media general fue de 0.06% y un coeficiente de variación de 106.89% indicando alta variabilidad en las concentraciones foliares de este elemento. La variedad MEX 69-290 presentó porcentajes medios, y las variedades MEX SFC 95-10, LTMEX 96-10, CP 94-1100, LT-MEX 94-2, M1658-78, MEX 68-P23, MEX96-35, MOZT MEX 00-3461, MOZT MEX 01-403 y V71-39 mostraron porcentajes bajos en el tejido foliar (Halliday y Trenkel *et al.*, 1992). Lo cual significa que estas últimas variedades tienen baja deficiencia en la toma de este elemento, ya que de acuerdo con el análisis de suelo este indica que los contenidos de P son altos (Cuadro 3).

Concentración foliar de potasio (K)

Con relación al potasio, no se registraron diferencia significativa en los contenidos foliares en las variedades. En general, la media de 1.50% de K se encuentra en los rango medios de acuerdo a lo reportado por Jones *et al.* (1992); Halliday y Trenkel *et al.* (1992); Mabry-McCray *et al.* (2013) y un coeficiente de variación de 16.18%. Se observó que las variedades CP 94-1100, LT MEX 96 10, LT MEX 94 2, M 1658-78, MEX 68-P23, MEX 69-290, MEX 96-35, MEX-SFC 95-46, MOZT MEX 00-3461, MOZT MEX 01-403, V71-39 presentaron porcentajes medios de K según Jones *et al.* (1992) y Mabry McCray *et al.* (2013) y bajos según Halliday y Trenkel *et al.* (1992). Esto indica que la aplicación de la dosis de 60 kg K cubrió las necesidades de las variedades y fueron

eficientes al tomar el K aplicado a través de los fertilizantes.

Concentración foliar de Ca, Mg y S

No hubo diferencia significativa en los contenidos de Ca en las variedades evaluadas (Cuadro 4), y presentaron una media general de 0.37% la cual se encuentra en los rangos de Jones *et al.* (1991) y Mabry-McCray *et al.* (2013), y un coeficiente de variación de 29.9% lo que indicó poca variabilidad en este elemento. La variedad Méx 69-290 presentó un rango nutrimental alto, mientras que la Méx 68-P23 presento valores críticos. El resto de los genotipos CP 94-1100, LT MEX 96-10, LT-MEX 94-2, M 1658-78, MEX 96-35, MEX-SFC 95-46, MOZT MEX 00-3461, MOZT MEX 01-403, V71-39 registró concentraciones suficientes en el tejido foliar (Mabry McCray *et al.*, 2013; Jones *et al.*, 1991). No se observaron diferencias significativas en el contenido de Mg, (Cuadro 4). Este macro

nutriente presentó media general de 0.24% y, de acuerdo con Jones *et al.* (1991) son concentraciones altas y según Mabry McCray *et al.* (2013) son concentraciones medias, por lo que un coeficiente de variación de 20.33% indicó una variabilidad considerable en esta nutrimento. En cuanto al contenido de azufre, en las variedades se observó una media general de 0.34% y un coeficiente de variación de 11.1% lo que indica poca variabilidad en esta variable sin diferencias significativas, pero consdiderao como valor alto (Mabry McCray *et al.*, 2013; Jones *et al.*, 1991).

Concentración foliar de Fe, Cu, Zn, Mn, B

Los resultados del análisis de varianza del Fe, Cu, Zn, Mn y B., no se registraron diferencias significativas en el tejido foliar de las variedades evaluadas (Cuadro 5). La media general para Fe, fue de 76.48 mg kg⁻¹ y el coeficiente de variación de

Cuadro 4. Concentración foliar de Ca, Mg, S de once variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el Centro de Abastecimiento del Ingenio Azsuremex.

CULTIVARES	Ca	Mg	S
	(%)		
CP 94-1100 R1	0.35a	0.21a	0.33a
LT MEX 96-10 R1	0.25a	0.26a	0.33a
LT-MEX 94-2 R1	0.32a	0.24a	0.34a
M 1658-78 R1	0.35a	0.27a	0.38a
MEX 68-P23 R1	0.4a	0.24a	0.38a
MEX 69-290 R1	0.56a	0.30a	0.34a
MEX96-35 R1	0.31a	0.19a	0.33a
MEX-SFC 95-46 R1	0.35a	0.22a	0.33a
MOZT MEX 00-3461 R1	0.37a	0.25a	0.33a
MOZT MEX 01-403 R1	0.41a	0.22a	0.32a
V 71 - 39 R1	0.39a	0.23a	0.33a
Media	0.37	0.24	0.34
C.V. (%)	29.90	20.33	11.1
Prob. de F.	0.20	0.31	0.60
DMS	0.32	0.14	0.11
Rangos medios de Jones <i>et al.</i> , (1991)	0.20-0.50	0.10-0.19	0.14-0.20
Rangos medios de Mabry McCray <i>et al.</i> , (2013)	0.20-0.45	0.15-32	0.13-0.18

Datos con la misma literal significa que no existe diferencia significativa al 0.05%.

Cuadro 5. Concentración foliar de Fe, Cu, Zn, Mn, Na, B, de once variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el Centro de Abastecimiento del Ingenio Azsuremex.

CULTIVARES	Fe	Cu	Zn	Mn	B
CP 94-1100 R1	68.7a	7.98	14.89a	53.53a	0a
LT MEX 96-10 R1	90.1a	9.32a	14.73a	41.49a	0a
LT-MEX 94-2 R1	72.1a	7.01a	15.78a	26.08a	0a
M 1658-78 R1	88.3a	28.64a	28.61a	73.42a	0a
MEX 68-P23 R1	87.7a	57.54a	18.38a	89.84a	0a
MEX 69-290 R1	74.3	13.01a	16.85a	40.61a	0a
MEX96-35 R1	64.9a	9.63a	14.26a	64.7a	0a
MEX-SFC 95-46 R1	71.5a	8.96a	16.29a	38.85a	0a
MOZT MEX 00-3461 R1	73.1a	8.6a	16.27a	43.17a	0a
MOZT MEX 01-403 R1	77.2a	8.41a	17.35a	66.26a	0a
V 71 - 39 R1	73.5a	7.33a	17.68a	82.54a	0a
Media	76.48	15.13	17.37	56.41	0
C.V. (%)	20.89	176.31	33.77	44.13	0
Prob. de F.	0.60	0.48	0.26	0.08	0
DMS	46.64	77.86	17.13	72.66	0
Rangos medios de Jones <i>et al.</i> , (1991)	40-250	5--15	20-100	25-400	4--30
Rangos medios de Mabry McCray., 2013	55-105	4--8	17-32	20-400	15-20
Rangos medios de Bennett., 1994	50-250	5--20	20-100	20-30	10-100
Rangos medios de Chapman., 1996, y Ratto., 2005					

Datos con la misma literal significa que no existe diferencia significativa al 0.05%.

20.89 % que indica poca variabilidad ubicado en rango medio (Jones *et al.*, 1991; Bennett, 1994; Mabry McCray *et al.*, 2013). Respecto al Cu, registraron un valor medio de 15.13 mg kg⁻¹ y coeficiente de variación de 176.3%, que indica alto índice de variabilidad en su concentración. Las variedades CP 94-1100, LT-MEX 94-2, V71-39, M 1658-78 y MEX 68-P23 se ubicaron en rango óptimo, mientras que LT MEX 96-10, MEX 69-290, MEX96-35, MEX-SFC-95-46, MOZT-MEX 00-3461, MOZT-MEX 01-403 en rango medio (Jones *et al.*, 1991; Bennett, 1994; Mabry McCray *et al.*, 2013). En cuanto al Zn, la media general fue 17.37 mg kg⁻¹ y coeficiente de variación de 33.77% encontrando un bajo índice de variabilidad en el contenido foliar, registrando para las variedades CP 94-1100, LT MEX96-10, LT MEX 94-2, MEX 69-290, MEX 96-35, MEX SFC 95-46 y MOZT MEX 00-346, porcentajes bajos y para M1658-78, MEX 68-P23, MOZT MEX 01-403 y V71-39 como de rangos medios (Mabry McCray *et al.*, 2013; Jones *et al.*, 1991).

Concentración foliar de Manganeso (Mn)

En el Cuadro 5 se presenta el análisis de varianza de Mn, no encontrándose diferencia significativa en los contenidos

de Mn foliar en las 11 variedades de caña de azúcar. La media general fue de 56.41 mg kg⁻¹ y un coeficiente de variación de 44.13 %. Se encontró un índice medio de variabilidad en las concentraciones foliares de este elemento. El análisis de varianza indica que las concentraciones de las 11 variedades son suficientes de acuerdo a los rangos determinados y publicados por Mabry McCray *et al.* (2013) y Jones *et al.* (1991), esto significa que existe suministro de este elemento por parte del suelo, ya que los cultivares no presentan deficiencias. De acuerdo a los resultados para el B, las concentraciones fueron estadísticamente semejantes (Tukey $P \leq 0.05$), clasificados como de muy baja disponibilidad sugiriendo deficiencias como lo apunta Jones *et al.* (1991) y Mabry McCray *et al.* (2013).

CONCLUSIONES

Todas las variedades presentaron concentraciones nutricionales medias de Nitrógeno foliar (N). La variedad MEX 69-290 presentó concentración media de Fósforo (P) y las variedades CP 94-1100, LT MEX 96-10, LT-MEX 94-2, M 1658-78, MEX 68-P23, MEX 96-35, MEX-SFC 95-46, MOZT MEX 00-3461, MOZT MEX 01-403 y V71-39 presentaron concentraciones bajas. La variedad MEX

69-290 presentó concentraciones altas. Las variedades CP 94-1100, LT MEX 96-10, LT MEX 94-2, M 1658-78, MEX 96-35, MEX-SFC 95-46 MOZT MEX 00-3461, MOZT MEX 01-403, V71-39, presentaron concentraciones medias, y la variedad MEX 68-P23 presentó concentración bajas Ca. Así mismo, todas las variedades presentaron concentraciones medias de potasio (K), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Hierro (He), y concentraciones altas de Azufre (S). La variedad MEX 68-P23 presentó concentraciones altas de cobre (Cu), y por lo general las variedades CP 94-1100, LT MEX 96-10, LT-MEX 94-2, M 1658-78, MEX 69-290, MEX 96-35, MEX-SFC 95-46, MOZT MEX 00-3461, MOZT MEX 01-403, V71-39 presentaron concentraciones medias. De igual manera, las variedades M1658-78, MEX 68-P23, MOZT MEX 01-403, V71-39 registraron concentraciones medias de Zinc (Zn) y las variedades CP 94-1100, LT MEX 96-10, LT-MEX 94-2, MEX 69-290, MEX 96-35, MEX-SFC 95-46, MOZT MEX 00-3461 presentaron bajas concentraciones.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Tabasco, A.C. por el financiamiento para la realización de esta investigación y la CNPR-Tenosique, Tabasco, México.

LITERATURA CITADA

- Alcántar G.G., Trejo T.L. 2007. Nutrición de Cultivos. Editorial: Mundi Prensa. México. 451 p.
- Bennett W.F. 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. Pages 1-7 in: Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants. W. Bennett, ed. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- CNPR. 2013. Estadística de la Agroindustria de la caña de azúcar 2010-2014. http://www.caneros.org.mx/site_caneros/estadisticas/tabasco.pdf. Consultado el 24 de enero del 2015.
- Cruz S.F. 2010. Abatimiento nutrimental en el cultivo *in vitro* de la caña de azúcar. Var. MEX 69-290 y CP 72-2086. Trabajo recepcional, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Orizaba. Veracruz. México. 59 p.
- Flores D., Hernández F., Pérez O. 2011. Épocas de Muestreo y Posesión de la Hoja en el Análisis Foliar para Diagnóstico de Nitrógeno en Variedades de Caña de Azúcar en Guatemala. Agronomía de CENGICANA2. 1-10.p.
- Halliday, D.J., Trenkel, M.E., 1992. IFA World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association, Paris, France. 632 p.
- Jones J.B., Benjamin W., Mills H.A. 1991. Plant analysis handbook: Methods of plant analysis and interpretation. Micro-Macro Publishing, Athens, GA.
- Mabry J.M., Ronald W.R., Ike V.E., Timothy A.L., Les B. 2013. Sugarcane Plant Nutrient Diagnosis. Institute of food and Agriculture Sciences, University of Florida. 25 p.
- Marsomner H. 1990. Mineral nutrition of higher plants. 4ª ed. Academic Press. London. 495 p.
- Martínez T.D.R. 2009. Evaluación Agroindustrial de Variedad de Caña de Azúcar. *Saccharum officinarum* L. en el ingenio del modelo, Úrsulo Galván, Veracruz. Tesis de maestría en ciencia. Colegio de postgraduados. México. 164 p.
- Salgado G.S., Palma L.D.J., Zavala C.J., Lagunés E.L.C., Armida A.L., Rincón R.J.A. 2009. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): ingenio presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, *Campus* Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco México. 84 p.
- Salgado G.S., Palma L.D., Lagunes E.L.C., Castelán E.M., Ortiz L.H. 2013. Manual para muestreos de suelos, plantas y agua e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 101 p.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1621 P.
- Subiros J.F., Salas R. 1999. Obtención de las normas DRIS en una zona productora de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Guanacaste, Costa Rica. Agronomía Costarricense. 23(2): 137-147.
- Subirós R.F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. Editorial universidad estatal a distancia. San José, Costa Rica. 441 p.
- Sudduth K.A., Kitchen N.R., Bollero G.A., Bullock D.G., Wiebold W.J. 2003. Comparison of Electromagnetic Induction and Direct Sensing of Soil Electrical Conductivity. Agron. J., 95: 472-482.



EVALUACION DE ALIMENTOS FERMENTADOS CON TALLOS CRUDOS Y QUEMADOS DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum* spp.)

