

Clasificación y cartografía de
SUELOS
del estado de Campeche, México

pág. 71

Año 10 • Volumen 10 • Número 12 • diciembre, 2017

| | |
|--|----|
| COMPATIBILIDAD DE USO Y CAPACIDAD AGROLÓGICA COMO INDICADOR DE DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA | 3 |
| CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS POR FERTILIDAD DE LA SUBREGIÓN RÍOS DE TABASCO, MÉXICO | 9 |
| LOS SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO | 16 |
| CARTOGRAFÍA DE SUELOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO, MÉXICO; USO DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN | 22 |
| ACTUALIZACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE TABASCO, MÉXICO | 29 |
| EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN TABASCO, MÉXICO | 36 |

y más artículos de interés...

Guía para autores

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, fotografías, gráficas, diagramas. Las fotografías serán a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW y las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS).

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

Citas 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.

Los autores ceden los derechos patrimoniales y aceptan que los artículos sean publicados en formato físico y electrónico, incluido internet.

El costo por publicación aceptada es \$3500.00 MX.

Año 10, Volumen 10, número 12, diciembre 2017, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203. ISSN: 2594-0252, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Subdirección de Organización y Cómputo del Colegio de Postgraduados, Dr. Martiniano Castro Popoca, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230. Tel. 58045980 ext. 1035. Fecha de última modificación, 31 de diciembre de 2017.

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

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Colegio de Postgraduados.



Contenido

| | |
|-----|--|
| 3 | COMPATIBILIDAD DE USO Y CAPACIDAD AGROLÓGICA COMO INDICADOR DE DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA |
| 9 | CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS POR FERTILIDAD DE LA SUBREGIÓN RÍOS DE TABASCO, MÉXICO |
| 16 | LOS SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO |
| 22 | CARTOGRAFÍA DE SUELOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO, MÉXICO; USO DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN |
| 29 | ACTUALIZACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE TABASCO, MÉXICO |
| 36 | EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN TABASCO, MÉXICO |
| 43 | CRECIMIENTO DE <i>Cedrela odorata</i> L., Y <i>Tectona grandis</i> L., EN UN SUELO FLUVISOL HÁPLICO; MODELO PARA CALCULAR SU VOLUMEN COMERCIAL |
| 50 | <i>Stylosanthes guianensis</i> SW. (FABACEAE) ASOCIADA CON <i>Zea mays</i> L., PARA USO FORRAJERO EN UN SUELO VERTISOL |
| 56 | FERTILIZACIÓN QUÍMICA PARA EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) EN CHIAPAS, MÉXICO |
| 64 | CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO EN DOS ZONAS DE TABASCO, MÉXICO, CON POTENCIAL PARA CULTIVAR PALMA DE ACEITE (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) |
| 71 | CLASIFICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE SUELOS DEL ESTADO DE CAMPECHE, MÉXICO |
| 79 | APTITUD EDÁFICA DE <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T BLAKE EN LA TERRAZA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO |
| 85 | CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DEL AGENTE CAUSAL DE LA SECADERA DEL GLADIOLO (<i>Gladiolus grandiflorus</i> Hort) |
| 91 | INDICADORES DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA (<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller) EN MORELOS, MÉXICO |
| 98 | SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA Y SU TOXICIDAD EN LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) |
| 106 | BIODIGESTOR MÓVIL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS UTILIZANDO ESTIÉRCOL DE OVINO |
| 116 | ESPECIES TROPICALES (FABACEAE): INVERSIÓN ASOCIADA AL APORTE RIZOSFÉRICO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO AL SUELO |
| 121 | ASPERSIÓN DE THIDIAZURON Y ACIDO GIBERÉLICO COMBINADO CON PODA SOBRE FENOLOGÍA DEL ARÁNDANO (<i>Vaccinium</i> spp.) |
| 128 | EVALUACIÓN DE CEPAS DE RIZOBACTERIAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) |
| 134 | AGROEMPRESAS FAMILIARES DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) DIFERENCIADO Y DE ESPECIALIDAD EN VERACRUZ, MÉXICO: CASOS DE ÉXITO |
| 140 | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA ELABORACIÓN DE GALLETAS A PARTIR DE <i>Manihot esculenta</i> Crantz EN ESCÁRCEGA, CAMPECHE, MÉXICO |

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



COLEGIO DE
POSTGRADUADOS

CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Corrección de estilo: Hannah Infante Lagarda

Maquetación: Marió 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.

Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Directorio

Said Infante Gil
Editor General del Colegio de Postgraduados

Rafael Rodríguez Montessoro[†]
Director Fundador

Jorge Cadena Iñiguez
Director de Agroproductividad

Comité Técnico-Científico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Editorial

Volumen 10 • Número 12 • diciembre, 2017.

AGRO PRODUCTIVIDAD entrega en el último número del año 2017, el tema central de suelo y ambiente, divulgando investigaciones realizadas en el trópico mexicano, y otros temas varios relacionados con frutales, energía, emprendimientos locales, que no dejan de ser casos exitosos con crecimiento potencial en el mediano plazo, así como el uso de microorganismos en la creciente agroindustria del chile habanero entre otros. AGRO PRODUCTIVIDAD publicó durante el año 2017, 170 artículos procedentes de 237 instituciones nacionales y extranjeras, superando al año 2016 con 159 artículos procedentes de 224 instituciones de México, Sudamérica, España, Alemania, Inglaterra y Estados Unidos de América. Consideramos importante el progreso en cuanto a publicar 20 artículos de forma mensual, además de aumentar la visibilidad internacional por la reciente incorporación a nuevos índices, y contar a partir del mes de noviembre con el ISSN para el formato electrónico (ISSN: 2594-0252). La revista AGRO PRODUCTIVIDAD le da la bienvenida al Dr. Fernando Gómez Merino, quien se incorpora al equipo editorial, y colaborará con la revista en actividades de edición, siguiendo la tendencia de elaborar números temáticos, divulgar casos de éxito en el sector rural, e iniciar con la estructura para publicar desarrollos tecnológicos, patentes y variedades vegetales.

Felices Fiestas y año nuevo 2018

Dr. Jorge Cadena Iñiguez
Director de AGRO PRODUCTIVIDAD

COMPATIBILIDAD DE USO Y CAPACIDAD AGROLÓGICA COMO INDICADOR DE DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA

COMPATIBILITY OF USE AND AGROLOGICAL CAPACITY AS AN INDICATOR OF SOIL DEGRADATION IN THE GRIJALVA RIVER BASIN

Zavala-Cruz, J.¹; Castillo-Acosta, O.^{2*}; Ortiz-Pérez, M.A.³; Palma-López, D.J.¹; Córdova-Ávalos, V.¹; Obrador-Olán, J.J.¹; Guerrero-Peña, A.¹; García-López, E.¹; Salgado-García, S.¹; Rincón-Ramírez, J.¹; López-Castañeda, A.⁴; Shirma-Tórres, E.¹

¹Profesor investigador, Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, ²Profesor Investigador, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ³Profesor Investigador, Instituto de Geografía, UNAM. ⁴Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco, México.

*Autor de Correspondencia: ofecas57@gmail.com

RESUMEN

México tiene extensas superficies de suelos degradados en respuesta a uso no sustentable, y para evitar esto, se requiere generar indicadores para zonificarlos. Se evaluó la compatibilidad de usos del suelo con la capacidad agrológica en regiones de la cuenca del río Grijalva (CRG), para identificar suelos en riesgo de degradación. Se generó cartografía a nivel de reconocimiento sobre regiones ecogeográficas, uso del suelo y capacidad agrológica. Su superposición permitió diferenciar zonas de compatibilidad mediante álgebra de mapas. Los resultados muestran que la CRG tiene 16 regiones ecogeográficas, donde sobresale la vegetación natural (47.6%), uso agropecuario (44.9%), y áreas urbanas, cuerpos de agua y suelo desnudo (7.5%). Las clases de capacidad agrológica se diferencian por ambiente geomorfológico; 36.9% de la Planicie Costera del Golfo es apto para la agricultura (I a IV); 38% del suelo de la Sierra Norte de Chiapas y Altos de Chiapas, tiene una aptitud forestal y ganadera (V a VI), y 21.9% de toda la cuenca es apta para vida silvestre (VII). El 5.5% (1178.6 km²) de la CRG tiene uso incompatible con la capacidad agrológica, indicando el riesgo de degradación por erosión hídrica, al presentar uso agrícola en suelos con severas limitaciones. Por ello, se requiere impulsar programas sustentables de conversión del uso del suelo para coadyuvar a la conservación de suelos.

Palabras clave: cartografía, relieve, sistemas agrícolas, degradación

ABSTRACT

Mexico has extensive surfaces of degraded soils as a result of their non-sustainable use, and generating indicators for zoning is required to avoid this. The compatibility of land uses and agrological capacity was evaluated in the Grijalva River Basin (GRB), in order to identify soils in risk of degradation. The cartography was generated at the level of recognition of ecogeographic regions, land use, and agrological capacity. Its superposition allowed differentiating compatibility zones through map algebra. Results show that the GRB has 16 eco-geographic regions, where natural vegetation stands out (47.6 %), agricultural use (44.9 %), and urban areas, water bodies and bare ground (7.5 %). The classes of agrological capacity are differentiated by geomorphological environments; 36.9% of the Gulf Coastal Flatland is apt for agriculture (I to IV); 38% of the soil of the Northern Chiapas Sierra and Chiapas Highlands has forestry and livestock production aptitude (V to VI); and 21.9% of the whole basin is apt for wildlife (VII). Of the GRB, 5.5% (1178.6 km²) has incompatible use with its agrological capacity, indicating the risk of degradation from hydric erosion, when presenting agricultural use in soils with severe limitations. Therefore, sustainable programs for land use conversion to contribute to soil conservation should be promoted.

Keywords: cartography, relief, agricultural systems, degradation.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 3-8.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

México tiene superficies extensas con procesos de degradación en suelos, implicando su pérdida de utilidad actual o potencial para realizar funciones y servicios. Se atribuyen a usos agropecuarios no sustentables, destacando la exposición a erosión extrema (64%) del territorio (Montes-León *et al.*, 2011; Porta *et al.*, 2014). Existen varias metodologías de evaluación de dichos procesos, pero se requiere generar indicadores expeditos para identificar las tierras en riesgo y coadyuvar a su uso racional. Una alternativa consiste en valorar la compatibilidad del uso y vocación natural como un criterio para el aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos para mantener su capacidad productiva (Cotler *et al.*, 2007). Para ello se requiere contar con una cartografía de dichos factores. México tiene una cartografía de uso del suelo y de medio físico a nivel de reconocimiento (escala 1: 250,000), pero el uso del suelo tiene cambios dinámicos a corto plazo y la cartografía de suelos no está actualizada, por lo que se requiere generarla en regiones de tamaño medio. En las cuencas mayores, en una primera fase de estudio se requiere cartografía de reconocimiento de los factores a evaluar. El mapa de uso del suelo provee información sobre uso agropecuario y tipos de vegetación (INEGI, 2015). La cartografía de suelos y biofísica, junto con información física y química de los perfiles de suelo, permiten evaluar la capacidad o aptitud de las tierras para diversos usos, con base en factores limitantes por clima, erosión, drenaje, relieve y suelo (IMTA, 1989; Porta *et al.*, 2014). En este estudio se evaluó el grado de compatibilidad con la superposición de cartografía a nivel reconocimiento de uso del suelo y capacidad agrológica, en regiones ecogeográficas de la cuenca del río Grijalva, considerando que el grado de compatibilidad puede ser utilizado como indicador de suelos en procesos de degradación, para la toma de decisiones sobre programas de conservación de suelos y en estudios de ordenamiento ecológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del Río Grijalva (CRG) tiene una superficie de 21 411.2 km² (16° 45' y 18° 36' N, y 91° 40' y 93° 40' O). Los climas varían de cálido húmedo en la Planicie Costera del Golfo (PCG) y en la Sierra Norte de Chiapas (SNCH), con precipitación de 2000 a 4500 mm, a semicálido subhúmedo, templado subhúmedo y húmedo en la SNCH y Altos de Chiapas (ACH), donde la precipitación declina a 1500 mm. La cuenca es drenada por los ríos Mezcalapa, Samaria y Grijalva que aportan el caudal de agua dulce más importante de México (Zavala-Cruz *et al.*, 2013).

Mapa de regiones ecogeográficas. Se generó el mapa de regiones ecogeográficas escala 1:250 000 que zonifica ambientes geomorfológicos basados en el proceso dominante, y regiones ecogeográficas definidas por las variables morfométricas: forma, proceso geomorfológico, pendiente, altura relativa y tipo de roca (Ortiz *et al.*, 2005).

Mapa de uso del suelo y vegetación. El mapa de uso del suelo y vegetación (escala 1: 250 000) se obtuvo mediante la clasificación supervisada de imágenes SPOT de 2008 y 2009, utilizando un sistema de información geográfica (SIG), que integra información de López (1994), Novelo y Ramos (2005),

Pennington y Sarukhán (2005), y datos de 800 sitios sobre uso del suelo, tipos de vegetación y especies; además, se aplicó un cuestionario a 120 productores para conocer el manejo de los cultivos (Zavala-Cruz *et al.*, 2013).

Mapa de capacidad agrológica. La clasificación por capacidad agrológica (IMTA, 1989; Sonter y Lawrie, 2007) se basó en datos físicos y químicos de 106 perfiles, un mapa de suelos a escala 1:250 000, información de relieve y pendiente de las regiones ecogeográficas (Zavala-Cruz *et al.*, 2013).

Mapa de compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica. Los criterios de evaluación de la compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica se generaron con base en la información de la CRG. El mapa a escala 1: 250 000 se elaboró mediante superposición de los mapas de uso del suelo y su capacidad agrológica, aplicando álgebra de mapas en un SIG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ambientes y regiones ecogeográficas

En el ambiente Planicie Costera del Golfo (51.8%) sobresalen geofomas deposicionales de planicies (Figura 1) con sedimentos no consolidados del Cuaternario Holoceno, su altura y pendiente son menores a 50 m de altitud y 2 %, respectivamente. De la costa hacia el interior de la cuenca se presentan las regiones ecogeográficas: a) planicie costera de cordones de playa (PCCP) en sedimentos marinos arenosos; b) planicie baja de inundación lagunar (PBIL) en sedimentos fluviomarinos arcillosos y arenosos, y c) planicie fluvial (PF) edificada por sedimentos limosos, arcillosos y orgánicos

depositados por ríos y pantanos; las dos últimas están expuestas a inundaciones de temporales a permanentes. La terraza (T) sobre sedimentos detríticos (arenisca, lutita, conglomerado y limolita) del Mioceno y Plioceno, es modelada por denudación, resultando relieves ondulados con alturas y pendientes de 10 a 70 m y de 2 a 11%, respectivamente.

El ambiente SNCH (46.8%) tiene alturas de 40 a 1800 m, pendientes desde 4 a 100 % y rocas sedimentarias detríticas del Eoceno al Plioceno, y calizas del Cretácico Superior al Mioceno. Sobresalen las regiones ecogeográficas (Figura 1): a) Valle erosivo-acumulativo (VEA) sobre sedimentos aluviales y detríticos, en pendientes menores a 15 %; b) Lomerío (L) en sedimentos detríticos modelados por denudación y erosión, en pendientes de 6 a 40 %; el lomerío en rocas calizas desarrolla relieves kársticos; c) Rampa de pie de monte (RPM) del volcán Chichónal en brecha volcánica del Pleistoceno, evidencia denudación y erosión en pendientes de 6 a 25 %; d) Ladera inclinada (LI) sobre sedimentos detríticos y calizas, modelada por erosión y karsificación en pendientes de 25 a 100 %; e) Ladera inclinada y escarpada (LIE) en calizas, revela karsificación y erosión en pendientes de 50 % a 100 %. El ambiente ACH (1.4 %) se situó entre 1800 y 2500 m, el proceso de karsificación origina regiones ecogeográficas de dolinas y mogotes (DM) y niveles de cumbres (NC) sobre calizas, en pendientes de 10 a 100 % (Figura 1).

Uso del suelo y vegetación

En la CRG prevalecen usos del suelo de pastizal cultivado e inducido (PCI) (37.1 %), vegetación secundaria (VS) (27 %) e hidrófita (VH) (11.9 %), vegetación arbórea (8.7 %) de selva alta y mediana perennifolia (SAMP), selva baja y mediana perennifolia (SBMP), bosque de pino-encino (BPE) y bosque mesófilo de montaña (BMM); y cultivos (7.8 %) diferenciados en perennes (CP), semi-perennes (CS), anuales (CA) y plantaciones forestales (PF); el pastizal natural (PN) y las áreas urbanas y suelo desnudo (AUSD) ocupan superficies menores (Figura 2 A). Por ambiente geomorfológico, sobresalen los usos PCI (27.2%) y VH (11.5%) en la PCG; VS (21.1%), PCI (10.6%), SAP, BPE y BMM (6.8%) en la SNCH; así como BPE y CA en los ACH. Respecto al uso agrícola, los productores entrevistados indicaron que destinan mayor superficie al pastizal cultivado para la ganadería bovina, maíz (*Zea mays* L.), café (*Coffea arabica* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); la producción es para el autoconsumo y el mercado local.

Capacidad agrológica

Las clases de capacidad agrológica (Figura 2 B) I a IV (36.9 %) agruparon suelos aptos para uso agrícola, plantaciones forestales y pastizales, prevalecen en la PCG, en regiones ecogeográficas de planicies con suelos Fluvisoles, Gleysoles y Vertisoles, cuyas limitantes se asocian a inundación y manto freático;

en la terraza prevalecen los suelos Alisoles, Acrisoles y Luvisoles, las restricciones son por riesgo a erosión, pendiente y fertilidad. Las clases V y VI (38 %) integran suelos aptos para pastizales y plantaciones forestales, tienen mayor presencia en la SNCH y ACH, sobre Alisoles, Luvi-

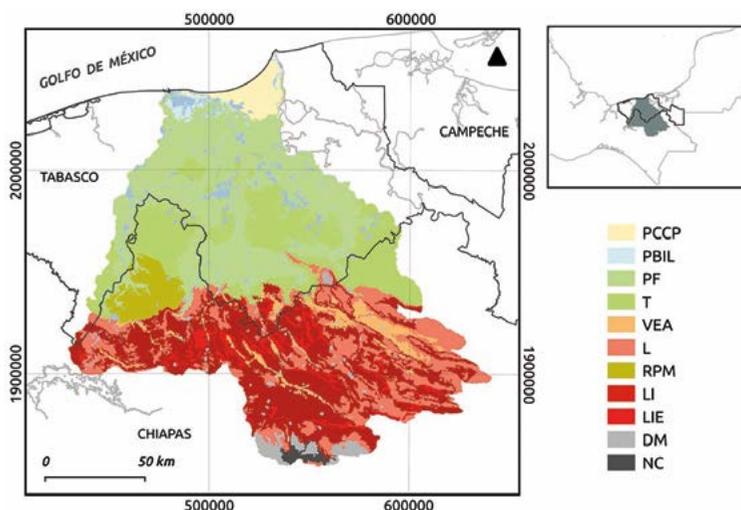


Figura 1. Regiones ecogeográficas de la Cuenca del Río Grijalva.

soles, Cambisoles y Acrisoles, y en menor extensión en Nitisoles y Lixisoles; sus mayores limitantes son por riesgo a erosión, pendiente y profundidad del suelo. La PCG presenta tierras de clase V en Arenosoles limitados por textura, y clases V y VI en Gleysoles demeritados por inundación y manto freático. La clase VII (21.9 %), solo apta para conservación de la vida silvestre, tiene mayor superficie en la SNCH y ACH, sobre Leptosoles con limitaciones extremas por riesgo a erosión, pendiente y profundidad; en la PCG los Histosoles y Solonchaks son restringidos por inundaciones severas y salinidad.

Compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica

Los criterios de evaluación de la compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la CRG se presentan en el Cuadro 1.

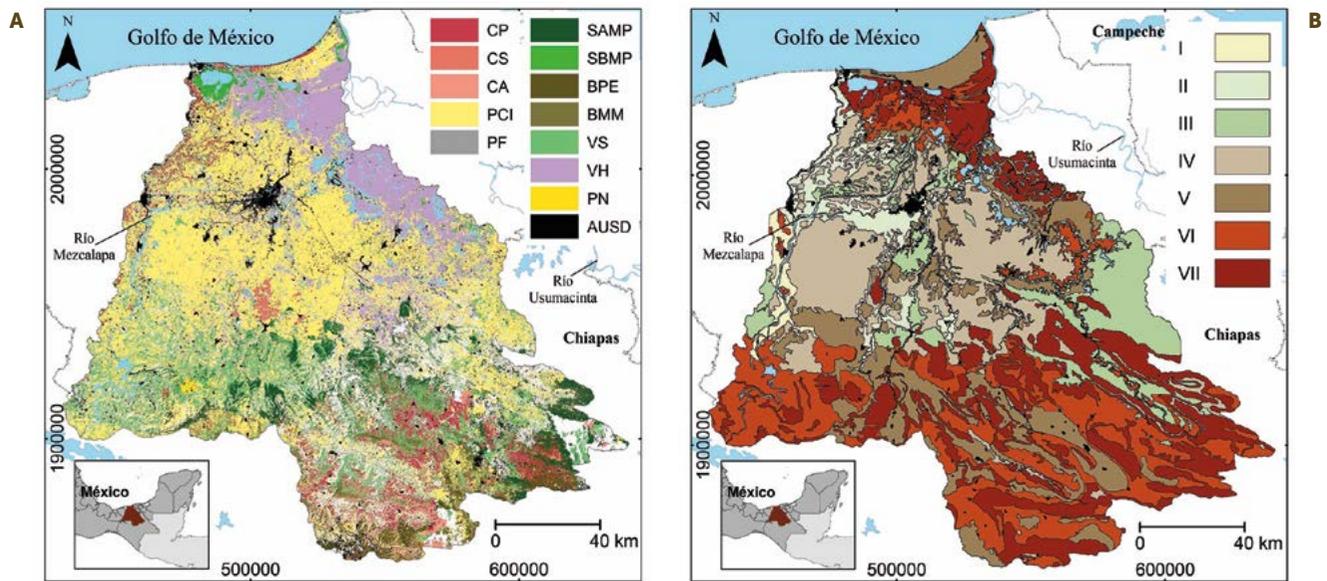


Figura 2. A: Uso del suelo y vegetación de la cuenca del Río Grijalva. B: Capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva.

La compatibilidad de los usos del suelo y la capacidad agrológica reveló los siguientes niveles en la CRG: compatible (C) 65.4 %, moderadamente compatible (MC) 8.7 %, e incompatible (I) 5.5 % (Figura 3). El área de uso incompatible representa 1178.6 km², y destaca sobre tierras de clase VII (Figura 4) con Leptosoles, y en menor grado en las clases V y VI sobre Alisoles, Luvisoles, Cambisoles y Acrisoles. Estos suelos se caracterizan por presentar alto riesgo de erosión al localizarse en pendientes accidentadas de lomeríos, laderas inclinadas y escarpadas, dolinas y mogotes, en los ambientes SNCH y ACH (Figura 5). Pequeñas áreas de uso incompatible se observan en la clase VII, sobre Histosoles de la planicie fluvial, en el ambiente PCG.

Las zonas de uso incompatible concuerdan con superficies de la CRG reportadas con erosión potencial alta a extrema (Montes-León *et al.*, 2011; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013), las variables limitantes son similares a las descritas en este estudio, como pendientes escarpadas mayores a 25 % y suelos delgados de tipo Leptosol (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013). Las áreas de uso incompatible revelan un complejo de limitantes asociadas a usos no sustentables (cultivos anuales y pastizales) que rebasan la capacidad de uso, y por consiguiente, la deforestación sobreexpone a los suelos de las laderas a la acción de la lluvia, la escorrentía superficial y la erosión hídrica (Porta *et al.*, 2014). La ubicación geográfica de estas áreas, orienta a los tomadores de decisiones para implementar progra-

Cuadro 1. Matriz de compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva.

| Uso del suelo | | Capacidad agrológica y compatibilidad ¹ | | | | | | | |
|---|-------------------------------|--|----|-----|----|-----------------|-----------------|-----|------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| Agricultura | Perennes | C | C | MC | MC | MC ³ | MC ³ | I | I |
| | Semiperennes | C | C | MC | MC | I | I | I | I |
| | Anuales | C | C | MC | MC | I | I | I | I |
| Ganadería | Pastizal cultivado e inducido | C | C | C | C | C | MC | I | I |
| Forestal | Plantaciones forestales | C | C | C | C | C | MC | I | I |
| Vegetación ² | Natural y secundaria | C | C | C | C | C | C | C | C |
| ¹ Compatibilidad | C | Compatible: los usos del suelo están abajo de la capacidad agrológica y no degradan el suelo. | | | | | | | |
| | MC | Moderadamente compatible: los usos del suelo están a nivel de la capacidad agrológica y pueden degradar el suelo por mal manejo. | | | | | | | |
| | I | Incompatible: los usos del suelo rebasan la capacidad agrológica y degradan el suelo. | | | | | | | |
| ² Vegetación natural y secundaria: bosque, selva, vegetación secundaria, vegetación hidrófita, pastizal natural. | | | | | | | | | |
| ³ Cultivos perenes de café y cacao bajo sombra. | | | | | | | | | |

mas de conservación y reordenación de usos del suelo.

Cabe aclarar que el 57.9 % de la superficie de la SNCH y ACH está cubierta de vegetación natural (selvas, bosques y secundaria) y se clasifica como uso compatible con la capacidad de uso, ya que la vegetación arbórea de las laderas atenúa el impacto de las gotas de lluvia, evita el desprendimiento de partículas, frena la velocidad de circulación del agua de escorrentía superficial y protege al suelo contra la erosión hídrica (Porta *et al.*, 2014); por consiguiente la vegetación es el uso más adecuado para tierras con severas limitaciones para las actividades agrícolas. En contraste, Montes-León *et al.* (2011) y Sánchez-Hernández *et al.* (2013) incluyen las tierras con vegetación natural como áreas degradadas o con alto riesgo a la erosión, lo cual se explica por procesos geomorfológicos modeladores de laderas, caracterizadas por ser poco estables, de mayor escurrimiento superficial, de tránsito de materiales y susceptibles a la erosión, con suelos sometidos a rejuvenecimiento (Cajuste-Botemps y Gutiérrez-Castorena, 2011; Porta *et al.*, 2014).

Las zonas moderadamente compatibles concuerdan con tierras de clase V y VI (Figura 4) situadas en suelos similares a los de uso incompatible, sobre colinas y laderas con pendientes moderadas a inclinadas, donde el uso del suelo está en el límite de la capacidad agrológica para pastizales y plantaciones forestales; se ubican en zonas de erosión potencial alta a extrema (Montes-León *et al.*, 2011; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013). Estudios en zonas de moderada compatibilidad en la SNCH, evidencian procesos de degradación por manejo inadecuado del suelo. En lomeríos y laderas de la CRG, en Tabasco, México, generalmente con pastizales cultivados, reportan pérdidas de suelo de 25 a 200 t ha⁻¹ cada año asociadas a erosión hídrica en pendientes de 2 a 72 % (Palma-López *et al.*, 2008; Zavala-Cruz *et al.*, 2012), erosión

subsuperficial a través de sumideros y túneles en Leptosoles sobre pendientes del 9 %, así como erosión superficial, cárcavas y movimientos en masa en Leptosoles, Vertisoles y Luvisoles asociados a pendientes de 9 a 51 % (Geissen *et al.*, 2007; Geissen *et al.*, 2008). El proceso de degradación es inducido por las actividades humanas que destruyen la cubierta vegetal

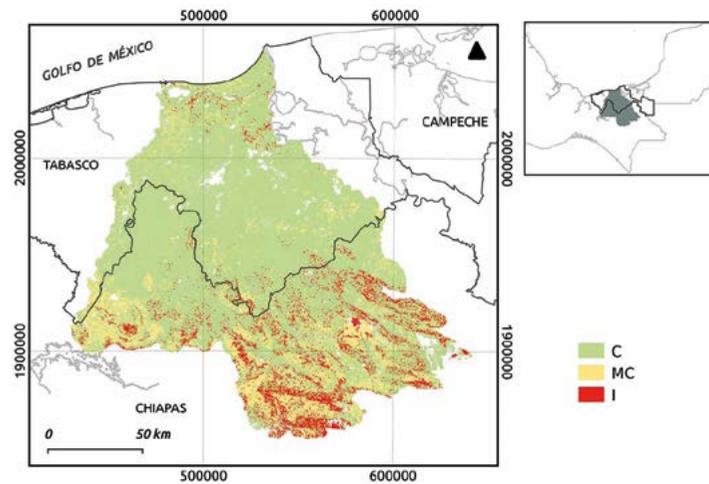


Figura 3. Compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva. Claves: C Compatible; MC Moderadamente compatible; I Incompatible.

sin respetar la capacidad de uso o aptitud de los suelos, llevando posteriormente a la pérdida por erosión (Granada-Isaza *et al.*, 2013); en la CRG la deforestación para usos agrícolas inició a mediados del siglo XX, alcanzando tasas entre las más altas del mundo (Muñoz-Salinas y Castillo, 2015), en suelos de piedemontes, lomeríos y laderas con potencial agropecuario medio

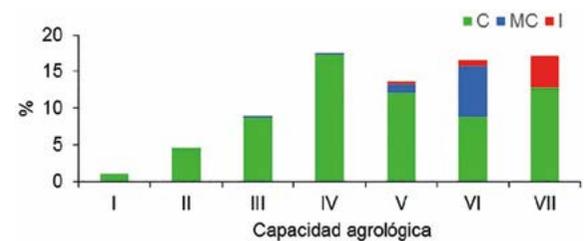


Figura 4. Compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva. Claves: C Compatible, MC Moderadamente compatible, I Incompatible.

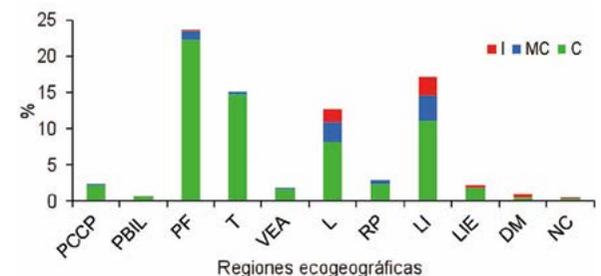


Figura 5. Compatibilidad de uso del suelo en regiones eco-geográficas de la cuenca del Río Grijalva. Claves: C Compatible, MC Moderadamente compatible, I Incompatible.



a bajo, desaprovechando su potencial para uso forestal (Bollo-Manent *et al.*, 2010).

Algunas áreas de uso moderadamente compatible se ubican en tierras de clase III y IV sobre terrazas del ambiente PCG y valles de la SNCH, las limitantes por riesgo a erosión son menores para pastizales y altas para cultivos, debido a que la pendiente se suaviza (<12%), denotando superficies con sistemas agropecuarios que deben manejarse con prácticas sustentables, ya que en estas regiones se reporta erosión potencial baja a media (Palma-López *et al.*, 2008; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013).

En las zonas de uso incompatible, se recomienda implementar programas de cambio de uso del suelo a sistemas agroecológicos sustentables: plantaciones agroforestales y/o silvopastoriles, cultivos perennes bajo dosel arbóreo, cercos vivos y barreras verdes, manejo de vegetación secundaria y conservación de relictos de bosques y selvas. En las zonas de uso moderadamente compatible, se requiere adoptar prácticas de manejo agroecológico sustentable de los sistemas agropecuarios.

CONCLUSIONES

La cuenca del Río Grijalva (CRG) presentó una incompatibilidad del uso del suelo con la capacidad agrológica en 5.5 % (1178.6 km²) de su área, lo cual muestra un riesgo a erosión hídrica como consecuencia del uso agrícola y pecuario en suelos con severas limitaciones (como los Leptosoles), sobre regiones ecogeográficas inclinadas de la Sierra Norte de Chiapas (SNCH) y Altos de Chiapas (ACH). Se recomienda impulsar programas de reconversión de usos agropecuarios a sistemas agroecológicos sustentables para coadyuvar a la conservación de los suelos. En tierras con usos moderadamente compatibles con las clases V y VI, en laderas de los ambientes SNCH y ACH, y en terrazas de la Planicie Costera del Golfo, se requiere impulsar programas de manejo sustentable de suelos a fin de evitar su degradación.

AGRADECIMIENTOS

A FOMIX CONACYT Tabasco por el financiamiento del proyecto TAB-2007-C10-82422/03.

LITERATURA CITADA

Bollo-Manent M., Hernández-Santana J. M. 2008. Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Geográficas* 66: 7-24.

Cajuste-Bontemps L., Gutiérrez C. M. C. 2011. El factor relieve en la distribución de los suelos en México. En: Krasilnikov P., Jiménez-Nava F. J., Reyna-Trujillo T., García-Calderón N. E. (Eds). *Geografía de suelos de México*. Universidad

Nacional Autónoma de México. México. pp: 73-84.

Cotler H., Sotelo E., Domínguez J., Zorrilla M., Cortina S., Quiñones L. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* 83: 5-71.

Geissen V., Kampichler C., López de Llergo-Juárez J. J., Galindo-Alcántara A. 2007. Superficial and subterranean soil erosion in Tabasco, tropical Mexico: Development of a decision tree modeling approach. *Geoderma* 139: 277-287.

Geissen V., López de Llergo-Juárez J. G., Galindo-Alcántara A., Ramos-Reyes R. 2008. Erosión superficial y carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste de México. *Agrociencia* 42: 605-614.

Granada-Isaza C. A., Ventura-Ramos E., Baumann J., Oropeza-Mota J. L., Mobayed-Khodr N. 2013. Efecto del estado de degradación en la respuesta hidrológica de dos unidades de escurrimiento en la cuenca del río La Sierra, México. *European Scientific Journal* 9 (21): 194-210.

IMTA. 1989. Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de Taxonomía de Suelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Cuernavaca. 302 p.

INEGI. 2015. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie V. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. 200 p.

López M. R. 1994. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. 123 p.

Montes-León M. A. L., Uribe-Alcántara E. M., García-Celis E. 2011. Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua* 11 (1): 5-17.

Muñoz-Salinas E., Castillo M. 2015. Streamflow and sediment load assessment from 1950 to 2006 in the Usumacinta and Grijalva Rivers (Southern Mexico) and the influence of ENSO. *Catena* 127: 270-278.

Novelo A., Ramos L. 2005. Vegetación acuática. En: Bueno J., Álvarez F. Santiago S. (Eds.) *Biodiversidad del estado de Tabasco*. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 386 p.

Ortiz P. M. A., Siebe C., Kram S. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. En: Bueno J., Álvarez F. Santiago S. (Eds.) *Biodiversidad del estado de Tabasco*. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 386 p.

Palma-López D. J., Moreno C. E., Rincón R. J. A., Shirma T. E. D. 2008. Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa. 74 p.

Pennington T. D., Sarukhán J. 2005. Manual para la identificación de las principales especies de árboles tropicales de México. Fondo de Cultura Económica. México. 525 p.

Porta J., López-Acevedo M., Poch R. M. 2014. Edafología uso y protección de suelos. Mundi-Prensa. Madrid. 608 p.

Sánchez-Hernández R., Mendoza-Palacios J. D., De la Cruz R. J. C., Mendoza M. J. E., Ramos-Reyes R. 2013. Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG. *Universidad y Ciencia* 29: 153-161.

Sonter R. O., Lawrie J. W. 2007. Soils and rural land capability. En: Charman P. E. V., Murphy B. W. (Eds). *Soils their properties and management*. Oxford University Press. South Melbourne. 461 p.

Zavala-Cruz J., Palma-López D. J., Fernández-Cabrera C. R., López-Castañeda A., Shirma-Tórres E. 2012. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Colegio de Postgraduados, PEMEX. Villahermosa. 90 p.

Zavala-Cruz J., Castillo-Acosta O., Ortiz-Pérez M. A., Córdova-Ávalos V., Palma-López D. J., García-López E., Guerrero-Peña A., Salgado-García S., Obrador-Olán J. J. 2013. Geomorfología, suelo y vegetación de la cuenca del Río Grijalva. En: Frías-Márquez D. M., Guillén-Landero R. (Eds.). *Avances de investigación de la Red Académica Sobre Desastres en Tabasco*. FOMIX Tabasco, UJAT, CCYTET, COLPOS, ECOSUR. Villahermosa. 204 p.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS POR FERTILIDAD DE LA SUBREGIÓN RÍOS DE TABASCO, MÉXICO

CLASSIFICATION BY SOIL FERTILITY OF THE RÍOS DE TABASCO SUB-REGION

Salgado-Velázquez, S.¹; Salgado-García, S.^{1*}; Palma-López, D.J.¹; Zavala-Cruz, J.¹; Córdova-Sánchez, S.²; Rincón-Ramírez, J.A.¹

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Grupo SIRDF. Km. 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. ²Universidad 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:** salgados@colpos.mx

RESUMEN

El sistema para clasificar suelos de acuerdo a su fertilidad FCC agrupa a los suelos de la subregión Ríos de Tabasco (SRT) de acuerdo a parámetros de la capa superior del suelo, y algunas características del subsuelo vinculadas con el crecimiento de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Se realizó un estudio de suelos de 361,855.9 ha para decidir la expansión del área cultivada de palma de aceite clasificando la fertilidad de los suelos de la SRT para mejorar la toma de decisiones. Los factores que limitan la potencialidad de los suelos de la SRT para su uso agropecuario fueron la acidez, exceso o déficit de agua, contenido de arcilla, erosión, deficiencias nutrimentales, presencia de Na, alcalinidad y baja CIC que, solos o agrupados influyen en el detrimento de la fertilidad de los suelos. El drenaje agrícola, encalado, riego y fertilización con macro y micronutrientes, pueden ser prácticas agronómicas que permitirían mejorar las condiciones de las unidades Gleysol, Vertisol, Fluvisol y Acrisol para la palma de aceite. El resto de las subunidades deben ser conservadas con la vegetación natural y, para conservar su papel de amortiguamiento y retención de humedad. Para resolver estos problemas se requiere un análisis integral que considere el tipo de cultivo, época de siembra y disponibilidad de tecnología.

Palabras clave: Fertilidad, sistema, clasificación, palma de aceite.

ABSTRACT

The system used to classify soils based on their FCC fertility groups the soils of the Ríos de Tabasco sub-region (SRT) according to parameters of the superior soil layer, and some characteristics of the subsoil linked to the growth of palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.). A soil study of 361,855.9 ha was performed to decide the expansion of the area cultivated with palm oil, classifying the fertility of the SRT soils to improve decision making. The factors that limit the potential of the SRT soils for their agricultural and livestock use were acidity, water excess or deficit, clay content, erosion, nutrient deficiencies, presence of Na, alkalinity and low CIC which, alone or grouped, have an influence on the detriment of soil fertility. Agricultural drainage, whitewashing, irrigation and fertilization with macro and micro nutrients, can be agronomic practices that would allow improving the conditions of the Gleysol, Vertisol, Fluvisol and Acrisol units for palm oil. The rest of the subunits must be conserved with natural vegetation, to conserve their role of buffer and moisture retention zones. To solve these problems, an integral analysis is required which takes into account the type of crop, time of sowing, and availability of technology.

Keywords: Fertility, system, classification, palm oil.

INTRODUCCIÓN

El sistema para clasificar suelos de acuerdo a su fertilidad (FCC, por sus siglas en inglés) fue desarrollado por Buol et al. (1975), con la finalidad de cerrar la brecha entre las subdisciplinas de clasificación y fertilidad de suelos. Como sistema de clasificación técnica de suelos el FCC está dirigido a un uso específico, derivado de sistemas de clasificación natural como la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 2014), o el Referencial de los Suelos del Mundo (IUSS Working Group WRB, 2014). Las categorías del FCC indican las principales limitaciones de los suelos en cuanto a su fertilidad, las cuales pueden ser interpretadas en relación a los cultivos de interés. Desde su publicación en 1975, el FCC ha sido evaluado y aplicado en varios países. A

raíz de esto, las definiciones de varios modificadores han cambiado, y se han incluido otros nuevos para mejorar el sistema (Sánchez et al., 1982). En Tabasco, este sistema solo se ha aplicado en dos regiones generando buenas recomendaciones de manejo agronómico (Salgado y Palma, 2002; Salgado y Obrador, 2012). Dado que en la Subregión Ríos de Tabasco (SRT) se realizó un estudio de suelos de 361,855.9 ha, además del interés de productores e instancias gubernamentales de expandir el área cultivada con palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), surgió la necesidad de elaborar la clasificación de fertilidad de los suelos cultivados con palma de aceite de la subregión Ríos de Tabasco para mejorar la toma de decisiones.

METODOLOGÍA

El área de estudio abarcó una superficie de 361,855.9 ha, considerando 13 subunidades de suelos (Figura 1), y de las cuales 11 son cultivadas con palma de aceite (Figura 2). Se utilizaron los datos de las propiedades físicas y químicas de los dos primeros horizontes de las 13 subunidades de suelo de la SRT, las cuales fueron tomadas del estudio de suelos realizado por Salgado et al. (2015). Se utilizó el sistema para clasificar suelos de acuerdo a su fertilidad (FCC), que está compuesto por tres categorías, las cuales, a su vez se componen de diferentes clases, cuya combinación forma las unidades de FCC:

Tipo. Se refiere a la textura de la capa arable o de los 20 cm del suelo, cualquiera que sea más superficial.

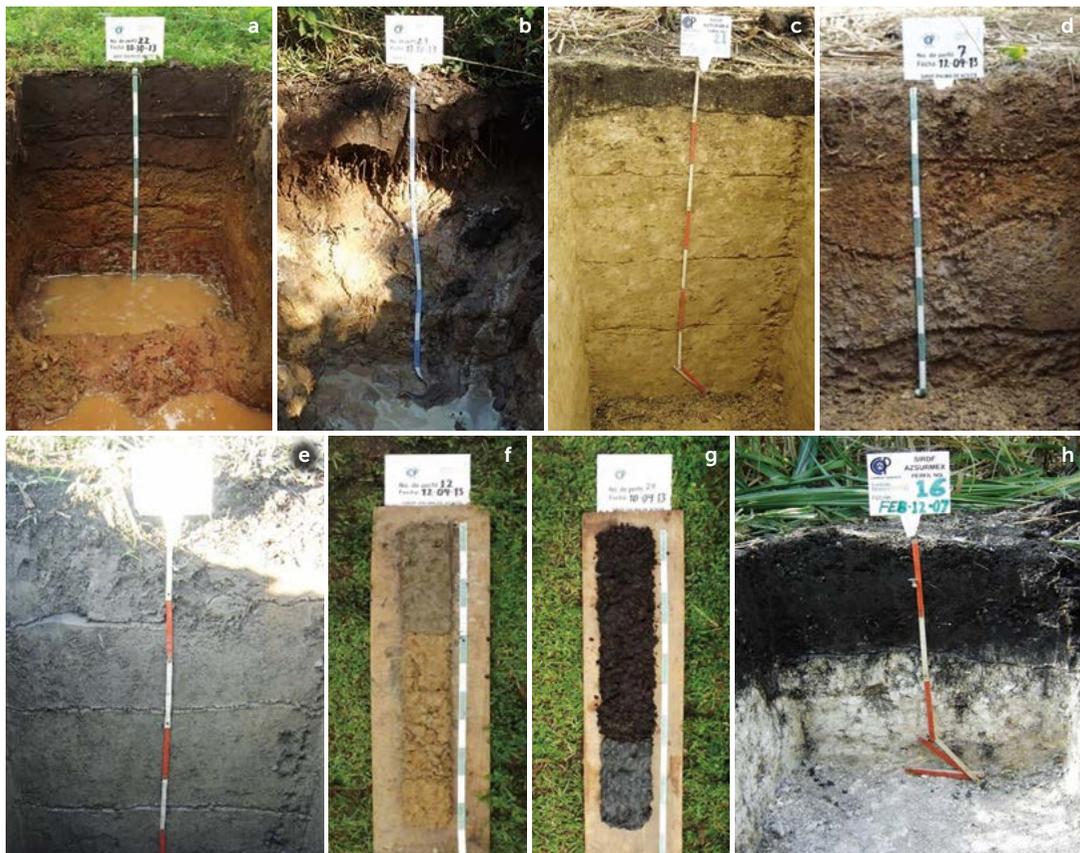


Figura 1. Detalles de los perfiles de suelos de la subregión Ríos de Tabasco. a) ACgIcr (au, lo, cu, df), b) ARdy (au), c) CLpctm (lo, rp), d) CMgleu (ce), e) FLglca (ce), f) GLoydy (ce, vr), g) HSSarheu (mi) y h) LPrz (lo, hu).

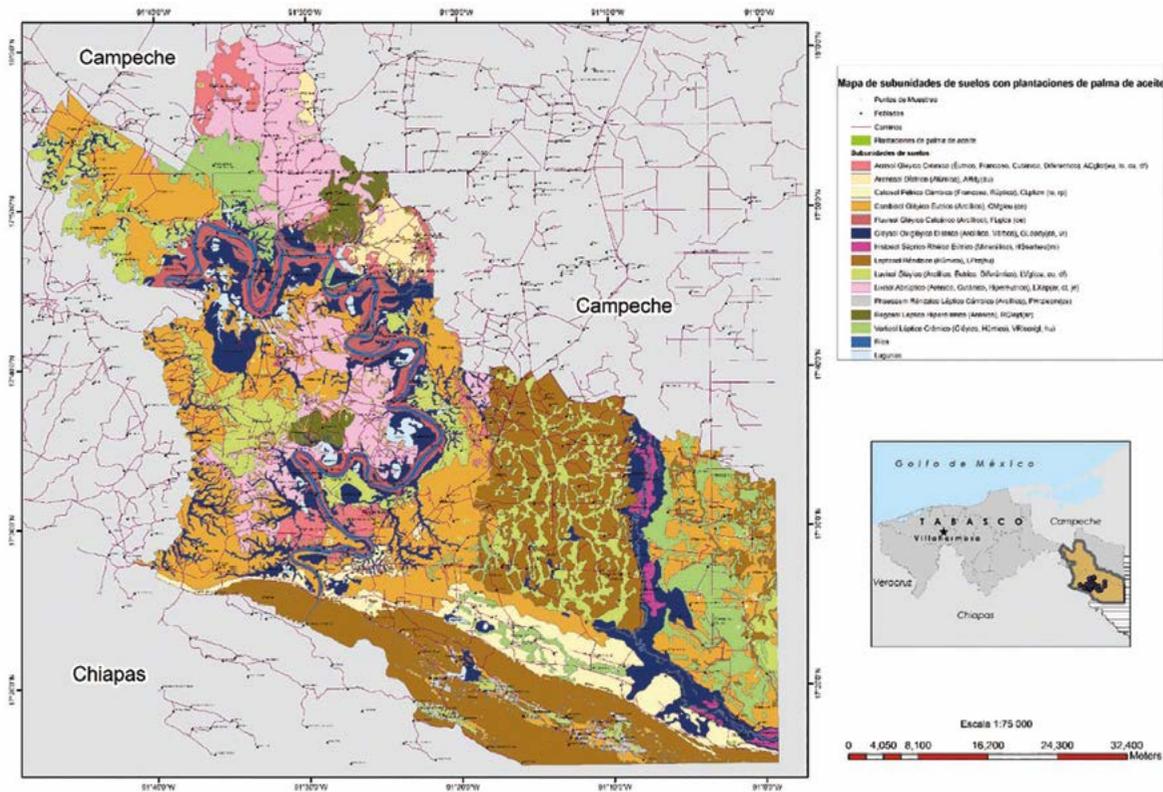


Figura 2. Mapa de subunidades de suelo de la región de los Ríos con las plantaciones de palma de aceite.

S: Capa superior del suelo arenosa: arenas francas y arenas (Soil Survey Staff, 2014).

L: Capa superior del suelo franca: <35% de arcilla pero no incluye arena franca o arena.

C: Capa superior del suelo arcillosa: >35% de arcilla.

D: Suelos orgánicos: >30% de materia orgánica hasta una profundidad de 50 cm o más.

Tipo de substrato (textura del subsuelo). Se emplea solamente cuando existe un cambio de textura marcado a partir de la superficie, o si se encuentra una capa dura que impida el crecimiento de raíces dentro de los primeros 50 cm del suelo.

S: Subsuelo arenoso: igual al del tipo; **L:** Subsuelo franco: textura similar al del tipo;

C: Subsuelo arcilloso: textura similar al del tipo; **R:** Roca u otra capa dura que impide el desarrollo de las raíces.

Modificadores. Cuando se indica más de un criterio para cada modificador sólo uno necesita ser conocido. El criterio que se menciona en primer lugar es el deseable y deberá emplearse si los datos están disponibles. Los siguientes criterios se presentan para casos en que no sea posible identificar el primero (Sánchez et al., 1982): **g** (Gley), **d** (Seco), **e** (Baja capacidad de intercambio catiónico), **a** (Toxicidad de aluminio), **h** (Ácido), **i** (Alta fijación de fósforo por hierro), **x** (Minerales amorfos), **v** (Vertisol), **k** (Bajas reservas de K), **b** (Reacción básica), **s** (Salinidad), **n** (Sódico), **c** (Cat clay), **'y'** (Grava), **%** (Pendiente).

Procedimiento. Los suelos son clasificados de acuerdo con estos parámetros determinando si la característica está presente o no. La mayoría de los límites cuantitativos son criterios presentes en la Taxonomía de Suelos y el Referencial de los

Suelos del Mundo (Soil Survey Staff, 2014; IUSS et al., 2014). Las unidades de FCC enumeran el tipo de textura y de sustrato (si es diferente) en mayúsculas, los modificadores en minúsculas, el modificador de grava como virgulilla (') y la pendiente, si se desea, entre paréntesis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de suelos

Las propiedades químicas y físicas de los dos primeros horizontes de las subunidades de suelos se presentan en el Cuadro 1, y la clasificación de FCC para cada subunidad de suelos:

Seahik' (5%) Acrisol Gléyico Crómico (Alúmico, Francoso, Cutánico, Diferéntico). Suelo con alto índice de infiltración, baja capacidad de retención de agua y alta escorrentía potencial. La desnitrificación, ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico, las operaciones

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los horizontes superficiales de las subunidades de suelo de la Subregión Ríos de Tabasco.

| Subunidad | Horizontes (cm) | pH (H ₂ O) rel. 1:2 | CE (cm ² m ⁻¹) | MO (%) | N (%) | P (mg kg ⁻¹) | K | Ca | Mg | Na | CIC | Da (g cm ⁻³) | Arcilla | | | Limo (%) | Arena | Textura |
|------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------|-------|--------------------------|------|------|------|-------|------|--------------------------|---------|----|----|-------------------------|-------|---------|
| | | | | | | | | | | | | | Ca | Mg | Na | | | |
| ACgclr(au, lo, cu, df) | A1 (0-30) | 4.1 | 27.0 | 4.1 | 0.17 | 3.6 | 0.11 | 0.8 | 0.5 | MLD | 4.4 | 1.4 | 13 | 9 | 79 | Franco Arenoso | | |
| | A2 (30-45) | 4.2 | 14.7 | 1.8 | 0.09 | 3.9 | 0.04 | 0.4 | 0.3 | MLD | 2.5 | 1.4 | 13 | 10 | 77 | Franco Arenoso | | |
| ARdy(au) | A (0-29) | 4.9 | 14.0 | 1.5 | 0.07 | 2.1 | 0.11 | 0.3 | 0.1 | MLD | 1.5 | 1.5 | 7 | 13 | 81 | Arena Migajoso | | |
| | C1 (29-(42-62) | 5.5 | 7.2 | 0.3 | 0.02 | 0.7 | 0.02 | 0.1 | 0.0 | MLD | 1.0 | 1.5 | 7 | 11 | 83 | Arena Migajoso | | |
| CLptcm (lo, rp) | AP (0-17) | 6.9 | 0.12 | 4.0 | 0.20 | 29.0 | 0.26 | 31.1 | 1.4 | 0.07 | 23.3 | 1.3 | 40 | 34 | 26 | Arcilla | | |
| | 2Ck1 (17-45) | 7.1 | 0.10 | 0.4 | 0.02 | 6.6 | 0.14 | 35.1 | 1.0 | 0.08 | 14.2 | 1.2 | 27 | 45 | 28 | Franco | | |
| CMgleu(ce) | A (0-24) | 5.2 | 39.90 | 3.1 | 0.17 | 2.9 | 0.15 | 6.9 | 3.8 | 0.2 | 13.0 | 1.08 | 41 | 39 | 21 | Arcilla | | |
| | Bw (24-47) (43-54) | 5.3 | 28.19 | 1.6 | 0.10 | 0.4 | 0.10 | 5.2 | 3.8 | 0.1 | 13.0 | 1.08 | 41 | 37 | 23 | Arcilla | | |
| FLgca (ce) | AP (0-29) | 5.2 | 0.04 | 3.3 | 0.19 | 22.2 | 0.47 | 24.4 | 12.0 | 0.15 | 33.0 | 1.3 | 69 | 30 | 1 | Arcilla | | |
| | C1 (29-56) | 6.1 | 0.05 | 1.0 | 0.08 | 2.0 | 0.33 | 25.5 | 13.3 | 0.21 | 30.9 | 2.1 | 63 | 33 | 4 | Arcilla | | |
| GLoydy(ce, vr) | Apg (0-40) | 4.8 | 141.20 | 3.6 | 0.19 | 9.6 | 0.31 | 0.4 | 5.7 | 0.4 | 38.9 | 0.99 | 58 | 21 | 21 | Arcilla | | |
| | Bwg1 (40-60) | 5.1 | 39.80 | 0.9 | 0.09 | 3.3 | 0.10 | 0.2 | 5.7 | 0.2 | 23.5 | 1.10 | 38 | 19 | 43 | Franco Arcilloso | | |
| HSsarheu(mi) | Oe (0-70) | 6.2 | 3.0 | 76.3 | 1.67 | 13.17 | 0.44 | 1.4 | 11.5 | 97.6 | 78.4 | 0.62 | NA | NA | NA | NA | | |
| | Cg (70-100) | 6.1 | 2496.0 | 4.6 | 0.17 | 0.86 | 0.32 | 0.3 | 5.7 | 114.5 | 45.9 | 0.95 | 67 | 13 | 21 | Arcilla | | |
| LPrz(lo, hu) | AP (0-32) | 5.6 | 0.08 | 3.9 | 0.18 | 9.0 | 0.14 | 15.0 | 11.2 | 0.32 | 28.9 | 1.3 | 34 | 16 | 50 | Migajón arcillo arenoso | | |
| | A (0-30) | 5.9 | 84.10 | 6.6 | 0.34 | 1.6 | 0.20 | 23.6 | 4.3 | 0.1 | 29.9 | 1.02 | 51 | 21 | 29 | Arcilla | | |
| LVreg(lce, cu, df) | Bt (30-56) | 6.0 | 40.40 | 2.1 | 0.12 | 0.4 | 0.13 | 18.4 | 4.2 | 0.0 | 25.0 | 0.93 | 73 | 11 | 17 | Arcilla | | |
| | A (0-27) | 5.20 | 0.01 | 0.81 | 0.04 | 0.127 | 0.05 | 0.45 | 0.10 | 0.02 | 0.52 | NSD | 11 | 11 | 78 | Migajón arenoso | | |
| LXap(ar, ct, je) | E (27-75) | 6.10 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 1.13 | 0.02 | 0.14 | 0.01 | 0.05 | NSD | NSD | 7 | 11 | 82 | Arena migajoso | | |
| | A1 (0-24) | 6.7 | 90.70 | 5.7 | 0.36 | 1.6 | 0.70 | 0.1 | 10.1 | 21.1 | 38.4 | 0.95 | 67 | 7 | 27 | Arcilla | | |
| PHrzlecm(ce) | Bw (24-42)(42-62) | 7.2 | 53.30 | 2.1 | 0.21 | 1.6 | 0.27 | 0.1 | 9.0 | 18.6 | 36.4 | 0.90 | 83 | 3 | 15 | Arcilla | | |
| | Ap (0-24) (0-17) | 4.72 | 0.03 | 4.38 | 0.2 | 3.89 | 0.06 | 0.84 | 0.14 | 0.001 | 2.07 | NSD | 10 | 12 | 78 | Migajón arenoso | | |
| RGLejd (ar) | C1 (24-50) (17-50) | 4.89 | 0.01 | 0.74 | 0.03 | 1.67 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | NSD | NSD | NSD | 10 | 6 | 84 | Arena migajoso | | |
| | A1 (0-17) | 6.0 | 83.90 | 4.9 | 0.21 | 1.9 | 0.35 | 23.3 | 3.2 | 0.1 | 30.9 | 0.97 | 63 | 17 | 20 | Arcilla | | |
| VRlecr(gl, hu) | Bwg (17-43) | 6.1 | 44.10 | 2.0 | 0.10 | 1.4 | 0.22 | 29.6 | 2.8 | 0.1 | 34.9 | 0.93 | 72 | 16 | 12 | Arcilla | | |

de labranza y el cultivo de palma pueden ser afectados por el exceso de lluvias, y se requiere drenaje superficial. Tiene una baja CIC lo cual favorece la lixiviación, sobre todo en los casos de K, Ca y Mg, por lo que resulta limitante para la palma de aceite (Paramanathan, 2011). Este cultivo, es tolerante a la toxicidad por Al, el modificador **a** es deseable para una rápida disolución de las rocas; la toxicidad por Mn puede ocurrir en algunos de estos suelos. Acidez del suelo baja a mediana, se requiere encalado (Aguilar *et al.*, 1994). Presenta alta capacidad de fijación de P, se sugiere usar fosfato diamónico (DAP) y aplicaciones en banda para disminuir la fijación del P. Baja capacidad de suministro de potasio; la disponibilidad de K tendría que ser controlada con aplicaciones fraccionadas de cloruro de potasio (KCl), y puede presentarse desequilibrios entre K, Mg y Ca.

Sdeahik(1%) Arenosol Dístico (Alúmico). Este suelo presenta alto índice de infiltración con baja capacidad de retención de agua. La humedad es limitante durante la estación seca si el suelo no se irriga. El resto es similar al suelo Acrisol Gléyico Crómico (Alúmico, Francoso, Cutánico, Diferéntico).

Cgvb(30%) Calcisol Pétrico Cámbico (Francoso, Rúptico). Presenta un bajo índice de infiltración, buena capacidad de retención del agua y alta escorrentía potencial. La desnitrificación, ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico, las operaciones de labranza y ciertos cultivos pueden ser afectados por el exceso de lluvias si el drenaje no es mejorado por la labranza u otros procedimientos de drenaje; indica un buen régimen de humedad del suelo. Son suelos calcáreos, debe evitarse la roca fosfatada y otros fosfatos no solubles en agua; deficiencia potencial de hierro, boro y zinc (Salgado *et al.*, 2003; Salgado *et al.*, 2010).

Cgeahiv(<1%) Cambisol Gléyico Éútrico (Arcillico). Esta subunidad presenta un índice bajo de infiltración, buena capacidad de retención del agua, ligera escorrentía potencial, labranza difícil, cuando el modificador **i** está presente (Ci) son suelos fáciles de labrar, con alto índice de infiltración y baja capacidad de retención de agua. La desnitrificación, ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico. Presenta una baja CIC lo cual favorece la lixiviación, sobre todo en los casos de K, Ca y Mg para no limitar el desarrollo del cultivo (Paramanathan, 2011); niveles altos de aplicación de estos elementos y de fertilizantes nitrogenados tendrían que hacerse en forma fraccionada. El resto es similar al sue-

lo Acrisol Gléyico Crómico (Alúmico, Francoso, Cutánico, Diferéntico).

Cgv(1%) Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcillico): Esta subunidad presenta un Índice bajo de infiltración con buena capacidad de retención del agua, ligera escorrentía potencial labranza difícil. Esta subunidad posee una capa de arcilla mayor de 35 %, que se prolonga en todo el perfil, suelo saturado con manto freático elevado, que permanece inundado durante el periodo de lluvias. La desnitrificación, ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico, las operaciones de labranza y la palma de aceite, pueden ser afectados por el exceso de lluvias si el drenaje no es realizado.

Cgahiv(<1%) Gleysol Oxigléyico Dístico (Arcillico, Vértico): Esta subunidad presenta un índice bajo de infiltración, buena capacidad de retención del agua, ligera escorrentía potencial y labranza difícil; cuando el modificador **i** está presente (Ci) son suelos fáciles de labrar. La desnitrificación, ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico, las operaciones de labranza y ciertos cultivos pueden ser afectados por el exceso de lluvias si el drenaje no es mejorado por la labranza. La palma de aceite es tolerante a la toxicidad por Al y la toxicidad por Mn puede ocurrir en algunos de estos suelos. La acidez del suelo es baja a mediana, se requiere encalado (Aguilar *et al.*, 1994). Alta capacidad de fijación de P; se requiere de altas cantidades de fertilizantes fosfatado aplicados en banda para evitar la fijación.

Dgv(<1%) Histosol Sáprico Rhéico Éútrico (Mineralico): Esta subunidad no es recomendable para uso agrícola, ya que permanecen anegadas con una capa de agua de 110 cm. Por su alto potencial para fijar carbono esta subunidad debería considerarse preferentemente en los programas de apoyo por la captura y el secuestro de carbono y mantenerse así, ya que actualmente constituyen las áreas de inundación.

Lgkv'(0%) Leptosol Rendzico (Francoso, Húmico): Esta subunidad presenta un índice mediano de infiltración y mediana capacidad de retención del agua. La palma de aceite requiere de suelos con más de 50 cm de profundidad de suelo (Paramanathan, 2011). Esta subunidad posee una capa de arcilla mayor de 35 %, que se prolonga en todo el perfil. Presenta una baja capacidad de suministro de potasio; la disponibilidad de K tendría que ser controlada y los fertilizantes potásicos serán

muchas veces necesarios; pueden presentarse desequilibrios entre K, Mg y Ca.

Cgahv(4%) Luvisol Léptico Gléyico (Arcílico, Cutánico, Diferéntico, Húmico): Esta subunidad presenta un índice bajo de infiltración, buena capacidad de retención del agua, ligera escorrentía potencial y labranza difícil. La desnitrificación, ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico, las operaciones de labranza y ciertos cultivos pueden ser afectados por el exceso de lluvias si el drenaje no es mejorado por la labranza. Las plantas sensibles a la toxicidad por Al serán afectadas si no se hace un encalado, el modificador **a** es deseable para una rápida disolución de las rocas fosfatadas y la toxicidad por Mn puede ocurrir en algunos de estos suelos. La acidez del suelo es baja a mediana, se requiere encalado (Aguilar *et al.*, 1994). Esta subunidad posee una capa de arcilla mayor de 35 %, que se prolonga en todo el perfil, suelo saturado con manto freático elevado, que permanece inundado durante el periodo de lluvias.

Sdeahik´(2%) Lixisol Abrúptico (Arénico, Cutánico, Hiperéutrico): Suelo con un alto índice de infiltración con baja capacidad de retención del agua. La humedad es limitante durante la estación seca si el suelo no se irriga; la fecha de siembra tendría que tomar en cuenta la fuerte mineralización de N al comienzo de las lluvias. Presenta una baja CIC lo cual favorece la lixiviación, sobre todo en los casos de K, Ca y Mg, por lo que resulta limitante para la palma de aceite (Paramanathan, 2011); niveles altos de aplicación de estos elementos y de fertilizantes nitrogenados tendrían que hacerse en forma fraccionada. La palma de aceite es susceptible a saturaciones de aluminio mayores a 30 % (Cristancho *et al.*, 2007); las enmiendas de encalado serán altas, salvo cuando se indica también el modificador **e**; el modificador **a** es deseable para una rápida disolución de las rocas; la toxicidad por Mn puede ocurrir en algunos de estos suelos. Acidez del suelo baja a mediana, se requiere encalado (Núñez, 1985). Presenta alta capacidad de fijación de P, se sugiere usar fosfato diamónico (DAP) y aplicaciones en banda para disminuir la fijación de este elemento (Salgado *et al.*, 2015). Baja capacidad de suministro de potasio; la disponibilidad de K tendría que ser controlada con aplicaciones fraccionadas de cloruro de potasio (KCl); pueden presentarse desequilibrios entre K, Mg y Ca.

Cgv (3%) Phaeozem Réndzico Léptico Cámbico (Arcílico): Esta subunidad posee una capa de arcilla ma-

yor de 35 %, que se prolonga en todo el perfil, suelo saturado con manto freático elevado, que permanece inundado durante el periodo de lluvias. Escorrentía potencial. La desnitrificación, ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico, las operaciones de labranza y ciertos cultivos pueden ser afectados por el exceso de lluvias si el drenaje no es mejorado por la labranza u otros procedimientos de drenaje.

Sdeahik´(3%) Regosol Léptico Hiperdístico (Arénico): Similar al Lixisol Abrúptico (Arénico, Cutánico, Hiperéutrico). El riego de escorrentía es mayor.

Cgv(<1%) Vertisol Léptico Crómico (Gléyico, Húmico): Similar al Phaeozem Réndzico Léptico Cámbico (Arcílico).

CONCLUSIONES

Los factores que limitan la potencialidad de los suelos de la subregión ríos de Tabasco, México, para el cultivo de palma de aceite son ocho: acidez, exceso o déficit de agua, contenido de arcilla, erosión, deficiencias nutrimentales, alcalinidad y baja CIC que, solos o agrupados influyen en el detrimento de la fertilidad de los suelos. El conocimiento de la relación suelo, planta, atmósfera; permiten considerar que el drenaje agrícola, el encalado, el riego y la fertilización con macro y micronutrientes, pueden ser prácticas agronómicas que permitirían mejorar las condiciones de las unidades Gleysol, Vertisol, Fluvisol y Acrisol para la palma de aceite. El resto de las subunidades deben ser conservadas con la vegetación natural y, para conservar su papel de amortiguamiento y retención de humedad.