EVALUATION OF FOOD FERMENTED WITH RAW AND BURNT SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) STEMS

Aranda I.E.M.¹; Ramos Juárez, J.A.^{1*}; Guzmán T.A.³; Mendoza M.G.D.²; Salgado, G.S.¹; Izquierdo F.¹

¹ Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México. ² Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM-Xochimilco. Calzada del Hueso 1100. Col. Villa Quietud Coyoacán. 04960. Ciudad de México. México. ³ Colegio de Postgraduados. Programa de Ganadería. Montecillo, Estado de México.

*Autor de correspondencia: ramosj@colpos.mx

RESUMEN

Se evaluó la fermentación de caña de azúcar integral, tallos crudos y quemados para conservarlos como ensilaje de la variedad Mex.69-290 madura y molida en partículas de 2 mm. Se agregó 1.5% urea, 0.5% sales minerales, 0.3% sulfato de amonio. Se fermentó en forma aeróbica por 24 h en piso con espesor de 10 cm, y como tratamientos a caña integral (SCI), tallos crudos (STC) y tallos quemados (STQ), en diseño completamente al azar. En una segunda fase con arreglo factorial 3x4, se consideraron a los tipos de caña y tiempos de conservación anaeróbica (0, 20, 40 y 60 días), con ocho repeticiones. Se evaluó la materia seca (MS), proteína cruda y verdadera (PC, PV), Fibra detergente ácido y neutro (FDA, FDN), eficiencia de síntesis y fermentativos: temperatura, pH, ácido láctico, amoniaco. Los valores de PC 17.21, 16.52 y 19.78 PV 10.54, 10.65 y 14.33 Eficiencia 61.2, 64.0 y 72.6 para caña de azúcar integral, tallos crudos y tallos quemados respectivamente, significativamente superiores para tallos quemados. ($P < 0.01$). Los valores fermentativos, temperatura 38.4 °C, 37.3 °C, 42 °C, pH 6.93, 7.09, 6.53, amoniaco (2.47, 2.81 y 3.44) para caña integral, tallos crudos y tallos quemados. La conservación en forma de ensilaje a 40 días derivó un producto con 25%-28% de MS. La PV disminuyó tres unidades porcentuales. La FDN y FDA disminuyó de 7.5 a 13.8 unidades porcentuales, registrando que el alimento con tallos quemados fue superior en PV y Eficiencia de síntesis a los alimentos con caña integral y tallos crudos, la FDN y FDA fue similar en los tres alimentos, y se puede obtener alimentos para el ganado con caña integral y tallos quemados.

Palabras clave: Fermentación en sólido, caña cruda, caña quemada, ensilaje.

ABSTRACT

The fermentation of unrefined sugar cane, raw and burnt stems, was evaluated, to be conserved as ensilage of the MEX 69-290 variety, mature and ground into 2 mm particles. The following was added: 1.5 % urea, 0.5 % mineral salts, 0.3 % ammonium sulfate. It was fermented aerobically for 24 h on the floor with a thickness of 10 cm, and the treatments were unrefined sugar cane, raw stems and burnt stems, in a completely randomized design. During a second phase with factorial 3x4 arrangement, the types of sugar cane and times of anaerobic conservation (0, 20, 40 and 60 days) were considered, with eight repetitions. The dry matter (MS) was evaluated, raw and true protein (PC, PV), acid and neutral detergent fiber (FDA, FDN), efficiency and fermentative temperature, pH, lactic acid, ammonia. The values of

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 60-65.

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

PC 17.21, 16.52.19.78, PV 10.54, 10.65, 14.33, synthesis efficiency 61.2, 64.0 and 72.6 for unrefined sugar cane, raw stems and burnt stems, respectively, were significantly higher for burnt stems ($P < 0.01$). The fermentative values, temperature 38.4 °C, 37.3 °C, 42 °C, pH 6.93, 7.09, 6.53 ammonia (2.47, 2.81, 3.44) for unrefined sugar cane, raw stems and burnt stems. The conservation in ensilage up to 40 days derived into a product with 25%-28% of MS. The PV decreased three percent points. The FDN and FDA decreased in 7.5 to 13.8 percent points, showing that the food with burnt stems was higher in PV and efficiency in synthesis than the foods with unrefined sugar cane and raw stems, the FDN and FDA were similar in the three foods, and meals can be obtained for livestock with unrefined sugar cane and burnt stems.

Keywords: Fermentation in solids, raw sugar cane, burnt sugar cane, ensilage.

evaluó tres tipos de caña fermentadas en forma aeróbica durante 24 horas en un diseño completamente al azar, con los tratamientos (T) T1: caña integral (tallos+hojas); T2: tallos cosechados en forma cruda (saccharina tradicional) y T3: tallos quemados con ocho repeticiones por tratamientos. En la segunda fase, se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×4 (tipos de caña: caña integral, tallos cosechados en forma cruda y tallos quemados, así como, tiempos de fermentación anaeróbica (0, 20, 40 y 60 días), con ocho repeticiones por tratamientos. Para la elaboración de la saccharina tradicional se siguió la metodología propuesta por Elías et al. (1990), usando tallos crudos de caña, limpios con °Brix de 22 a 24. En la elaboración de la saccharina de caña integral se usaron tallos, puntas y hojas secas con °Brix de 18 a 20. La saccharina elaborada con tallos quemados fue inoculada con 15% de saccharina tradicional. La caña fue molida en una picadora de cuchillas y se mezcló con 1.5% de urea (46% de Nitrógeno) y 0.5% de minerales (Minelap phos 12[®], Laboratorios LAPISA; composición química en %: P 12, Ca 13, Cl 15.6, Na 10.4, Mg 0.6, S 0.3, Zn 0.12, Mn 0.12, Cu 0.03, Co 50 mg kg⁻¹, I 30 ppm y Se 3.0 mg kg⁻¹).

Se mezclaron 10 kg de muestra y extendió en una superficie de concreto libre de los rayos solares con un espesor de 10 cm, y fue removida cada 2 h durante el primer periodo de 8 h, alcanzando un periodo total de fermentación aeróbica de 24 h. Después de lo anterior, se obtuvo una muestra de 1.250 kg por el método de cuarteo para estudiar las variables de la primera fase experimental, y el resto se ensiló en

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 80% de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) usada en la agroindustria en México se quema previamente para su cosecha, lo cual puede genera contaminación ambiental, además de que las cañas quedadas o quemadas por accidente, no ingresan a los ingenios para la fabricación de azúcar y representan 20% del total de la superficie sembrada (Aranda, 2000). Existen también máquinas picadoras que cosechan la caña de azúcar integral en el campo, lo cual hace eficiente su corte y su aplicación es equivalente como caña integral a 20% más de biomasa con respecto a los tallos molederos en el ingenio azucarero. La caña de azúcar se ha utilizado como alimento en la ganadería por la escasez de forraje en periodos de sequía y eventos climáticos de vientos del norte, sin embargo, en las zonas bajas de regiones tropicales húmedas, existe déficit de forraje en el periodo de lluvias debido a que los potreros se inundan; y a pesar de la posibilidad de usar la caña para solucionar el déficit de forraje en este periodo, no es posible, debido a las dificultades de la cosecha por alta humedad del suelo; por lo cual es necesario buscar estrategias de conservación de la caña para utilizarla durante todo el año. Elías et al. (1990) desarrolló en Cuba una tecnología de enriquecimiento proteínico de la caña de azúcar (Saccharina) en la cual se usa el tallo crudo de la caña, sin embargo, pudiera ser posible utilizar la caña integral y quemada, usando como inóculo la propia saccharina elaborada con tallo de caña cruda. Con base a lo anterior, se estudió la composición química y parámetros fermentativos de la caña de azúcar integral, así como de tallos crudos y quemados, fermentados en forma aeróbica con el fin de conservarlos en forma de ensilaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el *Campus* Tabasco del Colegio de Postgraduados, ubicado en Cárdenas, Tabasco, México. Para la elaboración de caña fermentada (Saccharina) se utilizó caña del cultivar Mex. 69-290. Se evaluaron tres diferentes tipos de caña, Caña integral (tallos+hojas), tallos cosechados en forma cruda y de tallos quemados. La primera fase experimental

bolsas de polietileno de color negro con capacidad de 10 kg extrayendo el aire con una aspiradora para estudiar las variables de la fase dos. Los microsilos fueron almacenados a temperatura ambiente durante 0, 20, 40 y 60 días. Las variables medidas fueron: materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (AOAC, 2012), proteína verdadera (Bernstein, 1983), Fibra detergente ácido (FDA) y neutro (FDN) con la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991), ácido láctico (Erwin *et al.*, 1961), pH Hardy *et al.* (1977), nitrógeno amoniacal (McCullough, 1967) y temperatura. Los datos se analizaron con el Programa Estadístico SAS System 2012 y comparación de medias por la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980).

RESULTADOS

En la primera fase no se registraron diferencias en el contenido de MS de los alimentos fermentados durante 24 h. La concentración de PB y PV fue mayor para el alimento fermentado con tallos quemados, este tratamiento también tuvo mayor eficiencia de síntesis microbiana con 72.4%. No se encontraron diferencias en las variables FDN y FDA. La MO fue mayor ($p < 0.05$) en el alimento elaborado con tallos crudo (Cuadro 1).

El alimento con tallos quemados tuvo la mayor ($p < 0.05$) temperatura y el menor valor de pH. No se encontró di-

ferencias entre los tratamientos para la concentración de amoniaco (Cuadro 2).

En relación a la segunda fase experimental, se obtuvo interacción significativa en el contenido de MS (Figura 1) de los tipos de alimentos y el tiempo de conservación en forma de ensilajes, en el día 0, el mayor ($p < 0.05$) contenido de MS se encontró STQ (23.5%), los alimentos de SCI y STC tuvieron los menores valores sin diferencias entre ellos (21.1% y 21.7%, respectivamente), en el día 20 y 40 los alimentos SCI y STQ tuvieron los mayores valores en relación a STC y en el día 60 no se registraron diferencias entre tratamientos.

Se registró interacción en el contenido de PC a medida que aumento el tiempo de conservación, en el día 0 fue mayor para la STQ, en el día 20 la STQ y STC fueron superiores a la SCI y en los días 40 y 60 no hubo diferencia (Figura 2).

Se encontró interacción en el contenido de FDN y FDA, los valores disminuyeron con el incremento del tiempo de conservación (Figura 3 y 4), la FDN en el día 0 fue mayor para SCI sin diferencia entre STC Y STQ, Los menores valores fueron para la STC y STQ en los días 20, 40 y 60.

Se encontró interacción en la temperatura y el pH, disminuyen con el incremento del tiempo de conservación (Figura 5 y 6).

La PV fue mayor para la STQ, sin diferencia entre SCI y STC, con relación al tiempo de conservación en el tiempo 0 fue mayor, disminuyendo significativamente a los 20, 40 y 60 (Cuadro 3). El ácido láctico no presentó diferencias ni para el tipo de alimento ni en tiempos de conservación.

La MS de los alimentos fermentados oscila entre 25 a 40% Torres-Salado, *et al.* (2007); aunque pueden incrementarse por efecto del aumento del tiempo de fermentación hasta valores de 40%. La fermentación de

Cuadro 1. Composición química de los tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum spp.*)

Variable (%)	Material fermentado			E.E.
	Caña integral	Tallos crudos	Tallos	
Materia Seca	21.06	21.79	23.48	0.29
Proteína cruda	17.21 ^b	16.62 ^b	19.78 ^a	0.21
Proteína verdadera	10.54 ^b	10.65 ^b	14.33 ^a	0.213
Eficiencia de síntesis	61.2	64.0	72.4	
Fibra detergente neutra	51.92	48.58	51.44	0.48
Fibra detergente acida	26.82	27.97	28.26	0.37
Materia orgánica	90.07 ^b	93.01 ^a	90.75 ^b	0.47

^{ab} Medias con diferente letra en la misma fila difieren a $P \leq 0.05$.

Cuadro 2. Temperatura y parámetros fermentativos de los tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum spp.*)

Variable	Material fermentado			E.E.
	caña	Tallos crudos	Tallos	
Temperatura °C	38.4 ^b	37.3 ^b	42.0 ^a	2.73
pH	6.93 ^a	7.09 ^a	6.53 ^b	0.09
Amoniaco (% MS)	2.47	2.81	3.44	0.83

^{ab} Medias con diferente letra en la misma fila difieren a $P \leq 0.05$.

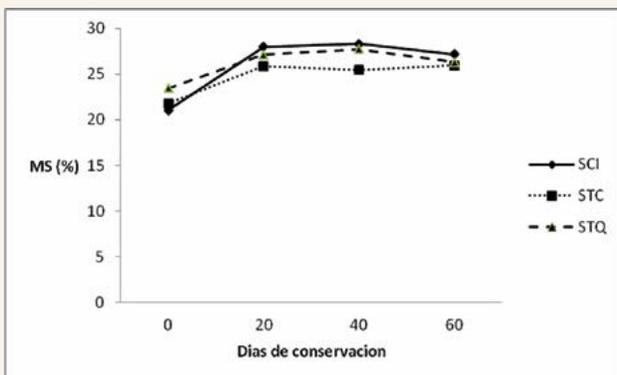


Figura 1. Efecto de los días de conservación en el contenido de materia seca de los tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum* spp.).

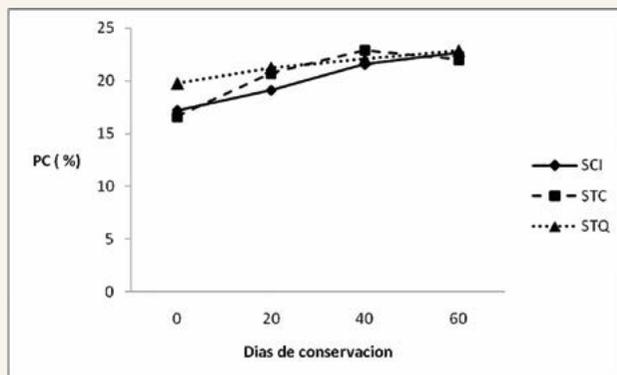


Figura 2. Efecto de los días de conservación en el contenido de proteína cruda de los tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum* spp.).