LITERATURA CITADA

- Aguilar S.A., Alcantar G.G., Etchevers B.J.D. 1994. Acidez del suelo y encalado. SMCS. Chapingo, México. 56 p.
- Buol S.W., Sánchez P.A., Cate Jr.R.B., Granger M.A. 1975. Soil fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management. In: E. Bornemisza and A. Alvarado (eds.) Soil Management in Tropical America. N.C. State University, Raleigh, N.C. pp. 126-145.
- Cristancho J., Munévar F., Acosta A., Santacruz L., Torres M. 2007. Relación de las características edáficas y el desarrollo del sistema de raíces de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). Palmas, 28(1): 21-29.
- IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Núñez E.R. 1985. Efectos de la acidez del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante el encalado. Serie Cuadernos de Edafología 2. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. 20 p.

- Paramanathan S. 2011. Soil requirements and land evaluation for oil palms for high yield. *In: Agronomic principles and practices of oil palm cultivation* (Ed. by Goh, K.J., Chiu, S.B & Paramanathan. S), pp. 47-88, Agricultural Crop Trust, Petaling Jaya.
- Salgado G.S., Palma-López D.J. 2002. Clasificación de los suelos de Tabasco de acuerdo a su fertilidad. *In: Palma-López, D.J. y A. Triano S. (eds). Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. II. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco. pp. 57-76.*
- Salgado G.S., Núñez E.R., Lagunes E.L.C. 2010. Micronutrientes. *In: Salgado G.S. y R. Núñez E. (Ed). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Edit. Mundi Prensa-Colegio de Postgraduados. México, D.F. 183 p.*
- Salgado G.S., Palma L. D.J., Ortiz G.C.F. 2003. Las deficiencias de Boro en Palma de Aceite. *Revista Produce Tabasco. A.C. (4):11-13 p. Julio. México.*
- Salgado G.S., Obrador O.J.J. 2012. Clasificación de suelos de la cuenca baja del río Tonalá por fertilidad. *In: Suelo y vegetación de la Cuenca Baja del Río Tonalá, Tabasco. Zavala Cruz, J., García-López E (Eds). Publicación especial del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.p.63-82.*
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Zavala-Cruz J., Lagunes-Espinoza L.C., Córdova-Sánchez S., Castelán-Estrada M., Ortiz-García C.F., Rincón-Ramírez J.A. 2015. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en Palma de aceite (SIRDF): Región Ríos de Tabasco. Grupo SIRDF PA-LPI-2: AESS. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 119 p.
- Sánchez P.A., W.Couto, Buol S.W. 1982. El sistema de clasificar suelos de acuerdo con su fertilidad: interpretación, aplicaciones y modificaciones. *Revista Geoderma 27: 283-303.*
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.



LOS SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

ACID SOILS OF THE SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MEXICO

Salgado-García, S.¹; Palma-López, D.J.¹; Zavala-Cruz, J.¹; Ortiz-García, C.F.¹; Lagunes-Espinoza, L.C.¹; Ortiz-Ceballos, A.I.²; Córdova-Sánchez, S.³; Salgado-Velázquez, S.¹

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Grupo SIRDF. Km. 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. ²Universidad Veracruzana, Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA), Xalapa, México. ³Universidad Popular de la Chontalpa, División de Ciencias Básicas e Ingenierías. CA-QVDS. Carr. Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0, Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México.

*Autor de correspondencia: sacorsa_1976@hotmail.com

RESUMEN

El suelo es el sustrato natural para realizar agricultura de temporal o precisión. El objetivo del presente estudio fue validar una herramienta para técnicos y productores que mejore la planificación de la siembra de cítricos (*Citrus* spp.) y piña (*Annanas comosus*), y aumentar los rendimientos y calidad de frutos. Se utilizó la metodología del Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF). Se identificaron 11 unidades de suelo; Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Férrico), Acrisol Cutánico (Crómico, Férrico), Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico), Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico), Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico), Acrisol Úmbrico Cutánico (Hiperdístico, Húmico), Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdístico, Férrico), Cambisol Endogleyico (Arcílico, Éutrico), Cambisol Ferrálico Endogleyico (Dístico, Férrico), Cambisol Háptico (Crómico, Endoarcílico, Dístico) y Gleysol Álico (Endoarcílico, Dístico, Húmico), y los factores limitantes de estos suelos son la acidez, tipo y contenido de arcilla, exceso de humedad en el perfil del suelo y deficiencias de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn y Mn. Lo anterior permite dar atención focalizada a las plantaciones de cítricos y piña de acuerdo a cada subunidad de suelos.

Palabras claves: Horizonte, Perfil, pozo agrológico

ABSTRACT

Soil is the natural substrate to carry out rainfed or precision agriculture. The objective of this study was to validate a tool for technicians and producers to improve planning in citrus (*Citrus* spp.) and pineapple (*Annanas comosus*) sowing, and to increase the yields and quality of fruits. The methodology of the Integrated System to Recommend Fertilizer Doses (Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes, SIRDF) was used. Eleven (11) soil units were identified: Cutanic Acrisol (Endo argillic, Ferric), Cutanic Acrisol (Chromic, Ferric), Cutanic Acrisol (Endo argillic, Hyper dystric, Ferric), Cutanic Umbric Acrisol (Endo argillic, Hyper dystric), Cutanic Umbric Acrisol (Endo argillic, Hyper dystric, Ferric), Cutanic Umbric Acrisol (Hyper dystric, Humic), Gleyic Umbric Acrisol (Hyper dystric, Ferric), Endo gleyic Cambisol (Argillic, Eutric), Endo gleyic Ferralitic Cambisol (Dystric, Ferric), Haplic Cambisol (Chromic, Endo argillic, Dystric) and Alic Gleysol (Endo argillic, Dystric, Humic), and the limiting factors of these soils are acidity, type and content of clay, excess moisture in the soil profile and deficiencies of P, K, Ca, Mg, Cu, Zn and Mn. This allows giving focalized attention to the citrus and pineapple plantations according to each soil subunit.

Keywords: Horizon, profile, agrological well.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 16-21.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

La Sabana de Huimanguillo, en Tabasco, México, tiene una superficie aproximadamente de 106,499 ha, de la cuales 15 371 ha son de plantaciones de cítricos (*Citrus* sp.) y 1 283 ha de piña (*Annanas comosus*), el resto está dedicada a pastizales y otros cultivos de interés económico (Salgado *et al.*, 2016; SIAP 2014; OIEDRUS TAB, 2007). Los suelos ácidos de la Sabana de Huimanguillo, se caracterizan por alta fijación de fósforo, deficiencias de zinc, boro, calcio, magnesio y potasio, baja tasa de formación de amonio y nitratos, además de un alto porcentaje de saturación de aluminio (Pastrana *et al.*, 1995; Salgado *et al.*, 2007). Estas condiciones restrictivas de fertilidad se manifiestan en deficiencias foliares que afectan el rendimiento y la calidad de frutos de los cítricos y de la piña. Por ello, se clasificaron los suelos ácidos con la metodología del Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF) que considera el uso del sistema de clasificación de la WRB Taxonomía (IUSS Working Group WRB, 2007).

METODOLOGÍA

El área de estudio se localiza al centro-sureste del municipio de Huimanguillo, Tabasco, México, y comprende toda la región productora de cítricos y piña (18° Norte, 17° 35' 30" Sur, 93° 23' Este y 93° 58' Oeste).

Levantamiento de Suelos

En esta etapa, se revisó y recolectó la información en cartografía, fotografías aéreas, ortofotos y modelos de elevación digital del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). La cartografía de suelos se realizó con base en la fotointerpretación de fotografías aé-

reas, escala 1:75 000 (INEGI, 2001; INEGI, 1986).

Definición y caracterización de las unidades de suelo

Una vez realizada la fotointerpretación del área, se procedió a la definición de sitios de muestreo por cada unidad cartográfica. La rectificación de la cartografía del suelo se realizó por medio de pozos agrológicos (calicatas o perfiles) a 1.50 m de profundidad en promedio, describiéndose 41 perfiles de suelo (Cuanalo, 1981). En cada horizonte del perfil, se tomaron muestras compuestas de suelo, las cuales se secaron a la sombra, se molieron con un mazo de madera y pasaron a través de un tamiz con malla de 2 mm. El análisis correspondiente se realizó de acuerdo con los métodos descritos en la norma oficial mexicana-021-REC-NAT-2000. A partir de la descripción de perfiles *in situ* y del análisis físico y químico se procedió a la clasificación de los suelos, para lo cual se consideraron el Referencial Mundial de Suelos y la Taxonomía (IUSS Working Group WRB, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 11 unidades de suelos correspondientes a los grupos Acrisol (AC), Cambisol (CM) y Gleysol (GL). En el Cuadro 1 se presentan las unidades de suelo y superficie correspondiente. Los suelos de la zona corresponden en su mayoría a los Acrisoles con más de 69 % del área total. A continuación, se describen los grupos y las unidades encontradas.

Acrisol Cutánico (Crómico, Férrico)

Se le asigna el calificador **Crómico** por presentar una capa sub-superficial de 30 cm o más, con un Hue rojo superior a 7.5 YR y un Chro-

ma en húmedo, de más de 4 (tabla Munsell); y **Férrico** por un horizonte en el cual la segregación de Fe, o Fe y Mn ha tenido lugar a tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos y la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe, que comienza en los primeros 100 cm (Figura 1a). Estos suelos se localizan en lomeríos bajos con laderas, son suelos de textura arcillo-arenosa de color negro en su primera capa y rojizos a mayor profundidad, muy ricos en materia orgánica en los primeros 16 cm, con una concentración de carbono orgánico que decrece con la profundidad y un pH fuertemente ácido. El P disponible en estos suelos agrícolas es muy bajo debido probablemente a las altas concentraciones de Fe y Al que lo fijan. En cuanto a las concentraciones de Ca, Mg y K, todas son bajas.

Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Férrico)

El calificador **Endoarcílico** se debe a que estos Acrisoles presentan una capa de 30 cm de espesor o más, con textura arcillosa en alguna parte entre 50 y 100 cm de profundidad (Figura 1b). Así mismo, presentan un horizonte férrico donde la segregación de Fe y Mn, ha tenido lugar a tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos y la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe. Son suelos de color pardo oscuro, de textura migajón-arcillo-arenosa en sus primeros 30 cm de profundidad y altas concentraciones de arcillas a mayor profundidad, con altos contenidos de materia orgánica en sus primeras capas, con una concentración de carbono orgánico que decrece con la profundidad, con pH moderadamente ácido. El P, Ca y Mg son poco disponibles en estos

Cuadro 1. Unidades de suelo del área cultivada con cítricos y piña en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

| Unidad | Clave | Perfiles | Superficie | |
|--|----------------|--|------------|-------|
| | | | (ha) | (%) |
| Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Férrico) | ACct(ncefr) | 1, 2, 7, 19 | 2,531 | 2.4 |
| Acrisol Cutánico (Crómico, Férrico) | ACct(crfr) | 37 | 3,100 | 3.0 |
| Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Hiperdistrico, Férrico) | ACct(ncehdf) | 8, 22, 27, 38 | 13,252 | 12.7 |
| Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdistrico) | ACumct(ncehd) | 36 | 5,482 | 5.3 |
| Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdistrico, Férrico) | ACumct(ncehdf) | 4, 5, 6, 9, 13, 20, 21 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 39, 40, 41 | 28,440 | 27.3 |
| Acrisol Úmbrico Cutánico (Hiperdistrico, Húmico) | ACumct(hdhu) | 3, 10, 12, 15, 17, 26 y 35 | 10,166 | 9.8 |
| Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdistrico, Férrico) | ACumgl(hdfr) | 11, 14 | 9,384 | 9.0 |
| Cambisol Endogleyico (Arcílico, Éutrico) | CMngl(ceeu) | Sin perfil | 1,218 | 1.2 |
| Cambisol Ferrálico Endogleyico (Districo, Férrico) | CMfng(dyfr) | 18 | 5,628 | 5.4 |
| Cambisol Háplico (Crómico, Endoarcílico, Districo) | CMhp(crncedy) | 16 | 1,698 | 1.6 |
| Gleysol Álico (Endoarcílico, Districo, Húmico) | GLal(ncedyhu) | 34 | 2,332 | 2.2 |
| Cuerpos de Agua | CA | | 20,867 | 20.0 |
| Total | | | 104,098 | 100.0 |

suelos; el K se considera medio. La alta densidad aparente en estos suelos podría ser consecuencia del uso de maquinaria pesada, factor desfavorable para el desarrollo de raíces del cultivo.

Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Hiperdistrico, Férrico)

Son **Endoarcílicos** debido a que presentan una capa de 30 cm de espesor o más, de textura arcillosa en alguna parte entre 50 cm y 100 cm de profundidad. También se caracterizan por presentar una saturación de bases menor a 50 % dentro de los 20 a 100 cm de la superficie del suelo y menos de 20 % en alguna capa dentro de los primeros 100 cm, lo que lo define como **Hiperdistrico**, así mismo tiene un horizonte **Férrico**, el cual es un horizonte donde la segregación de Fe, o Fe y Mn, ha tenido lugar a tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos y la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe (Figura 1c).

Son suelos de uso agrícola, con altos contenidos de materia orgánica de color pardo muy oscuro en sus primeros 28 cm, una concentración de carbono orgánico que decrece con la profundidad; son de textura migajón-arcillo-arenosa en sus primeros 43 cm, con altas concentraciones de arcilla después de los 50 cm; con pH fuertemente ácidos en todo el perfil que evidencia una fuerte pérdida de bases por lixiviación en los primeros dos horizontes, el moteado rojizo en capas evidencia formación de óxidos de Fe y probablemente de aluminio. El P disponible es muy bajo debido principalmente a las altas

concentraciones de Fe y Al. Contienen muy bajas concentraciones de Ca, Mg y K. La presencia de piedras pequeñas no limita el desarrollo del sistema radical de la piña, no obstante su alta densidad aparente a consecuencia del uso de maquinaria pesada, podría ser crucial en el desarrollo del cultivo.

Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdistrico)

Son **Endoarcílicos** debido que estos Acrisoles presentan una capa de 30 cm de espesor o más con textura arcillosa, en alguna parte entre los primeros 50 y 100 cm del perfil. También se caracterizan por presentar saturación de bases menor a 50 % dentro de los primeros 20 a 100 cm, y menos de 20% en alguna capa dentro de los primeros 100 cm, lo que lo define como

Hiperdístico (Figura 1d). Son suelos de uso agrícola, localizados en terrazas aluviales, de color pardo muy oscuro en sus primeros 78 cm de profundidad, con contenidos medios de materia orgánica (2.9 %), con una concentración de carbono orgánico que decrece con la profundidad. Presenta textura migajón-arcillo-arenosa en sus primeras capas y altas concentraciones de arcilla después de los 78 cm; con pH fuertemente ácido en todo el perfil debido a su origen; el moteado rojizo presente en estas capas evidencia formación de óxidos de Fe y probablemente de Al. El P disponible en estos suelos es muy bajo debido a las altas concentraciones de Fe y Al. Por el uso de maquinaria agrícola pueden tener una densidad aparente alta, desfavorable para el desarrollo del cultivo.

Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico)

El calificador **Endoarcílico** se debe a que estos Cambisoles presentan una capa de 30 cm de espesor o más, con textura arcillosa en alguna parte entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo lo que lo define como **Hiperdístico**, así mismo con presencia de un horizonte **Férrico**, en el cual la segregación de Fe, o Fe y Mn ha tenido lugar a tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos, mientras que la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe (Figura 1e). Son suelos de uso agrícola, de color negro en sus primeros 28 cm de profundidad, con altos contenidos de materia orgánica, con una concentración de carbono orgánico que decrece con la profundidad; la textura es migajón-arenosa en sus primeras capas y presenta altas concentraciones de arcilla después de los 45 cm; con pH fuertemente ácidos en todo el perfil debido a su origen; el moteado rojizo de estas capas evidencia formación de óxidos de Fe y probablemente de Al. El P disponible en estos suelos es de medio a bajo, principalmente por las altas concentraciones de Fe y Al. Debido al uso de la maquinaria agrícola pueden tener una alta densidad aparente desfavorable para el desarrollo del cultivo.

Acrisol Úmbrico Cutánico (Hiperdístico, Húmico)

También se caracterizan por su saturación de bases menor a 50 % dentro de los primeros 20 a 100 cm de profundidad y menos de 20 % en alguna capa dentro de los primeros 100 cm, lo que los define como **Hiperdísticos**. El calificador **Húmico**, es porque tienen más de 1 % de carbono en la parte superficial del suelo (Figura 1f). Son suelos que se localizan en laderas ligeras y lome-

rios moderadamente inclinados; son de texturas migajón-arcillo-arenosas, porosas; son fuertemente ácidos, de color negro en los primeros 70 cm de profundidad, muy ricos en materia orgánica pero deficientes en P disponible, en cuanto a los elementos Ca, Mg y K presentan baja concentración.

Acrisol Úmbrico Gléyico Cutánico (Hiperdístico, Férrico)

Son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos, principalmente por migración de arcillas, que llevan a la formación de un horizonte árgico en el subsuelo; este horizonte presenta una CIC menor de 24 cmol kg^{-1} de arcilla en alguna capa en una profundidad máxima de 50 cm debajo de su límite superior; se observa dentro de los primeros 100 cm una capa de 25 cm de espesor o más que tiene condiciones reductoras en algunas partes, o un patrón de color gléyico en todo el espesor; estos suelos tienen además un horizonte superficial de nombre úmbrico, de 25 cm de espesor o más, de color oscuro, de baja saturación de bases y de moderado a alto contenido de materia orgánica; así como revestimientos de arcilla en algunas partes del horizonte árgico dentro de los primeros 100 cm de profundidad. Son **Hiperdísticos** por presentar saturación de bases menor a 50 % dentro de los primeros 20 a 100 cm, y menos de 20 % en alguna capa dentro de sus primeros 100 cm de profundidad; además de un horizonte **Férrico**, en el cual la segregación de Fe, o Fe y Mn ha tenido lugar a tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos, mientras que la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe (Figura 1g). Son suelos de uso agrícola, se localizan en zonas planas de la sabana de Huimanguillo, de color negro a pardo muy oscuro en sus primeros 40 cm de profundidad, con altos contenidos de materia orgánica que decrece con la profundidad; son de textura migajón-arenosa en sus primeras capas, con aumento de la concentración de arcilla abajo de los 40 cm; con pH fuertemente ácidos en todo el perfil debido a su origen; el moteado gris presente en estas capas evidencia la saturación de agua en una época del año. El P disponible es bajo debido principalmente a las altas concentraciones de Fe y Al; las bases intercambiables son muy bajas.

Cambisol Endogléyico (Arcílico, Éutrico)

El calificador **Endogléyico** significa que presentan, en alguna parte entre 50 y 100 cm de profundidad, condiciones de reducción; y en 25 % o más del volumen

de suelo, un patrón de color gléyico, el cual se origina en suelos donde el manto freático se mantiene elevado durante un periodo del año y los procesos de reducción de hierro confieren un moteado. Como calificador de segundo orden es **Arcílico**, debido a su alto contenido de arcilla, presentan un PSB de 50 % o más en la mayor parte entre 20 y 100 cm de profundidad que le da el calificador de **Éutrico**. En este trabajo no se encontró un perfil típico, ya que el área agrícola está alejada de la zona, por lo que se usaron datos de un estudio previo para identificar este suelo (Palma *et al.*, 2007).

Estos son suelos agrícolas que se localizan en las llanuras aluviales a orillas de ríos y de lagunas, son de color pardo-oscuro en sus primeros 60 cm de profundidad, con altos contenidos de materia orgánica; es de textura migajón-limo-arcilloso; con pH moderadamente ácidos a neutros; el moteado grisáceo presente evidencia la saturación con agua en alguna época del año. El P disponible es medio; en cuanto a las bases intercambiables Ca, Mg y K los valores son de medios a altos.

Cambisol Ferrálico, Endogléyico (Dístrico, Férrico)

Son suelos con material ferrálico, consistente en un horizonte sub-superficial resultado de la meteorización intensa y prolongada, se asocian a geoformas antiguas y estables en las cuales la fracción arcilla está dominada por arcillas de baja actividad; en las fracciones limo y arena predominan minerales altamente resistentes, como óxidos hidratados de Fe, Al y Mn. El calificador **Endogléyico** significa que en alguna parte entre los primeros 50 y 100 cm presenta condiciones de reducción, y en 25 % o más del volumen de suelo, un patrón de color gléyico, el cual se origina por un manto freático que se mantiene elevado durante una temporada del año y los procesos de reducción de hierro confieren un moteado (Figura 1h). Tiene como calificador de segundo orden **Dístrico**, debido su saturación de bases menor a 50 % en los primeros 100 cm, así como una capa de material endurecida, y **Férrico** por la concentración de moteados y nódulos de Fe, que inicia en los primeros 100 cm de profundidad. Estos suelos agrícolas se localizan en las terrazas; presentan un color pardo-grisáceo oscuro en sus primeros 11 cm de profundidad, con contenidos medios de materia orgánica; de textura arcillo-arenosa en todo el perfil; con pH moderadamente ácidos en todo su perfil, el moteado grisáceo presente evidencia la saturación de agua en alguna época del año. El P disponible en estos suelos es bajo, al igual que las bases intercambiables Ca, Mg y K.

Cambisol Háptico (Crómico, Endoarcílico, Dístrico)

Cuando los Cambisoles no muestran evidencia de alguna propiedad o característica se toma como calificador de primer orden **Háptico**, ya que no hay un proceso pedogenético dominante, únicamente aplican los calificadores de segundo orden, que lo definen como **Crómico**, además dentro de los primeros 150 cm tiene una capa sub-superficial de 30 cm de espesor o más, un hue más rojo que 7.5 YR y/o un croma, húmedo, de más de 4 (tabla Munsell). El calificador **Endoarcílico** se debe a que estos Cambisoles presentan una capa de 30 cm de espesor o más con textura arcillosa en alguna parte entre los primeros 50 y 100 cm (Figura 1i). Son suelos de uso agrícola que se localizan en relieves planos, de color pardo muy oscuro en sus primeros 26 cm de profundidad, con altos contenidos de materia orgánica y una concentración de carbono orgánico que decrece con la profundidad; son de textura arcillo-arenosa en sus primeras capas, valores de pH fuertemente ácidos en todo el perfil debido a su origen, el moteado rojizo presente evidencia formación de óxidos de Fe y probablemente de Al. El P disponible es muy bajo debido a las altas concentraciones de Fe y Al. Las bases intercambiables Ca, Mg y K presentan valores muy bajos.

Gleysol Álico (Endoarcílico, Dístrico, Húmico)

Son los Gleysoles que tienen un horizonte **Álico** con una CIC de 24 cmol kg^{-1} de arcilla dentro de los primeros 100 cm de profundidad, consiste de material orgánico con texturas francas o arenosas (Figura 1j). Son suelos que están saturados de agua la mayoría de los años y deben o tienen un porcentaje de saturación de bases menor de 50 % entre los 50 y 100 cm de profundidad. El calificador **Endoarcílico** obedece a que presentan una capa de 30 cm de espesor o más con textura arcillosa en alguna parte entre los 50 y 100 cm. Son suelos que se localizan en los valles o arroyos, entre lomas, con una textura migajón-arenosa de color oscuro a pardusco, se clasifican como moderadamente ácidos; debido a su posición geográfica, ubicados en una zona receptora son ricos en humus y materia orgánica; además, de la aportación de la hojarasca de la vegetación local. El contenido del Ca, es medio en sus primeros 10 cm de profundidad, y bajos para K y Mg.

CONCLUSIONES

Se identificaron 11 unidades de suelo correspondientes a los grupos Acrisol (AC), Cambisol (CM) y Gleysol (GL). Los cultivos de cítricos y piña se realizan en las once unidades de suelos: Acrisol Cutánico



Figura 1. Perfiles representativos de las unidades de suelos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco: a). Acrisol Cútánico (Crómico Férrico), b). Acrisol Cútánico (Endoarcílico Férrico), c). Acrisol Cútánico (Endoarcílico Hiperdístico Férrico), d). Acrisol Úmbrico Cútánico (Endoarcílico Hiperdístico), e). Acrisol Úmbrico Cútánico (Endoarcílico Hiperdístico Férrico), f). Acrisol Úmbrico Cútánico (Hiperdístico Húmico), g). Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdístico, Férrico), h). Cambisol Ferrálico Endogléyico (Dístico, Férrico), i). Cambisol Háplico (Crómico, Endoarcílico, Dístico) y j). Gleysol Álico (Endoarcílico, Dístico, Húmico).

(Endoarcílico, Férrico), Acrisol Cútánico (Crómico, Férrico), Acrisol Cútánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico), Acrisol Úmbrico Cútánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico), Acrisol Úmbrico Cútánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Húmico), y Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdístico, Férrico), y Cambisol endogléyico (Arcílico, Éutrico). Los factores limitantes de estos suelos son: acidez, tipo y contenido de arcilla y exceso de humedad en el perfil del suelo, deficiencias de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn y Mn.

LITERATURA CITADA

- Cuanalo de la C.H. 1981. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 30 p.
- INEGI. 2001. Fotografías aéreas en blanco y negro, región de Huimanguillo, Tabasco, México. Escala 1: 75000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI.1986. Síntesis geográfica y anexo cartográfico del estado de Tabasco. México, D.F. 118 p.
- IUSS WORKING GROUP WRB. 2007. World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 144 p.
- NOM-021-RECNAT. 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 75 p.
- OIEDRUS TAB. 2007. Estadística estatal de cultivos georeferenciados de piña. www.oeidrustab.gob.mx/download.php?filename.../cultivos.../pina. 25 junio de 2007.
- Palma L.D.J., Cisneros D.J., Moreno C.E., Rincón-Ramírez J.A. 2007. Suelos de Tabasco su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco, A.C. Villahermosa, Tabasco. 195 p.
- Pastrana L.A., Rodríguez C.M., León A.I.E., Ramírez D.G. 1995. Manual de producción de naranjo en suelos ácidos de Tabasco. INIFAP-CIRGOC-CAEHUI- ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco. 30 p.
- Salgado G.S., Palma L.D.J., Zavala C.J., Lagunés E.L.C., Castelán E.M., Ortiz G.C.F., Ventura U.F., Marín A.Á., Moreno C.E., Rincón R.J.A. 2007. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en las plantaciones de cítricos de Tabasco, México. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. 89 p.
- Salgado-García S. Palma-López D.J., Zavala-Cruz J., Córdova-Sánchez S., Castelán-Estrada M., Lagunés-Espinoza L.C., Ortiz-García C.F., Rivera-Cruz M.C., Ventura-Ulloa F., Marín-Aguilar Á., Moreno-Cáliz E., Rincón-Ramírez J.A. 2016. Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9): 345-356.
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera Cierre de la producción agrícola por estado: Cultivo de piña. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> (Consultado 18 de Septiembre del 2015).

CARTOGRAFÍA DE SUELOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO, MÉXICO; USO DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

SOIL CARTOGRAPHY IN THE RÍOS REGION OF TABASCO, MÉXICO; USE OF THE DIGITAL ELEVATION MODEL

López-Castañeda, A.¹; Palma-López, D.J.^{2*}; Zavala-Cruz, J.²; Ortiz-Solorio, C.A.³; Tinal-Ortiz, S.², Valdez-Lazalde, J.R.³

¹Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco, México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia dapalma@colpos.mx

RESUMEN

La clasificación de los suelos es un instrumento importante en la planificación de los recursos naturales dedicados a la producción de alimentos y áreas naturales. El objetivo del presente estudio fue comparar la precisión y exactitud de la cartografía entre el Método Tradicional de Fotointerpretación (MTF) y el Modelo Digital de Elevación del Terreno (MDE). El trabajo se realizó en Tenosique, Tabasco, México, dividido en dos fases: el levantamiento de suelo utilizando el MTF con 31 perfiles de suelos; y la clasificación del suelo utilizando el MDE en un sistema de información geográfico generando un mapa de atributos del terreno, usando la información de perfiles obtenida en la primera fase. Para comparar la cartografía por ambos métodos se utilizaron las características físicas del suelo y realizaron 60 y 70 puntos de observación con barrena para el análisis de la precisión y exactitud, respectivamente. La precisión con el MTF y MDE fue de 85 % y 80 %, respectivamente, mientras que la exactitud con el MTF y MDE fue de 77 % y 74 %. Los resultados mostraron que ambos valores son aceptables para su uso en la cartografía de suelos. El MDE mostró alto potencial como herramienta cartográfica dado que reduce costos, puede ser accesible a productores en pequeño y usarse en grandes superficies.

Palabras clave: SIG, suelos tropicales, WRB, fotointerpretación.

ABSTRACT

Classification of soils is an important instrument in planning the natural resources devoted to the production of foods and natural areas. The objective of this study was to compare the precision and accuracy of the cartography between the Traditional Photointerpretation Method (TPM) and the Terrain Digital Elevation Model (DEM). The study was carried out in Tenosique, Tabasco, México, divided in two phases: the soil survey using the TPM with 31 soil profiles; and the soil classification using the DEM in a geographic information system generating a map of terrain attributes, using the profile information obtained in the first phase. To compare the cartography by both methods, the physical characteristics of the soil were used, and 60 to 70 observation points with auger for the analysis of precision and accuracy, respectively. Precision with TPM and DEM was 85 % and 80 %, respectively, while accuracy with TPM and DEM was 77 % and 74 %. The results showed that both values are acceptable for their use in the soil cartography. DEM showed high potential as a cartographic tool given that it reduces costs, can be accessible to producers at a small scale, and can be used in large surfaces.

Keywords: SIG, tropical soils, WRB, photointerpretation.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017, pp. 22-28.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de un paisaje pueden ser de diferentes tipos, debido entre otros factores al relieve (Krasilnikov, 2006), es ahí donde radica la importancia de su clasificación y cartografía, ya que los diferentes tipos de suelos no tienen la misma capacidad y aptitud de uso. Por ello, es necesario elaborar la cartografía que permita caracterizar y posteriormente planificar su uso (Porta *et al.*, 2003). En México se han realizado diversos estudios de suelos utilizando la metodología propuesta por Ortiz-Solorio y Gutiérrez (1999); sin embargo, su uso se complica en la práctica por el alto costo. El reto actual es modificar las metodologías tradicionales de fotointerpretación (MTF), utilizando los sistemas de información geográfica (SIG), de tal forma que el estudio de suelos pueda ser más rápido, eficiente y económico, con el uso de los modelos digitales de elevación (MDE). Con base en lo anterior, se generó la cartografía de suelos de una zona del trópico húmedo en Tenosique, Tabasco, México, utilizando MDE y MTF con el fin de comparar ambos métodos en su precisión y exactitud en la cartografía de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Tenosique, Tabasco (91° 35' 00" y 91° 20' 30" O, y 17° 25' 30" y los 17° 40' 10" N), se ejecutó en dos fases, la primera utilizando el método convencional propuesto por Ortiz-Solorio (1992), que consiste en las etapas de precampo, campo y postcampo. En la primera etapa se generó el mapa de unidades de fotointerpretación (UFI's), las cuales se verificaron en campo para transformarlas en unidades geomorfológicas o mapa preliminar de suelos. Para ello se describieron mínimo tres perfiles de suelo por UFI's, haciendo un total de 31 perfiles de 1.80 m de profundidad en promedio, utilizando el manual de descripción de suelos de Cuanalo (1990), lo cual permitió describir cada uno de los horizontes o capas de cada perfil. En la etapa de poscampo se llevaron a cabo los análisis físicos y químicos de suelos de cada horizonte proveniente de los perfiles de suelo, en el laboratorio de Análisis de suelos, Plantas, y Aguas del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco con base a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002). Posteriormente se clasificaron los suelos utilizando la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) en su versión en español del 2007 (IUSS *et al.*, 2007), generando la cartografía de suelos en el segundo nivel (unidades de suelos). En la segunda fase la primera actividad fue obtener el mo-

delo digital de elevación del Instituto de Tecnología de California, USA y con el uso de los SIG (software libre Grass 6.3), se clasificó usando los parámetros de 0.05 en grados para la pendiente, 0.00002 para la curvatura, con un tamaño de ventana de procesamiento de 22 píxeles, la exponente de la distancia de ponderación fue de cero y el factor de escala vertical 1.0; generando así los atributos del terreno (Felicísimo, 1994), posteriormente mediante álgebra de mapas se hizo la intersección con información geológica obteniendo de esta forma polígonos de los atributos del terreno, los cuales se consideraron como los equivalentes a unidades de fotointerpretación o mapa preliminar de suelos en el método convencional. Se utilizó la misma información de las muestras de suelos generada en la primera fase. Para la evaluación de la precisión del mapa de suelos en ambos métodos se realizaron 60 puntos de observación con barrena; para evaluar la exactitud de la cartografía, se verificaron 35 linderos de suelos para constatar que los suelos marcados en el mapa sean auténticos en campo, utilizando la metodología propuesta por Porta *et al.* (2003). El análisis de los resultados se realizó en forma discreta, es decir, con un sí o un no, error o acierto y se calculó el porcentaje de precisión y exactitud para ambos métodos (Lleverino *et al.*, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSION

Levantamiento de suelos por el método tradicional de fotointerpretación

Se obtuvieron 15 tipos de geoformas distribuidas en 181 polígonos, destacando los lomeríos altos de areniscas por su gran extensión, cerca de 19 mil hectáreas, que equivalen a 39 % de la superficie total, seguidos de las llanuras aluviales con 21 % y los valles erosivos con un 9 % de área total. Los suelos dominantes por su extensión dentro del área de estudio correspondieron principalmente a los Ferralsoles, Luvisoles, Gleysoles y Leptosoles (Figura 1, Cuadro 1). Como característica general todos los suelos tienen texturas arcillosas, algunos con materiales calcáreos y otros de colores rojizos derivados del intemperismo de las rocas de forma *in situ*, en las partes bajas entre lomeríos se localizan los suelos inundables con propiedades gléyicas y en la parte de la Sierra y Lomeríos calcáreos existen suelos pedregosos y someros, originados por una antigua planicie fluvial erosionada de manera que las corrientes erosivas han formado desni-veles que le dan la forma de lomeríos al paisaje, también están los suelos de origen aluvial cuya génesis está determinada por los desbordamientos del río Usumacinta.