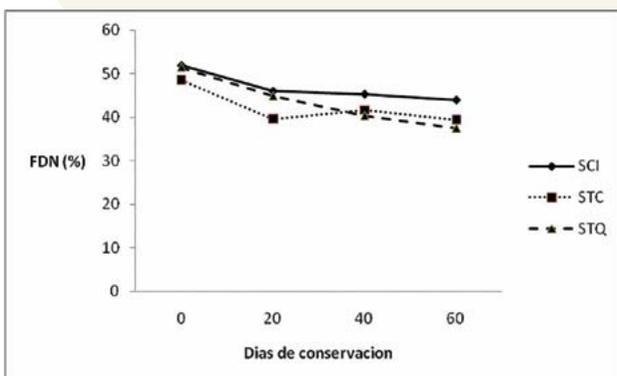


Figura 3. Efecto de los días de conservación en el contenido de fibra detergente neutro de los tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum* spp.).

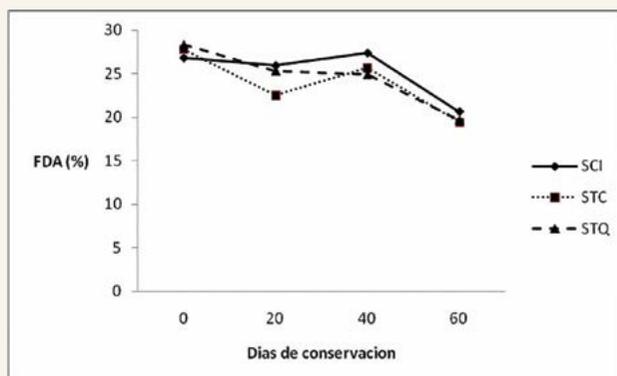


Figura 4. Efecto de los días de conservación en el contenido de fibra detergente ácido de tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum* spp.).

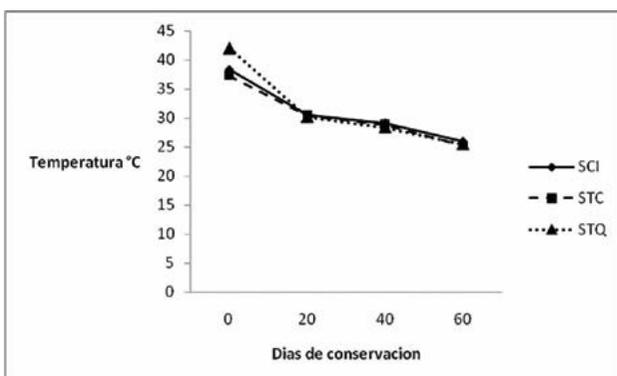


Figura 5. Efecto de los días de conservación en la temperatura de tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum* spp.).

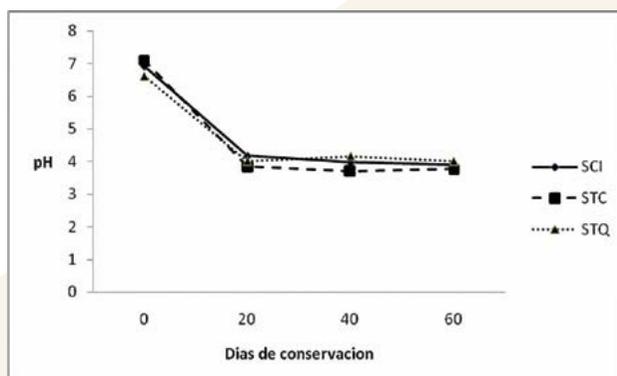


Figura 6. Efecto de los días de conservación en el pH de tres alimentos fermentados con diferentes tipos de caña (*Saccharum* spp.).

este tipo de alimento requiere humedad de entre 60% y 65% para una fermentación eficiente, si disminuye la humedad, disminuye la eficiencia de fermentación, pero si supera el contenido de humedad, los nutrientes pueden lixiviarse. El contenido de MS puede ser una limitante para transportar estos alimentos a distancias mayores de 50 km, debido a la alta humedad o para elaborar alimen-

tos balanceados. Una limitante de la caña de azúcar en la alimentación animal es su bajo contenido de proteína y baja degradación de los componentes fibrosos. Uno de los argumentos de la baja degradación de la fibra, es la alta concentración de azúcares, que inhibe la degradación de los carbohidratos estructurales de la caña de azúcar (Leng, 1989).

Cuadro 3. Efecto del tipo de alimento y los días de conservación en el contenido de proteína verdadera y concentración de ácido láctico.

Factor	Proteína verdadera (%)	Ácido láctico (% ms)
Tipo de alimento		
Caña integral	8.89 ^b	0.330
Tallos crudos	8.31 ^b	0.354
Tallos quemados	11.42 ^a	0.317
EE±	0.213	0.04
Días de conservación		
0	11.84 ^a	0
20	9.45 ^b	0.466
40	7.97 ^c	0.200
60	8.27 ^c	0.263
EE±	0.23	0.02

^{abc} Medias con diferente literal en la misma columna difieren a $P \leq 0.05$.

Un objetivo de la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar, es incrementar la síntesis de proteína microbiana, por microorganismos epifitos presente en la caña de forma natural o por medio de inóculos (Cárdenas *et al.*, 2008; Elías *et al.*, 2001), y para transformar el nitrógeno adicionado en forma de urea y los azúcares de la caña usados como fuente de energía, se adicionan sales minerales y sulfato de amonio, como fuente de azufre (Elías *et al.*, 1990). La proteína total guarda una relación con la cantidad de materiales nitrogenados agregados a la caña de azúcar en el proceso de fermentación, los valores obtenidos fueron mayores comparativamente con los encontrados por Rodríguez *et al.* (2001) quien fermento caña de azúcar con boniato (*Ipomoea batata*). Un aspecto importante es el contenido de proteína verdadera, la cual puede ser resultado de la transformación de los azúcares de la caña de azúcar con el contenido de nitrógeno de la urea por la microflora epifita o por inóculos (Elías *et al.*, 2001). Los resultados de este trabajo fueron superiores a los reportados por Valdivie *et al.* (1997) con caña y adición de diferentes ingredientes, aunque los valores que se encontraron en el presente estudio (14.33% de PV) en tallos de caña quemada, pudo estar relacionada con la adición de inóculo en forma de saccharina.

El proceso de conservación como ensilaje indujo una disminución de la proteína verdadera, la cual puede estar relacionada con la degradación de la proteína a moléculas de menor tamaño, como péptidos, aminoácidos y N-amoniaco. La concentración del N-amoniaco

induce a incrementos en el pH, aspecto que no sucedió en este trabajo ya que los pH de 6.2 a 7.3 en el día 0 con los diferentes tipos de saccharina disminuyeron a pH de 3 y 4 en los periodos de 20 a 60 días, lo que pudiera hacer pensar que la disminución de proteína verdadera formó moléculas intermediarias como péptidos y aminoácidos y las concentraciones de N-amoniaco formado no tuvieron el efecto suficiente en la elevación del pH. El contenido de FDN disminuyó en los días 20, 40 y 60 y la FDA disminuyó en el día 60 con respecto al día 0, indicando posible actividad celulítica microbiana en el período de conservación sobre la estructura fibrosa, aunque estos resultados son contrarios a los encontrados por Monroy *et al.* (2006) y Rodríguez *et al.* (2001) al fermentar caña y boniato en proporciones de 50:50 por periodos de 24 a 36 horas donde incrementó el contenido de FDN. Una mayor disminución de la FDN podría estar relacionada con la adición de ingredientes con mayor contenido de energía (Ramos *et al.*, 2006; 2007). La temperatura de fermentación de los diferentes tipos de saccharina fueron 37.25 °C a 42.50 °C, mayores a lo recomendado por Lezcano y Elías (1992) quienes indican temperatura de 30 °C a 33 °C como apropiadas. El contenido de ácido láctico alcanzó valores a los recomendados por Muñoz y Michelena (1988) para ensilaje apropiado reflejándose en los valores de pH.

CONCLUSIONES

El alimento elaborado con tallos de caña de azúcar quemados fue superior a la de caña integral y tallos crudos en contenido de proteína y proteína verdadera con una mayor eficiencia de síntesis. Los valores de FDN y FDA fueron similares en los tres tipos de alimentos. Sus parámetros de fermentación, temperatura y pH también fueron más elevados. La conservación en forma de ensilaje a los 40 días generó un alimento con un contenido de MS (25% a 28%). El contenido de proteína verdadera disminuyó en 3%; la FDN y FDA también disminuyeron de 7.5% a 13.8%. La caña fermentada en forma de saccharina es factible de obtenerla con caña de azúcar integral y tallos de caña quemada, y usarse en zonas tropicales.

AGRADECIMIENTOS

A las líneas de investigación del Colegio de Postgraduados: LPI-5 Biotecnología microbiana vegetal animal y LPI-2 Agroecosistemas sustentables Subtema MASCAÑA Y MASGANADO por el apoyo financiero.

LITERATURA CITADA.

- AOAC. 2012. Official Methods of Analysis. 19th Ed. Off. Agric. Chem. Washington, D.C., U.S.A.
- Aranda I.E.M. 2000. Utilización de la Caña de Azúcar en la Alimentación de Rumiante. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, México.
- Bernstein J. 1983. Análisis de alimento. Eds. A.L. Wintra y K.B. Winto. Tomo I. Ed. Pueblo y Educación. 84 pp.
- Elías A., Lezcano O., Lezcano P., Cordero J., Quintana L. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (Saccharina). Revista Cubana de Ciencia Agrícola. (24): 1-12.
- Elías A. Lezcano O., Herrera F.R. 2001. Algunos indicadores y productos finales de la fermentación para la obtención de cuatro tipos de saccharina inoculada con vitafert. Rev. Cubana Cienc. Agric. 35: 153-158
- Erwin E.S., Marco G., Emery E. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. J. Dairy Sci. (44):1768-1776.
- Hardy C., Romero R., Elías A. 1977. Una nota sobre los cambios fermentativos de dietas preparadas semanalmente con ensilaje de excreta y miel final para pollos en crecimiento. Rev. Cubana. Cien. Agric. (10):197-203.
- Leng R.A. 1989. Restricciones metabólicas para la utilización de la caña de azúcar y sus subproductos para el crecimiento y producción de leche en rumiantes mayores. Colección Geplacea, Serie Diversificación PNND. Grupo de países Latinoamericanos y del Caribe exportadores de azúcar. pp 23-57.
- Lezcano P., Elías A. 1992. Efecto de la temperatura y la urea en la fermentación de la caña de azúcar para producir saccharina. Rev. Cubana Cienc. Agric. (26):291-293
- McCullough H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct calorimetric method. Clin. Chem. Acta. (7):297-304.
- Monroy H.J.M., Aranda E., Mendoza G., Ramos J.A., Herrera J., Cobos M., Izquierdo F. 2006. Elaboration and conservation of Saccharina from integral sugarcane, with the addition of molasses and rice powder. Cuban Journal of Agricultural Science (40) 2: 155-160
- Muñoz E., Michelena J.B. 1988. Utilización de ensilados de pastos y forrajes para la producción de leche y carne bovina. En producción de leche a base de pastos tropicales. Editorial EDICA Republica de Cuba
- Ramos J.A., Elías A., Herrera F. 2006. Processes for production of energy-protein feed for animals. Effect of four energy sources on solid state fermentation of sugarcane. Cuban Journal of Agricultural Science (40) 1
- Ramos J.A., Elías A., Herrera F., Aranda E., Mendoza G. 2007. Procesos para la producción de un alimento energético-proteico para animales. Efecto de niveles de miel final en la fermentación en estado sólido del Saccha-sorgo y Saccha-pulido. Rev. Cubana Cienc. Agric. (41) 2:139-143
- Rodríguez Z.R., Boucourt A., Elías M.M. 2001. Dinámica de fermentación de mezclas de caña (*Saccharum officinarum*) y boniato (*Ipomea batata* Lam.). Rev. Cubana Ciencia. Agric. 35:147-151
- SAS. 2012. Statistical Analysis System. S. A. S. User's Guide:statistics. Version 8 ed. SAS Institute Inc.
- Steel G.D.R., Torrie H.J. 1980. Principles and Procedures of Statistics. McGraw Hill Book Company, Inc. USA Cary, NC, USA.
- Torres-Salado N., Aranda E.M., Mendoza G.D., Hernández D., Hernández A., Landois L., Ramos J.A. 2007. Consumo y producción de leche de vacas de doble propósito, suplementadas con Saccharina elaborada con caña de azúcar quemada. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 41, Número 3, 223-226
- Valdivie M., González L.M., Elías A. 1997. Nuevos tipos de Saccharinas para aves. Rev. Cubana Cienc. Agric. 31:231.
- Van Soest P.J., Robertson J.P., Lewis B.A. 1991. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. J. Dairy Sci. (74):3583-3597.



CLASIFICACIÓN SEXUAL DE LINALOE (*Bursera linanoe*, Burseraceae) E IMPLICACIONES PRODUCTIVAS DE ACEITE ESENCIAL, EN TRES POBLACIONES NATURALES DE GUERRERO, MÉXICO

SEXUAL CLASSIFICATION OF LINALOE (*Bursera linanoe*, Burseraceae) AND PRODUCTIVE IMPLICATIONS FOR THE ESSENTIAL OIL, IN THREE NATURAL POPULATIONS IN THE STATE OF GUERRERO, MEXICO

Gutiérrez-Santiago, J.¹; Jasso-Mata, J.^{1*}; Queenborough, S.A.²; Soto-Hernández, M.³; Rzedowski, J.⁴; Jiménez-Casas, M.¹; Castillo-Martínez, C.R.⁵

¹ Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco, Ed. México. ² Tropical Resources Institute, Yale School of Forestry & Environmental Studies, New Haven, Connecticut, USA. ³ Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. ⁴ Instituto de Ecología, Pátzcuaro, Michoacán, Méx. Retired. ⁵ CENID-COMEF, INIFAP, Coyoacán D.F. México.