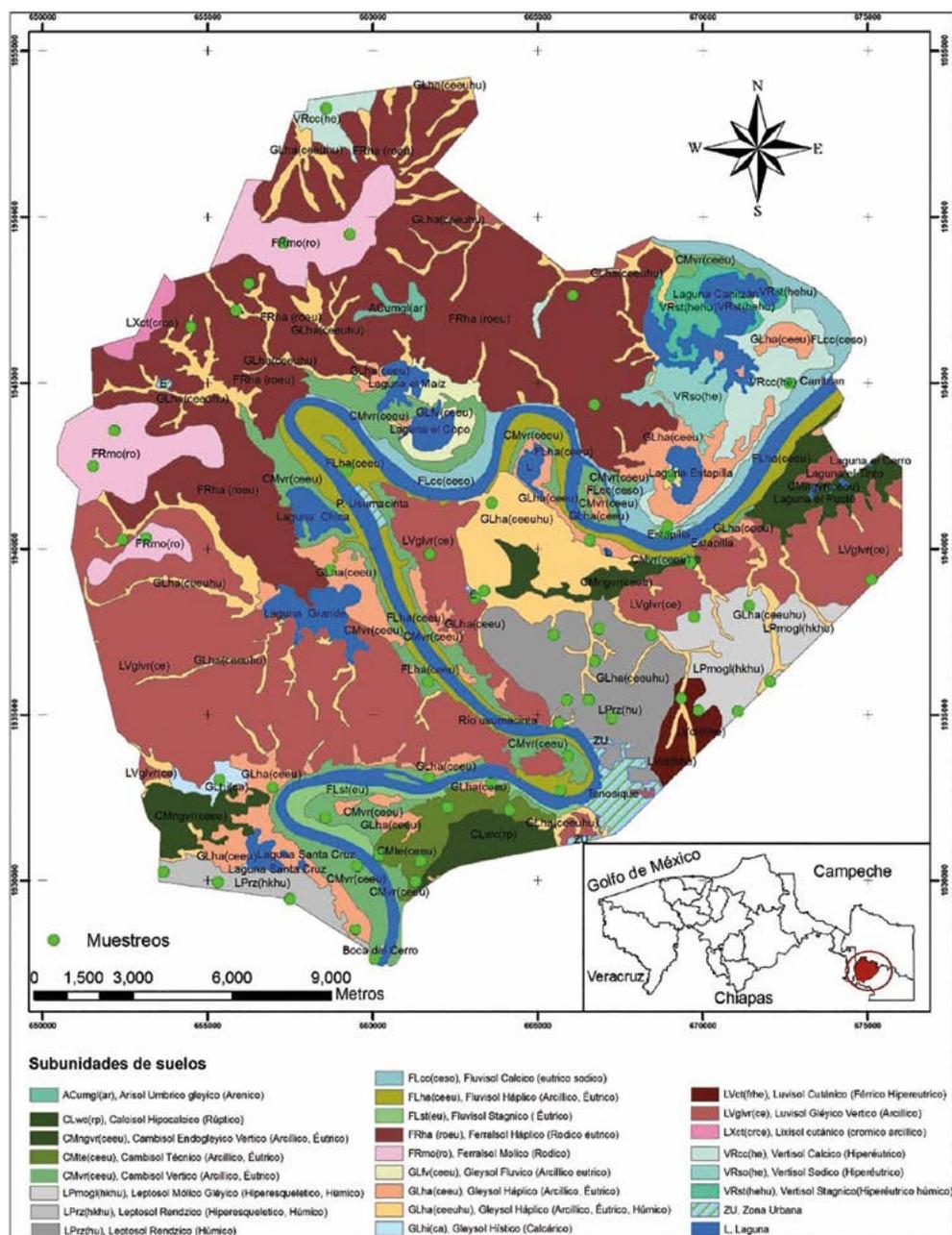


Figura 1. Unidades de suelos y distribución de los puntos de muestreo para evaluar la precisión y exactitud con el método convencional.

Características de los Grupos de suelos encontrados Ferralsoles (FR)

Son suelos originados de rocas de arenisca que tienen un horizonte B ferrálico, es decir que presenta un horizonte muy intemperizado que tiene una CIC menor de $16 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla (IUSS *et al.*, 2007). Estos suelos se localizan al norte del área de estudio en los lomeríos de areniscas (Ortiz *et al.*, 2005).

Luvsoles (LV)

Son suelos con alto contenido de arcilla, la cual ha migrado a tal grado que ha dado origen a un horizonte

árgico, lo cual es característico de este grupo de suelos. Lo anterior implica que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos de iluviación; presenta cutanes de arcilla y tiene una CIC de $24 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla o más, comenzando dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, así mismo, los colores dominantes son rojizos. Los Luvisoles tienen arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico y alta saturación de bases a ciertas profundidades (Palma-López *et al.*, 2007; IUSS *et al.*, 2007). Estos suelos se ubican en lomeríos medios y bajos de areniscas y calcilitas (Salgado-García *et al.*, 2008).

Gleysoles (GL)

Son suelos minerales que, a menos que sean drenados, están saturados con agua freática por períodos prolongados. Este grupo de suelos ocupa el tercer lugar dentro del área de estudio por su extensión, cerca del 15 % del área total, distribuyéndose en las Llanura aluviales bajas y muy bajas en los valles erosivos y algunas veces en los lomeríos bajos (Salgado-García *et al.*, 2008).

Cambisoles (CM)

Son suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial de desarrollo incipiente, (B cambico o Bw). Se pueden localizar principalmente en llanuras aluviales altas o bajas cercanas a ríos de la zona y en llanuras proluviales, entre lomeríos de areniscas. Presentan un horizonte B cámbico, se encuentran en un estado de transición o evolución pedogenética (Salgado-García *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Unidades de suelos determinadas por el método convencional en el área de estudio.

| Grupo Mayor | Subunidad | Clave | Geomorfología | Superficie | |
|-------------|--|--------------|---|------------|-------|
| | | | | ha | % |
| Ferralsol | Ferralsoles Háplicos (Ródicos, Éútricos) | FRha(roeu) | Loma alta de areniscas | 8901.84 | 20.96 |
| | Ferralsoles Mólicos (Ródicos) | FRmo(ro) | Loma alta de areniscas | 2031.17 | 4.78 |
| Luvisol | Luvisoles Gléyicos Vérticos (Arcílicos) | LVglvr(ce) | Loma media de areniscas | 8005.13 | 18.85 |
| | Luvisoles Cutánicos (Férricos, Hiperéútricos) | LVct(frhe) | Loma baja de areniscas | 315.06 | 0.74 |
| Gleysol | Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos, Húmicos) | GLha(ceeuu) | Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja | 3661.03 | 8.62 |
| | Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos) | GLha(ceeu) | Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja | 2285.61 | 5.38 |
| | Gleysoles Flúvicos (Arcílicos, Éútricos) | GLfv(ceeu) | Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja | 273.72 | 0.64 |
| | Gleysoles Hísticos (Calcáricos) | GLhi(ca) | Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja | 130.29 | 0.31 |
| Cambisol | Cambisoles Vérticos (Arcílicos, Éútricos), | CMvr(ceeu) | Llanura aluvial alta | 2456.49 | 5.78 |
| | Cambisoles Endogléyicos Vérticos (Arcílicos, Éútricos), | CMngvr(ceeu) | Llanura proluvial | 1384.66 | 3.26 |
| | Cambisoles Técnicos (Arcílicos, Éútricos), | CMte(ceeu) | Llanura aluvial alta | 555.97 | 1.31 |
| Leptosol | Leptosoles Réndzicos (Húmicos) | LPrz(hu) | Loma baja de caliza | 1764.58 | 4.15 |
| | Leptosoles Mólicos Gléyicos (Hiperesqueleticos, Húmicos) | LPmogl(hkhu) | Loma media de areniscas | 1074.43 | 2.53 |
| | Leptosoles Rendzicos (Hiperesqueleticos, Húmicos) | LPrz(hkhu) | Loma media de caliza | 477.01 | 1.12 |
| Fluvisol | Fluvisoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos) | FLha(ceeu) | Llanura aluvial alta | 1349.37 | 3.18 |
| | Fluvisoles Stágnicos (Éútricos) | FLst(eu) | Llanura aluvial alta | 287.71 | 0.68 |
| | Fluvisoles Cálricos (Éútricos, Sódicos) | FLca(euso) | Llanura aluvial alta | 981.89 | 2.31 |
| Vertisol | Vertisoles Cálricos (Hiperéútricos) | VRcc(he) | Llanura aluvial media | 990.66 | 2.33 |
| | Vertisoles Sódicos (Hiperéútricos) | VRso(he) | Llanura aluvial baja | 410.57 | 0.97 |
| | Vertisoles Estágnicos (Hiperéútricos, Húmicos) | VRst(hehu) | Llanura aluvial muy baja | 385.84 | 0.91 |
| Acrisol | Acrisoles Úmbricos Gléyicos (Arénicos) | ACumgl(ar) | Loma media de arenisca | 102.42 | 0.24 |
| Calcisol | Calcisoles Hipocálricos (Rúpticos), | CLwc(rp) | Loma alta de caliza | 432.02 | 1.02 |
| Lixisol | Lixisoles Cutánicos (Cromicos, Arcílicos) | LXct(crce) | Loma baja de arenisca | 143.45 | 0.34 |
| | Otros | | | 4068.52 | 9.59 |
| | Total | | | 42669.45 | 100 |

Leptosoles (LP)

Son suelos muy someros formados sobre una roca continua o son suelos extremadamente gravosos y pedregosos, están normalmente limitados a un horizonte A delgado sobre un horizonte B incipiente o directamente sobre un horizonte C poco alterado.

Fluvisoles (FL)

Su característica principal es que presentan propiedades flúvicas, ya que se derivan de sedimentos fluviales por los desbordamientos del río Usumacinta y sus afluentes (Palma-López *et al.*, 2007). Los Fluvisoles

son suelos ubicados en la llanura aluvial alta con buenas condiciones de humedad y nutrimentales (Salgado-García *et al.*, 2008).

Vertisoles (VR)

Son suelos muy arcillosos que se auto-mezclan, tienen alta proporción de arcillas expandibles; presenta 30 % o más de arcilla en todo su espesor y tiene agregados estructurales en forma de cuña y presenta caras de deslizamiento; forman grietas anchas y profundas desde la superficie hasta al menos 50 cm de profundidad cuando se secan, esto ocurre en la mayoría de

los años (Palma-López *et al.*, 2007; Salgado-García *et al.*, 2008). Fisiográficamente se localizan en las llanuras aluviales medias y bajas, en lomeríos medios y bajos y en lomeríos calcáreos.

Acrisoles (AC)

Son los suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que los horizontes superficiales como resultado de la migración de arcillas, que llevan a la formación de un horizonte árgico en el subsuelo. El cual tiene una CIC menor de 24 cmol kg⁻¹ de arcilla y una saturación de bases menor a 50 % en

al menos alguna parte dentro de los primeros 125 cm. Se identifican fácilmente por: los colores oscuros sobre amarillentos a rojizos, fuerte acidez sobre todo en horizonte B, altas cantidades de hierro y aluminio en forma de sesquioxidos y alta fijación de fósforo (Palma-López *et al.*, 2007). Fisiográficamente los Acrisoles se localizan en los lomeríos medio y altos formados a partir de areniscas.

Calcisoles (CL)

Son suelos que tienen un horizonte de diagnóstico cálcico o la presencia de concentraciones de carbonato de calcio secundario dentro de los primeros 100 cm desde la superficie del suelo. El horizonte cálcico se distingue en campo por presentar material blanquecino (blanco o gris rosáceo), el cual reacciona fuertemente al aplicar HCl al 10 % debido a la presencia de carbonatos libres. Los Calcisoles se distribuyen por la zona de lomeríos calcáreos.

Lixisoles (LX)

Estos suelos presentan un horizonte subsuperficial árgico por acumulación de arcilla iluvial, se desarrollan principalmente sobre materiales no consolidados, de textura fina, que han sufrido una fuerte alteración y lavado; predominan en terrenos viejos sometidos a una fuerte erosión o degradación, con arcilla de baja actividad y saturación de bases de media a alta (Porta *et al.*, 2003). Estos suelos se localizan en los lomeríos bajos del lado noroeste del área de estudio.

El Modelo Digital de Elevación (MDE)

Mediante éste método se obtuvieron 12 tipos de atributos del terreno distribuidos en 487 polígonos, destacando las planicies por extensión

con 37 % de la superficie total seguidos de las colinas y valles. En cuanto a suelos los dominantes por su extensión dentro del área de estudio, una vez reconsiderados los linderos, corresponden principalmente a los Ferralsoles, Gleysoles y Vertisoles, por las planicies que se detectaron (Figura 2). Para la identificación de los suelos se utilizó la información de los perfiles y barrenaciones de la primera fase empleando el método tradicional, correlacionándolo con los atributos generados mediante los MDE, de esta manera se aprovechó la información generada por el primer método. Destacando en este caso el dominio de los Vertisoles con un 24 %, seguido de los Ferralsoles con un 19 % del total del área de estudio (Cuadro 2).

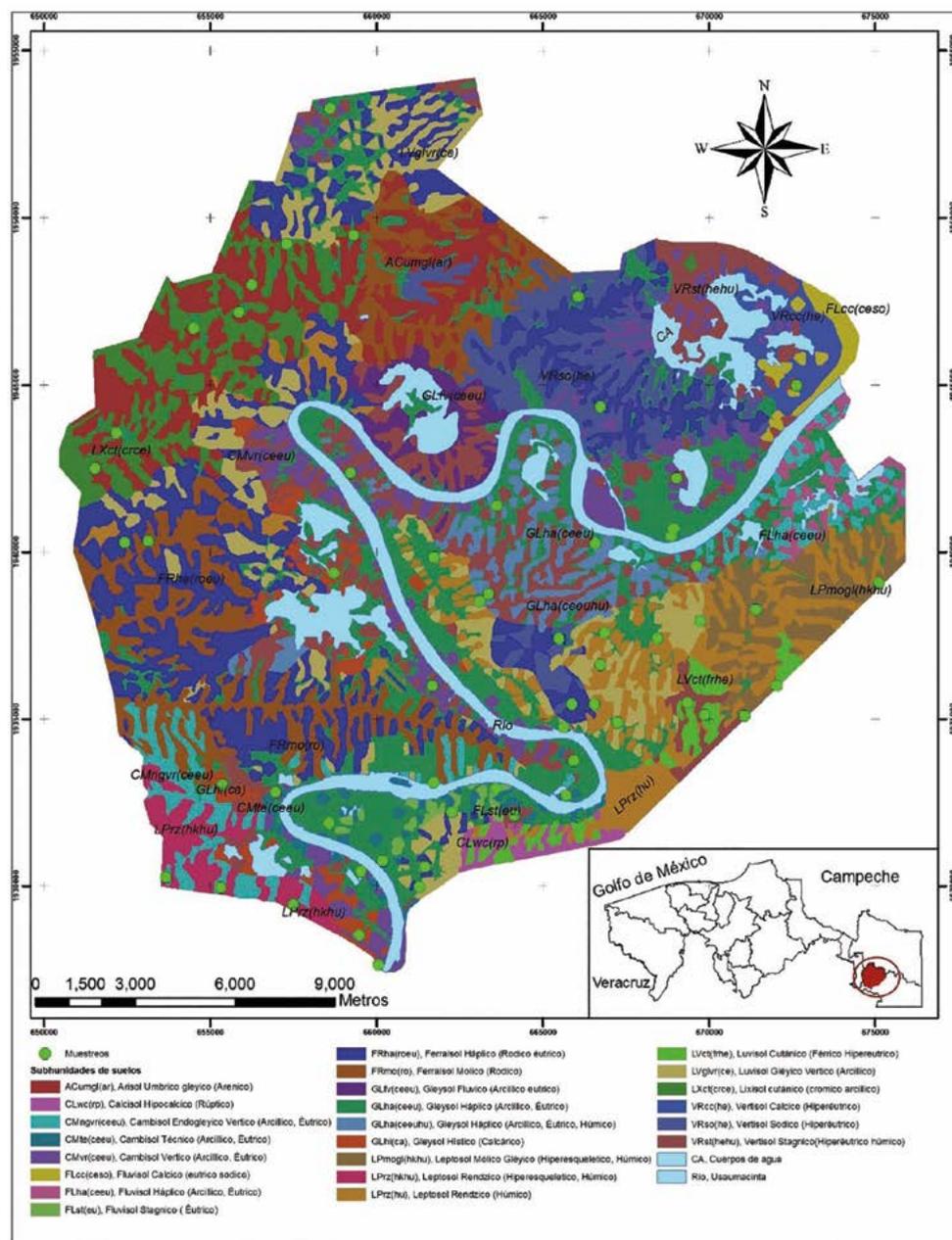


Figura 2. Unidades de suelos utilizando modelo digital de elevación (MDE)

Cuadro 2. Unidades de suelos del área de estudio utilizando el modelo digital de elevación (MDE).

| Grupo Mayor | Suelo | Clave | Atributos | Superficie | |
|-------------|--|---------------|-----------|------------|-------|
| | | | | ha | % |
| Ferralsol | Ferralsol Háptico (Ródico, Éutrico) | FRha(roeu) | 8,10 | 5207.53 | 12.20 |
| | Ferralsol Mólico (Ródico) | FRmo(ro) | 8,11 | 3226.88 | 7.56 |
| Luvisol | Luvisol Gléyico Vértico (Arcílico,) | LVglvr (ce) | 9,11 | 2597.07 | 6.08 |
| | Luvisol Cutánico (Férrico, Hiperéutrico) | LVct(frhe) | 13 | 439.31 | 1.02 |
| Gleysol | Gleysol Háptico (Arcílico, Éutrico, Húmico) | GLha(ceeuhu) | 4, | 986.41 | 2.31 |
| | Gleysol Háptico (Arcílico, Éutrico) | GLha(ceeu) | 3,6,9 | 6417.74 | 5.38 |
| | Gleysol Flúvico (Arcílico, Éutrico) | GLfv(ceeu) | 3,4 | 493.91 | 15.03 |
| | Gleysol Hístico (Calcárico) | GLhi(ca) | 4, | 590.32 | 1.38 |
| Cambisol | Cambisol Vértico (Arcílico, Éutrico), | CMvr (ceeu) | 3,4,5,6,8 | 1669.96 | 3.91 |
| | Cambisol Endogleyico Vértico (Arcílico, Éutrico) | CMngvr (ceeu) | 4,5,10, | 1123.65 | 2.63 |
| | Cambisol Técnico (Arcílico, Éutrico) | CMte(ceeu) | 4,6,8 | 327.07 | 0.76 |
| Leptosol | Leptosol Réndzico (Húmico) | LPrz(hu) | 10,11,12 | 2531.27 | 5.93 |
| | Leptosol Mólico Gléyico (Hiperesquelético, Húmico) | LPmogl(hkhu) | 11,14 | 966.13 | 2.26 |
| | Leptosol Réndzico (Hiperesquelético, Húmico) | LPrz(hkhu) | 11 | 656.63 | 1.53 |
| Fluvisol | Fluvisol Háptico (Arcílico, Éutrico) | FLha(ceeu) | 5, | 329.82 | 0.77 |
| | Fluvisol Stágnico (Éutrico) | FLst(eu) | 5 | 161.44 | 0.37 |
| | Fluvisol Cálculo (Éutrico, Sódico) | FLca(euso) | 4 | 310.13 | 0.72 |
| Vertisol | Vertisol Cálculo (Hiperéutrico) | VRcc(he) | 3 | 509.20 | 1.19 |
| | Vertisol Sódico (Hiperéutrico) | VRso(he) | ,7,8 | 1902.90 | 4.45 |
| | Vertisol Estágnico (Hiperéutrico, Húmico) | VRst(hehu) | 3,4,5,14 | 3525.02 | 8.25 |
| Acrisol | Acrisol Úmbrico Gléyico (Arénico) | ACumgl(ar) | 7, | 2688.75 | 6.30 |
| Calcisol | Calcisol Hipocálcico (Rúptico) | CLwc(rp) | 14 | 247.02 | 0.57 |
| Lixisol | Lixisol Cutánico (Crómico, Arcílico) | LXct(crce) | 4,8 | 1703.59 | 3.99 |
| | Cuerpos de Agua | C.A | 2 | 4065.60 | 9.52 |
| | Total | | | 42669.52 | 100 |

Comparación de la cartografía por el método convencional y utilizando MDE

Precisión

En cuanto a la evaluación de la precisión se realizaron 60 verificaciones en las cuales, al checar el mapa realizado mediante fotointerpretación, se encontró un total de nueve errores. Debido a que en el campo no se presentan las características de acuerdo a las reportadas en la descripción del perfil, se tiene una precisión de 85 % para el método convencional. Para el caso del método basado en el MDE se encontraron 12 errores por lo que representa el 80 % de precisión. Sin embargo, con ambos métodos se supera el estándar de calidad (76 %) sugerido por Lleverino *et al.* (2000).

Exactitud

De los 35 linderos de suelos analizados mediante 70 barrenaciones para evaluar la exactitud del mapa generado por fotointerpretación, se encontraron siete errores,

es decir, las características encontradas no concuerdan con las reportadas en la descripción del perfil, por lo cual el lindero marcado en el mapa es falso, por lo tanto, se tuvo una exactitud de 77 % para el método convencional. Así mismo, al evaluar la exactitud del mapa generado mediante el uso de los Modelos Digitales de Elevación, se encontraron nueve errores; es decir, estos linderos no existen, por lo que se tuvo una exactitud de 74 %. Los resultados muestran que en ambos métodos podrían considerarse razonables por acercarse al estándar de calidad (>80 %) establecido por Lleverino *et al.* (2000).

CONCLUSIONES

Se logró generar la cartografía de suelos a nivel semidetallado utilizando el método convencional, pero apoyándose con los modelos digitales de elevación (MDE), las ortofotos, y los mapas de geología. Los MDE son eficientes en

precisión y exactitud para generar cartografía de suelos de tipo semidetallado, sin superar al método convencional basado en la fotointerpretación, pero obteniendo valores muy cercanos en estos parámetros. Sin embargo, su eficiencia se pierde cuando hay extensiones grandes de planicies y se incrementa en zonas con relieve más variado. En contraste, cuando existe la posibilidad de usar bases de datos tipo LIDAR se contribuye a que el MDE logre una mayor eficiencia (exactitud, precisión, rapidez y economía) para la generación de cartografía de suelos a nivel detallado y semi detallado.

LITERATURA CITADA

- Cuanalo de la C. H. 1990. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 3a edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 75 p.
- Felicitísimo A. 1994. Modelo Digital de terreno, Introducción y Aplicación a las Ciencias Ambientales. [En línea] <http://www.etsimo.uniovi.es/pdf/15/03/07>. 122 p.
- IUSS, ISRIC, FAO. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso suelo. Primera actualización traducida al español. Informe sobre Recurso Mundiales de suelos No. 103.FAO. Roma. 124 p.
- Krasilnikov P. 2006. La cartografía de suelos. Memorias del XXIV Congreso-Diplomado Internacional de Edafología Nicolás Aguilera. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 10 p.
- Lleverino G. E., Ortiz-Solorio C. A., Gutiérrez C. Ma. Del C. 2000. Calidad de los mapas de suelos en el Ejido de Atenco, Estado de México. Terra Vol. 18 (02) 103-113 p.
- Ortiz P. M. A., Siebe C., Cram S. 2005. Diferenciación Ecogeográfica de Tabasco. Pp. 305-322. En: Bueno J., Álvarez F. y Santiago S. (eds.). Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología, UMAM-CONABIO. México, D.F. 386 p.
- Ortiz-Solorio C.A. 1992. Levantamientos de suelos. Centro de Edafología Colegio de Postgraduados. México 106 p.
- Ortiz-Solorio C. A., Gutiérrez C. Ma del C. 1999. Fundamentos de Pedología. IRENAT. Colegio de Posgraduados. Texcoco, Estado de México. 103 p.
- Palma-López D. J., Cisneros D. J., Moreno C. E., Rincón-Ramírez J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 184 p.
- Porta C. J., López-Acevedo R., Roquero D. L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Multi prensa. 3ª. Edición. Madrid España 928 p.
- Salgado-García S., Palma-López D. J., Zavala-Cruz J., Lagunes-Espinoza L. C., Ortiz-García C. F., Castelán-Estrada M., Guerrero-Peña A., Moreno-Cáliz E., Rincón-Ramírez J. A. 2008. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en caña de azúcar: Ingenio Azuremex. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. 102 p.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios muestreos y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 75 p.



ACTUALIZACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE TABASCO, MÉXICO

UPDATING THE CLASSIFICATION OF SOILS IN TABASCO, MÉXICO

Palma-López D. J.¹, Jiménez Ramírez R.², Zavala-Cruz J.^{1*}, Bautista-Zúñiga F.³, Gavi Reyes F.⁴, Palma-Cancino D. Y.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. México. ²Universidad Politécnica del Golfo de México. Paraíso, Tabasco. México. ³Centro de Investigación Geografía Aplicada (CIGA) Morelia, Michoacán. México. ⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. México.

*Autor de correspondencia: zavala_cruz@colpos.mx

RESUMEN

Se recopilaron los archivos de estudios de suelos existentes de trabajos realizados en Tabasco, México, del año 2007 hasta 2013. Con el apoyo del software ArcGis versión 9.3 se diseñaron mapas con escalas diferentes hasta uniformizar a 1:250 000. Se compilaron 153 perfiles de suelos geo referenciados con análisis físico-químicos, conformando con ello la base de datos de suelos. Se realizó la clasificación de suelos de acuerdo con la WRB versión 2014. Se determinaron 19 Grupos de suelos en Tabasco, dominan los Gleysols, Histosols, Fluvisols, Acrisols, Leptosols y Vertisols. Se identificaron suelos con unidades cartográficas muy pequeñas, que no se habían reportado en años anteriores, tales como: Calcisols, Lixisols, Nitisols, Phaeozems y Tecnosols.

Palabras clave: suelos tropicales; correlación de suelos; estudios de suelos

ABSTRACT

The files of existing soil studies from studies carried out in Tabasco, México, from the year 2007 to 2013, were gathered. With the support of the ArcGis software version 9.3, maps were designed with different scales until standardizing to 1:250 000. 153 soil profiles georeferenced with physical-chemical analysis were compiled, establishing with this the soil database. The soil classification was performed according to WRB version 2014. Nineteen (19) soil groups were determined in Tabasco, with Gleysols, Histosols, Fluvisols, Acrisols, Leptosols and Vertisols dominating. Soils were identified with very small cartographic units, which had not been reported in previous years, such as: Calcisols, Lixisols, Nitisols, Phaeozems and Tecnosols.

Keywords: tropical soils; soil correlation; soil studies.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp: 29-35.
Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural que se encuentra en la superficie de la tierra y que puede variar en profundidad (Porta *et al.*, 2013); también es un medio que permite el desarrollo de plantas ya sea que tenga o no horizontes discernibles (Soil Survey Staff, 2010). Es además, un recurso complejo que puede presentar muchas variantes dependiendo de la región geográfica. Su importancia se debe a que, el ser humano puede cultivar y crecer sus alimentos básicos en él (Porta *et al.*, 2013). Por lo que es necesario contar con estudios de suelos actualizados, a fin de obtener información que sirva de base para la conservación, preservación y su aprovechamiento sustentable (Bautista *et al.*, 2005). En Tabasco, México, se han realizado diversos estudios de suelo, a diferentes escalas, aunque la mayor parte de éstos no están publicados (Palma-López *et al.*, 2007b). Lo anterior demanda un esfuerzo de compilación, para transformarlos en una fuente de datos actualizados que puedan servir a las personas o instituciones interesadas en este tipo de información. En este contexto, el Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, se marcó como objetivo, recopilar diversos estudios de suelos, con lo que se constituyó una base de datos de perfiles de suelos (Palma-López y Cisneros, 2000; Palma-López *et al.*, 2007a), misma que tiene que ser homogeneizada a escala 1:250 000, compilada, georeferenciada, analizada física, químicamente y clasificada de acuerdo con el Referencial Mundial de Suelos WRB (IUSS Working Group WRB, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio comprende el estado de Tabasco, México, ubicado en el sureste de la república mexicana (17° 19'00" y 19° 39'00" N, y 90° 57'00" y 94° 08'00, O). Abarca una superficie de 24 661 km², que representa 1.3 % del total del país, su fisiografía forma parte de dos provincias, la Llanura Costera del Golfo Sur y la Sierra de Chiapas y Guatemala; el clima dominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con temperatura promedio de 26 °C y precipitaciones media anual de 2,000 mm (INEGI, 2016). Litológicamente predominan los suelos sobre sedimentos no consolidados de planicies fluviales, palustres, lagunares y costeras que datan del periodo Cuaternario Holoceno; existen también suelos desarrollados sobre rocas sedimentarias detríticas de lutitas, areniscas y conglomerados del Terciario Paleoceno al Terciario Plioceno en las terrazas, lomeríos y montañas, así como con calizas del Cretácico al Terciario Mioceno, que son las más antiguas, en terrazas y mon-

tañas kársticas (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Según la última compilación, los suelos que dominan en el Estado son los Gleysoles, Vertisoles, Fluvisoles, Luvisoles y Acrisoles (Palma-López *et al.*, 2007b).

Primero se procedió a la revisión de la información generada por las diferentes instituciones sobre suelos de Tabasco, considerando la última actualización que generó el Colegio de Postgraduados (Palma-López *et al.*, 2007a). La búsqueda incluyó tanto trabajos publicados como informes técnicos y datos sin procesar, las escalas de estos trabajos variaron de 1:35 000 a 1:250 000. Con ello se generó un mapa preliminar de suelos, homogenizándose mediante algebra de mapas a escala 1:250 000, utilizando un sistema de información geográfica (ArcGis versión 9.3). Se utilizó el concepto del área mínima cartografiable, lo que permitió eliminar polígonos inferiores a 156 hectáreas. Se definieron los perfiles representativos de los estudios revisados, debidamente georeferenciados y con sus análisis físicos y químicos, con ellos se conformó una base de datos, para realizar la clasificación de suelos de acuerdo con el Referencial Mundial de Suelos o WRB (IUSS Working Group WRB, 2014). Se utilizaron también los datos georeferenciados que generó el INEGI, para verificar la clasificación y cartografía. De esta base de datos se utilizaron 111 perfiles de suelo, 52 con análisis químicos y 59 con la descripción en campo. Finalmente, con el uso del enfoque geopedológico se generó la cartografía final de los suelos de Tabasco a escala 1: 250 000, se corrigieron los linderos de suelos acorde a los paisajes geomorfológicos, especialmente en zonas de transición de planicies fluviales y terrazas (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Se realizó la caracterización de los Grupos de suelos y relacionaron con los factores relieve, roca y edad (Zinck, 2012; SGM, 2005 y 2006; Zavala-Cruz *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estado de Tabasco cuenta con estudios de compilación sobre clasificación y caracterización de suelos a nivel subunidad (Palma-López y Cisneros, 2000) y de unidades de suelo (Palma-López *et al.*, 2007b; Palma-López *et al.*, 2007a), a escala 1: 250 000, en estos trabajos se menciona que los suelos dominantes son los Gleysoles ubicados en áreas húmedas y los Vertisoles en áreas agrícolas. De 2007 al 2015 se localizaron nueve estudios, la mayoría de ellos a nivel semi detallado (Salgado-García *et al.*, 2007, Esc. 1:35 000; Obrador-Olán *et al.*, 2008, Esc. 1:50 000; Palma-López *et al.*, 2008, Esc. 1:75 000; Salgado-García *et al.*, 2008, Esc.

1:50 000; Salgado-García *et al.*, 2009, Esc. 1:43 000; Salgado-García *et al.*, 2010, Esc. 1:50 000; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011, Esc. 1:75 000; Zavala-Cruz *et al.*, 2011, Esc. 1:250 000; Zavala-Cruz *et al.*, 2012, Esc. 1:50 000; Salgado-García *et al.*, 2015, Esc. 1:75 000).

Con base en esta revisión se obtuvieron 153 perfiles representativos de suelos, los cuales fueron la base para actualizar la clasificación de los suelos del estado con la versión actual de la WRB (IUSS Working Group WRB, 2014). Usando el enfoque geopedológico se rectificaron linderos de suelos bajando la escala a 1:250 000 (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Se encontraron 19 Grupos de suelos, la superficie ocupada por cada grupo en porcentaje con respecto a la superficie total del estado (2 466 100 ha), en orden decreciente fueron: Gleysols (20.5 %), Histosols (13.4 %), Fluvisols (10.4 %), Acrisols (9.73 %), Vertisols (7.48 %), Leptosols (7.07 %), Alisols (6.97 %), Luvisols (6.49 %), Cambisols (5.77 %), Arenosols (2.1 %), Lixisols (1.56 %), Solonchaks (0.83 %), Nitisols (0.39 %), Ferralsols (0.29 %), Plintosols (0.06 %), Tecnosols (0.04 %), Phaeozems (0.03 %) y Regosols (0.03 %) (Figura 1).

Grupo de los suelos orgánicos: Histosols (HS)

Los Histosols son los suelos formados por materiales orgánicos (30 % o más de materia orgánica) en más de la mitad de los primeros 80 cm de profundidad. Se forman en planicies palustres y lagunares bajo un estado de anegamiento que no permite el oxígeno libre la mayor parte del año, por lo que estos suelos solo se forman en humedales, llamados localmente "tembladeras" o "pantanos". Son ricos en nutrientes, pero por su estado de anegamiento, en Tabasco deben dedicarse a reservas de la vida silvestre (Figuras 1 y 2).

Grupos de suelos minerales cuya formación está condicionada por la textura del material de origen: Arenosols (AR) y Vertisols (VR)

Los Arenosols son suelos arenosos que están ubicados

en la planicie costera de cordones de playa de formación marina del Cuaternario Holoceno, o bien en las zonas de lomerío, formados a partir de rocas areniscas y conglomerados de la Era Cenozoica, localmente se les conoce como "arenales" o "tierras arenosas". Son suelos muy profundos con muy bajos contenidos nutrimentales, bajos contenidos de materia orgánica, alta permeabilidad y muy poca humedad aprovechable para los cultivos. Los Vertisols son suelos arcillosos que se agrietan en la época de secas. Fisiográficamente se localizan en planicies con poca pendiente. El material madre está constituido por sedimentos aluviales del Holoceno o, en algunos casos, por aluviones y detríticos derivados de rocas calizas y lutitas del Cenozoico. Localmente se les conoce como "barriales" o "atascaderos". Son ricos

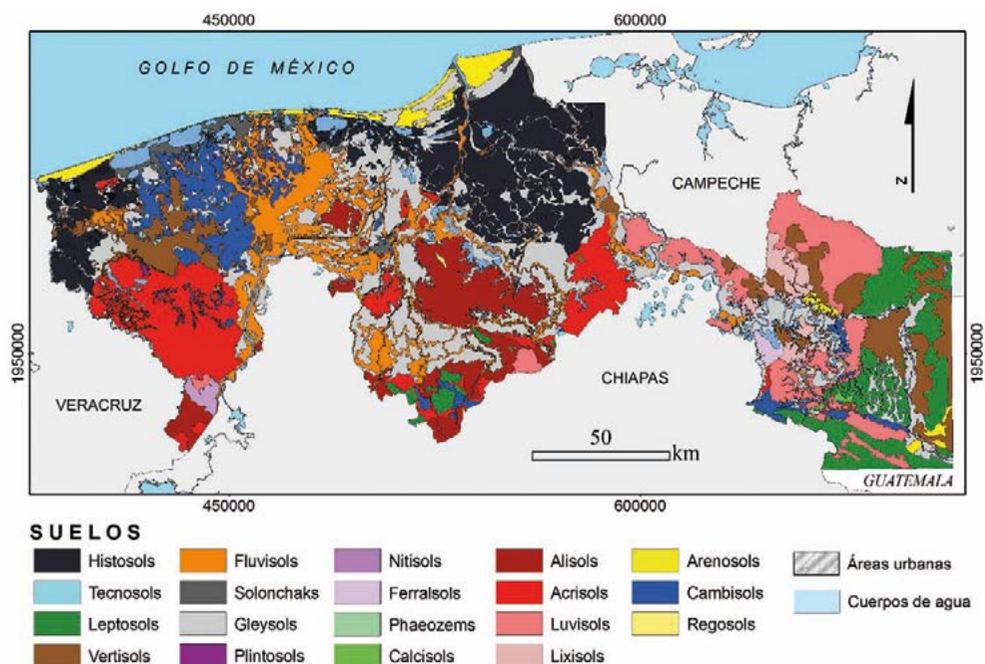


Figura 1. Grupos Mayores de suelos del estado de Tabasco, México, de acuerdo con el referencial mundial de suelos (IUSS Working Group WRB, 2014).

en nutrientes y sus principales limitantes son el manto freático elevado, permeabilidad lenta, textura arcillosa y agrietamiento en la época de secas (Figuras 1 y 2).

Grupos de suelos minerales cuya formación está condicionada por la topografía/fisiografía del terreno: Fluvisols (FL), Gleysols (GL) y Leptosols (LP)

Los Fluvisols son suelos que se derivan de sedimentos fluviales o lacustres del Periodo Cuaternario Holoceno y presentan estratificación de sus horizontes. Se distribuyen en diques naturales en forma paralela a los cauces de los ríos y cauces abandonados, localmente se les conoce como "vega de río". Estos suelos presentan

alta permeabilidad, son profundos, de texturas medias o medias sobre gruesas, de poco desarrollo, ricos en nutrientes y materia orgánica y buen drenaje superficial. Los Gleysols son suelos que están saturados con agua durante buena parte del año y que manifiestan procesos de reducción de hierro, observándose en el perfil la presencia de colores gris-azulados o verdosos, o moteado asociado con colores rojizos, amarillentos u ocres. Ocupan zonas bajas, planas y cóncavas de las planicies fluviales, con pendiente menor a 1 %. El material parental dominante es derivado de sedimentos aluviales y palustres del Holoceno. Localmente se les conoce como "bajiales". Son suelos profundos, la mayor parte del año con manto freático somero, alto contenido de materia orgánica y de nutrientes (Figuras 1 y 2).

Los Leptosols son los suelos de menos de 25 cm de profundidad que están limitados por un material muy calcáreo o por una capa cementada. Fisiográficamente se localizan en las zonas de montañas y terrazas kársticas. Su material parental son las rocas calizas, asociadas a lutitas y areniscas, del Cretácico y Terciario. Localmente se les conoce como "tierras delgadas" o "pedregales" y presentan problemas por su sensibilidad a la erosión hídrica y debido a lo delgado de los suelos las raíces de las plantas tienen problemas para desarrollarse.

Grupo de suelos minerales cuya formación está condicionada por edad limitada Cambisols (CM)

Los Cambisols son suelos que presentan apenas un ligero desarrollo en sus horizontes. Fisiográficamente ocupan áreas planas y en ocasiones con ligeras ondulaciones con pendientes inferiores al 0.5 % o en lomeríos extendidos con pendientes convexo-cóncavas no mayores al 2 %. El material de origen de estos suelos son los sedimentos aluviales holocénicos inactivos y activos, y materiales residuales de areniscas, lutitas y calizas del Terciario Mioceno. Localmente se les conoce como "barro ligero". Son suelos profundos que presentan texturas medias a arcillosas con moteados amarillentos y los nutrientes varían de medianos a ricos.

Grupos de suelos minerales cuya formación es condicionada por el clima tropical húmedo: Plintosols (PT), Ferralsols (FR), Acrisols (AC) y Luvisols (LV)

Los Plintosols representan a los suelos ácidos que muestran una capa de plintita bien reticulada (producto de una mezcla de arcilla, cuarzo y hierro, sin humus), de colores claros con moteados rojos. Fisiográficamente se ubican en terrazas con lomeríos suaves con ligera

pendiente (entre 2-4 %), y en zonas planas con una ligera pendiente cóncava no mayor al 0.5 %. El material parental está constituido de sedimentos de arenisca y conglomerado del Terciario Plioceno, y arena-limo del Cuaternario Pleistoceno. Son suelos muy pobres en nutrientes, ocasionados por la fuerte acidez del suelo, además se presentan problemas de fijación de fósforo y problemas de drenaje interno.

Los Ferralsols, son suelos que tienen un horizonte enriquecido con hierro de color rojo a rojo oscuro. Presentan un horizonte B muy intemperizado que tienen una CIC menor de $16 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla. Localmente se les nombra "tierras rojas". Se localizan en terrazas con material parental de areniscas y lutitas del Terciario Mioceno y Cuaternario Pleistoceno.

Acrisols, son suelos que tienen un horizonte subsuperficial enriquecido en arcilla con una CIC menor a $24 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla y una saturación de bases menor a 50 %. Son suelos muy intemperizados, lixiviados y ácidos. Tienen amplia distribución en terrazas con lomeríos suaves a inclinados de pendientes convexas, localmente conocidos como "sabanas" o "sabanales". El material parental es de areniscas, lutitas y conglomerados del Terciario Mioceno al Cuaternario Pleistoceno. Algunos Acrisoles se ubican en lomeríos y laderas de montaña sobre rocas detríticas del Terciario Paleoceno-Eoceno.

Los Luvisols, tienen también un horizonte subsuperficial enriquecido en arcilla, pero con una CIC mayor o igual a $24 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ de arcilla y una saturación de bases de 50 %. Son suelos rojizos característicos de terrazas con lomeríos suaves, y en montañas. Se denominan localmente como "tierras rojas" o "sabanales de planada" ya que algunos de estos suelos se localizan en zonas planas. Los materiales parentales de estos suelos son principalmente areniscas, lutitas, conglomerados y aluviones del Cuaternario Pleistoceno y Holoceno, así como algunas calizas-areniscas del Terciario Oligoceno (Figuras 1 y 2).

Grupo de suelos minerales con influencia marina: Solonchaks (SC)

Los Solonchaks son suelos cercanos a las lagunas costeras, salinos y arcillosos, que presentan inundación por agua salobre una buena parte del año. Son típicos de la planicie de inundación lagunar con material parental de sedimentos aluviales, lacustres y palustres del Cuaternario



Figura 2. Perfiles de los Grupos de suelos más representativos en Tabasco, México.

Holoceno; en áreas de contacto con la planicie costera de cordones de playa, se desarrollan sobre sedimentos marinos arenosos. Su principal característica es la salinidad, la cual se acrecienta en la época de secas.

Dentro de los suelos con problemas de anegamiento se encuentran aquellos con texturas pesadas o bien con acumulación de materia orgánica, donde su uso está dominado por pastizales y vegetación hidrófila (Vertisols, Gleysols e Histosols), aunque desde el punto de vista agrícola algunos de estos suelos están ocupados con caña de azúcar (*Saccharum spp.*), arroz (*Oryza sativa*) y sorgo (*Sorghum bicolor*). También se destacan los grupos de suelos ácidos con problemas de baja fertilidad, cuyo uso es con pastizales y plantaciones forestales (Acrisols, Alisols, Plintosols, Lixisols y Ferralsols). Dentro de los suelos más productivos se encuentran los Fluvisols, Phaeozems, Calcisols, Cambisols y Luvisols, los cuales están ocupados con los cultivos más redituables del estado, tales como el cacao (*Theobroma cacao* L.), plátano (*Musa paradisiaca*), caña de azúcar, papaya (*Carica papaya*), palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) y pastizales mejorados).

CONCLUSIONES

Por medio de la recopilación de estudios de suelos realizados se logró determinar la nueva cartografía de los Grupos Mayores de suelos del estado a escala 1:250 000. Los suelos detectados fueron clasificados usando la versión 2014 del Referencial Mundial de Suelos. Con ello se obtuvieron 19 Grupos Mayores de suelos, dominando tres Grupos en el 44.3 % del estado: los Gleysols, los Histosols y los Fluvisols. También se identificaron cinco

Grupos que no se habían reportado anteriormente: Calcisols, Lixisols, Nitisols, Phaeozems y Tecnosols, ocupando el 2.8% del estado.

LITERATURA CITADA

- Bautista F., Batllori-Sampedro E., Palacio-Aponte G.A., Ortiz-Pérez M., Castillo-González M. 2005. Integración del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos de la península de Yucatán. En: Bautista Z. y Palacio (eds.) Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. Mérida, México. Pp. 33-58.
- Domínguez-Domínguez M., Zavala-Cruz J., Martínez-Zurimendi P. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Colegio de Postgraduados. Villahermosa, México. 137 p.
- INEGI. 2016. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2016. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México. 464 p.
- IUSS Working Group WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO. Rome, Italy. 181 p.
- Obrador-Olán J.J., García L.E., Palma-López D. J., Juárez L. J. F., Carrillo A. E., Guerrero P. A., Galmiche T. A., Rincón R. J. A., Moreno C. E., Quej Ch. V. H. Sánchez L. V. 2008. Caracterización ambiental de la microcuenca Cárdenas-Comalcalco del estado de Tabasco. Informe final, Proyecto FOMIX-TAB-2005-C06-16497. Colegio de Postgraduados, CONACYT. Cárdenas, México. 109 p.
- Palma-López D.J., Cisneros D.J. 2000. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 2a. Ed. ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. Villahermosa, México. 115 p.
- Palma-López D.J., Cisneros D.J., Moreno C.E., Rincón R.J.A. 2007a. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, México. 195 p.
- Palma-López D.J., Cisneros D.J., Del Rivero B. N., Triano S. A., Castañeda C. R., 2007b. Hacia un desarrollo sustentable del uso de los suelos de Tabasco. En: Palma-López D. J., y Triano S. A. (Comps.) Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco Vol. II. Colegio de Postgraduados, ISPROTAB. Villahermosa, México. Pp. 9-37.
- Palma-López D.J., Moreno C.E., Rincón-Ramírez J.A., Shirma T.E.D. 2008. Degradación y conservación de los suelos de Tabasco. Colegio de Postgraduados CONACYT, CCYTET. Villahermosa, México. 74 p.
- Porta J., López-Acevedo M., Poch R.M. 2013. Edafología Uso y protección de suelos. 3ra edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 608 p.
- Salgado-García S., Palma-López D. J., Zavala C.J., Lagunes E.L.C., Castelán E. M., Ortiz G.C.F., Ventura U.F., Marín A.A., Moreno C.E., Rincón R.J.A. 2007. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en el área citrícola de Huimanguillo, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, México. 89 p.
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Zavala C.J., Lagunes E.L.C., Ortiz G.C.F., Castelán E.M., Guerrero P.A., Moreno C.E., Rincón R.J.A. 2008. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en caña de azúcar: Ingenio Azuremex. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, México. 102 p.
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Zavala C.J., Lagunes E.L.C., Castelán E. M., Ortiz G.C.F., Juárez L.F., Ruiz R.O., Armida A.L., Rincón R.J.A. 2009. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en caña de azúcar: Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, México. 78 p.
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Zavala C.J., Ortiz G. C. F., Castelán E.M., Lagunes E. L. C., Guerrero-Peña A., Ortiz C. A. L., Córdova S. S. 2010. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, México. 81 p.
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Zavala C.J., Lagunes E. L. C., Córdova S.S., Castelán E.M., Ortiz G.C.F., Rincón R.J.A. 2015. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en palma de aceite (SIRDF): Región Ríos de Tabasco. Grupo SIRDF PA-LPi-2 Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, México. 118 p.

- SGM. 2005. Carta geológico-minera Villahermosa E15-8 escala 1:250 000. Pachuca, México.
- SGM. 2006. Carta geológico-minera Tenosique E15-9 escala 1:250 000. Pachuca, México.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. 12th edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. USDA. NRCS. Washington D.C. USA. 360 p.
- Zavala-Cruz J., Palma-López D. J., Fernández C. C. R., López C. A., Shirma T. E. D. 2011. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, PEMEX. Villahermosa, México. 90 p.
- Zavala-Cruz J., Palma-López D. J., Morales G. M. A. 2012. Clasificación de los suelos de la cuenca baja del río Tonalá, Tabasco. En: Zavala C. J. y García L. E. (eds.). Suelo y vegetación de la cuenca baja del río Tonalá, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, México. Pp. 31-63.
- Zavala-Cruz J., Jiménez R. R., Palma-López D. J., Bautista Z. F., Gavi R. F. 2016. Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 3(8): 161-171.
- Zinck J. A. 2012. Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y riesgos naturales. Faculty Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, the Netherlands. 123 p.



EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN TABASCO, MÉXICO

EVALUATION OF THE AGROFORESTRY CACAO (*Theobroma cacao* L.) SYSTEM THROUGH INDICATORS OF SOIL QUALITY IN TABASCO, MEXICO

Pascual-Córdova, G.^{1,2}; Obrador-Olán, J.J.^{2*}; García-López, E.²; Carrillo-Ávila, E.³; Sánchez-Soto, S.²; Guerrero-Peña, A.²; Ortiz-García, C.F.²

¹Estudiante de la Maestría en Ciencias Producción Agroalimentaria en el Trópico, ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carr. Cárdenas-Huimanguillo km 3.5. CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. ³Campus Campeche-CP. Carretera Haltun-chén – Edzná, km. 17.5. C.P. 24450. Sihochac, Champotón, Campeche, México.

*Autor para correspondencia: obradoro@colpos.mx

RESUMEN

Con la finalidad de conocer el estado nutrimental del suelo en un sistema agroforestal (SAF) cacao (*Theobroma cacao* L.), se realizaron muestreos de suelos a 0-30 y 30-50 cm. Se hicieron perfiles edáficos para hacer su clasificación, y muestreos para macrofauna, indicadores de calidad química y densidad de longitud de raíces (DLR) a una profundidad de 1.60 m, cada 20 cm, en dos épocas (sequía y lluvia). Los resultados permitieron clasificar el suelo como Cambisol gléyico (CMgl). El diagnóstico nutrimental mostró en general bajos valores, sin embargo, la materia orgánica y nitrógeno, fueron mayores en la época húmeda a 0-30 cm; el fósforo fue más alto en la sequía a 0-60 cm; los demás parámetros no mostraron diferencias entre épocas. Las bases de intercambio mostraron valores bajos en las dos épocas, siendo muy bajos el magnesio y potasio (K), considerando que el último es el nutrimento más demandado por el cacao. La macrofauna en general fue muy escasa, aunque en la época húmeda se notó mayor presencia. La DLR reveló una exploración importante de la biomasa radical hasta 100 cm de profundidad.

Palabras clave: análisis nutrimental, densidad de longitud de raíces, macrofauna.

ABSTRACT

With the aim of understanding the nutritional state of the soil in a cacao (*Theobroma cacao* L.) agroforestry system (AFS), soil samples were taken at 0-30 and 30-50 cm. Soil profiles were performed to classify them, and sampling for macrofauna, chemical quality indicators and density of root length (DRL) at a depth of 1.60 m, every 20 cm, in two seasons (drought and rain). The results allowed classifying the soil as Gleyic Cambisol (CMgl). The nutrient diagnosis showed low values in general, however, the organic matter and nitrogen were higher in the humid season at 0-30 cm; phosphorus was higher in the dry season at 0-60 cm; the other parameters didn't show differences between seasons. The bases of exchange showed lower values in the two seasons, with magnesium and potassium (K) being very low, considering that the last is the most demanded nutrient by cacao. The macrofauna in general was very scarce, although during the humid season more presence was noticed. The DRL revealed an important exploration of the root biomass down to 100 cm depth.

Keywords: nutrient analysis, density of root length, macrofauna.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp. 36-42.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En México, la mayor parte del área plantada con cacao (*Theobroma cacao* L.) se localiza en los estados de Tabasco y Chiapas, donde la superficie cultivada y la producción, en conjunto, ha disminuido de 75,356 ha y 36,360 t en la década de los ochentas, a 61,397 ha y 28,007 t en 2015 (SAGARPA, 2017). Lo anterior se atribuye entre otros factores a baja fertilidad edáfica, edad avanzada de las plantaciones, altos costos de producción, intervención de intermediarios ("coyotes"), bajos precios del producto y presencia de plagas y enfermedades entre las que destaca la moniliasis (*Monilia roreri*) (Díaz-José *et al.*, 2013). El manejo tradicional del cultivo, involucra a muchas especies de plantas de utilidad que se integran como un sistema agroforestal (SAF), donde la producción de madera, frutos, especias, etcétera, y la de cacao durante todo el año, amortigua los periodos críticos para el productor y su familia (PRODESOC, 2006). La calidad del suelo está relacionada estrechamente con su aptitud para funcionar como un sistema vivo, dentro de los límites del ecosistema y uso, capaz de sostener la productividad de plantas y animales, manteniendo la calidad del agua, aire, y promoviendo la sanidad vegetal y animal (Doran y Zeiss, 2000). Para poder diferenciar, sistematizar y evaluar la calidad de un suelo, es necesario contar con indicadores de calidad edáfica (Rossi *et al.*, 2009), definidos como parámetros de características químicas, físicas y biológicas, sensibles a las perturbaciones, y que representan el desempeño de la función del ecosistema en el suelo. Son propiedades dinámicas con variaciones espaciales y temporales (Labrador, 1996), en las que el conocimiento de la capacidad de exploración por nutrimentos de las raíces finas (<3 mm) es medular, debido a que son las encargadas de la extracción de minerales (bombeo de nutrimentos). Los modelos de crecimiento vegetal requieren de la medición del sistema radical de las plantas cultivadas, y para ello se utilizan parámetros, tales como el crecimiento y la densidad radical (Comerford, 2005), o la densidad de longitud de raíces (DLR, km de raíces m³ de suelo), que se relaciona con la aireación del suelo y absorción de nutrientes (Morales, 1997), la toma de éstos por las plantas depende, de forma importante, del desarrollo radical de los cultivos, sobre todo en el caso de elementos poco móviles (Van noodwijk y De Willigen, 1991).

La fertilización en el SAF de cacao, es una actividad que pocos agricultores efectúan, debido a que desconocen que el sistema tiene más salidas que entradas de

nutrientes, a pesar de mantenerse un continuo depósito de materiales orgánicos, los cuales pueden no estar disponibles en el momento en que se requieren (Ávila *et al.*, 2013). Mantener la materia orgánica (MO) es importante para la calidad del suelo, su productividad agrícola, y persistencia de la fauna del suelo y biomasa en general. Los organismos edáficos (macrofauna) modifican el suelo de acuerdo a su densidad, movimientos y hábitos alimenticios, una alta cantidad de biota del suelo se relaciona con buena fertilidad (Cabrera, 2012). El SAF cacao es reconocido como un sistema sostenible, por la diversidad de especies de plantas y animales que en él habitan (Donald, 2004), por su bajo uso de insumos (las plantas fijadoras de N) (Sánchez, 2012), el arraigo cultural de las personas, la aceptación de productores de bajos recursos económicos, y por ser un sitio de convivio social (Priego *et al.*, 2009); no obstante, del agroecosistema se exporta anualmente una cantidad importante de nutrimentos; una tonelada de cacao extrae alrededor de 35 kg de N, 15 de P, 80 de K y 12 de Mg y Ca (IFA, 1992). El historial de extracciones periódicas y la avidez por K que tiene el cacao podría estar causando una disminución importante de la calidad del suelo y un desbalance nutrimental (Isacc *et al.*, 2007). Con base en lo anterior, se realizó la determinación de indicadores de fertilidad química y biológica del suelo del SAF cacao, además de la DLR de la planta del cacao, en las épocas de sequía y humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La parcela experimental se ubicó en el estado de Tabasco, México, en la región del Plan Chontalpa, Poblado C-34, Lic. Benito Juárez García (17° 58' 90.5" N y 93° 35' 35" O). El estudio se realizó en un suelo de la unidad Cambisol, representativo de la planicie aluvial y del SAF cacao, cuya selección se hizo con base en el estudio de Jiménez *et al.* (2013), observaciones de campo (barrenaciones de suelo) y entrevistas con productores cooperantes. La plantación registró una edad aproximada de 20 años y un arreglo topológico de 4x4 m, con árboles de sombra mayormente de chipilcó (*Diphysa robinoides* Benth.), madre de cacao (*Erythrina poeppigiana* [Walp.] O.F. Cook) y pataste (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.).

Caracterización de la unidad de suelo. Se realizó la descripción taxonómica (Figura 1), mediante la apertura de un perfil de 1.50 m de profundidad (Cuanalo, 1990) y la clasificación según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS-WRB, 2015). A las muestras de cada

| Perfil | Ho | Descripción. |
|---|--------|--|
|  | 0-20 | Color de la matriz del suelo: 5YR 2.5/2 café muy oscuro. Transición: marcada horizontal. Húmedo. Textura: franco arcilloso. Consistencia en húmedo: firme muy húmedo ligeramente pegajoso. Estructura: moderadamente desarrollada de forma poliédrica angular y subangular muy fino. Cutanes: planchados por presión discontinuos delgados verticales. Reacción al peróxido de hidrogeno (para MO). Poros: frecuentemente muy finos continuos caóticos. Permeabilidad: lenta. Raíces: comunes finas delgadas y medias. Fauna: túneles de lombriz. pH: 5. |
| | 20-47 | Color de la matriz del suelo: 7.5YR 3/1 gris muy oscuro. Transición: tenue horizontal. Húmedo. Textura: franco arcilloso. Consistencia en húmedo: firme muy húmedo ligeramente pegajoso. Estructura: moderadamente desarrollada poliédrica angular. Cutanes: planchado por presión discontinuos delgados y verticales. Con reacción al peróxido de hidrogeno. Poros: frecuentemente muy finos continuos caóticos. Permeabilidad: lenta. Raíces: comunes finas delgadas y medias. Fauna: gallina ciega. pH: 6. |
| | 47-99 | Color de la matriz: 7.5YR 4/3 pardo. Transición: tenue horizontal. Húmedo. Moteado: 5YR 5/8 rojo amarillento. Textura: franco arenoso. Consistencia en húmedo: friable muy húmedo ligeramente pegajosa. Estructura: débilmente desarrollado de forma poliédrica angular y subangular. Cutanes: eluviación continuos delgados y verticales. Poros: frecuentemente muy finos y finos continuos y discontinuos caóticos vesicular. Permeabilidad: rápida. Raíces: pocas finas delgadas. pH: 6. |
| | 99-150 | Color de la matriz: 7.5 YR 4/4 pardo. Transición: tenue. Muy húmedo. Moteado (frecuente): 5YR 6/1 gris. Textura: franco arenoso. Consistencia en húmedo: pegajoso muy húmedo. Estructura: débilmente desarrollada poliédrica angular y subangular. Cutanes: eluviación discontinuo y verticales. Poros: frecuentes muy finos y medios continuos caóticos vesiculares. Permeabilidad: rápida. Raíces: comunes. pH: 6. |

Figura 1. Descripción del perfil en el sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L.)

horizonte se les realizó análisis químico en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados.

Diagnóstico nutrimental del suelo. Con barrena tipo holandesa se tomaron muestras compuestas por 15 submuestras en zig-zag, abarcando todo el terreno, a dos profundidades: 0-30 cm y 30-50 cm, y fueron preparadas para realizarles análisis de: pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MO), textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), en el LASPA, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT, 2002).

Determinación de indicadores para la evaluación del SAF cacao: bajo el dosel de ocho árboles de cacao elegidos al azar, se abrieron ocho calicatas (una por planta) de 1.6 m de profundidad, para muestrear siguiendo el método del monolito (Schlegel *et al.*, 2000) con cubos metálicos de 10×10 y 20 cm de altura, ocho muestras por perfil y un total de 32, con cuatro repeticiones en época húmeda (julio 2011) y cuatro en seca (abril 2012). El suelo obtenido en cada estrato se colocó en bolsas de plástico debidamente identificadas para analizar los indicadores de calidad química del suelo: MO, pH, textura, CIC, COS, N, P-Olsen, K, Ca y Mg (SEMARNAT, 2002). Para conocer el indicador biológico de la calidad del suelo en estudio (macrofauna), en los ocho perfiles, a cada 20 cm, y hasta 60 cm de profundidad se tomaron muestras (24), utilizando cubos metálicos

de 25×25 y 20 cm de altura (Schlegel *et al.*, 2000). Los organismos fueron separados del suelo y depositados en frascos con alcohol al 70 % (laboratorio de Entomología del Campus Tabasco-CP), para ser identificados con microscopio estereoscópico y separados en los principales grupos taxonómicos (Clase y Orden) (USDA, 1999).

Análisis de datos. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con un arreglo factorial considerando dos épocas y ocho profundidades, las variables contrastadas fueron: MO, pH, textura, CIC, CO (carbono orgánico), COS (carbono orgánico soluble), N, P-Olsen, K, Ca y Mg. El grado de asociación entre los parámetros químicos se determinó mediante un análisis de correlación entre las variables N total, MO, COS, P, bases intercambiables, CIC y textura.

Distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLR): se muestreó en las épocas seca y húmeda, en la misma forma y número que para los indicadores de calidad edáfica. Los monolitos utilizados fueron de 7×7 m, y 20 cm de largo. Cada muestra de suelo se colocó en bolsa de polietileno con su identificación correspondiente para ser lavada a mano por el método de Böhm (1979) y extraídas las raíces finas, de diámetro inferior de 3 mm (Cuanalo, 1990), secadas en estufa a 70 °C hasta peso constante y pesadas en balanza de precisión ($\pm 0.0001g$). Los valores resultantes recibieron el mismo tratamiento estadístico que el de los indicadores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo: el suelo se clasificó como Cambisol gléyico (CMgl) (Figura 1), que deriva de sedimentos fluviales y presenta propiedades gléyicas entre los 20 y 47 cm. En la Chontalpa se ocupa para cultivar cacao, caña de azúcar, maíz, arroz y pastizales (Jiménez *et al.*, 2013).

Diagnóstico nutrimental del suelo. Resaltan los contenidos bajos y medios de MO (Cuadro 1), pues en el sitio se observó gran cantidad de hojarasca, lo que sugiere que probablemente la mineralización esté siendo condicionada por la humedad del sitio. Los demás nutrimentos, excepto el Nt mostraron contenidos medios a muy bajos; destacando el K que registró valores muy bajos, respecto a lo reportado por Alonso (1987); una razón puede ser que este elemento es el más demandado por el cacao (IFA, 1992).

Indicadores químicos y biológicos para evaluar el SAF cacao

La Figura 2 muestra el comportamiento de los contenidos de MO, C, COS y N en las dos épocas, parámetros que están asociados de forma directa con el aporte orgánico de los árboles del SAF cacao. Es evidente que, después de 20 cm no hay diferencias estadísticas entre variables en las diferentes épocas, ni en una misma profundidad, aunque hay un gradiente negativo conforme esta última incrementa, con excepción del COS, que tampoco mostró diferencia en la primera capa. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros suelos y en otros cultivos donde la profundidad se asocia inversamente con la calidad del suelo (Arenas *et al.*, 2013). En la época húmeda se observaron, en general, mayores contenidos, lo que puede estar asociado a un incremento en la velocidad de la mineralización (Abera *et al.*, 2012), aunque llama la atención que el COS, que

Figura 2. Comportamiento de la MO (a), CO (b), COS (c) y N (d) en el suelo del SAF cacao. Barras horizontales indican intervalos de confianza (0.95).