*Autor de correspondencia: jejama@colpos.mx

RESUMEN

Xochicopatl o linaloe (*Bursera linanoe*, Burseraceae) árbol endémico que habita la selva baja caducifolia en México. La extracción de sus frutos y tala de árboles de gran tamaño, para extraer sus aceites esenciales y artesanías, está limitando la capacidad de regeneración de sus poblaciones. Se documentan, floración, fructificación, diámetro y producción de aceites esenciales en tres poblaciones durante dos años. Se observaron flores unisexuales distribuidas en tres tipos sexuales. Las hembras predominaron y no se hallaron significativamente más árboles hembras que machos y monoicos combinados entre sitios ($p=0.8065$), los árboles dioicos hembra y macho se hallaron diamétricamente similares, sin embargo los árboles monoicos tienden a ser más anchos ($p=0.0193$). Durante la fructificación, las hembras mostraron menor variación en número de frutos producidos que los monoicos, sin embargo ambos sexos mostraron rendimiento similar de aceite esencial ($p=0.836$). Las poblaciones en Mezquitlán y Comala en Guerrero, México no resultaron estrictamente poligamodioicas, sino subdioicas. Los árboles hembra y macho son idóneos para producción de aceite esencial frutal, mientras que los monoicos son idóneos para producción de madera y resinas.

Palabras clave: Burseraceae, *Bursera*, Polimorfismo sexual, aceites esenciales.

ABSTRACT

Xochicopatl or linaloe (*Bursera linanoe*, Burseraceae) is a native tree that inhabits the low deciduous forest in México. The extraction of its fruits and felling of large trees, to extract essential oils and handcrafts, is limiting the capacity for regeneration of its populations. Flowering, fructification, diameter and essential oil production were documented in three populations for two years. Single-sex flowers were observed distributed into three sexual types. The females predominated and significantly more female trees than males and monoicous were not found between sites ($p=0.8065$); dioicous female and male trees were found to be diametrically similar, although the monoicous trees tend to be wider ($p=0.0193$). During fructification, females showed less variation in the number of fruits produced than the monoicous; however, both sexes showed similar yield of essential oil ($p=0.836$). The populations in Mezquitlan and Comala in Guerrero, Mexico, were not strictly polygamodioecious, but rather subdioicous. The female and male trees are ideal for production of the fruit essential oil, while the monoicous are ideal for the production of wood and resins.

Keywords: Burseraceae, *Bursera*, sexual polymorphism, essential oils.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 66-72.

Recibido: enero, 2016. **Aceptado:** marzo, 2016.

INTRODUCTION

Xochicopatl, linaloe o lavanda India es un árbol dioico, aromático, endémico y dominante en la selva baja caducifolia en México (Rzedowski *et al.*, 2004). Su madera, resinas y frutos se cosechan para obtención de aceites esenciales para uso en cosméticos, medicinas, rituales y artesanías, generando ingresos económicos para personas en zonas rurales pobres (Hernández-Vásquez *et al.*, 2013), sin embargo, están limitando la habilidad de reclutamiento en las poblaciones naturales, además de un porcentaje de germinación menor al 10% (Joy *et al.*, 2001), por lo cual estas poblaciones deben urgentemente ser gestionadas de manera sostenible (Hersch-Martínez, 2004). La investigación desarrollada hasta hoy en este tópico se ha centrado en la propagación sexual (Bonfil-Sanders *et al.*, 2008; Ramos-Ordoñez *et al.*, 2013), la propagación vegetativa para la restauración de áreas nativas (Bonfil-Sanders *et al.*, 2007; Castellanos y Bonfil, 2010), así como el manejo forestal (Hernández-Apolinar *et al.*, 2006). Sin embargo, poco se sabe acerca de la expresión sexual en *Bursera*, la variación en la proporción de sexos en floración, y los conductores de la variación en la producción de frutos y el contenido de aceite, en las poblaciones naturales, información necesaria para su manejo sostenible. Según Daly *et al.* (2011) en toda la familia Burseraceae, el género *Bursera* y subgénero *Bursera* se describen ejemplares bisexuales o en su caso con flores hermafroditas con alguna atrofia sexual, lo que las pudiera convertir en funcionalmente unisexuales, además el término bisexual ha sido confundido y empleado como un sinónimo del hermafroditismo, refiriéndose a nivel floral, de individuos o bien de población (Geber, Dawson y Delph, 1999) por lo que procuramos evidenciar esta disparidad y hacer una exploración de los rasgos sexuales y fenotípicos que pudieran esclarecer la estrategia reproductiva de linaloe. Teóricamente se argumenta que la mayoría de plantas dioicas no son totalmente dimórficas, y frecuentemente suelen tener grandes diferencias inter-sexuales en sus patrones de crecimiento y en la distribución proporcional de recursos para la reproducción (Lloyd y Webb, 1977). Hay un mayor costo de reproducción gamética en las hembras que en los machos (Darwin, 1877; Lloyd y Webb, 1977; Charnov, 1982) y este costo diferencial de reproducción entre los sexos tiene consecuencias que se expresan en diversas formas en diferentes plantas. Algunos estudios generalmente no han censado todo el potencial reproductivo individual ni seguido los mismos árboles durante diferentes épocas de floración (no más de dos años), de esta forma se ha documentado que algunos árboles tropicales no cambian su sexualidad, además algunas especies tropicales presentan inconstancia en la producción frutal (Queenborough *et al.*, 2007). Por tal motivo es necesario referir al diámetro normal (DN) en árboles sexualmente maduros, como un rasgo fenotípico que pudiera dar indicios de las diferencias intersexuales que expresa la especie de interés. Casi todas las partes de los árboles de linaloe, contienen terpenoides debido a su madera suave, sin embargo, varían en su concentración. Por ejemplo la cantidad de rendimiento de aceites a partir de la cascara del fruto seco, la parte cosechada sustentablemente en India (Joy *et al.*, 2001; Hersch-Martínez, 2004) es mucho menor (1.8%) que la obtenida de la madera (2.5-3.0%). Los frutos frescos producen 1.5-2.5% de aceite, mientras que los frutos secos producen 12.8%. El rendimiento de aceites esenciales obtenidos de las hojas es 0.15-0.25% (Joy *et al.*, 2001). Además, los frutos frescos

toman cerca de cinco horas para su destilación, mientras que los frutos secos toman más de 20-25 horas. El aceite de hoja tiene un olor dulce y volátil que contiene 65-70% acetato de linalilo (Adams y Bhatnagar, 1975; Joy *et al.*, 2001). Existen varias técnicas para extracción de aceites esenciales, las cuales difieren en sus características (Lahlou, 2004), sin embargo, la técnica de maceración por solvente orgánico, es una técnica de sencilla aplicación para la extracción de muchas muestras simultáneas (Singh, 2008). Al documentar la expresión sexual, de 150 árboles de *Bursera linanoe* de tres poblaciones durante dos años, se abordaron las siguientes preguntas: ¿Cuántos tipos sexuales de flores y cómo se distribuyen entre los árboles de las tres poblaciones a estudiar?; ¿El sexo de los árboles observados difiere en sus patrones de crecimiento diamétrico?; ¿Los sexos difieren en la cantidad de frutos y aceite esencial producido?

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción taxonómica de linaloe (Rzedowski *et al.*, 2004)

Nombre técnico: *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina; Nombres comunes: copalillo, linaloé, linanoé, ulinoé, inanué, linaloe, linalué, ulinalué, xochicopatl. Árbol dioico o a veces polígamo-dioico, hasta de 8(10) m de alto, muy resinoso, con aroma agradable y penetrante al estrujarse; tronco hasta de 60 cm de diámetro, con corteza gris-rojiza, no exfoliante, ramillas lignificadas francamente rojizas oscuras, glabras o las más jóvenes a veces densamente pubérulas o esparcidamente vilosas; hojas con frecuencia aglomeradas en los ápices de ramillas cortas, otras veces alternas en ramillas de crecimiento nuevo, precedidas en

su aparición por un conjunto de catafilos lanceolados a angostamente ovados, de 6 a 10 mm de largo, agudos a redondeados en el ápice, densa y muy finamente glanduloso-pubérulos en ambas caras, con frecuencia ciliados en el margen, precozmente caducos, hojas por lo general imparipinnadas, de 6 a 12(15) cm de largo y 3 a 8(10) cm de ancho, peciolo de 1 a 3 cm de largo, viloso o esparcidamente glanduloso-pubérulo, foliolos (3)5 ó 7(11?), raquis con alas de margen entero, hasta de 2(2.5) mm de ancho de cada lado, notablemente más anchas hacia el extremo distal del entrenudo, peciólulos de 0.3 a 1 mm de largo, foliolos ovados a elípticos, lanceolados u oblongos, el terminal a menudo subróbico, de 1.2 a 3(4) cm de largo, de 0.8 a 1.8(2) cm de ancho, agudos a redondeados en el ápice, cuneados a redondeados en la base, toscamente serrados a crenados en el margen y a veces con tendencia a doblemente serrados (con escotadura en el ápice de los dientes), de textura membranácea, algo brillantes en el haz, con venación prominente en el envés, con pelos de ca. 0.6 mm de largo y a menudo también acompañados de diminutos pelos glandulosos espaciados; inflorescencias racimoso-paniculadas, hasta de 6(8) cm de largo y hasta con 35 flores, aunque por lo general mucho más modestas, vilosas y glanduloso-pubérulas, bracteolas linear-subuladas, de ca. 2 mm de largo, pedicelos de 3 a 8 mm de largo; flores masculinas tetrámeras, lóbulos del cáliz triangulares, de 0.6 a 0.8 mm de largo, glanduloso-pubérulos y esparcidamente vilosos, pétalos blanquecinos, oblongos a oblanceolados, de 3 a 4 mm de largo, glanduloso-pubérulos y vilosos por fuera, estambres 8, filamentos de 1.5 a 2 mm de largo, anteras oblongas, de 0.9 a 1.2 mm de largo, gineceo vestigial; flores femeninas semejantes a las masculinas, pero con los pétalos de ca. 2 mm de largo, estaminodios con anteras de 0.7 a 0.8 mm de largo, ovario bilocular, estilo evidente, a veces con dos ramas libres casi hasta la base, estigmas 2; pedúnculos fructíferos hasta de 4 cm de largo, pedicelos ligeramente engrosados, hasta de 9(12) mm de largo, frutos hasta 8 por infrutescencia, pero no pocas veces solitarios, bivalvados, obovoides y a menudo atenuados en el ápice, pero algo comprimidos, de 9 a 11 mm de largo, de ca. 8 mm de ancho, glabros, rojizos en la madurez, hueso sublenticular o plano-convexo, de 5 a 6 mm de diámetro, a menudo más ancho que largo, cubierto en la mitad o en los 2/3 inferiores por un pseudoarilo anaranjado, la porción expuesta negra. Habitante relativamente frecuente del bosque tropical caducifolio y algunos matorrales xerófilos, sobre diversos sustratos geológicos, en altitudes de 650 a 1500 m. Florece de mayo a principios de julio. Se

encuentra desprovisto de follaje de noviembre a mayo, y es una especie endémica del sur de México, conocida de Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca, México.

Características ecológicas de los sitios muestreados

Se muestrearon tres sitios de linaloe en selva baja caducifolia de la vertiente del Río Balsas, estado de Guerrero, México: Uno de los sitios (Sitio A) en el paraje "El calvario" Mezquitlán, Municipio de Copalillo (18° 01' 17.30" N, 98° 56' 54" O), este lugar se encuentran perturbado debido a la cercanía de la población, extracción del fruto, madera y pastoreo. Dos sitios mejor conservados en Comala de Gómez, Municipio de Atenango del Río (18° 09' 18.40" N, 99° 04' 05.47" O) en el paraje "Llano la herradura" a riveras del Río Atenango (Sitio B) y en el paraje "La peña" (sitio C). Los tres sitios entre laderas con disposición preferentemente este a una altitud entre 650 a 750 m, suelo muy pobre, pedregoso-arenoso en pendientes pronunciadas. En 2014 y 2015, fueron enumerados con aerosol 150 árboles de linaloe, con ayuda de la clave de identificación de Rzedowski *et al.* (2004), dos guías miembros de la comunidad y por medio del aroma de las hojas, se tomaron al azar 50 árboles por sitio y se geoposicionaron con un (Gpsmap 76S garmin®), se registró también la altura usando una pistola haga®, y diámetro normal (1.3 m) con una cinta diamétrica.

Rasgos sexuales de las flores y sexado de árboles

Se observó la floración en rodales naturales en mayo con las primeras lluvias anuales de 2014 y 2015 para determinar el sexo en árboles de linaloe. Durante este fenómeno el ambiente es muy húmedo debido a la lluvia, y es casi nula la posibilidad de reproducción anemófila de la especie, por lo que los agentes polinizadores aprovechan al máximo la luz del sol para la recolecta de polen y néctar. El sexado floral se realizó identificando cuidadosamente con ayuda de binoculares y un vernier, los órganos reproductivos de acuerdo a (Rzedowski *et al.*, 2004), y se observó el subsecuente desarrollo del fruto hasta la madurez para verificar su sexo en agosto 2014.