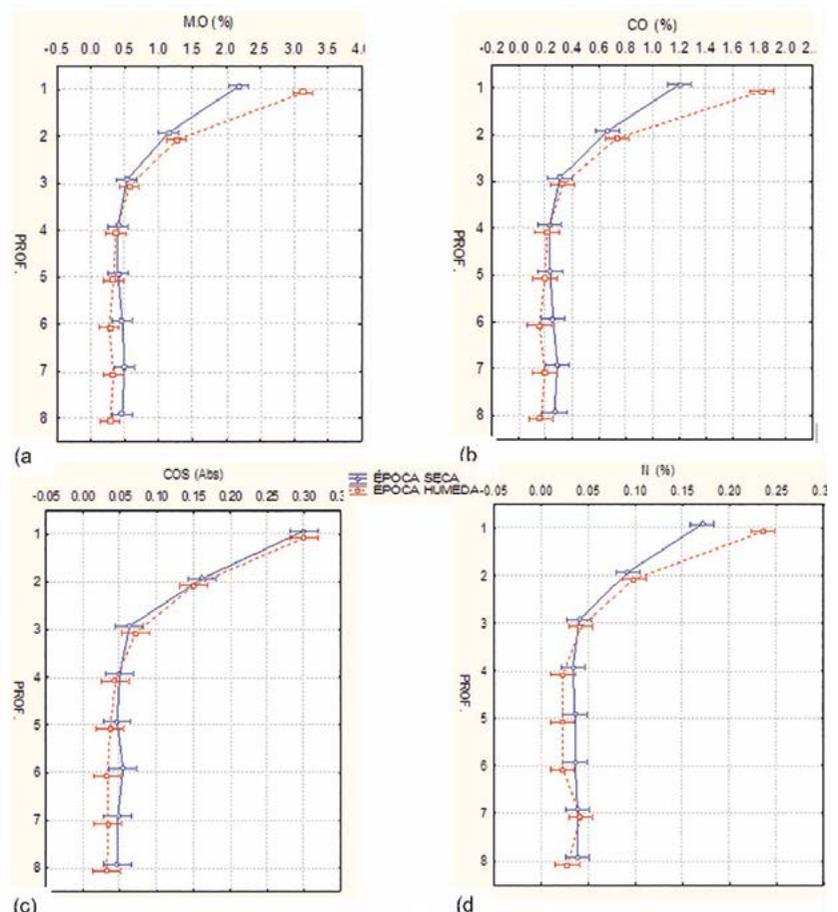
Cuadro 1. Propiedades químicas de un Cambisol Gleyico (CMgl), a dos profundidades: 0-30 cm y 30-50 cm (NOM-021-RECNAT-2000).

| Nutriente | Unidad | 0-30 cm | Clase* | 30-50 cm | Clase* |
|-----------|---|---------|--------|----------|--------|
| MO | (%) | 2.12 | M | 0.80 | B |
| COS | (abs) | 0.282 | | 0.130 | |
| P | (mg kg ⁻¹) | 8.15 | M | 5.35 | B |
| CIC | (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 17.3 | M | 15.10 | M |
| K | (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 0.07 | MB | 0.05 | MB |
| Ca | (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 2.17 | B | 2.02 | B |
| Mg | (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 0 | MB | 0 | MB |
| Nt | (%) | 0.18 | A | 0.09 | B |
| pH | | 5.8 | Ma | 5.6 | Ma |

*Clase: A=alto; M=medio; B=bajo; MB=muy bajo; Ma=moderadamente ácido.

es considerado un parámetro muy confiable para observar los mencionados cambios (Figura 2c), no mostró diferencias estadísticas entre épocas (Leenheer y Croué, 2003).

La CIC incrementó conforme aumentó la profundidad en las dos épocas, y se observaron diferencias estadísticas entre épocas en las profundidades 3, 4 y 6, siendo, en todos los casos, mayor en la época seca (Figura 3a),



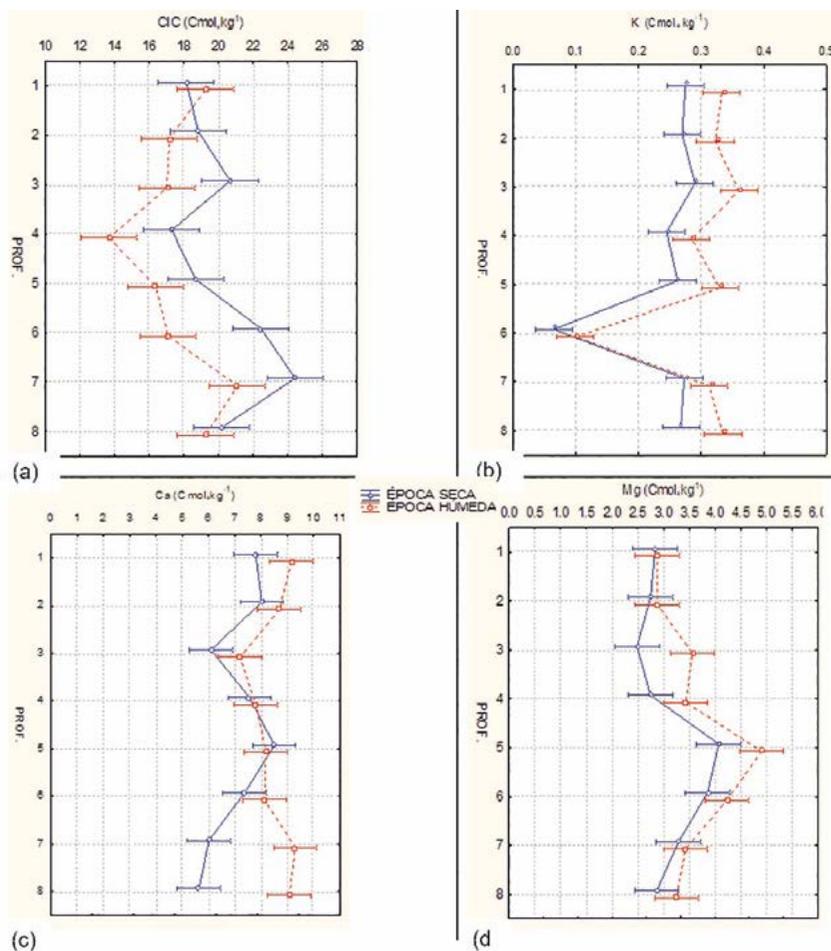


Figura 3. Comportamiento de la CIC (a), K (b), Mg (c) y Ca (d) del suelo en la época seca y húmeda en el SAF cacao. Las barras horizontales indican intervalos de confianza (0.95).

cie del suelo por el aporte de hojarasca de los árboles, en un proceso conocido como bombeo de nutrientes (Moreno *et al.*, 2005). Aunque el Mg mostró tendencia a ser mayor en la época húmeda, sólo presentó diferencia estadística en la segunda profundidad, el Mg es un elemento de gran movilidad, la cual se ve favorecida por las altas precipitaciones (Hartemink, 2005). El P en las tres primeras profundidades en la época seca presentó contenidos de altos a medios, siendo estadísticamente diferentes al encontrado en la época húmeda (valores bajos en todas las profundidades), lo cual pudo estar relacionado con la disminución en la absorción de las plantas por falta de humedad. Con los rendimientos actuales de la plantación la demanda del cultivo parece estar en equilibrio con el suministro del suelo, los contenidos

comportamiento difícil de explicar pero que estaría condicionado principalmente a la variabilidad espacial que existe en el terreno (Cambardella *et al.*, 1994). El K mostró diferencias estadísticas en las profundidades 3, 5 y 8 entre épocas, y en la 6 entre profundidades (Figura 3b). Resaltan los contenidos muy bajos y bajos observados en la sequía y los bajos y medios en la época húmeda, así como un fuerte abatimiento de éstos entre 100 y 120 cm. Al ser el elemento que más se exporta de los SAFs cacao y no ser considerado en las dosis de fertilización, el K es susceptible a registrar bajos valores (Aikpokpodion, 2010), sobre todo porque el productor no está reincorporando la cascarilla, que es la que más nutrimento exporta, ya que funciona como hospedero de la mancha negra del cacao (*Phytophthora capsici*).

El Ca (Figura 3c) mostró diferencia estadística entre épocas, aunque únicamente en las dos últimas profundidades, observando los valores más altos en la época húmeda, lo que es lógico ya que se trata de un elemento muy soluble (Yemefack *et al.*, 2005). Una de las grandes ventajas que tienen los SAFs es que muchos de los nutrientes pueden ser reincorporados a la superfi-

encontrados en este estudio son los comúnmente observados en suelos poco perturbados (Vincenta *et al.*, 2010). En este caso, es importante hacer los ajustes si se quiere manejar fertilización química, ya que un mayor rendimiento conlleva una mayor demanda de nutrimentos (Obrador *et al.*, 2004). El pH mostró una alta variabilidad, pero no hubo diferencias estadísticas entre épocas.

En la Figura 4 se muestra la macrofauna encontrada en el suelo del SAF cacao. En la época seca sólo se hallaron seis individuos y 15 en la época húmeda, todos ellos ubicados en las dos primeras profundidades, donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica y oxígeno, lo que les permite mayor actividad (Huerta *et al.*, 2005). Las lombrices de tierra se encontraron mayormente en los primeros 20 cm, y al igual que los insectos y gasterópodos, su número fue mayor en la época húmeda (Figura 4). Estos valores son bajos si se comparan con los 299 y 628 individuos por m² para parcelas de 30 y 50 años (Ramírez, 2009) y con los 89 y 80 para bosques tropicales y SAF plátano (Liu y Zou, 2002; Geissen *et al.*, 2009).

No hubo diferencias estadísticas en la DLR entre épocas ni en cada profundidad; no obstante, los valores disminuyeron conforme ésta incrementó. Hay una cantidad importante de biomasa radical fina en el primer metro, con porcentajes 30.8, 54.2, 84.5, 91.0 y 96.0; y 35.7, 57.7, 70.0, 86.7 y 92.3 para las profundidades 0-20, 0-40, 0-60, 0-80 y 0-100 cm en la época húmeda y seca, respectivamente. Esto es importante para determinar la profundidad a la que se debe muestrear para analizar la fertilidad, ya que la profundidad de exploración de las raíces finas es un indicativo de la actividad de absorción de nutrientes que tiene la planta (Luster *et al.*, 2009).

Pritchett (1990), estudiando la DLR de las plantas, señala que la mayoría de las raíces finas o delgadas, encargadas de absorber nutrientes, se encuentran en los primeros 50 cm del perfil, y que gran parte de la actividad microbiana (mineralización) se realiza en los primeros 30 cm, pudiendo ser menor, si no se hace laboreo de suelos (Donoso *et al.*, 1999). No obstante que en cacao la DLR está muy influenciada por la calidad del sitio, la intensidad de uso de la tierra, el nivel de perturbación del medio edáfico y la disponibilidad de recursos (Huauya y Huamani, 2014), los valores encontrados están en el orden de lo reportado en estudios con manejos parecidos (Mora y Beer, 2012) y menores a otros donde hay asociación con plantas anuales (Joffre *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2005a).

CONCLUSIONES

El suelo del SAF cacao estudiado se clasificó como Cambisol Gléyico (CMgl). El diagnóstico nutrimental reflejó mayores contenidos de MO y N en la época húmeda y en la primera profundidad (0-20 cm); para P el contenido fue mayor en la sequía y en las primeras tres profundidades (0-60 cm). Los demás parámetros no mostraron diferencias estadísticas entre épocas. Se tiene un aporte constante de hojarasca y raíces, ya que en este SAF no se realizan prácticas de laboreo. La MO mostró contenidos medios en las épocas seca y húmeda. El contenido de bases (de intercambio) fue bajo en las dos épocas, siendo preo-

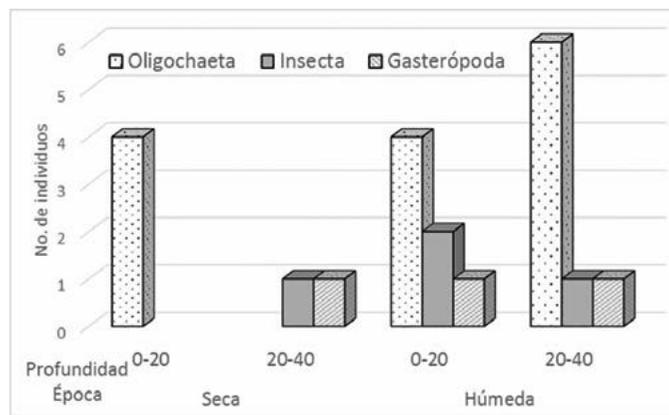


Figura 4. Comportamiento de la macrofauna (Clases) del suelo del SAF cacao en las épocas seca y húmeda.

cupantes los valores muy bajos de Mg y K, sobre todo este último porque es el elemento de mayor demanda en la plantación. La macrofauna es escasa, aún si se compara con sitios donde la agricultura es poco sustentable; no obstante, se encontraron más organismos en la época húmeda. La DLR reveló una importante exploración

de la biomasa radical, extractora de nutrientes, hasta un metro de profundidad, lo que es importante cuando se quiere estimar el suministro del suelo.

LITERATURA CITADA

- Abera G. Wolde-Meskel E. Sheleme B. Bakken L.R. 2012. Nitrogen mineralization dynamics under different moisture regimes in tropical soils. *Int. J. Soil Sci.* 7(4): 132-145.
- Aikpokpodion P.E. 2010. Nutrients dynamics in cocoa soils, leaf and beans in Ondo State, Nigeria. *J. Agri Sci.* 1(1): p. 1-9.
- Alonso V.R. 1987. Contribución de la hojarasca al ciclo de nutrientes, dinámica nutrimental de las hojas. Colegio de Postgraduados. Montecillo. 34 p.
- Arenas A.J.L. 2013. Estimación de carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y cacao (*Theobroma cacao* L.). Colegio de postgraduados. H. Cárdenas. 30 p.
- Ávila A. Campos M. Guharay F. Camacho A. 2013. Aprendiendo e innovando sobre el manejo de la fertilidad de suelos cacaoteros. Lutheran World Relief. 48 p.
- Böhm W. 1979. Methods of studying root systems. *Ecological studies.* Springer Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. 33: 183 p.
- Cabrera G. Robaina N. Ponce de León D. 2012. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes* 34: 331-346.
- Cambardella C.A. Moorman T.B. Novak J.M. Parkin T.B. Karlen D.L. Turco R.F. Konopka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central lowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- Cuanalo de la C.H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.
- Díaz J.O. Aguilar Á.J. Rendón M.R. Santoyo C.V.H. 2013. Current state and perspectives on cocoa production in Mexico. *Cien. Inv. Agr.* 40(2): 279-289.
- Donoso S. Obispo A. Sánchez C. Ruiz F. Herrera M. 1999. Efecto del laboreo sobre la biomasa de *Eucalyptus globulus* en el suroeste de España. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* Vol. 8 (2).
- Geissen V., Peña P.K. Huerta E. 2009. Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedobiología* 53: 75-86.

- Huauya M. Huamai H. 2014. Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). *The Biologist* 12(1): 45-55.
- Huerta E. Rodríguez O. J. Evia C. I. Montejo M. E. de la Cruz M. M. García H. R. 2005. La diversidad de lombrices de tierra (Annelida:Oligochaeta) en el Estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 21(42): 73-83.
- IFA. 1992. World fertilizer use manual. International fertilizer industry association. Paris. 632 p.
- IUSS. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Working Group WRB. FAO, Roma.
- Jiménez R.R., Palma L.D.J., Zavala C.J., Bautista Z.F. 2013. Clasificación y caracterización de suelos de Tabasco con base en el enfoque geomorfopedológico. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas. 158 p.
- Joffre R., Rambal S., Ratte J.P. 1999. The dehesa system of southern Spain and Portugal as a natural ecosystem mimic. *Agroforestry Systems* 45: 57-79.
- Leenheer J. A. Croué J. P. 2003. Characterizing dissolved aquatic organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 37: p. 18-26.
- Liu Z.G. Zou X.M. 2002. Exotic earthworms accelerate plant litter decomposition in a Puerto Rican pasture and a wet forest. *Ecol. Appl.* 12(5): 1406-1417.
- Luster J. Göttlein A. Nowack B. Sarret G. 2009. Sampling, defining, characterising and modeling the rhizosphere—the soil science tool box. *Plant Soil*. 321: 457-482.
- Mora A. Beer J. 2012. Geostatistical modeling of the spatial variability of coffee fine roots under Erythrina shade trees and contrasting soil management. *Agroforest Syst* 87:365-376.
- Moreno G. Obrador J.J. García E. Cubera E. Montero M.J. Pulido F. Dupraz C. 2005. Competitive versus facilitative interactions in oak dehesas determined by management practices. *Agrofor. Syst.* 70: 25-40
- Moreno G. Obrador J.J. Cubera E. Dupraz C. 2005a. Fine root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil* 277: 153-162.
- Obrador J.J. García E. Moreno G. 2004. Consequences of dehesa land use on nutritional status of vegetation in Central-Western Spain. *In: Advances in GeoEcology 37: Sustainability of Agrosilvopastoral systems –Dehesas, Montados-*. Eds. S Schnabel and A. Ferreira. Catena Verlag, Reiskirchen. p. 327-340.
- PRODESOC. 2006. Programa para el desarrollo rural sostenible en el municipio el Castillo. Guía técnica para promotores, cultivo del cacao en sistemas agroforestales. Rio San Juan. 67 p.
- Pritchett W. 1990. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa S.A. México. D. F. p 132-213.
- Ramírez M. A. 2009. Diversidad florística y macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas. 86 p.
- Sánchez G. F. 2012. Recursos maderables en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas. 89 p.
- Schlegel B. Gayoso J. Guerra J. 2000. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 23 p.
- SEMARNAT (2002). Nom -021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, 2nd Sect. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- SAGARPA. 2017. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)- Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario estadístico de la producción agrícola.
- Vincenta A.G. Turner L.B. Tanner E.V.J. 2010. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science* 61: 48-57.
- Yemefack M., Rossiter D.G. Njomgang R. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma* 125: 117-143.



CRECIMIENTO DE *Cedrela odorata* L., Y *Tectona grandis* L., EN UN SUELO FLUVISOL HÁPLICO; MODELO PARA CALCULAR SU VOLUMEN COMERCIAL

GROWTH OF *Cedrela odorata* L., AND *Tectona grandis* L., IN AN HAPLIC FLUVISOL SOIL; MODEL TO CALCULATE ITS COMMERCIAL VOLUME

Wilson-Bibiano, Y.V.^{1,2}; Obrador-Olán, J.J.^{2*}; Palma-López, D.J.²; García-López, E.²; Sol-Sánchez, A.²; Carrillo-Ávila, E.³; Camacho-Chiu, W.⁴; Valdez-Hernández, J.I.⁵

¹Estudiante de la Maestría en Ciencias Producción Agroalimentaria en el Trópico. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carr. Cárdenas-Huimanguillo km 3.5. CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. ³Campus Campeche-CP. Carretera Haltunchén – Edzná, km. 17.5. C.P. 24450. Sihochac, Champotón, Campeche, México. ⁴Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria-Secretaría de Educación Pública, Av. Paseo Usumacinta 1036, Gil y Saenz, CP. 86050. Atasta, Villahermosa, Tabasco, México. ⁵Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo Carret. México-Texcoco Km 36.5. CP. 56230. Montecillo, Estado de México.

*Autor para correspondencia: obradoro@colpos.mx

RESUMEN

Mejorar la eficiencia de extracción de los rodales forestales requiere de un método confiable para estimar los volúmenes de madera, los cuales, de manera general, pueden calcularse a partir del diámetro normal (DAP) y la altura total de la plantación, sin importar las características morfológicas de los fustes. Partiendo de la necesidad de contar con información que permita hacer una estimación más precisa en especies de importancia comercial en Tabasco, México, se evaluó durante un año el crecimiento y desarrollo de dos plantaciones juveniles con 58 y 44 árboles de cedro y teca (*Cedrela odorata* L., y *Tectona grandis* L.), respectivamente, haciéndose además un perfil para clasificar el suelo que resultó ser un Fluvisol Háplico. Las mediciones dasométricas se realizaron en las tres épocas del año: norte, seca y lluvia. El modelo de volumen comercial se determinó partiendo de un estudio previo. Los parámetros en estudio fueron analizados bajo un diseño completo al azar. El incremento promedio anual en altura de cedro y teca fue de 1.9 m y 3.2 m, siendo mayor (0.88 y 1.47 m) y diferente en la época de lluvia ($p < 0.01$). Ningún otro parámetro mostró diferencia estadística. Las ecuaciones para estimar los volúmenes comerciales de madera para cedro y teca fueron: $y = -0.19415 + 0.01698*(DN)$, $y = -0.22051 + 0.01877*(DN)$, respectivamente.

Palabras clave: dasometría, volumen de madera, maderas tropicales.

ABSTRACT

Improving the efficiency of the extraction of forest stands requires a reliable method to estimate the timber volumes, which, in general, can be calculated from the normal diameter (DAP) and the total height of the plantation, regardless of the morphological characteristics of the shafts. Stemming from the need of having information that allows making a more precise estimation in species of commercial importance in Tabasco,

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 43-49.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

México, the growth and development of two juvenile plantations with 58 and 44 cedar and teak (*Cedrela odorata* L. and *Tectona grandis* L.) trees, respectively, was evaluated during a year, in addition making a profile to classify the soil that turned out to be an Haplic Fluvisol. The dasometric measurements were carried out in the three seasons of the year: north, dry and rainy. The model of commercial volume was determined based on a previous study. The parameters of study were analyzed under a completely random design. The annual average increase in cedar and teak height was 1.9 m and 3.2 m, being higher (0.88 and 1.47 m) and different during the rainy season ($p < 0.01$). No other parameters showed statistical difference. The equations to estimate the commercial volumes of timber for cedar and teak were: $y = -0.19415 + 0.01698*(DN)$, $y = -0.22051 + 0.01877*(DN)$, respectively.

Keywords: dasometry, timber volume, tropical woods.

nes. El drenaje superficial es normal. El material parental en la plantación es un aluvión estable del Cuaternario Holoceno (Palma *et al.*, 2007).

Descripción taxonómica de la unidad de suelo

Para la descripción del perfil de suelo se realizó una calicata de 1.50 m de profundidad de acuerdo al manual y la metodología de Cuanalo (1990). Para deducir la unidad de suelos se recurrió a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2015), los análisis para clasificación se hicieron con base a la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT, 2002). La plantación de cedro y teca fue de 12 años y con una superficie de 10 ha. El distanciamiento de las plantas en varios puntos fue irregular, pero en general estuvo en 3×3 m. La parcela de estudio de cedro constó de 6,840 m² con 299 árboles, 58 de los cuales fueron evaluados y ocupaban una superficie de 1,390 m², estimándose un número de 438 árboles ha⁻¹, cuya altura dominante dentro de la plantación fue 18.5 m. El área de estudio de la parcela de teca constó de 5,501.65 m² con un total de 304 árboles, 44 fueron utilizados para el estudio y ocuparon 796.3 m² en superficie, se estimó un total de 553 árboles ha⁻¹, con una altura dominante de 23.4 m. Para estimar el crecimiento se realizó, primeramente, un muestreo piloto para determinar el tamaño de la muestra, a través de la fórmula (Infante, 1997):

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 l_n^2}{Nd^2 + Z_{\alpha/2}^2 l_n^2}$$

Resultando en 58 árboles de cedro y 44 de teca, suficientes estadísticamente, los cuales fueron elegidos

INTRODUCCIÓN

La composición mineral del suelo está representada por el contenido de N, P, K, Ca y otros elementos que constituyen los factores principales que determinan el crecimiento y desarrollo de las especies maderables tropicales, además el nivel de precipitación, que es indispensable para el buen desarrollo de los árboles, permite obtener fustes de la calidad requerida para lograr un buen valor en el mercado (Peña, 1996; Galicia *et al.*, 1999). Algunas de las especies de mayor valor comercial, entre las que destacan el cedro (*Cedrela odorata* L.), la caoba (*Swietenia macrophylla* King) y la primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose), requieren mayor especificidad de condiciones climáticas; la presencia de agua es vital para obtener un crecimiento y desarrollo óptimo, ya que se requiere de humedad constante para mantener su ritmo de crecimiento (Kaosaard, 1981). En el sector forestal es necesario conocer la cantidad de árboles en pie y el volumen de madera que representan, aspecto que es difícil calcular a simple vista, por lo que resulta importante contar con metodologías que permitan hacer estimaciones donde puedan relacionarse las características del árbol, medidas en campo con el volumen de madera (Rice *et al.*, 2001). Los métodos más recurrentes para estimar el volumen de madera en pie son 1) mediante el factor de forma o coeficiente mórfico y 2) por ecuaciones o tablas de volumen (Pece *et al.*, 2002). Bajo esta perspectiva, este trabajo tuvo como finalidad evaluar el crecimiento y desarrollo de dos especies forestales: cedro (*Cedrela odorata* L.) y teca (*Tectona grandis* L. Fosberg) en una plantación de 12 años, así como generar una ecuación de volumen de fuste limpio para cada especie. Partiendo de las hipótesis de que el incremento en diámetro de los árboles de cedro y teca será mayor en la época de lluvia, y que la variable DAP será suficiente para generar la ecuación que permitirá inferir el volumen de madera para ambas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantaciones de cedro y teca se encuentran establecidas en la ranchería Río Seco y Montaña del municipio de Huimanguillo, Tabasco (17° 57' 35" N y 93° 22' 30" O), a una altitud de 10 a 15 m. El relieve es plano con algunos dre-

al azar; en ellos se evaluaron las siguientes características dasométricas: altura total, altura de fuste limpio y diámetro a la altura del pecho (DAP) en cuatro ocasiones, la primera en septiembre de 2006, y tres más al finalizar cada época climática: de nortes, seca y lluvias. En cuanto a la determinación del modelo de volumen comercial de madera, el procedimiento consistió en tomar 15 árboles al azar de cada especie, donde a cada árbol se le dividió el fuste limpio en secciones de un metro de longitud y a cada sección se le midió el diámetro superior y el diámetro inferior, determinando con esto el volumen de cada troza mediante la siguiente fórmula (Valdez, 2004):

$$V = \left[\frac{P_i * h}{12} \right] (D^2 + Dd + d^2)$$

Donde: P_i es el equivalente a 3.1416, h es la altura de cada troza, D^2 el diámetro de la parte mas ancha o inferior y d el diámetro del extremo mas angosto o superior de la troza.

El volumen total se obtuvo de la suma del volumen de cada sección del árbol. La ecuación de volumen es un sistema simple de aplicar y tiene la ventaja de eliminar la necesidad de medir altura, que muchas veces es lento, tedioso y no tan exacto. Pero debe tomarse en cuenta que sólo es aplicable para esa especie y para esa región en particular. La respuesta en crecimiento y desarrollo (variables): altura total, altura del fuste limpio y diámetro normal para cada especie, fueron analizadas bajo un diseño completamente al azar (DCA), cada árbol se consideró como una repetición, mismas que estuvieron condicionadas por el muestreo piloto. Los tratamientos

considerados para el presente trabajo fueron las diferentes épocas del año. El paquete estadístico utilizado fue el SAS v. 6.1 (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La unidad de suelos encontrada correspondió a un Fluvisol Háplico (Figura 1) característico de vega de río, de alta fertilidad química sobre todo en lo que respecta a sus contenidos de bases de intercambio y física por ser suelos francos, con densidad aparente que permite un buen movimiento de agua buen drenaje superficial, son aluviones estables del Cuaternario Holoceno (Palma *et al.*, 2007).

Crecimiento y desarrollo de cedro

El diámetro del cedro mostró una distribución normal en cuanto a la frecuencia de individuos por clase (Figura 2), se observaron tres patrones de comportamiento: pocos individuos se ubicaron en las clases diamétricas extremas (la menor y la mayor), en tanto que en las intermedias estuvo la mayor parte. La clase 12 a 16 cm conformada por muy pocos individuos pudo ser resultado de que al inicio de la plantación murieron árboles, que fueron replantados y que, por diferencia de crecimiento, fueron suprimidos por la sombra de los árboles cercanos de mayor altura. Lo anterior se relaciona con el hecho de que el cedro es una especie heliófila y requiere de mucha energía solar para crecimiento y desarrollo (Martins *et al.*, 2003).

Las clases diamétricas 16 a 20, y 20 a 24 cm mostraron el comportamiento medio de la plantación, es decir, se espera que todos los individuos de esas clases, que sumaron 65 %, lleguen a su turno final de manera simultánea. El mayor grosor del último grupo de árboles (mayor de 24 cm), puede deberse a que han tenido menor competencia por luz, por encontrarse situados cerca de la periferia de la plantación o porque a su alrededor hubo fallas o sitios vacíos. Al analizar el comportamiento de la altura (Figura 3) se observa una correlación entre el crecimiento de los árboles en el transcurso del año de evaluación, lo cual es mínimo tanto en altura total como en incremento de fuste limpio, pasando solo de 14.3 a 16.2 m y de 5.8 a 6.5 m; con incremento total de 1.9 y 0.7 m, respectivamente, y son valores cercanos a los reportados por Rodríguez *et al.* (2015). El mayor incremento en altura total (88 cm) se presentó en la época de lluvia, seguido de la de seca (66 cm) y norte (37 cm), lo que confirma la necesidad de agua que esta especie tiene para sostener un buen crecimiento y desarrollo (López *et al.*, 2001), por lo que el resultado es el que se esperaba en cuanto a que a mayor humedad, hay mayor crecimiento.

La relación entre el DAP y altura total, permite calcular el volumen de madera que hay en una plantación y estimar la evolución del desarrollo de los individuos para poder proyectar a futuro la cantidad de producto (madera) con que se contará. La Figura 4 muestra que en un año el cedro ganó 0.9 cm en grosor, mientras que en altura lo hizo en 1.9 m.

Derivado de las mediciones dasométricas realizadas durante un año, se pudo inferir el incremento en volumen de madera por hectárea que, para

Figura 1. Descripción del Fluvisol Háptico (Éutrico, Arénico) en una plantación cedro de Huimanguillo, Tabasco, México.

| Perfil | Horizonte | Profundidad (cm) | Características |
|--|-----------|------------------|---|
|  | Ap | 0-29 | Transición a la siguiente capa en forma horizontal y tenue, ligeramente húmedo; color pardo 10 YR 4/3; estructura fuertemente desarrollada en bloques subangulares de tamaño finas, muy finas y medias; grumosas de tamaño fina; textura migajón arcillo arenoso; consistencia en húmedo ligeramente pegajoso y plástico; consistencia en seco ligeramente duro, cutanes de eluviación continuos delgados, ubicados en poros grandes y antiguos canales de raíces de naturaleza arcilla con humus; poros numerosos, micros, finos y muy finos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados y tubulares; raíces abundantes, finas, delgadas y medias; permeabilidad rápida; fauna hormigas y lombrices. |
| | C1 | 29 a (50-64) | Transición ondulado y marcado; ligeramente húmedo; color pardo amarillento oscuro 10YR 4/6 con una mota grande compacta de lado derecho color pardo 10YR 4/3; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares muy finos y finos; textura franca; consistencia en húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; consistencia en seco ligeramente duro; cutanes de eluviación continuos, delgados, ubicados en poros grandes y antiguos canales de raíces de naturaleza arcilla con humus; poros numerosos, micros, finos y muy finos, continuos, caóticos dentro y fuera de agregados y tubulares; raíces comunes, finas, delgadas y medias; permeabilidad rápida; fauna hormigas y lombrices. |
| | C2 | (50-64) a 93 | Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color pardo amarillento 10 YR 5/4; sin estructura, granos sueltos; textura arena gruesa; consistencia en húmedo no pegajoso y no plástico; consistencia en seco suelto; poros numerosos, micros y muy finos, continuos, caóticos fuera de agregados e intersticiales; raíces comunes, finas y delgadas; permeabilidad muy rápida; sin fauna. |
| | C3 | 93-165 | Ligeramente húmedo; color pardo amarillento claro 10YR 6/4; sin estructura (granos sueltos); textura arena fina; consistencia en húmedo no pegajoso y no plástico; consistencia en seco suelto; poros numerosos, micros y muy finos, continuos, caóticos fuera de agregados e intersticiales; raíces comunes, finas y delgadas; permeabilidad muy rápida; sin fauna y buen drenaje. |

| H | Arcilla | Limo | Arena | Textura | pH | M.O. | N | K | Ca | Mg | CIC | P Olsen mg Kg ⁻¹ | C.O.S. ABS |
|---------|---------|------|-------|-----------------|-------------------------|------|--------------------------|------|------|------|------|--------------------------------|---------------|
| | % | | | | H ₂ O 1:2 | % | cmol(+) Kg ⁻¹ | | | | | | |
| Ap | 19 | 17 | 64 | Migajón arenoso | 5.46 | 1.79 | 0.07 | 0.64 | 4.69 | 1.74 | 9.33 | 18.8 | 0.39 |
| C1 | 15 | 16 | 69 | Migajón arenoso | 5.66 | 0.56 | 0 | 0.56 | 10.3 | 3.88 | 14.5 | 8.53 | 0.12 |
| C2 y C3 | 7 | 4 | 89 | Arena | 6.55 | 0.11 | 0 | 0.15 | 3.29 | 1.88 | 6.22 | 3.82 | 0.02 |

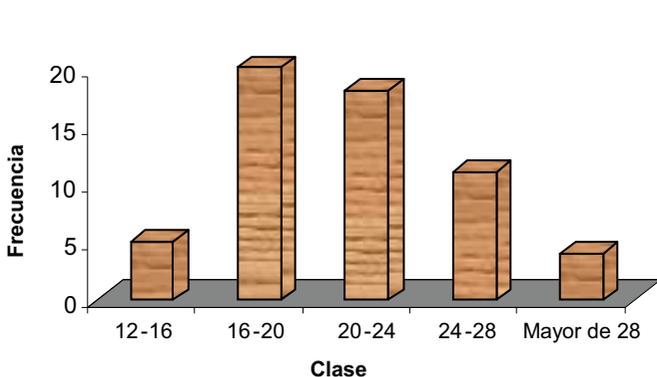


Figura 2. Distribución de clases diamétricas en una plantación de cedro (*Cedrela odorata* L.) de 12 años.