Cosecha de frutos

Durante agosto de 2014 los frutos maduros desarrollaron una mancha roja, por lo que se cosecharon en su totalidad los árboles identificados como hembras y monoicos, con ayuda de una garrocha y sacos de tela para mantener la integridad de los frutos frescos, se pesaron y etiquetaron todos los frutos a pie de cada árbol y se tomó una pequeña muestra (~50 g) en una bolsa plástica herméticamente cerrada que se mantuvo en una hielera y se

trasladó a los laboratorios generales del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (19° 19' N, 98° 53' O, 2250 m) para la posterior extracción de aceites esenciales por muestra, el resto se recuperó para programas de producción de plántulas y extracción de aceites de las comunidades. Debido a la dehiscencia y la rápida oxidación de las bayas solo se pudieron cuantificar por completo los frutos por árbol de cinco monoicos y el número de frutos por kg de dos monoicos y 23 hembras para así extrapolar con los datos de cosecha total en kilos.

Extracción de aceites esenciales

La pequeña muestra tomada de frutos (~50 g) a partir de 84 árboles en agosto 2014 se refrigeraron a 4 °C hasta septiembre de 2014 para evitar degradación de los compuestos volátiles y así extraer adecuadamente de aceites esenciales, realizado por medio de un disolvente volátil (n-hexano), en los laboratorios generales del Colegio de Postgraduados. Cada muestra de fruto fue pesada en una balanza digital y fue macerada por 10 s en un mortero cerámico, adhiriendo el solvente orgánico en la misma proporción en peso de muestra. Las muestras fueron selladas en frascos de vidrio, se agitaron una vez al día durante cinco días. La matriz

orgánica fue concentrada mediante un rota evaporador Büchi® con vacío a 40 °C, hasta evaporar la mayor cantidad de disolvente posible y fue decantado a viales de 10 ml previamente pesados en escales de precisión con una pipeta Pasteur. Se dejó evaporar el resto del solvente a temperatura ambiente en una campana de extracción. Para obtener el rendimiento de aceites kg^{-1} de fruto en cada árbol, se tomó el peso del aceite libre de solvente (g) de la pequeña muestra, y se dividió por el peso de muestra (g), para convertirlo a kg se dividió entre 1000 y luego fue multiplicado por 100 para obtener porcentaje. Para los datos del sexado, se empleó el paquete estadístico R para el análisis de datos obtenidos, en el cual se realizaron pruebas de proporción de sexos en los diferentes sitios, así como una regresión lineal para modelar la relación sexo y patrón de crecimiento diamétrico de un solo año (2015). Para nuestro análisis de datos de frutos y aceites esenciales se empleó Excel y el paquete estadístico R en el que se realizaron análisis del peso, número total de frutos y por kg árbol $^{-1}$, además del rendimiento de aceite esencial individual para el que se comparan 30 muestras de árboles diferentes de dos sexos en tres sitios para análisis de varianza (hembras=15; monoicas=15).

RESULTADOS

Sexado de árboles

En todos los árboles florecidos solo se hallaron dos diferentes tipos de flor: 77 árboles con flores pistiladas (hembra), algunos con escasas flores con estaminodios que se omitieron al considerarlas no funcionales, 29 árboles con solo flores estaminadas (macho), y 44 árboles con flores preferentemente estaminadas y con escasos frutos (monoicos) incipientes. En la prueba de proporción no se hallaron diferencias significativas entre el número de árboles hembras, machos y monoicos combinados ($p=0.8065$) ni tampoco en la proporción de hembras entre los sitios ($p=0.6023$) (Figura 1).

El Diámetro normal promedio del total de árboles hembra fue 21.5 ± 2 cm, en árboles macho 20.9 ± 3.3 cm, y monoicos 26 ± 2.7 cm. Los árboles monoicos fueron 5 cm más grandes que los árboles hembra y macho (Figura 2). Sin embargo, se hallaron también diferencias significativas en el diámetro normal (DN) entre sitios ($p=1.74e-11$) y entre sexos ($p=0.00084$) (Cuadro 1).

El árbol de mayor DN es monoico y se halló en el sitio B (49 cm) mientras que el de menor DN es hembra y se halló en el sitio C (5 cm) por lo cual el monoico de mayor diámetro es 90% más grande que la hembra más pequeña. La hembra de mayor DN se halló en el sitio B (39 cm), mientras la de menor diámetro se halló en el sitio C (5 cm). El macho de mayor DN se halló en el sitio A (40 cm), mientras que el más pequeño en los sitios B y C (10 cm). EL monoico de mayor DN se halló en el sitio B mientras que el de menor porte se halló en los sitios B y C (10 cm). Los patrones de crecimiento diamétricos de 150 árboles analizados por tipo sexual mediante regresión lineal se observa que árboles dioicos (hembra y macho) se asemejan, sin embargo, los árboles monoicos difieren a los dioicos en 5 cm ($p=0.0106$) (Figuras 2 y 3, Cuadro 2).

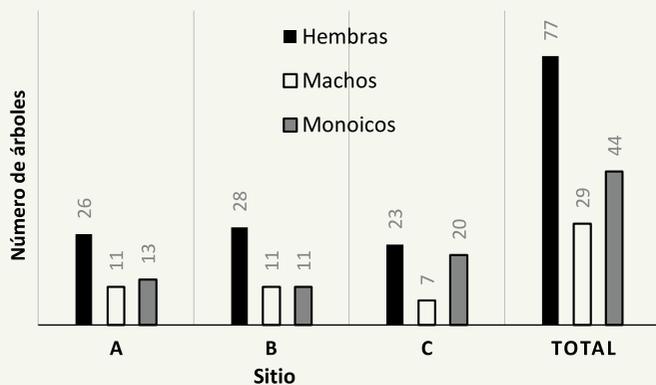


Figura 1. Número de árboles por sexo de *Bursera linanoe* en tres poblaciones naturales muestreadas y en total. (A=Mezquitlán, B=Comala I, C=Comala II).

Análisis de fructificación y aceites esenciales

Durante el sexado de 150 árboles, 50 por sitio, se observaron 121 con flores femeninas y algunos con frutos incipientes (77 hembras y 44 monoicos), de los 121 finalmente solo 84 árboles produjeron frutos bien desarrollados (66 hembras y 18 monoicos) (Figura 4) debido posiblemente a diferentes razones como la inconstancia frutal o año semillero, no polinización, predación o herbivoría, etcétera.

De los 30 árboles en que se contabilizó el número de frutos, se registró a la hembra con mayor cantidad de fru-

tos en el sitio C con 59,248 frutos, en el mismo sitio la hembra con menor cantidad de frutos con 347, lo que representó 99.4% de diferencia productiva. En los árboles monoicos en el sitio B se halló el monoico con mayor cantidad de frutos 3,456, mientras que en el sitio A se halló el de menor número de frutos con apenas dos, lo que representó 99.9% de diferencia productiva. La hembra más productiva fue 84% más productiva que el monoico más productivo. La varianza en el número de frutos entre las hembras fue mucho menor en comparación a los monoicos, lo que sugiere mayor variabilidad de número de frutos entre árboles monoicos y una tendencia relativamente constante en la producción de frutos en hembras (Figura 5). Quince árboles hembras no produjeron más peso en frutos que los quince árboles monoicos dentro de los tres sitios ($p=0.074$) (Cuadro 3, Figura 5).

Cuadro 1. Varianza del DN de árboles de *Bursera linanoe* de acuerdo a sexo y sitio.

	Df	Suma Cuad.	Promedio Cuad.	F valor	Pr(>F)	Signif.
Sexo	2	835	417.7	7.44	0.00084	***
Sitio	2	3316	1658.1	29.53	1.74e-11	***
Residuales		145	8141	56.1		

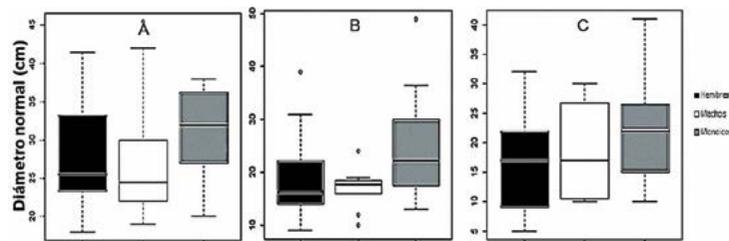


Figura 2. Comparación sexual del diámetro normal en 150 árboles de *Bursera linanoe* entre sitios: A (Mezquitlán), B (Comala I), C (Comala II).

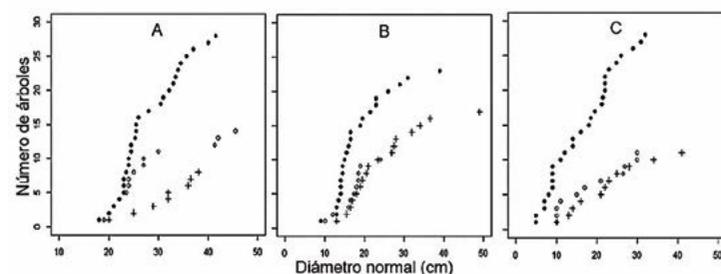


Figura 3. Distribución acumulativa del diámetro normal de árboles de *Bursera linanoe* muestreados en Guerrero. Los círculos rellenos (hembras), los círculos vacíos (machos) y cruces (monoicos) (A=Mezquitlán) 26 hembras, 11 machos y 13 monoicos, (B=Comala I) 23 hembras, 7 machos y 20 monoicos y (C=Comala II) 28 hembras, 11 machos y 11 monoicos.

Cuadro 2. Regresión lineal del DN por tipo sexual de 150 árboles de *Bursera linanoe*.

	Estimación	Error Std.	t valor	Pr(> t)	
Hembra	21,4792	1,0145	21,172	<2e-16	***
Monoico	4,3571	1,6824	2,59	0,0106	*
Macho	-0,5965	1,9396	-3,08	0,7589	

Significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1. F=4.056, $p=0.0193$.

te constante en la producción de frutos en hembras (Figura 5). Quince árboles hembras no produjeron más peso en frutos que los quince árboles monoicos dentro de los tres sitios ($p=0.074$) (Cuadro 3, Figura 5).

No se hallaron diferencias significativas en el rendimiento de aceites esenciales a partir de quince árboles hembras contra quince árboles monoicos dentro de los tres sitios ($p=0.9244$) (Cuadro 4, Figura 6).

En las dos temporadas de floración se registró la observación de solo dos tipos predominantes de flores unisexuales (estaminadas y pistiladas) y frutos, manifestados en tres individuos (hembras, machos y monoicos) en las tres poblaciones estudiadas, sin embargo, a pesar de que los monoicos mostraron escasos frutos, no se precisó si las semillas son viables por lo cual no se puede descartar la posibilidad de frutos a partir de flores bisexuales (Rzedowski et al., 2004), el tamaño milimétrico de éstas pudo pasar desapercibido a la vista, aunque también pudieron ser muy reducidas en número, no polinizadas, no funcionales, o nulas, sin embargo, se podría sugerir un sistema sexual subdioico (Geber et al., 1999; Yakimowski y Barrett, 2014) debido a la fructificación en los monoicos, lo cual contrasta con lo señalado por Rzedowski (2004)

quien clasifica las poblaciones en cuencas altas del Papaloapan, Oaxaca, en dioicos o poligamodioicos. Aunado a lo anterior, la proporción sexual encontrada en este estudio fue similar entre sitios, donde fueron predominantes las hembras (~50%), seguidas de los monoicos

(~30%), haciendo inconstantes a los machos (~20%), lo cual según Yakimowski y Barrett (2014) caracteriza a la subdioecia. En este estudio, árboles monoicos tienden a ser más grandes en diámetro que los dioicos (machos y hembras) de las tres poblaciones. En muchas especies de árboles dioicos, las hembras son más anchas en diámetro que los machos (Darwin, 1877; Lloyd y Webb, 1977; Charnov, 1982; Queenborough *et al.*, 2007). A pesar de esto en nuestro estudio, las hembras no fueron más anchas que los machos. A la fecha no se ha reportado alguna investigación similar que señale las diferencias en crecimiento diamétrico en función del sexo en especies forestales subdioicas. Una posible explicación de esta diferencia observada la menciona Lloyd (1984) quien escribe que las plantas hermafroditicas (monoicas) propagan sus genes en ambas funciones; masculinas y femeninas, habiendo una fijación total de cualquier progenitor de los dos roles sexuales que siempre es aditiva. Los resultados tienen implicaciones para conservación y manejo sustentable de esta especie con beneficios económicos, especialmente en los individuos monoicos, más aún, la dinámica poblacional se verá afectada por la proporción de sexos, pues si la frecuencia de hembras fuera baja, daría oportunidad a monoicos de ganar más aptitud mediante la inversión de óvulos (Yakimowski y Barrett, 2014). Debido a esto la estabilidad de la población a largo plazo requiere una administración focalizada para producción de aceites esenciales, madera y resinas sin descuidar la presencia de machos y hembras lo suficientemente cerca para afectar la transferencia de polen y de esta forma asegurar un mayor éxito reproductivo (House, 1992). Hasta ahora no se había cuantificado y comparado la fructificación en casos de subdioicismo en estos árboles tropicales cuando se sabe teóricamente que árboles machos producen polen y no frutos, sin embargo, la presente complejidad hallada en los tres sitios de muestreo, guía a discriminar a los árboles macho para observar el comportamiento de la fructificación y la implicación en producción de aceites esenciales a partir del fruto. La producción frutal en este caso depende del sexo y los recursos ecológicos disponibles, así como el polen disponible de los machos y monoicos (Peres *et al.*, 2003). Según Joy *et al.* (2001) los frutos frescos producen 1.5-2.5% de aceites esenciales lo cual coincidió cercanamente al presente estudio con extracción mediante solvente

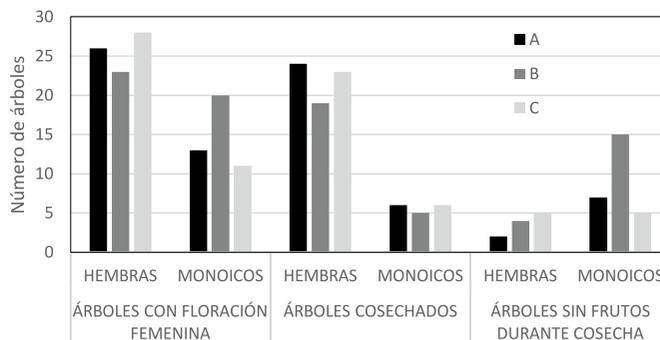


Figura 4. Monitoreo de fructificación en árboles de linaloe (*Bursera linaloe*) por sexo en tres sitios. Cosecha 2014 (n=121) distribuidos por sitio (A) Mezquitlán, (B) Comala I y (C) Comala II.

Cuadro 3. Varianza en peso de frutos de 30 árboles de *Bursera linaloe*.

	Df	Suma Cuad.	Promedio Cuad.	F valor	Pr(>F)	Signif.
Sexo	1	71.19	71.194	32.573	0.07478	.
Residuales	82	1792.26	21.857			

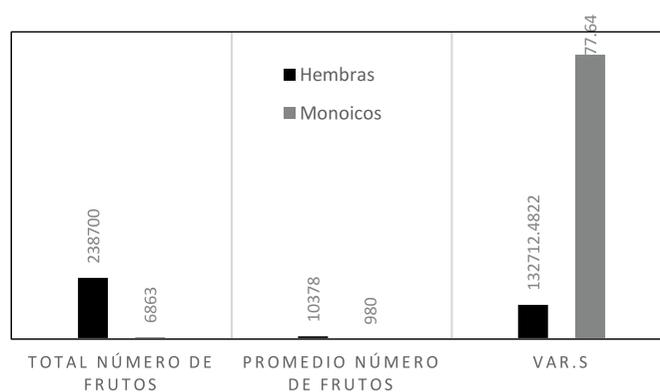


Figura 5. Varianza muestral, número total y promedio de frutos bien desarrollados de árboles hembra (23) y monoicos (7) de *Bursera linaloe*.

Cuadro 4. Varianza en porcentaje de aceites esenciales de 30 árboles de *Bursera linaloe*.

	Df	Suma Cuad.	Promedio Cuad.	F valor	Pr(>F)	Signif.
Sexo	1	0.013	0.01277	0.0091	0.9244	
Residuales	82	115.610	140.987			

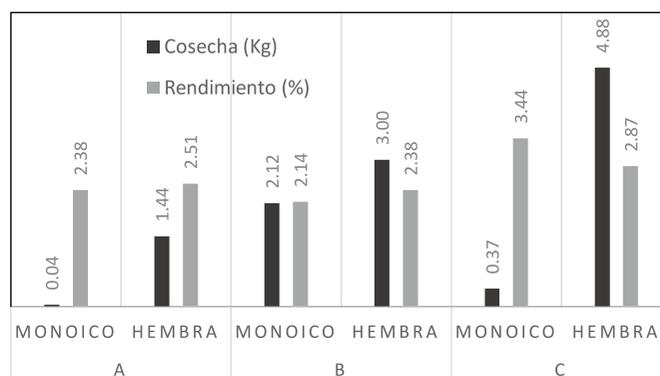


Figura 6. Comparación de la producción frutal y rendimiento de aceites esenciales de 84 árboles de *Bursera linaloe* en tres sitios de muestreo.

orgánico. Además es necesario descartar las diferencias en rendimiento de aceites esenciales entre sexos, pues en este estudio no se registró significancia en porcentaje de aceites esenciales, sin embargo, las hembras atraen mayor cosecha de estos frutos. Un peligro a largo plazo en la sustentabilidad de una población viene si un sexo es etiquetado como preferente entre los otros, la sobre extracción de estos individuos podrían tener profundas implicaciones para su regeneración a largo plazo y existe un peligro de efecto alélico si el tamaño de la población llega a ser muy reducido (House, 1992) como en poblaciones de *Bursera* (Rzedowski et al., 2004). La intensa extracción de frutos interrumpe la regeneración, altera la estructura de la población y dramáticamente altera los porcentajes de crecimiento de las poblaciones (Peres et al., 2003), por lo que debería considerarse una producción de aceites esenciales en forma sustentable. Debido a ello para la estabilidad de la población a largo plazo requiere la presencia de machos y hembras lo suficientemente cerca para afectar la transferencia de polen. Una posible solución a la intensa cosecha de frutos, sería plantar mayor cantidad de árboles macho o la polinización asistida que pudieran proveer suficiente fruto para satisfacer la demanda e incrementar algo de regeneración debido a que los árboles son de porte bajo, si el polen es un factor limitante.

CONCLUSIONES

En los sitios muestreados de linaloe, se documentan únicamente flores unisexuales, flores estaminadas en árboles machos, flores pistiladas en árboles hembras, y se supone que ambas flores unisexuales en árboles monoicos. Aunque previas sugerencias indican presencia de individuos con flores hermafroditas o con órganos sexuales atrofiados. De acuerdo con datos registrados los árboles dioicos son de menor porte diamétrico que los árboles monoicos. Las poblaciones de linaloe en Mezquitlán y Comala, demostraron a través de sus patrones de crecimiento diamétrico ser subdioicas. La cantidad de frutos producidos por árbol fue marginalmente mayor en árboles hembra y en este estudio, el porcentaje de aceites esenciales del fruto fue similar en árboles hembra y monoicos. Se sugiere que las plantaciones de linaloe (lavanda india) para una mayor producción de aceite esencial de origen frutal pudieran ser con árboles dioicos (macho y hembra). Y se visualiza el potencial de individuos monoicos como oportunidad futura para el mejoramiento genético de la especie y mayor rendimiento maderable de acuerdo a (Lloyd, 1984).

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por las becas otorgadas para la realización de esta investigación. A las Autoridades Comunes de Mezquitlán, Municipio de

Copalillo y Comala de Gómez, Municipio de Atenango del Río, Guerrero, M.C. Yaneth Jiménez Salmerón y la Sra. Lucía Desiderio, por su apoyo en la logística de este trabajo. Al Dr. Jerzy Rzedowski, Botánico del Milenio y al Dr. Douglas C. Daly, Director del NY Herbarium, por su apoyo taxonómico y críticas que ayudaron a clarificación de ideas.

LITERATURA CITADA

- Adams D.R., Bhatnagar S.P. 1975. Analysis of the volatile constituents of essential oil of Indian Linaloe. *Indian Flavours Food Addit.*, 6(3), 185–188. Retrieved from <http://jglobal.jst.go.jp/public/20090422/201002039954362716>
- Bonfil-Sanders C., Cajero-Lázaro I., Evans R.Y. 2008. Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia*, 42, 827–834.
- Bonfil-Sanders C., Mendoza-Hernández P.E., Ulloa-Nieto J.A. 2007. Root and callus development in cuttings of seven species of the genus *Bursera*. *Agrociencia*, 41, 103–109. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-338460949196#38;partnerID=408#38;md5=8535728500ba0e041d8e235105e239f1>
- Castellanos C., Bonfil C. 2010. Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera* Jacq. ex L. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1, 93–108.
- Charnov E.L. 1982. The theory of sex allocation. *Monographs in Population Biology* (Vol. 18).
- Daly D.C., Harley M.M., Martínez-Habibe M.C., Weeks A. 2011. Burseraceae. In K. Kubitzki (Ed.), *Flowering Plants. Eudicots SE - 7* (Vol. 10, pp. 76–104). Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-642-14397-7_7
- Darwin C. 1877. *The Different Forms of Flowers on Plants of the Same Species*. London: John Murray.
- Geber M.A., Dawson T.E., Delph L.F. (Eds.). 1999. *Gender and Sexual Dimorphism in Flowering Plants*. American Journal of Botany. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH. <http://doi.org/10.2307/2656693>
- Hernández-Apolinar M., Valverde T., Purata S. 2006. Demography of *Bursera glabrifolia*, a tropical tree used for folk woodcrafting in Southern Mexico: An evaluation of its management plan. *Forest Ecology and Management*, 223, 139–151. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.072>
- Hernández-Vásquez R., Cruz-Cruz E., Díaz-Zorrilla G.O., Pérez-León M.I., Lozano-Trejo S., Velasco-Velasco V.A. 2013. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen * Effect of nitrogen, phosphorus and potassium in linaloe cuttings (*Bursera linanoe*) Andresen Resumen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 1119–1128.
- Hersch-Martínez P. 2004. Linaloe, woodcarving/essential oil. In C. López, P. Shantley, & A. C. Fantini (Eds.), *Riches of the forest: fruits, remedies and handicrafts in Latin America* (pp. 93–96). Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Hersch-Martínez P., Glass R. 2006. Linaloe: un reto aromático: diversas dimensiones de una especie mexicana, *Bursera linanoe*. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Hersch-Martínez P. 2009. Perspectivas de la producción de linaloe. Retrieved from http://www.nacionmulticultural.unam.mx/edespig/diagnostico_y_perspectivas/RECUADROS/CAPITULO 4/2 Perspectivas de la produccion de linaloe.pdf
- Hilje B., Calvo-Alvarado J., Jiménez-Rodríguez C., Sánchez-Azofeifa A., José S., Rica C., Rica C. 2015. Tree species composition, breeding systems, and pollination and dispersal syndromes in three forest successional stages in a tropical dry forest in Mesoamerica. *Tropical Conservation Science*, 8(1), 76–94.
- House S.M. 1992. Population density and fruit set in three dioecious tree species in Australian tropical rain forest. *J. Ecol.*, 80, 57–69.
- Joy P.P., Mathew J.T.S., Skaria B.P. 2001. *Aromatic Plants*. In T. K. Bose, J. Kabir, & P. P. Joy (Eds.), *Tropical Horticulture Vol.2* (pp. 633–733). Naya Prakash, Calcutta.
- Lloyd D. G. 1984. Gender allocations in outcrossing cosexual plants. In: R. Dirzo & J. Sarukhan (Eds.), *Perspectives on Plant Population Ecology* (pp. 277–300). Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- Lloyd D.G., Webb C.J. 1977. Secondary sex characters in plants. *The Botanical Review*, 43(2), 177–216.
- Peres C.A., Baider C., Zuidema P.A., Wadt L.H.O., Kainer K.A., Gomes-Silva D.A.P., Freckleton, R.P. 2003. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. *Science* (New York, N.Y.), 302(5653), 2112–4. <http://doi.org/10.1126/science.1091698>
- Queenborough S.A., Burslem D.F. Garwood R.P., Valencia N. C.R. 2007. Determinants of biased sex ratios and inter-sex costs of reproduction in dioecious tropical forest trees. *American Journal of Botany*, 94, 67–78. <http://doi.org/10.3732/ajb.94.1.67>
- Ramos-Ordoñez M.F., Arizmendi M.D.C., Martínez M., Márquez-Guzmán J. 2013. The pseudaril of *Bursera* and *Commiphora*, a foretold homology? *Revista Mexicana de Biodiversidad*. <http://doi.org/10.7550/rmb.32114>
- Rzedowski J., Medina L. R., Calderón de R.G. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del Río Papaloapan, México. *Acta Bot.Mex.*, 23–151.
- Yakimowski S.B., Barrett S.C.H. 2014. Variation and evolution of sex ratios at the northern range limit of a sexually polymorphic plant, 27, 1454–1466. <http://doi.org/10.1111/jeb.12322>

PROPIEDADES AGROPRODUCTIVAS DE *Ricinus communis* L. Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE

AGROPRODUCTIVE PROPERTIES OF *Ricinus communis* L. AND PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF ITS OIL

Cuellar-Sánchez A.¹; Carrillo-González R.¹; Delgado-Alvarado A.², González-Chávez M. del C.A.^{1*}

¹ Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56230. Tel. 01(595) 952-0200 Ext. 1264. ² Posgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla No. 25. Santiago Momoxpan, Municipio San Pedro Cholula, Estado de Puebla. CP 72760 Puebla, Puebla, México. Tel. 01(222) 285-1442 Ext. 2026.

*Autor de correspondencia: carmeng@colpos.mx

RESUMEN

Se determinaron propiedades agroproductivas de siete accesiones de *Ricinus communis* L. y características fisicoquímicas de su aceite como materia prima de biodiesel. La accesión SF6 tuvo mayor número de racimos (34), número de cápsulas (1453), peso de cápsula por planta (1324 g), cáscara (69%) y aceite (48%) pero menor tamaño de semilla (6.8 mm de diámetro medio geométrico). Las semillas de la accesión C fueron de tamaño mayor (74 g y 95 mL por 100 semillas), sin embargo, tuvo menor rendimiento de semilla (326 g por planta). Las accesiones Mir y SF7 obtuvieron el mayor peso de cápsulas por planta (1518 y 1595 g), semilla (49%), rendimiento de semilla (742 y 796 g) y rendimiento estimado de semilla (808 y 867 kg ha⁻¹). En cuanto a características fisicoquímicas del aceite de ricino las accesiones de C, SF7 y M2 estuvieron dentro de los estándares de calidad, sin embargo, la SF7 (proveniente de sitios contaminados con residuos de minería) destacó por su elevada producción estimada de aceite (362 kg ha⁻¹); registrando propiedades fisicoquímicas adecuadas para producción de biodiesel: densidad relativa (0.96 g mL⁻¹), viscosidad (410.7 cSt), índices de refracción (1.47), de yodo (83.5 g I₂ 100 g⁻¹) y de saponificación (184.1 mg g⁻¹), que hacen recomendable su producción para biodiesel.

Palabras clave: aceite de ricino, biodiesel, higuera, morfología, rendimiento.