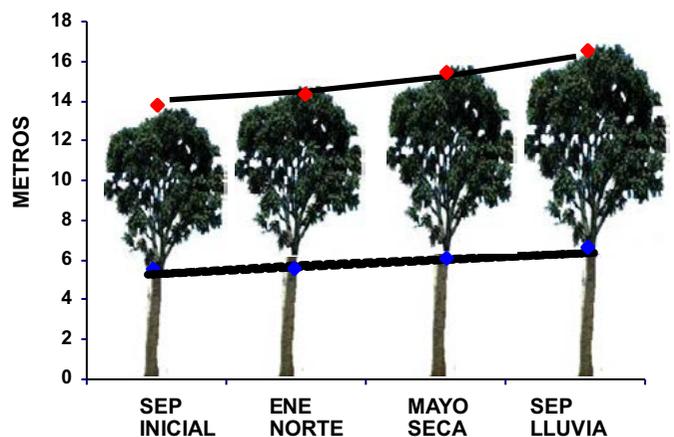


Figura 3. Comportamiento del aumento en altura total, y altura de fuste limpio a lo largo de un año en una plantación de *Cedrela odorata* L. de 12 años.

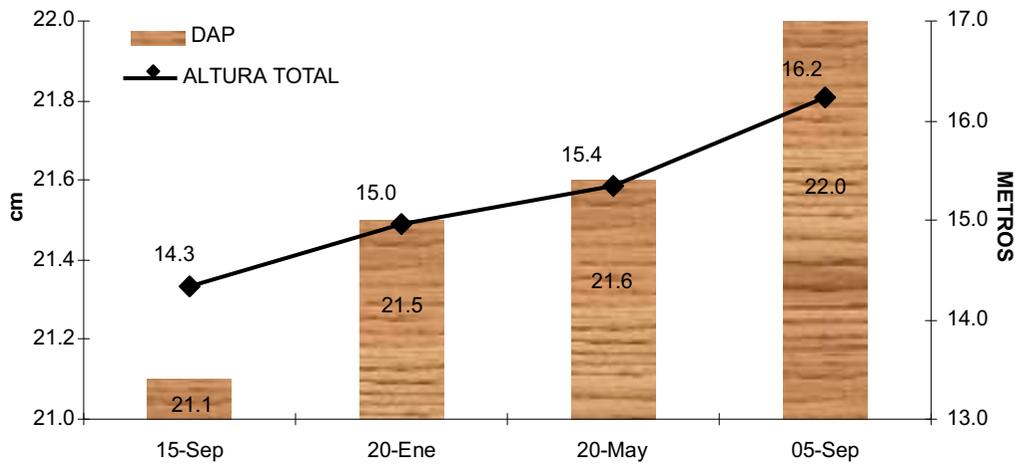


Figura 4. Comportamiento y relación del DAP y altura a lo largo de un año en una plantación de *Cedrela odorata* L. de 12 años.

el año de estudio fue de 7.6 m³. Esta información permite saber que el crecimiento y desarrollo del cedro en estudio son considerados como buenos, siendo similares a los reportados por Montenegro *et al.* (1997) quienes en una plantación de 13 años de edad en Honduras reportaron un IMA DAP de 2.13 cm y un IMA altura de 1.15 m, muy similares a los obtenidos en este estudio (Cuadro 1).

Ecuación de volumen para cedro

Los resultados del análisis de cedro se muestran en la Figura 5, observándose una distribución normal; y el valor de R² permite afirmar que los datos de la variable DAP determinan en 96 % el volumen que alcanza un árbol. Al incorporarlos a la ecuación se puede afirmar que habrá aumentos en el volumen de madera de 0.01698 m³ por cada unidad que incremente el diámetro del árbol. No obstante que el cedro tiene una alta tasa de asimilación de carbono, debe tenerse en cuenta que su tasa transpiratoria es alta y que en sitios con deficiencia hídrica el sistema forestal será ineficiente (López *et al.*, 2001).

Crecimiento y desarrollo en teca

El crecimiento y desarrollo de la teca mostraron el comportamiento conocido como "J invertida", donde la mayor cantidad de individuos (77%) se ubicó en las clases diamétricas menores y el

resto dentro en las clases de mayor diámetro (Figura 6). En este caso, 20.4% correspondió a la clase 25 a 28 cm, mientras que solo un individuo (2.2%) representó a la 28 a 31 cm. Este comportamiento puede deberse a que la plantación no ha tenido aclareos para disminuir la densidad, árboles que no pudieron engrosar lo suficiente. La Figura 7 muestra la correlación entre el crecimiento de los árboles en el transcurso del año de evaluación, donde la altura total pasó de 18.3 a 21.5 m, teniendo un incremento de 3.2 m,

curso del año de evaluación, donde la altura total pasó de 18.3 a 21.5 m, teniendo un incremento de 3.2 m,

Cuadro 1. Resumen dasométrico para *Cedrela odorata* L. en plantación de 12 años.

| Característica | Valor | Característica | Valor |
|-------------------------------------|-------|--------------------------------------|--------|
| Prom. DAP (m) inicial | 0.211 | Prom. altura (m) inicial | 14.325 |
| Prom. DAP (m) final | 0.220 | Prom. altura (m) final | 16.237 |
| IMA DAP (cm) | 2.10 | IMA altura (m) | 1.583 |
| Relación Alt/DAP inicial | 0.678 | AB/área muestreada (m ²) | 2.299 |
| Relación Alt/DAP final | 0.738 | AB/ha (m ²) | 16.467 |
| Vol. total /parcela | 53.64 | | |
| Vol. total /ha | 78.42 | | |
| IMA vol/ha (m ³ /ha/año) | 7.64 | | |

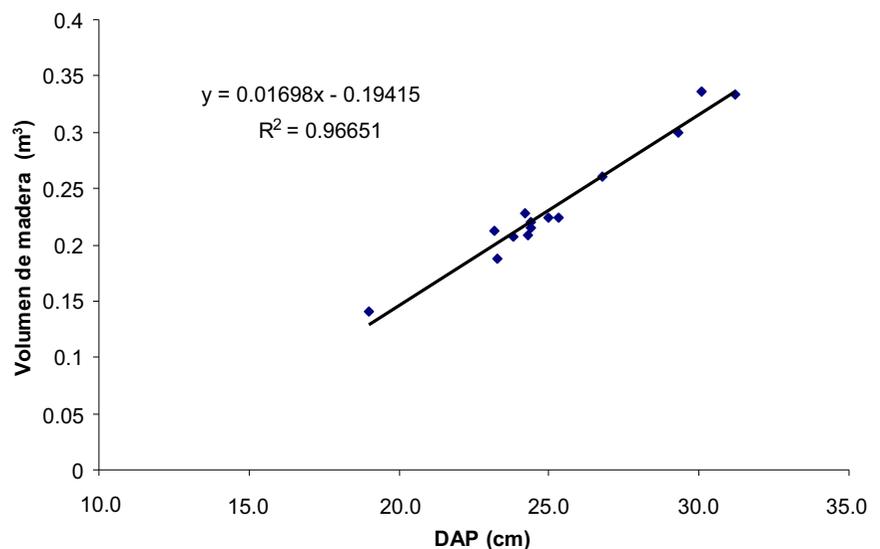


Figura 5. Relación entre volumen de madera y DAP, a lo largo de un año en una plantación de *Cedrela odorata* L. de 12 años.

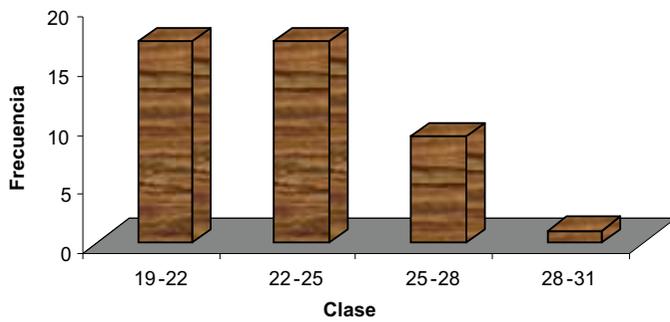


Figura 6. Distribución de clases diamétricas en plantación de *Tectona grandis* L. de 12 años.

mientras que la ganancia en altura de fuste limpio fue de 1.5 m, pues los datos muestran que pasó de 6.9 a 8.4 m.

La relación entre el DAP y la altura total permitió estimar el volumen de madera con que cuenta la plantación, considerando que la ganancia en grosor fue de 0.7 cm y el incremento en altura fue de 3.2 m (Figura 8).

Derivado de las mediciones dasométricas se calcularon los datos que se muestran en el Cuadro 2, el incremento en volumen de madera de teca por hectárea en el año de estudio fue de 11.87 m³, por lo que el crecimiento y desarrollo de la plantación de teca se consideran buenos si se comparan con los 8 a 23 m³ reportados para plantaciones de 12 años (Keogh, 1979). La plantación en estudio mostró una altura que varió entre 18 y 21 m, lo que sugiere que la clase de sitio de la parcela experimental fue buena.

Ecuación de volumen para teca

La Figura 9 muestra que los datos de teca analizados guardan una correlación de 0.92, por lo que se puede afirmar que, al igual que en cedro, cuantificar la variable DAP es suficiente para inferir el volumen de madera con la ecuación:

$$y = -0.22051 + 0.01877 * (DAP)$$

Así, por cada unidad que aumente el diámetro del árbol, el volumen de madera incrementará 0.220 m³.

CONCLUSIONES

El crecimiento de cedro y teca en un suelo Fluvisol Háplico está en el intervalo de lo reportado para otros sitios y se sucede mayormente durante la época de lluvia para ambas especies. Considerando que las plantaciones en este estudio todavía

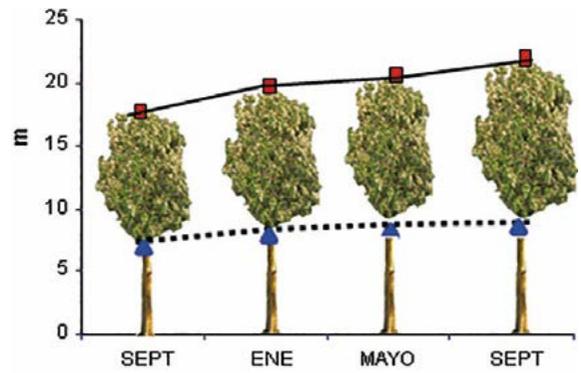


Figura 7. Comportamiento del incremento en altura total y altura de fuste limpio a lo largo de un año en una plantación de *Tectona grandis* L. de 12 años.

son jóvenes y por tanto, aún están en una etapa de rápido crecimiento, las fórmulas de volumen generadas con este trabajo debieran ser usadas solo para los primeros 15 años de edad, pues se corre el riesgo de sobreestimar el volumen de madera en plantaciones mayores, puesto que en el rango de 15 a 20 años su crecimiento tiende a estabilizarse y ser lento.

LITERATURA CITADA

Cuanalo de la C.H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.

Galicia J. López B. L. Zarco A. A. E. Filips V. and García O. F. 1999. The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico. *Catena* 36: 153-164.

IUSS Working Group WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Kaosaard A. 1981. Teak (*Tectona grandis* L.F.), its natural distribution and related factors. *Natural History Bulletin of the Siam Society* 19: 55-74.

Keogh R.M. 1979. Does teak have a future in tropical America? *Unasylva* 31(126): 13-19.

Cuadro 2. Resumen dasométrico para la teca en una plantación de 12 años.

| Característica | Valor | Característica | Valor |
|-------------------------------------|--------|------------------------------|--------|
| Prom. DAP (m) inicial | 0.228 | Prom. Altura (m) inicial | 18.330 |
| Prom. DAP (m) final | 0.235 | Prom. Altura (m) final | 21.527 |
| IMA DAP (m) | 0.023 | IMA altura (m) | 2.098 |
| Relación Alt/DAP inicial | 0.805 | AB/parcela (m ²) | 1.928 |
| Relación Alt/DAP final | 0.917 | AB/ha (m ²) | 24.217 |
| Vol.Total /parcela | 66.99 | | |
| Vol. Total /ha | 121.76 | | |
| IMA Vol/ha (m ³ /ha/año) | 11.87 | | |

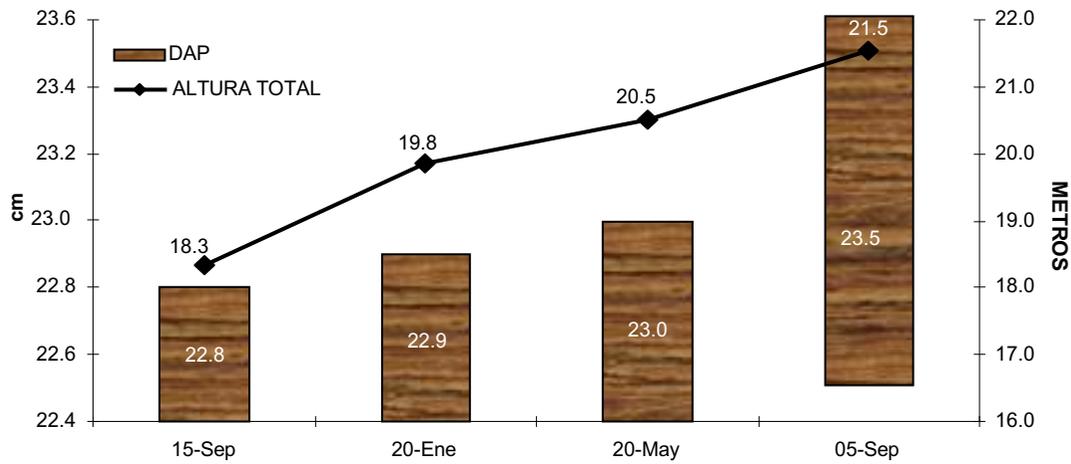


Figura 8. Comportamiento y relación del DAP y altura a lo largo de un año en una plantación de *Tectona grandis* L. de 12 años.

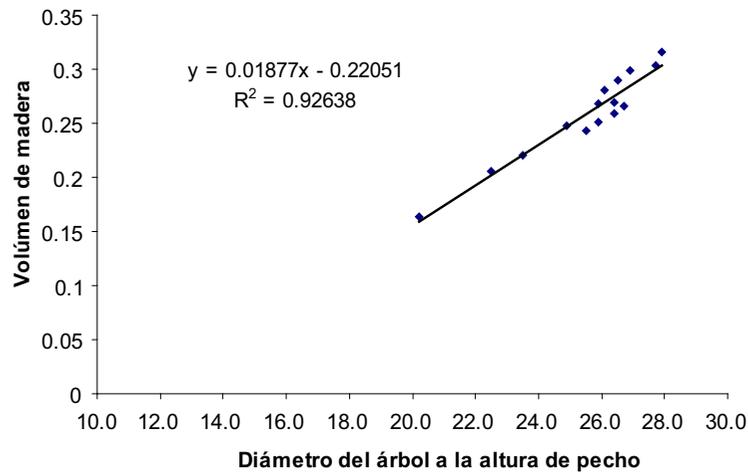


Figura 9. Relación entre volumen de madera y DAP, a lo largo de un año en una plantación de *Tectona grandis* L. de 12 años.

López J.C. Néstor M.R., Yamel L.F. 2001. Características fotosintéticas de cinco especies forestales. Simposio internacional medición y monitoreo de captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia. 8 pp.

Martins M.M.N. Watzlawick L.F. Schoeninger E.R., Minoru Y.F. 2003. Classificação ecológica das espécies arbóreas. Ciências Agrárias e Ambientais Curitiba 1(2): 69-78.

Montenegro J. Ramírez G., Blanco H. 1997. Evaluación del establecimiento y crecimiento inicial de seis especies maderables asociadas con café. Agroforestería en las Américas 4(13): 14-20.

Palma L. D.J. Cisneros D.J. Moreno C. E., Rincón R.J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados - ISPROTAB - FUPROTAB. Villahermosa. 197 p.

Pece M.G., Gaillard de Benitez C., de Galíndez M.J., Ríos N.A. 2002. Tabla de volumen de doble entrada para álamos de la zona de riego de Santiago del Estero, Argentina. Revista de Ciencias Forestales Quebracho 9: 95-105.

Peña J. 1996. Evaluación de las plantaciones de apamate "Método Caparo" mediante técnicas multivariantes. Rev. Forest. Venez. 40(2): 105 p.

Rice R.E. Sugal C.A. Ratay S.M., Fonseca G.A.B. 2001. Manejo forestal sostenible: revisión del saber convencional. Advances in Applied Biodiversity Science 3: 1-35.

Rodríguez G.M.R., López C.R., Martínez V.R., Hernández C.G., Sarmiento G.O. 2015. Respuesta del cedro (*Cedrela odorata* L.) a diferentes dosis de riego. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 24(4): 12-15.

SAS System. 2001. Version 8.1 of SAS Institute, Inc., Cary, NC.

SEMARNAT. 2002. Nom-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, 2nd Sect. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

Valdez-Hernández J.I. 2004 Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. Madera y Bosques número especial 10(2): 93-104.

Stylosanthes guianensis Sw. (FABACEAE) ASOCIADA CON *Zea mays* L., PARA USO FORRAJERO EN UN SUELO VERTISOL

Stylosanthes guianensis Sw. (FABACEAE) ASSOCIATED WITH *Zea mays* L.,
FOR FODDER USE IN A VERTISOL SOIL

Ramos-Hernández, M.R.¹; Obrador-Ólan, J.J.^{1*}; Ramos-Juárez, J.A.¹; García-López, E.¹; Meléndez-Nava, F.²; Carrillo-Ávila, E.³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carr. Cárdenas-Huimanguillo km 3.5. CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. ²Universidad Popular de la Chontapa (UPCH), Km. 2 carretera Cárdenas-Huimanguillo R/a Paso y Playa Cárdenas; Tabasco. ³Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, municipio de Champotón, Campeche. C. P. 24450. México.

*Autor de correspondencia: obradoro@colpos.mx

RESUMEN

En un cultivo asociado, maíz-estilosante (*Zea mays* L. y *Stylosanthes guianensis* Sw.) en franja y relevo, se estimó el rendimiento y valor nutritivo: proteína, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y cenizas, de la biomasa de *S. guianensis*, con y sin fertilización nitrogenada. Se utilizó un arreglo factorial alojado en un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos para la leguminosa: T1) en franja con fertilización 100N-60P-60K; T2) en franja con fertilización 00N-60P-60K; T3) en relevo con fertilización 100N-60P-60K y T4) en relevo con fertilización 00N-60P-60K, y cuatro repeticiones. También se estimó el rendimiento y valor nutritivo de la biomasa aérea de maíz. El cultivo en relevo mostró mayor producción ($p \leq 0.05$) de MS de leguminosa ($6,702 \text{ kg ha}^{-1}$) que el cultivo mixto en franja ($3,264 \text{ kg ha}^{-1}$), independientemente de la dosis de fertilización aplicada. El contenido de proteína tanto en relevo como en franja fue mejor estadísticamente ($p \leq 0.05$) con fertilización (NPK) completa: 12.77 % contra 9.35 %, sin embargo, la FDN, FDA y las cenizas no fueron estadísticamente diferentes. El rendimiento de maíz fue de 12.98 t ha^{-1} de MS y 65.30 t ha^{-1} de materia verde.

Palabras clave: FDN, FDA, fertilidad de suelo, materia seca (MS), proteína, estilosante.

ABSTRACT

In an associated crop, maize-stylosanthes (*Zea mays* L. and *Stylosanthes guianensis* Sw.) in bands and relay, the yield and nutritional value was estimated: protein, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and ash, of the *S. guianensis* biomass, with or without nitrogenous fertilization. A factorial arrangement nested in a completely random block design with four treatments for the legume was used: T1) in band with fertilization 100N-60P-60K; T2) in band with fertilization 00N-60P-60K; T3) in relay with fertilization 100N-60P-60K and T4) in relay with fertilization 00N-60P-60K, and four repetitions. The yield and nutritional value of the aerial maize biomass was also estimated. The crop in relay showed higher production ($p \leq 0.05$) of legume DMS ($6,702 \text{ kg ha}^{-1}$) than the mixed crop in band ($3,264 \text{ kg ha}^{-1}$), independently of the dose of fertilization applied. The protein content both in relay and in band was statistically better ($p \leq 0.05$) with full fertilization (NPK): 12.77 % versus 9.35 %, however, the NDF, ADF and the ashes were not statistically different. The maize yield was 12.98 t ha^{-1} of DM and 65.30 t ha^{-1} of green matter.

Keywords: NDF, ADF, soil fertility, dry matter (DM), protein, stylosanthes.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp: 50-55.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

La producción de ganado bovino en Tabasco, México, es una importante actividad económica, (con alrededor de un millón de cabezas, ocupando el décimo lugar a nivel nacional) su alimentación se basa principalmente en el consumo de pastos en sistema de pastoreo extensivo, donde el suministro depende de la distribución de las lluvias a lo largo del año, existiendo una marcada escasez de forraje tanto en las épocas de sequía como en las de lluvia excesiva (Censo Agropecuario, 2007; Meléndez, 2012). Entre las estrategias usadas por los productores para proveer de forraje al ganado en época de escasez está el uso de sistemas de cultivos mixtos, que incluyen dos o más especies de plantas con suficiente proximidad espacial (cultivos en franja) y temporal (en relevo) cuyo resultado es una relación inter-específica complementaria que se ve mejorada cuando al menos uno de los cultivos involucrado favorece la fertilidad natural del suelo (Monzon *et al.*, 2005). Existen varias especies de gramíneas y leguminosas forrajeras que pueden servir para mantener y mejorar la actividad pecuaria, ya que constituyen una fuente constante de alimento a los rumiantes, su costo es bajo, son sustentables, incrementan la fertilidad del suelo y representan una estrategia importante para incrementar la nutrición animal (Cáceres *et al.*, 2006). Las fabáceas (o leguminosas) pueden emplearse con doble propósito; para la alimentación animal, por sus altos contenidos de proteína y producción de biomasa aérea (Lascano *et al.*, 1996); además de su contribución al mejoramiento de la fertilidad química, física y biológica de los suelos, por ser fijadoras del N atmosférico, disminuir la erosión

edáfica e incrementar la biomasa microbiana (Álvarez *et al.*, 2010). En este sentido *Stylosanthes guianensis*, especie nativa de Latinoamérica, que ocurre naturalmente en el norte de Brasil, ha sido introducida en varios países; sus excelentes resultados como fuente de forraje han originado que se le haya seleccionado como cultivo promisorio para el desarrollo de la ganadería en suelos ácidos y poco fértiles (Keoboualapheth y Mikled, 2003). Sutherst *et al.* (1998) encontraron que algunas especies de este género pueden contribuir al control biológico de la garrapata del ganado, ya que una sustancia viscosa secretada por los tricomas glandulares de tallos y hojas, repele a sus larvas, evitando que lleguen a las partes altas de las plantas y se lleve a cabo el encuentro garrapata-hospedero. Otra especie forrajera es el maíz (*Zea mays* L.) que también es una excelente opción por sus características productivas, ya que tiene rendimientos que varían de 8 a 10 t ha⁻¹ de materia seca por ciclo (Weiss, 2004; Fuentes *et al.*, 2000). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar el rendimiento y el valor nutritivo de la biomasa aérea, con y sin fertilización nitrogenada, de *S. guianensis* y *Z. mays*, en un manejo asociado, en franjas y relevo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica. El trabajo se realizó en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco (18° 01' LN y 93° 03' LW) ubicado en el Km 21 de la carretera federal Cárdenas-Coatzacoalcos. El clima es tropical (húmedo) con lluvias en verano (García, 1998), temperatura media anual de 26.7 °C y mínima de 23 °C, precipitación y evaporación anual de 2240.3 y 1400 mm respectivamente; el suelo es un Vertisol Éutrico (Palma *et al.*, 2007).

Preparación y Muestreo de suelo. Previo a la siembra se preparó el suelo con un arado y dos pasos de rastra cruzada y se hizo surcado para el maíz. Para estimar la fertilidad edáfica se tomaron, al inicio y al final del estudio, muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad, compuestas por 15 submuestras tomadas con una barrena tipo holandesa. Las muestras se colocaron en recipientes amplios para homogenizarlas y, en bolsas de plástico debidamente etiquetadas (Doran y Parkin, 1996), fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Químicos de Suelos, Aguas y Plantas (LASPA) del Campus Tabasco, para su preparación (secado y molienda) y análisis. Se determinó: pH (1:2.5 agua), materia orgánica del suelo (MOS) por el método de Walkley y Black, nitrógeno-total (Micro Kjeldahl), P disponible por el método Olsen, capacidad de intercambio catiónico (CIC) en acetato de amonio 1.0 M (pH 7.0) y bases intercambiables mediante extracción de acetato de amonio 1.0 M; el sodio (Na) y el potasio (K) se cuantificaron por espectrometría de emisión de flama, y el calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrometría de absorción atómica, nitrógeno inorgánico (Ni) a través de NH₄ por extracción con KCL 2N, NO₃ con extracción con KCL 2N. Todos los análisis químicos se realizaron según los métodos recomendados por la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2001.

Establecimiento del cultivo asociado mixto (franjas y relevo). La variedad de maíz VS-536 y *S. guianensis* se establecieron en el mes de mayo de 2012, a inicio del ciclo de temporal, en sistema asociado mixto de franjas y en

relevo (se relevó el uso del suelo con maíz por el de la leguminosa); siete días después de la germinación, con la finalidad de lograr un mayor rendimiento de forraje y mejorar su valor nutritivo, se aplicó el fertilizante, quedando los tratamientos siguientes: T1 con dosis de 100-60-60 NPK en franja; T2 con dosis de 00-60-60 NPK en franja; T3 con dosis de 100-60-60 NPK en relevo; y T4 con dosis 00-60-60 NPK en relevo. Por cada tratamiento se realizaron cuatro repeticiones. La siembra del maíz se realizó de forma mecánica a una distancia entre surcos de 90 cm y 20 cm entre plantas (55 555 plantas ha^{-1}), el tamaño de la parcela útil fue de 33×60 m. *S. guianensis* se sembró de forma manual, en forma de chorrillo, a una distancia de 45 cm entre surcos; se consideraron 16 parcelas (ocho en franjas y ocho en relevos) de 9×15 m cada una.

Diseño Experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar al que se le realizó un análisis factorial (2×2) con cuatro repeticiones. Se realizó el análisis de varianza y la comparación de medias (Tukey $p < 0,05$).

Al maíz se le aplicó la dosis de fertilización 100-40-60 (NPK) y fue cultivado de acuerdo con las recomendaciones de Rivera-Hernández *et al.* (2009). Los resultados obtenidos fueron analizados mediante una estadística descriptiva, ya que no se tenían tratamientos específicos, aunque el maíz sirvió para favorecer la condición de sombreado (en franjas) a *S. guianensis*.

Control de malezas y plagas. Las malezas que se presentaron en el cultivo se eliminaron de forma manual durante un mes aproximadamente, mientras éste cerraba. Cuando el maíz tuvo alrededor de 30 cm y las arvenses menos de 10 cm, se aplicó herbicida selectivo Gesaprim calibre 90 (atrazina) en razón de 2 kg ha^{-1} . También se aplicó, una sola vez, Cipermetrina (2 L ha^{-1}) para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Muestreo de plantas de maíz y *S. guianensis*. Se seleccionaron aleatoriamente 32 plantas de maíz a las que se les hizo un seguimiento semanal de sus etapas fenológicas, se registró su crecimiento y desarrollo durante todo el ciclo (de la germinación a la aparición del grano), midiendo altura, diámetro (a 30 cm), altura de mazorca;

en etapa de elote, éstos se cortaron para estimar peso fresco y seco (t ha^{-1}), y se tomaron 12 plantas para hacer los análisis correspondientes. En *S. guianensis* se tomó aleatoriamente un área de 1.35 m^2 (3×0.45 m), en cada parcela. Las plantas de las dos especies se cosecharon 80 días después de la siembra, para ser pesadas en fresco y posteriormente secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante. Para conocer la calidad del forraje las muestras se molieron en un molino "Willy" con una criba de 2 mm de diámetro y se realizaron los análisis bromatológicos de materia seca (MS), proteína, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y cenizas (Núñez *et al.*, 2001) en el LASPA y el Laboratorio de

Ciencia Animal del Campus Tabasco-CP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de materia seca (MS) y valor nutricional del maíz. El rendimiento promedio de maíz, a una densidad poblacional de 55,500 plantas ha^{-1} , en materia verde fue de hasta 65.3 t ha^{-1} y 22.98 t ha^{-1} de MS, con un coeficiente de variación de

20.16 % (Figura 1), que supera lo reportado por Sánchez *et al.* (2011), y fue similar al obtenido por Núñez *et al.* (2001) y Montemayor *et al.* (2012) en el norte de México. Lo anterior puede atribuirse a la densidad de siembra, la fertilización aplicada y al manejo, aunado a un buen ciclo. El maíz es una excelente opción forrajera debido a que tiene buen rendimiento por unidad de área. Varios autores (Fuentes *et al.*, 2000; Weiss, 2004) han reportado rendimientos de materia verde de 40 a 95 t ha^{-1} , el amplio intervalo se debe a que la producción es altamente dependiente de la radiación solar, horas luz, temperatura diaria y manejo agronómico (genotipo, nutrición, manejo del agua, control de arvenses, etcétera) (Strieder *et al.*, 2008).

En la Figura 2 se muestran los resultados de los parámetros que determinan la calidad nutricional del maíz, los porcentajes promedio fueron: proteína 9.48 %, FDN 40.08 %, FDA 25.91 % y cenizas 13.55 %. La variedad de maíz VS-536 mostró buen potencial forrajero, por su calidad nutrimental y altos rendimientos. Olague *et al.* (2006) y Flores y Sánchez (2010), trabajando con diversas variedades de maíz, encontraron valores de proteína,

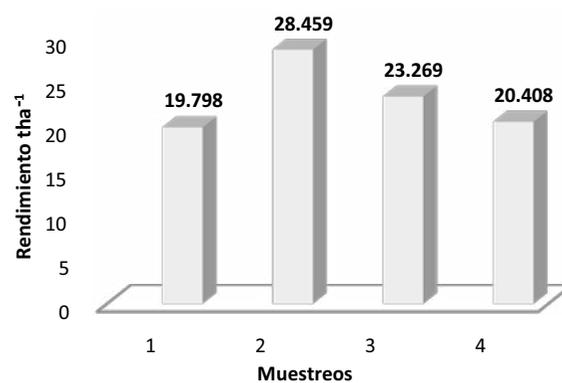


Figura 1. Producción de materia seca de *Zea mays* L., en cultivo mixto, en 80 días.

FDN y FDA que variaron de 8 a 10 %, 40 a 54.4% y 28 a 28.56, respectivamente.

Rendimiento de la materia seca (MS) y calidad nutricional de *S. guianensis*.

El rendimiento de MS de *S. guianensis* en relevo (6702 kg ha⁻¹) fue mayor y estadísticamente diferente (p<0.05) que en franja (3264 kg ha⁻¹), independientemente de la dosis de fertilización aplicada (Figura 3). Estos resultados coinciden con los reportados por Olivera *et al.* (2007) y Canchila *et al.* (2011), quienes señalan que los rendimientos de *S. guianensis* disminuyen con la sombra, mejorando en condiciones de irradiación total. Esta leguminosa es exitosa en relevos porque, además de favorecer el rendimiento, reduce el crecimiento de malezas (Saito *et al.*, 2006). Cook *et al.* (2005) reportaron rendimientos para *S. guianensis* que variaron de 5 a 10 t ha⁻¹ de MS año⁻¹, en tanto que Tomei *et al.* (2005) y Lagunes (2011) reportaron rendimientos de 16,816 y 17,723 kg ha⁻¹ de MS año⁻¹, respectivamente. La calidad nutricional de la leguminosa, sobre todo en contenidos de proteína, fue mejor (14.72%) cuando se fertilizó con NPK (Figura 4), observándose diferencias estadísticas significativas, independientemente de la condición (franja o relevo). Lo anterior coincide con lo reportado por Osorio (2007) (14.5%), en tanto que los valores de FDN (49.13%), FDA (34.49%) y cenizas (10.89%) fueron ligeramente inferiores a los obtenidos en el presente trabajo; los contenidos de proteína reportados por

Lagunes (2011) (21.5%) y Cioti *et al.*, 2003) (15.5%) fueron superiores. Otros trabajos registraron contenidos de proteína entre 13.06% y 19.87% (Kiythong *et al.*, 2002; Kopinski *et al.*, 2008). Sin embargo, hace falta considerar evaluaciones a lo largo del año para conocer la variación nutricional de esta fabácea en las diferentes épocas, y sobre todo en las que el forraje es escaso.