ABSTRACT

Agroproductive properties from seven accessions of *R. communis* L., and physical-chemical characteristics of their oil as raw matter for biodiesel, were determined. The accession SF6 had a greater number of racemes (34), number of capsules (1453), weight of the capsule per plant (1324 g), skin (69 %) and oil (48 %), but smaller size of the seed (6.8 mm of mean geometric diameter). The seeds from accession C were larger (74 g and 95 mL for 100 seeds); however, it had lower seed yield (326 g per plant). Accessions Mir and SF7 obtained the highest capsule weight per plant (1518 and 1595 g), seed (49 %), seed yield (742 and 796 g) and estimated seed yield (808 and 867 kg ha⁻¹). In terms of physical-chemical characteristics of the castor oil, the accessions C, SF7 and M2 were within the quality standards; however, SF7 (from sites contaminated with mining residues) stood out because of its high estimated oil production (362 kg ha⁻¹), showing adequate physical-chemical properties for biodiesel production: relative density (0.96 g mL⁻¹), viscosity (410.7 cSt); refraction (1.47), iodine (83.5 g I₂ 100 g⁻¹) and saponification (184.1 mg g⁻¹) indexes; which make it advisable for biodiesel production.

Keywords: Castor oil, biodiesel, morphology, yield.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 73-78.

Recibido: enero, 2016. **Aceptado:** marzo, 2016.

Agroproductividad de las plantas y características de las semillas

A los nueve meses posteriores al sembrado, se consideraron los siguientes descriptores: precocidad, altura, área de goteo (tomando en cuenta cuatro radios de la sombra de cada arbusto), número de nudos, número de racimos por planta, longitud del primer racimo (cm), peso de cápsulas por racimo (g), porcentaje de cáscara (%), porcentaje de semilla (%), peso de cápsulas por planta (g), rendimiento de las semillas (g) y rendimiento estimado de semilla por unidad de área (kg ha^{-1}). Para el cálculo de este último se asumió una densidad de 1089 plantas ha^{-1} . La forma y el tamaño de las semillas se determinaron con: el volumen y peso de 100 semillas, número de semillas por kg, diámetro medio aritmético (Da), diámetro medio geométrico (Dg), esfericidad (Mohsenin, 1986) y volumen de cada semilla (cm^3 ; Jain y Bal, 1997). El contenido de aceite de ricino se llevó a cabo con un extractor de grasas y aceites Soxhlet con hexano (100 mL) (Ruiz-Olivares *et al.*, 2013) para calcular la producción estimada de aceite por unidad de área (kg ha^{-1}).

Propiedades fisicoquímicas del aceite de ricino

Se consideraron: índice de refracción con refractómetro marca ATAGO RX-5000 (NMX-F-074-SCFI-2011), densidad (NMX-F-075-SCFI-2012) con picnómetros de 10 mL a 20 °C, viscosidad (ASTM D445-2006) determinada con viscosímetro marca Cannon-Freske No. 300 a 40 °C. El índice de acidez (NMX-F-101-SCFI-2006) y saponificación (NMX-F-174-S-2006) se evaluaron por titulación y el índice de yodo (NMX-F-152-SCFI-2011) por el método ciclohexano. Se realizaron

INTRODUCCIÓN

El biodiesel es completamente biodegradable, no tóxico para las plantas, animales o seres humanos (Scholz y Nogueira, 2008). Actualmente más de 95% del biodiesel se produce a partir de aceite vegetal (Gui *et al.*, 2008). Por lo que es importante tener especies que produzcan aceite para este fin, sin competir con recursos comestibles. En este sentido, el ricino (*Ricinus communis* L.) es una oleaginosa que se cultiva para la producción de aceite industrial en varios países, especialmente en India, China y Brasil (Ogunniyi, 2006), pero su calidad depende de factores tales como, materia prima, factores ambientales, método de extracción, entre otros (Udeozo *et al.*, 2013). Una característica de *R. communis*, es su capacidad de crecer en sitios contaminados con residuos de minas (González-Chávez *et al.*, 2015), por lo que constituye una opción para producir aceite en suelos degradados. Algunos autores han evaluado la productividad de diferentes tipos biológicos de *R. communis* (Machado *et al.*, 2012), y han reportado las características del aceite de accesiones procedentes de sitios no contaminados (Udeozo *et al.*, 2013) y contaminados con residuos de minas (González-Chávez *et al.*, 2015). Sin embargo, estos trabajos involucran solamente las características agroproductivas de la planta o características fisicoquímicas del aceite. Por ello, el presente estudio determinó las propiedades agroproductivas de siete accesiones de *R. communis* y características fisicoquímicas del aceite para uso como materia prima de biodiesel.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en el estado de México, a 2250 m de altitud y latitud (19° 29' LN y 98° 54' O). Las siete accesiones de ricino incluidas en este estudio fueron: Ceprobi, Morelos (C); Mirante, variedad comercial en Colombia (Mir); Montecillo uno (M1) y Montecillo dos (M2), procedentes de Montecillo, estado de México. Además de tres accesiones naturalmente establecidas en sitios contaminados con residuos de mina, Zimapán, Hidalgo: San Francisco seis (SF6), San Francisco siete (SF7) y Santa María uno (SM1). Las semillas de *R. communis* de cada accesión se germinaron en arena de sílice. Después de un mes, las plántulas se trasplantaron, en el campo experimental sin la aplicación de un sistema de riego.

Caracterización fisicoquímica del suelo

Las muestras de suelo (donde el ricino creció) se recolectaron a una profundidad de 20 cm y estuvieron compuestas por cinco submuestras tomadas a lo largo del terreno, las cuales se secaron al aire y cribaron. Posteriormente, el pH del suelo se analizó como describe Rowell (1994) y la conductividad eléctrica con el método de Rhoades (1996). La materia orgánica se determinó por método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1982). La textura se cuantificó mediante el procedimiento de Day (1965). La capacidad de intercambio catiónico se analizó mediante solución extractora de acetato de amonio 1 M (Rowell, 1994). El fósforo disponible se cuantificó por Olsen y Khasawneh (1980) y el nitrógeno total por el método Kjeldahl. Todas las propiedades se analizaron por triplicado.

espectros infrarrojos de la muestra extraída de aceite de ricino en la región de 4000 a 400 cm^{-1} , en un espectrofotómetro Perkin Elmer-IR (modelo 1600 FTIR). Se realizó un análisis de los picos de transmitancia en los espectros obtenidos a través del análisis de los grupos funcionales presentes en éstos. En este estudio se utilizó un diseño en bloques al azar con diez repeticiones para las accesiones de *R. communis*. Para interpretar las variables cuantitativas se aplicó un análisis de varianza y en aquellos casos donde se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Además se realizaron correlaciones de Pearson ($\alpha = 0.05$) para relacionar variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica del suelo

El suelo tuvo pH ligeramente alcalino (7.4 ± 0.1), la conductividad eléctrica fue de $508.8 \pm 73 \mu\text{mhos cm}^{-2}$. La materia orgánica presentó valores relativamente bajos ($2.2\% \pm 0.7$). Por otra parte, la capacidad de intercambio catiónico fue alta ($25.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). El suelo fue de textura arenosa (64% de arena, 20% de limo y 16% de arcilla). La concentración de nitrógeno fue elevada (12.7 mg kg^{-1} de amonio, 38.8 mg kg^{-1} de nitratos y 29.8 mg kg^{-1} de nitritos), el de fósforo disponible en el suelo fue alto (25.7 mg kg^{-1}) (CSTPA, 1980).

Agroproductividad de las plantas

La accesión Mir fue más precoz (214-230 días) en la formación de cápsulas maduras, seguida de SF6 (223-275 días). En contraste, SF7 y C presentaron maduración tardía de cápsulas (291-302 días), sin embargo, estadísticamente ninguna accesión tuvo diferencia significativa entre días de cosecha. Las variables agroproductivas se muestran en el Cuadro 1, reflejando que la altura de los

arbustos fue estadísticamente igual en todas las accesiones (1.8 y 2.2 m). Esta variable es importante, ya que la cosecha se dificulta cuando la planta es de porte alto (Scholz y Nogueira, 2008). Sin embargo, esta variable depende de la temperatura y disponibilidad de agua (Kumar et al., 1997). La accesión M2 tuvo el mayor número de nudos (21.9 nudos) y las accesiones Mir, SF6 y SF7 tuvieron los valores más bajos (9.6, 11.1 y 12.6 respectivamente). Esta diferencia podría deberse a condiciones ambientales y tipo biológico (Kumar et al., 1997). En cuanto al área de goteo, las accesiones C, SF7 y M2 y fueron estadísticamente superiores a las demás plantas. Es necesario mencionar que el autosombreado sobre las hojas puede disminuir la actividad fotosintética (Falasca et al., 2012) y tener efecto en el tiempo de maduración de las semillas. Las accesiones con el mayor número de racimos fueron SF6 y Mir que superaron estadísticamente a C, SF7, M1, M2 y SM1 en esta variable. La mayor longitud de racimo se mostró en C y SF7 (Figura 1). Aunque las accesiones SF6 y Mir fueron las que tuvieron el mayor número de cápsulas (1357 y 978); lo cual reflejó el rendimiento de semilla (Machado et al., 2012).

El mayor peso de cápsulas por planta se presentó en Mir, SF6 y SF7, pero el mayor peso de cápsulas por racimo fue para C y SF7. Las accesiones Mir, SF7 y M2 tuvieron el mayor porcentaje de semilla y menor porcentaje de cáscara. Sin embargo, las accesiones con mayor rendimiento de semilla por planta y rendimiento estimado de ésta fueron Mir y SF7, el cual fue mayor que lo reportado por Machado et al. (2012), estos autores indicaron el mayor rendimiento estimado de $4\,398 \text{ kg ha}^{-1}$ en 14 cosechas ($314 \text{ kg ha cosecha}^{-1}$). La condición en la que se desarrollaron las accesiones de *R. communis* fue en temporal, lo cual también pudo haber limitado la producción de cápsulas (Kumar et al., 1997). Así mismo,

Cuadro 1. Variables agroproductivas para siete accesiones de *Ricinus communis* L.

Clave	Altura (m)	No. de nudos	Área de goteo (m^2)	No. de racimos	Long. racimo (cm)	No. de cápsulas	Cápsulas por planta (g)	Cápsulas por racimo (g)	% de cáscara	% de semilla	Rendimiento semillas (g)	Rendimiento estimado semilla* (kg ha^{-1})
C	2.1 a	14.8 bc	4.4 ab	8 b	51 a	239 b	921 bcd	130 a	69 a	30 b	326 c	258 c
Mir	1.9 a	9.6 d	3.6 b	33 a	35 b	978 a	1518 ab	47 bc	51 b	49 a	742 ab	808 ab
SF6	1.9 a	11.1 cd	3.7 b	34 a	42 ab	1357 a	1324 abc	39 c	69 a	31 b	415 bc	452 bc
SF7	2.2 a	12.6 cd	4.1 ab	13 b	49 a	415 b	1595 a	130 a	51 b	49 a	796 a	867 a
M1	1.9 a	17.2 b	3.1 b	8 b	27 c	303 b	605 c	76 b	68 a	32 b	237 c	355 c
M2	2.0 a	21.9 a	5.8 a	11 b	38 bc	353 b	729 cd	75 bc	54 ab	46 ab	392 bc	427 bc
SM1	1.8 a	17.2 b	3.2 b	13 bc	22 c	540 b	866 cd	79 b	66 a	34 b	346 c	377 c

No: Número, Long.: longitud (racimo principal), *Se asumió una densidad de $1089 \text{ plantas ha}^{-1}$. Se presentaron valores promedio, $n=10$. Letras diferentes en cada variable por columna muestran diferencia significativa según Tukey ($p < 0.05$).



Figura 1. Racimos producidos por la accesión SF7 de *Ricinus communis* L.

se encontraron diferentes correlaciones entre variables, pero en este análisis destacaron: el peso de cápsulas por planta vs. el rendimiento de semillas ($0.9126 Pr=0.0001$) y el número de frutos contra número de racimos ($0.8562 Pr=0.0001$).

Características de las semillas

Las características de las semillas (Cuadro 2), indican que la accesión con mayor peso y volumen por semilla fue C, mientras que SF6 y SM1 tuvieron $17 g 100 semillas^{-1}$. Así mismo, C fue la accesión con las semillas más grandes ($12.5 mm$ de Da y $11.7 mm$ de Dg). Contradictoriamente, esta accesión presentó menor rendimiento de semilla ($326 g planta^{-1}$), debido al bajo número de racimos, cápsulas y peso de cápsulas por planta (Cuadro 1). Las semillas con menor tamaño fueron de la accesión SF6, que tuvieron los valores más bajos de Da, Dg y volumen por semilla. Las semillas más esféricas fueron de las accesiones Mir, M1 y SM1 (0.68). El peso de las semillas de las accesiones SF7 y SF6 tuvo valores similares a los reportados por Ruíz-Olivares et al. (2013), para estos

mismos materiales crecidos naturalmente en suelos contaminados con residuos de mina. Aunque los porcentajes de aceite (61% para SF7 y 41% para SF6) fueron más altos que los obtenidos en este trabajo. Esta diferencia puede deberse a la baja temperatura en este experimento (Kumar et al., 1997). Las accesiones con mayor contenido de aceite fueron SF6 y SM1 (48% y 46%), en contraste con M2 y C (31% y 35%). Mientras que las demás accesiones presentaron contenidos de 37% a 39% . Sin embargo, Mir y SF7 tuvieron la mayor producción estimada de aceite por área (362 y $287 kg ha^{-1}$).

Características fisicoquímicas del aceite de ricino

Las características fisicoquímicas del aceite de ricino (Cuadro 3), muestran el índice de refracción de 1.47 para todas las accesiones, lo cual concuerda con lo reportado por American Standards for Testing and Materials (ASTM, 2008). Los aceites con mayor densidad relativa (Dr) fueron los obtenidos de C, SF7, M1 y M2 ($0.96 g mL^{-1}$). Estos valores están dentro de los estándares de calidad (ASTM, 2008) para aceite de ricino, en contraste Mir y SF6 no cumplieron con este requisito. El aceite con mayor viscosidad (V) fue el de la accesión SF6 ($425 cSt$) y el de menor C ($392 cSt$). Las demás accesiones presentaron V similar con promedio de $407 cSt$. Sin embargo, estos valores son superiores al intervalo reportado por Scholz y Nogueira (2008; $240-300 cSt$) y ASTM (2008; $297 cSt$ a $40 ^\circ C$) para el aceite

Cuadro 2. Características de las semillas de siete accesiones de *Ricinus communis* L.

Clave	Peso seco de 100 semillas (g)	Volumen de 100 semillas (mL)	No. de semillas por kg	Diámetro medio aritmético (mm)	Diámetro medio geométrico (mm)	Esféricidad	Volumen por semilla (cm ³)	Contenido de aceite (%)	Producción estimada de aceite* (kg ha ⁻¹)
C	74 a	95 a	1359 c	12.5 a	11.7 a	0.64 d	0.89 a	35 cb	110 c
Mir	36 c	40 c	2750 c	9.3 c	8.7 c	0.68 a	0.38 c	37 b	287 ab
SF6	17 e	18 e	5749 ab	7.2 f	6.8 f	0.65 c	0.17 e	48 a	203 bc
SF7	55 b	62 b	1803 c	10.9 b	10.3 b	0.65 c	0.60 b	39 b	362 a
M1	27 d	29 d	3535 bc	8.6 e	8.2 e	0.68 a	0.30 d	39 b	87 c
M2	28 d	29 d	3591 bc	8.8 d	8.4 d	0.67 b	0.32 d	32 c	139 c
SM1	17 e	19 e	6203 a	8.1 e	7.7 e	0.68 ab	0.25 e	46 a	151 c

*Se asumió una densidad de $1089 plantas ha^{-1}$. Se presentaron valores promedio, $n=10$. Letras diferentes en cada variable por columna muestran diferencia significativa según Tukey ($p<0.05$).

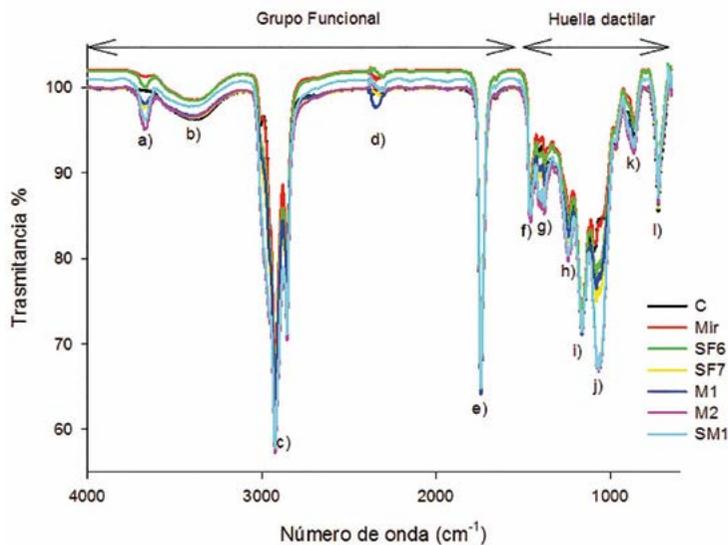


Figura 2. Espectro de infrarrojo de aceite de siete accesiones de *Ricinus communis* L. Las bandas se dividen en grupos funcionales y huella dactilar y corresponden a los siguientes grupos funcionales: a) OH-, b) OH-, c) -CH₂-, d) CO₂, e) C=O, f) C=O, g) O-CH₃, h) C=CH, i) O-CH₃, j) -O-CH₂-, k) -CH₂-CH₂-CH₂- y l) (CH₂)_x.

de ricino de todas accesiones. Sin embargo, a mayor V, mayor será la lubricación del biodiesel. Además, la comparación de V en otros trabajos es difícil porque los análisis no se realizaron a 40 °C. El índice de acidez (Ia) se mantuvo en intervalo amplio entre 0.3 a 2.5 mg g⁻¹. En cuanto al índice de yodo (Iy), los valores tuvieron poca variación (82-84 g I₂ 100 g⁻¹). Todas las muestras analizadas tuvieron el Ia y el Iy dentro del intervalo recomendado por ASTM (2008) en contraste con los altos valores de Iy de *Moringa oleífera* Lam.) y de *Nim* (*Azadirachta indica* A. Juss) (Zaku et al., 2012), cuantificados bajo otras condiciones. En el índice de saponificación (Is) se detectaron valores desde 184 hasta 191 mg g⁻¹, pero no hubo diferencia

significativa entre accesiones, de tal forma que las que cumplen con los estándares de calidad propuestos (ASTM) para el aceite de ricino fueron C, SF7 y M1. Por otra parte, se determinó el espectro IR (400-4000 cm⁻¹) de las muestras de aceite de ricino (Figura 2) donde se observan las flexiones de C-H equivalentes a las fluctuaciones del grupo funcional CH₂ (2840 y 2915 cm⁻¹), el cual es parte de la estructura hidrocarbonada de los ácidos grasos. La vibración en 1742 cm⁻¹ corresponde al grupo C=O. El de metil éster (O-CH₃) correspondió a la deformación en 1438 cm⁻¹. Las bandas en 1150 cm⁻¹ y 1725 cm⁻¹ conciernen a las fluctuaciones de valencia del carboxilo (C=O) y (C-CO-CO). Además de la banda característica del triglicérido (-O-CH₂-) en 1031 cm⁻¹. Se localizaron las fluctuaciones de la deformación (δ) del grupo (CH₂)_x a 710 cm⁻¹. Lo cual confirmó el patrón característico y pureza de aceite de ricino, además, estos resultados fueron similares a lo reportado por Imankulov (2012).

La accesión SF7 es de mayor interés, por sus estándares de calidad, también porque puede producirse en sitios contaminados con varios metales pesados (Cu, Cd, Zn y Pb (González-Chávez et al., 2015), por lo cual, la accesión SF7 representa una alternativa para la fitoremediación de sitios contaminados y la producción de materia prima para aceite crudo o biocombustibles. Lo anterior puede representar mayor valor económico, ecológico y estético de sitios contaminados, por lo que esta accesión se recomienda para la plantación masiva y evaluar su comportamiento agronómico bajo estas condiciones.

Cuadro 3 Características fisicoquímicas del aceite de siete accesiones de *Ricinus communis* L.

Clave	Densidad relativa (g mL ⁻¹)	Viscosidad (cSt a 40 °C)	Índice de acidez (mg g ⁻¹)	Índice de yodo (g I ₂ 100 g ⁻¹)	Índice de saponificación (mg g ⁻¹)
C	0.96 a	392 c	0.5 c	83 a	184 a
Mir	0.94 c	407 b	1.2 b	82 a	186 a
SF6	0.92 d	425 a	1.2 b	84 a	191 a
SF7	0.96 a	411 b	2.5 a	83 a	184 a
M1	0.96 a	402 bc	0.7 bc	84 a	185 a
M2	0.96 a	404 bc	0.8 bc	83 a	189 a
SM1	0.95 b	408 b	0.7 bc	83 a	191 a
ASTM [†]	0.95-0.96	297	0.4-4.0	82-88	175-187
Ricino ^{††}	0.92	81.95 [¶]	12.48	287	164
Jatropha ^{††}	0.92	88.15 [¶]	8.43	394	192
Nim ^{††}	0.93	88.40 [¶]	17.40	369	186
Moringa ^{††}	0.90	49.96 [¶]	4.96	420	188

Letras diferentes por columna muestran diferencias significativas según Tukey (p=0.05). Se presentaron valores promedio, n=10. [†] ASTM, 2008.

^{††} Citado por Zaku et al. (2012). [¶] Unidades en mPa.

CONCLUSIONES

Las siete accesiones de *R. communis* estudiadas poseen características agroproductivas que las diferencian entre sí. Sin embargo, la accesión SF7 (proveniente de sitios contaminados con residuos de mina) tuvo el racimo principal de mayor longitud. A pesar, de no presentar muchos racimos, obtuvo el mayor rendimiento estimado de semillas, las cuales fueron grandes y con alta producción estimada de aceite. Además de las características adecuadas de pureza, densidad relativa, viscosidad, índices de refracción, acidez, yodo y saponificación. Por lo tanto, SF7 tiene las características de calidad recomendadas y el potencial para la producción del biodiesel. Futuros trabajos deberían realizarse en sitios contaminados con metales pesados para evaluar su desempeño agroproductivo y capacidad de fitorremediación, así como, posibles servicios ambientales con su manejo en estos sistemas. También debe buscarse reducir el periodo de maduración de semillas y mejorar el porte de la planta para facilitar la mecanización de la cosecha y optimizar el tiempo de producción.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra Silvia Evangelista Lozano por proporcionar semillas de las accesiones CEPROBI y Mirante, además al M.C. Jaime Cruz Díaz, por su apoyo técnico en el análisis físicoquímico del suelo. Este estudio surgió de la iniciativa "A unified approach (chemical, plant, microbial) for optimized reclamation of metal", Propuesta 2009-021, Texas A&M University-CONACyT.

LITERATURA CITADA

- ASTM. American Society for Testing Materials. 2008. <http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D6751-08.htm>. 01/01/ 2016.
- ASTM D445. 2006. American Society for Testing Materials. 2011. Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids.
- CSTPA. Council on Soil Testing and Plant Analysis. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. Council soil testing and plant analysis. Athens Georgia, USA.459 p.
- Day P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis *In: Methods of Soil Analysis*. Black C. A. (ed). Agronomy, pp: 545-567.
- Falasca S.L., Ulberich A.C., Ulberich E. 2012. Developing an agroclimatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). *Ind. Crops. Prod.* 40: 185-191.
- González-Chávez M.C.A., Ruíz-Olivares A., Carrillo-González R., Ríos-Leal E. 2015. Crude oil and bioproducts of castor bean (*Ricinus communis* L.) plants established naturally on metal mine tailings. *Int. J. Environ. Sci. Te.* 12: 2263-2272.
- Gui M.M., Lee K.T., Bhalia S. 2008. Feasibility of edible oil vs. non-edible oil. *Waste edible oil as biosiesel. Energy.* 33: 1646-1653.
- Imankulov N. 2012. Preparation and research on properties of castor oil as a diesel fuel additive. *Appl. Technol. Innov.* 1: 30-37.
- Jain R.K., Bal S. 1997. Properties of pearl millet. *J. Agr. Eng. Res.* 66: 85-91.
- Kumar P.V., Ramakrishna Y.S., Ramana V.R.B., Víctor U.S., Srivastava N.N., Subba R. A.V.M. 1997. Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.). *Agric. For. Meteorol.* 88: 279-289.
- Machado R., Suárez J., Marlen A. 2012. Caracterización morfológica y agroproductiva de procedencias de *Ricinus communis* L. para la producción de aceite. *Pastos Forrajes.* 4: 381-392.
- Mohsenin N.N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publications. New York. 45 p.
- Nelson D.W., Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: Methods of Soil Analysis*. Page A. L., Miller R. H., and D. R. Keeney (eds). American Society of Agronomy. Madison. pp: 539-579.
- NMX-F-074-SCFI-2011. Norma Mexicana. 2011. Determinación del índice de refracción.
- NMX-F-075-SCFI-2012. Norma Mexicana 2012. Determinación de la densidad relativa.
- NMX-F-101-SCFI-2006. Norma Mexicana 2006. Determinación de ácidos grasos libres.
- NMX-F-152-SCFI-2011. Norma Mexicana 2011. Determinación del índice de yodo.
- NMX-F-174-S-2006. Norma Mexicana 2006. Determinación del índice de saponificación.
- Ogunniyi D.S. 2006. Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresource. Technol.* 97: 1086-1091.
- Olsen S.R., Khasawneh F.E. 1980. Use and limitations of physical chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils, the role of phosphorus in agriculture. *In: Khasawneh F. E., Sample E. C., and E. I. Kamprath (eds)*. Madison. pp: 361-410.
- Perdomo E.C., Acosta-Osorio F.A., Herrera A.A., Vasco-Leal G., Mosquera-Artamonov J. F., Millan-Malo J.D. Rodríguez-García M.E. 2013. Physicochemical characterization of seven Mexican *Ricinus communis* L. seeds and oil contents. *Biomass. Bioenerg.* 48: 17-24.
- Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *In: Methods of Soil Analysis. Chemical Methods*. Sparks D. L. (ed). Soil Science Society of America. Madison. pp: 417-435.
- Rowell D.L. 1994. *Soil Science. Methods and Applications*. Longman, UK. 35 p.
- Ruiz-Olivares A., Carrillo-González R., Marcos Soto R., González-Chávez M.C.A. 2013. Potential of *Ricinus communis* L. in phytoremediation and oil production. *J. Environ. Manage.* 114: 316-323.
- Scholz V., Nogueira J. 2008. Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Biomass. Bioenerg.* 32:95-100.
- Tchuenteu T.L., Megueni C., Y Njintang N. 2013. A study of the variability for grain and oil yield and yield related traits of castor beans accessions in two savannah agro-ecological zones of Cameroon. *Int. J. Biosci.* 8: 251-263.
- Udeozo I.P., Okafor C.M., Chukwuemeka I.M., Eze-Stephen P.E. 2013. Extraction and characterization of castor seed oil (*Ricinus communis*) from Isiala Mbano, Imo State, Nigeria. *World J. Pharm. Sci.* 4: 1186-1193.
- Zaku S.A., Emmanuel A.H.I., Kabir A. 2012. Comparative studies on the functional properties of neem, jatropha, castor, and moringa seeds oil as potential feed stocks for biodiesel production in Nigeria. *Global Journals Inc.* 7: 23-26.