Para FDN, FDA y cenizas no se encontraron diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos (Figuras 5 A, B y C). Los valores de FDN fueron menores a los obtenidos por Silva *et al.* (2010) y Lagunes (2011); los de FDA se ubican en el intervalo reportado por este último y Tomei *et al.* (2005) y el porcentaje de cenizas en esta investigación fue inferior al de Kopinski *et al.* (2008). Un buen forraje presenta valores de FDA de entre 25% y 32% y FDN de 40% a 56%; si son menores, la digestibilidad será mayor; valores altos están relacionados con altas cantidades de lignina y la madurez de los pastos (Herrera, 1999).

Análisis del suelo. En el Cuadro 1 se muestran las características químicas del suelo Vertisol al inicio del experimento y al final y en los dos agroecosistemas (estilosante, NPK, PK y Maíz), de manera general no se observaron cambios drásticos en los parámetros químicos en estudio.

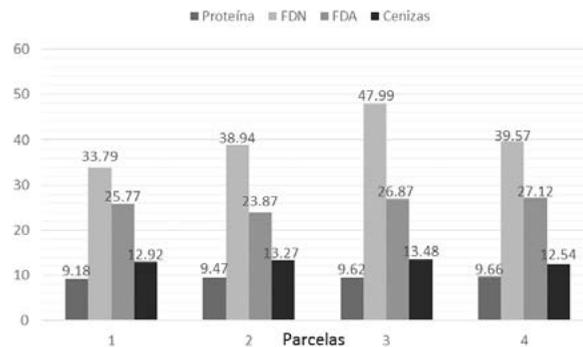


Figura 2. Valor nutritivo promedio de *Zea mays* L., a 80 días en cultivo mixto.

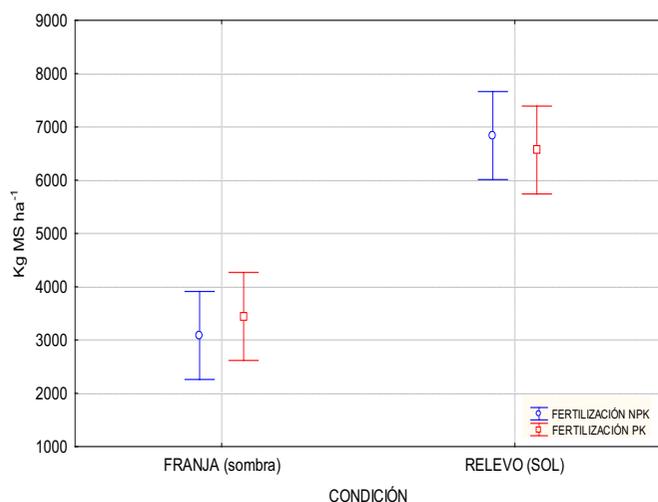


Figura 3. Rendimiento de *S. guianensis* (kg de MS ha⁻¹) en 80 días de crecimiento en un cultivo asociado.

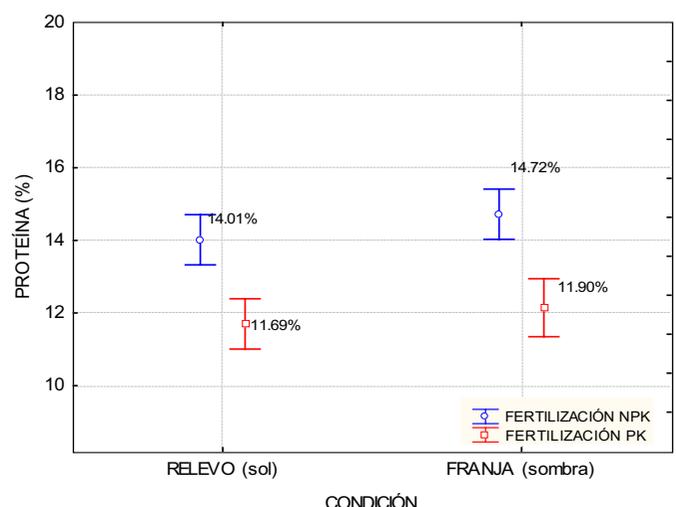
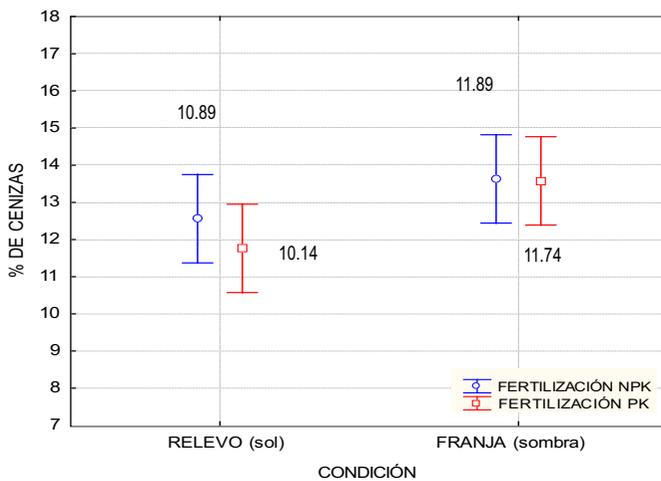
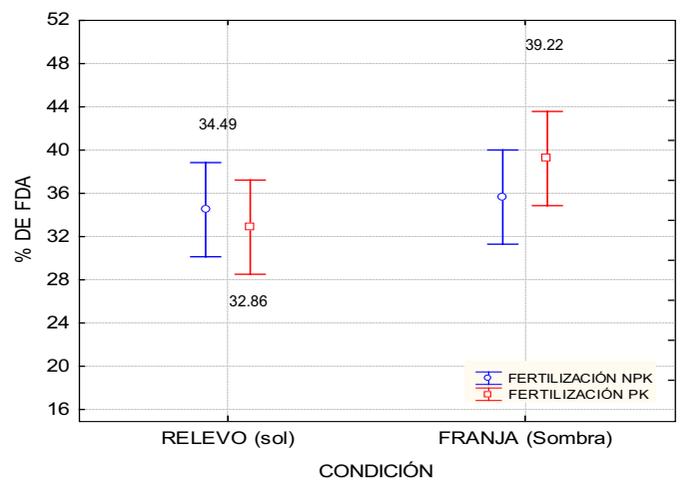
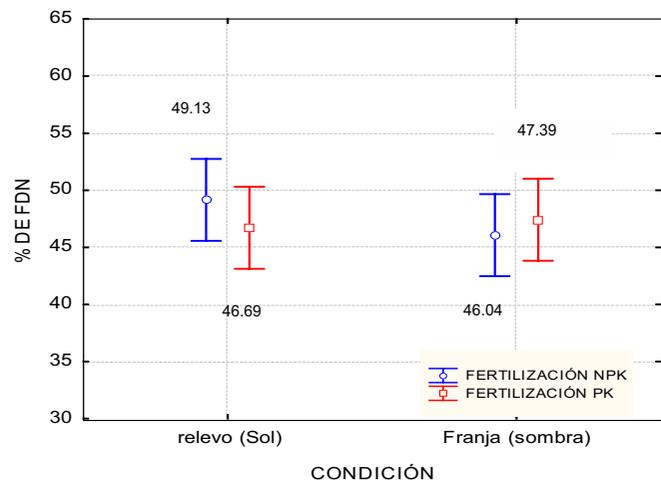


Figura 4. Proteína de *S. guianensis* en diferentes condiciones de cultivo y dosis de fertilización.



Figuras 5. A-C: Porcentajes de FDN, FDA y cenizas *S. guianensis* en cultivo asociado mixto, maíz-leguminosa en franja y relevo con diferentes dosis de fertilización.

El pH presentó valores moderadamente ácidos en los cuales los cultivos estudiados prosperan bien, los porcentajes de MO se ubicaron como medios, al igual que los de CIC (NOM-021-RECNAT, 2001), valores que coinciden con los reportados por Palma-López *et al.* (2007); los contenidos Nt fueron bajos y los de Ni variaron de medios a altos. El P Olsen varió de 5.89 a 8.53 mg kg⁻¹ valores considerados medios (NOM-021-RECNAT, 2001). Los cambios ligeros encontrados entre el inicio y final del estudio en MOS, P y Nt, pueden ser atribuibles a la aportación de nitrógeno por la fabacea al suelo y por la aplicación de fertilización química. Los suelos de la unidad de los Vertisoles son por lo general, naturalmente

ricos, con pH de ligeramente ácido a neutro, contenidos de arcilla de alrededor de 30% al menos en los primeros 50 cm de profundidad (Palma-López *et al.*, 2007). Su alto contenido de material fino (arcillas montmorinolíticas) los hace compactos y masivos al estar secos, adhesivos y expandibles cuando se humedecen, lo que provoca cambios estructurales como la formación de grietas en su superficie, de por lo menos un centímetro de ancho.

CONCLUSIONES

El rendimiento de *S. guianensis* fue estadísticamente más alto en el cultivo mixto en relevo (P<0.05). La cantidad de proteína de 14.72% y 14.01% en condiciones de franja y relevo, respectivamente, incrementó cuando se aplicó nitrógeno. En FDN, FDA y cenizas no hubo diferencias estadísticas en los diferentes manejos (fertilización y efecto de luz). Es recomendable hacer una fertilización completa con los fertilizantes mayores (N P y K) y manejar preferentemente a la leguminosa sin efecto del sombreado. El rendimiento promedio de maíz en materia verde fue alto (65.3 t ha⁻¹), no obstante, en la zona de estudio es poco utilizada como forraje.

Cuadro 1. Propiedades químicas de un suelo Vertisol bajo un cultivo asociado mixto, maíz-leguminosa en franja y relevo con diferentes dosis de fertilización.

| Suelos con los diferentes tratamientos | pH Rel. 1:2 | CIC Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹ | COS nm | MO % | Fósforo mg kg ⁻¹ | N total % | N inorgánico mg kg ⁻¹ |
|--|-------------|--|--------|--------|-----------------------------|-----------|----------------------------------|
| Inicio | 5.89 | 21.45 | 0.182 | 1.577 | 5.96 | 0.0853 | 49.528 |
| PK | 5.64 | 19.99 | 0.206 | 1.9049 | 8.53 | 0.1194 | 11.429 |
| NPK | 5.66 | 19.50 | 0.212 | 2.233 | 6.45 | 0.1194 | 30.479 |
| Maíz | 5.63 | 19.50 | 0.175 | 1.7406 | 5.89 | 0.1024 | 41.908 |

LITERATURA CITADA

- Álvarez S.J.D., Díaz P.E., León M.N.S., Guillén V.J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana* 28(3): 239-245.
- Canchila E.R., Soca M., Wencomo H.B., Ojeda F., Mateus H., Romero E., Argüello G., Ruiz R., Canchila N. 2011. Comportamiento agronómico de siete accesiones de *Brachiaria humidicola* durante fase de establecimiento. *Pastos y Forrajes* 34:155-166.
- Cáceres O.F., Ojeda E., González J., Arece L., Simón L., Lameda M., Milera J., Iglesias M., Esperance I y Montejo S.M. 2006. Valor nutritivo de los principales recursos forrajeros en el trópico. *In: Recursos Forrajeros Herbáceos y arbóreos*. Editorial Universitaria. Estación Experimental de pastos y forrajes Indio Hatuey y Universidad de San Carlos de Guatemala. 459 p.
- Ciotti E.M., Castelán M.E., Tomei C.E., Mónaco I.P., Benitez F.J. 2003. Respuesta de *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 a la fertilización con una baja dosis de fósforo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32 (2): 137-148.
- Cook B., Pengelly B., Brown S., Donnelly J., Eagles D., Franco A., Hanson J., Mullen B., Partridge I., Peters M., Schultze-Kraft R. 2005. *Tropical Forages, an interactive selection tool* (CD-ROM). CSIRO Sustainable Ecosystems, Department of Primary Industries and Fisheries (Queensland), CIAT and Int. Livestock Research Inst.
- Doran J.W., Parkin T.B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds), Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA. 25 p
- Fuentes J., Cruz A., Castro L., Gloria G., Rodríguez S., Ortiz B. 2000. Evaluación de variedades de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para ensilado. *Agronomía Mesoamericana* 12(3): 193-197.
- Flores O.M.A., Sánchez G.R.A. 2010. Producción y calidad de forraje de cereales menores. *In: Memorias del 1^{er} Congreso Internacional de Manejo de Pastizales*. Tuxtla Gutierrez Chiapas.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta. Edic. Edit. Indianápolis. D. F. México. 246 p.
- Herrera S.R. 1999. La importancia de los maíces y sorgos mejorados para la producción de ensilaje. 2^o Taller nacional de especialidades del maíz. UAAAN Saltillo. Coahuila, México. 133-137 p.
- Keoboualapheth Ch., Mikled Ch. 2003. Growth performance of indigenous pigs fed with *Stylosanthes guianensis* CIAT-184 as replacement for rice bran. MSc thesis in Tropical Livestock Systems. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 159 p.
- Kiythong K., Satjipanon C., Pholsen P. 2002. Effect of cutting height and time on seed yield and seed quality of *Thapra Stylo* (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184). *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 24 (4): 587-593.
- Kopinski J.S., Keonouchanh S., Cox K., Stur W. 2008. Nutritive value for pigs of the forage legume *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 (Stylo). L4PP Final Project Workshop. The use of forage legumes to improve village pig production in Lao PDR Luang Prabang, December.
- Lagunes R.S.A. 2011. Evaluación productiva y de calidad de leguminosas tropicales en el estado de Puebla. Tesis de Maestro Tecnológico. Puebla, Puebla 88 p.
- Lascano C.E., Ávila P y Ramírez G. 1996. Aspectos metodológicos en la evaluación de pasturas en fincas de ganado de doble propósito. *Pasturas Tropicales* 18, 65-70 p.
- Meléndez N.F. 2012. Principales Forrajes para el Trópico. Primera edición. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca. 459-468 p.
- Montemayor T.J.A., Lara M.J.L., Woo R.J.L., Munguía L.J., Rivera G.M., Trucíos C.R. 2012. Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia*, 46(3), 267-278.
- Monzon J.P., Carrozzo T.J., Calviño P., Andrade F.H. 2005. Efectos del Intercultivo en franjas de maíz y soja sobre el rendimiento. *Actas VII Congreso Nacional de Maíz*. Congreso Nacional de Maíz. 16 al 18 de noviembre de 2005. Rosario, Argentina.
- NOM-021-RECNAT-2001. 2001. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Primera versión corregida. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- Núñez H.G., Faz C.R., Tovar M.A., Zavala A.G. 2001. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Técnica Pecuaria en México* 39: 77-88.
- Olague R.J., Montemayor T.J.A., Bravo S.S.R., Fortis H.M., Aldaco N.R.A., Ruiz C.E. 2006. Características agronómicas y calidad de maíz forrajero con riego sub-superficial. *Tec. Pecu. Méx.* 44(3): 351-357 p.
- Olivera Y., Machado R., del Pozo P.P., Ramírez J., Cepero B. 2007. Evaluación de accesiones de *Brachiaria brizantha* en suelos ácidos. Época de máximas precipitaciones. *Pastos y Forrajes* 30 (3): 303-313.
- Osorio G. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas B.P.A. y Buenas prácticas de Manufacturas B.P.M. En la producción de caña y panela corpoica MANA-Gobernación de Antioquia, FAO. CTP. Print Ltda. Colombia 199 p.
- Palma-López D.J., Cisneros D.J., Moreno C.E., Rincón-Ramírez J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. ISPROTAB, Colegio de Postgraduados, Fundación Produce Tabasco A.C. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Rivera-Hernández B., Carrillo-Ávila E., Obrador-Olán J.J., Juárez-López J.F., Aceves-Navarro L.A., García-López E. 2009. Soil moisture tension and phosphate fertilization on yield components of A-7573 sweet corn (*Zea mays* L.) hybrid, in Campeche, Mexico. *Agricultural Water Management* 96 (9): 1285-1292
- Saito K.A., Linqvist B.B., Keobualapha B.C., Phanthaboon K.D., Shiraiwa T.A., Horie T.A. 2006 *Stylosanthes guianensis* as a short-term fallow crop for improving upland rice productivity in northern Laos. *Field Crops Research*. 438-447
- Sánchez H.M.Á., Aguilar M.C.U., Valenzuela J.N., Sánchez H.C., Jiménez R.M.C. Villanueva V.C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agron. Mesoam.* 22 (1): 281- 295.
- Silva P.V., De Almeida Q.F., Morgado D.S.E., Rodrigues L.M., Marques D.S.T., Torres V.H. 2010. *In situ* caecal degradation of roughages in horses. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 349-355.
- Strieder L.M., Ferreira S.P.R., Rambo L., Sangoi L., Alves S.A., Endrigo P.C., Batista J.D. 2008. Crop management systems and maize grain yield under narrow row spacing. *Scientia Agricola* (Piracicaba, Braz.) 65(4):346-353.
- Sutherst R.W., Wilson L.J., Reid R., Kerr J.D. 1998. A survey of the ability of tropical legumes in the genus *Stylosanthes* to trap larvae of the cattle tick, *Boophilus microplus*. *Aust. J. Exp. Agric.* 28:473-479.
- Tomei C.E., Brito M.N., Hack C.M., Castelan M.E., Ciotti E.M. 2005. Efecto del agregado de fósforo sobre el rendimiento de *Stylosanthes guianensis* CV CIAT 184. *INTA, Argentina* 34, 19-27 p.
- Weiss W.P. 2004. Silage for dairy cattle. *In: Curso de Nutrición de Ganado Lechero*. Balsa, Atenas. Costa Rica. 1-10p.

FERTILIZACIÓN QUÍMICA PARA EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN CHIAPAS, MÉXICO

CHEMICAL FERTILIZATION FOR OIL PALM (*Elaeis guineensis* Jacq.) PLANTATIONS IN CHIAPAS, MEXICO

Córdova-Sánchez A.¹, Obrador-Olán J.J.², Salgado-García S.², Castelán-Estrada M.^{2*}

¹Profesor de la Universidad Politécnica del Golfo de México, CP 86600 Paraíso, Tabasco, México. ²Profesor del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Apdo. Postal 24, CP 86500 Cárdenas, Tabasco, México.

*Autor por correspondencia: mcastelan@colpos.mx

RESUMEN

Debido a que existe un conocimiento limitado sobre las necesidades nutrimentales del cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el norte de Chiapas, México, evaluó experimentalmente el efecto de diferentes tratamientos de fertilización NPK sobre el rendimiento y concentración foliar en una plantación comercial del híbrido *DelixAvros*, de ocho años de edad, establecida en Palenque, Chiapas. Mediante el Modelo San Cristóbal se generaron 12 tratamientos de fertilización, mismos que se probaron bajo un diseño de bloques completos al azar. Los niveles probados fueron N: 60, 90, 120, 150 kg ha⁻¹, P₂O₅: 30, 60, 90, 120 kg ha⁻¹ y K₂O: 120, 180, 240, 300 kg ha⁻¹. Los efectos sobre el rendimiento de racimos de fruto fresco (RFF) y la concentración foliar de N, P y K se evaluaron durante cuatro ciclos. Los resultados mostraron que a nivel de parcela el rendimiento de RFF aumentó en el segundo año, pasando de 19.8 t ha⁻¹ a 40.8 t ha⁻¹, mientras que en el tercer año se cuadruplicó, llegando hasta 77.8 t ha⁻¹ de RFF. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos probados, se sugiere adoptar la dosis 60-90-120 NPK, ya que esta satisface la demanda del cultivo a bajo costo, se obtienen rendimientos de RFF elevados y se mantiene la fertilidad del suelo. La concentración foliar de N, P y K no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, pero se observaron aumentos en la concentración media a nivel de parcela, hasta alcanzar niveles óptimos.

Palabras clave: concentración foliar, nutrición, producción, rendimiento de fruto fresco (RFF).

ABSTRACT

Because there is a limited knowledge about the nutrient needs of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) crop in northern Chiapas, México, the effect of different NPK fertilization treatments on yield and leaf concentration was evaluated in a commercial plantation of the *DelixAvros* hybrid, eight years old, established in Palenque, Chiapas. Through the San Cristóbal Model, 12 fertilization treatments were generated, which were tested under a completely random block design. The levels tested were N: 60, 90, 120, 150 kg ha⁻¹, P₂O₅: 30, 60, 90, 120 kg ha⁻¹ and K₂O: 120, 180, 240, 300 kg ha⁻¹. The effects on the yields of fresh fruit clusters (FFC) and the leaf concentration of N, P and K, were evaluated for four cycles. The results showed that at the level of plot the FFC yield increased in the second year, going from 19.8 t ha⁻¹ to 40.8 t ha⁻¹, while in the third year it quadrupled, reaching 77.8 t ha⁻¹ of FFC. Although no statistical differences were found between the treatments tested, it is suggested to adopt the 60-90-120 NPK dose, since it is the one that satisfies crop's demand at low cost, high FFC yields are obtained, and soil fertility is maintained. The leaf concentration of N, P and K did not show statistical differences between treatments, although increases were observed in the mean concentration at the level of plot, until reaching optimal levels.

Keywords: leaf concentration, nutrition, production, fresh fruit yield (FFC).

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp. 56-63.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es la fuente más importante de aceite vegetal a nivel mundial debido, entre otras cualidades, a que es más rendidora que otras oleaginosas (Figura 1), pudiendo producir hasta 4 t ha⁻¹ de aceite por año (EPOA, 2017). Esta especie requiere suelos fértiles, con una profundidad de entre 80 cm a 120 cm, de textura franca y subsuelo arcilloso no pesado, con un aporte continuo de humedad. Los suelos con estas características, permiten un buen desarrollo del cultivo al abastecerlo adecuadamente de agua y facilitar la absorción de nutrientes (Comte *et al.*, 2012).

En México la primera plantación comercial fue establecida en Chiapas en 1952 (Santacruz *et al.*, 2012), pero a partir de 1997 se ha registrado un auge en este cultivo con nuevas plantaciones en Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas, registrando actualmente una superficie plantada de 90,118 ha de palma de aceite (SIAP, 2017). El estado de Chiapas es el principal productor con 43,443 ha, de las cuales 34,815 se encuentran en plena producción, con rendimientos medios de 13.3 t ha⁻¹ de racimos de fruto fresco (RFF) (Cuadro 1).

Aun cuando existe una superficie importante plantada con palma de aceite en México no se han realizado su-

ficientes estudios para determinar las dosis óptimas de fertilización para las diferentes regiones productoras. Una fertilización adecuada resulta benéfica para nutrir correctamente al cultivo, mejorar los rendimientos de fruto fresco y favorecer la rentabilidad de las plantaciones comerciales. Estudios previos sobre fertilización indican que en la costa de Chiapas el rendimiento más alto de aceite (3.3 t ha⁻¹) se obtuvo con la dosis 300-130-300 de N-P-K (Cruz y Ramírez, 1984), aunque bajo los criterios actuales esta resulta excesiva. Pérez-Peralta

et al. (2005) evaluaron 12 tratamientos de fertilización N-P-K para palma de aceite cultivada en Tabasco, obteniendo rendimientos de 19.9 t ha⁻¹ de RFF, asociados a la dosis 60-90-240. Considerando lo anterior, se realizó el presente estudio en palma de aceite cultivada en el norte de Chiapas, evaluando el rendimiento de fruto fresco y concentración foliar de N-P-K en respuesta a 12 tratamientos de fertilización química aplicada al suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en una plantación comercial de palma de aceite de ocho años de edad del híbrido *DelixAvros*, ocupando una superficie experimental de 1-34-27 ha. La

plantación se localiza en el Ejido Chancalá-Zapote en Palenque, Chiapas (17° 24' 20" N y 91° 53' 30" O), la precipitación media anual es de 2500 mm, temperatura media anual de 27 °C y altitud de 300 m (INEGI, 2005).

Producción mundial de aceites y grasas en 2012
(Total: 186,4 millones de toneladas) (Oil World 2013)

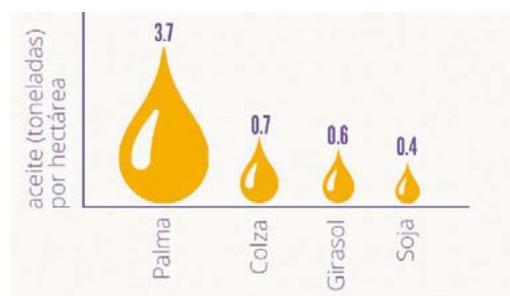
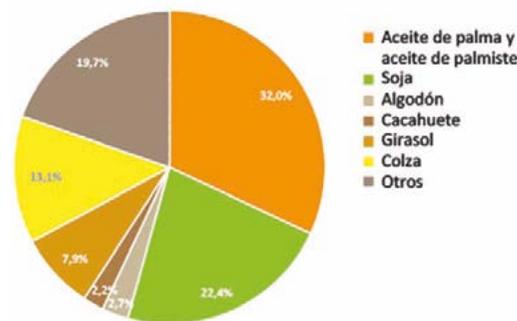


Figura 1. Producción mundial de aceites vegetales y rendimientos por hectárea de las principales oleaginosas (Tomado de EPOA 2017)

Cuadro 1. Superficie de Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantada en México hasta el año 2016, producción y rendimientos en los principales estados productores.

| Estado | Superficie plantada (ha) | Superficie cosechada (ha) | Producción 2016 (t) | Rendimiento (t ha ⁻¹) | PMR* (\$ t ⁻¹) |
|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Campeche | 23,328 | 5,822 | 64,236 | 11.0 | 1,158.94 |
| Chiapas | 43,444 | 34,815 | 463,119 | 13.3 | 1,533.17 |
| Tabasco | 16,195 | 10,982 | 163,005 | 14.8 | 1,310.05 |
| Veracruz | 7,151 | 6,989 | 64,861 | 9.3 | 1,325.11 |
| Total Nacional | 90,118 | 58,609 | 755,222 | | |

* precio medio rural
Modificado de SIAP 2017

La caracterización física y química de acuerdo a la WRB 2007, el suelo de la parcela es un Leptosol réndzico. Fisiográficamente estos suelos se localizan en sitios con topografía cerril, ondulada y en plataformas cársticas (planicies calcáreas), el material parental son rocas calcáreas del Terciario. En general son suelos de desarrollo reciente que presentan un horizonte A, oscuro y suave sobre un horizonte C, o CR, el cual yace directamente sobre la roca madre calcárea. El suelo es arcilloso con contenidos de MO muy altos, con pH de 7.7 en los primeros 30 cm y 7.8 en los 30-60 cm siguientes, por lo que se clasifica como neutro a moderadamente alcalino (NOM-021-2000), en el cual casi todos los nutrientes son fácilmente absorbidos por el cultivo (Navarro y Navarro, 2003). El contenido de N en los primeros 30 cm se clasifica como bajo, llegando a un nivel medio de 30-60 cm de profundidad (Cuadro 2). El contenido de P en los primeros 60 cm de profundidad es bajo ya que una cantidad importante del elemento está asociada a la MO y debido a que existe un nivel alto de Ca, el P permanece inmóvil en el suelo (Porta *et al.*, 2003). El contenido de K es muy bajo en los primeros 30 cm pero aumenta en el nivel medio de 30-60 cm; es conocido que los suelos orgánicos presentan bajos contenidos de K debido al exceso de precipitación, lo cual lixivia las arcillas a las capas más profundas, donde se encuentra la mayor concentración de K (Mengel y Kirkby, 2000). La CIC encontrada en las muestras se considera alta en los primeros 30 cm, disminuyendo a mayor profundidad.

Tratamientos y Diseño Experimental

Para generar los tratamientos experimentales que fueron probados, se empleó el modelo San Cristóbal (Martínez, 1988) partiendo de espacios amplios de exploración: 60, 90, 120, 150 kg N ha⁻¹; 30, 60, 90, 120 kg P ha⁻¹ y 120, 180, 240, 300 kg K ha⁻¹. La combinación de estos niveles generó 12 tratamientos que se distribuyeron en el campo bajo un arreglo de bloques completos al azar (BCA), con cuatro repeticiones. La unidad experimental (UE) fue de cuatro palmas en competencia completa, por lo cual la parcela experimental constó de 192 palmas (4×12×4). Los tratamientos de fertilización se aplicaron en campo manualmente, una vez al año, al inicio de la temporada de lluvias, se mezclaron las diferentes fuentes N-P-K en la misma bolsa de polietileno de 10 kg,

para inmediatamente aplicarlo en campo, al voleo en banda de 1 m de ancho, siguiendo un círculo alrededor del tronco de cada palma, aproximadamente a 1.5 m de distancia del tallo sobre la superficie del suelo (zona de goteo) (Sisworo *et al.*, 2004). Las fuentes de fertilizantes comerciales que se utilizaron, fueron Urea al 46 % (N), Superfosfato de Calcio Simple 18.6 % (P) y Cloruro de Potasio al 46 % (K).

Variables de estudio

Rendimientos de RFF: el efecto de los tratamientos sobre esta variable fue estimado a partir del peso de los racimos de fruto fresco (RFF) cosechados en cada UE a lo largo de todo el ciclo y se expresó como la media de

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de un suelo cultivado con palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Palenque, Chiapas, México.

| Variable del suelo | Unidad | Profundidad (cm) | |
|--|---------------------------|------------------|-------|
| | | 0-30 | 30-60 |
| pH | | 7.70 | 7.88 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | cmol (+) kg ⁻¹ | 30.9 | 22.75 |
| Materia Orgánica (MO) | % | 6.6 | 2.55 |
| Nitrógeno Total (Nt) | % | 0.4 | 2.05 |
| P asimilable (P-Olsen) | mg kg ⁻¹ | 0.4 | 0.15 |
| Potasio (K) | cmol (+) kg ⁻¹ | 0.26 | 0.52 |
| Calcio (Ca) | cmol (+) kg ⁻¹ | 44.55 | 49.3 |
| Magnesio (Mg) | cmol (+) kg ⁻¹ | 9.4 | 6.95 |
| Sodio (Na) | cmol (+) kg ⁻¹ | 0.07 | 0.04 |
| Boro (B) | mg kg ⁻¹ | 10.40 | 8.49 |
| Zinc (Zn) | mg kg ⁻¹ | 1.95 | 0.59 |

las UE y repeticiones, en t ha⁻¹ de RFF, por tratamiento y por año. Esta variable se evaluó durante cuatro años consecutivos.

Concentración foliar de N-P-K: tres meses después de la aplicación de cada tratamiento se hicieron muestreos foliares (Fairhurst y Hardter, 2003) en la hoja 17 por ser esta la que mejor representa el estado nutricional de palmas maduras. Las muestras se analizaron en laboratorio para determinar la concentración de N-P-K y los valores registrados permitieron comparar el efecto de los tratamientos, así como, la evolución de las concentraciones, a lo largo de cuatro años de observaciones. Con los datos obtenidos en laboratorio y en campo durante cuatro años continuos se realizaron los análisis de varianza y comparaciones de medias para las variables bajo estudio (Tukey $\alpha=0.05$). También se analizaron los totales anuales y se compararon entre sí.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de fruto fresco fueron crecientes durante los primeros tres ciclos, mientras que en el último año (2010) el rendimiento disminuyó casi a la mitad. Este incremento se explica por la influencia positiva de la fertilización sobre el rendimiento variable, a excepción de la cosecha 2010, donde las condiciones climáticas fueron desfavorables (año seco) y no permitieron que se expresara el efecto de la fertilización química. Los promedios anuales de RFF observados

dos del suelo, lo que permite mantener productivas las plantaciones en el mediano y largo plazo. Esta dosis además es la más económica y la más conveniente para los Leptosoles réndzicos, los cuales de manera natural presentan más fertilidad que otros suelos, por lo cual es recomendable aportar dosis más bajas de fertilizantes. Aun cuando en 2008 y 2010 se obtuvieron los más altos RFF con la dosis más baja, se deben considerar las variaciones anuales en la productividad del cultivo. Si al utilizar la dosis 60-30-120 en el suelo

Leptosol réndzico se presentan deficiencias de P, se debería aplicar la dosis 60-90-120 para suplirlas convenientemente.

Concentración de nitrógeno foliar

En 2006 la concentración de N no mostró diferencias significativas entre tratamientos, pero el promedio de N foliar para la plantación fue de 2.47 % (Cuadro 4) el cual está dentro del rango óptimo (2.4-2.8) recomendado para el cultivo (Salgado *et al.*, 2013). Con excepción del tratamiento 90-120-180, todos los demás estuvieron dentro del rango óptimo de N. En experimentos con fertilización nitrogenada es común que no se observen respuestas inmediatas; esto se debe a que solo una parte del N aportado es absorbido por la planta y esta puede ser destinada en su mayor parte a la producción y ser exportada junto con la cosecha de racimos (Pérez-Peralta *et al.*, 2005). En 2007, segundo año del experimento, los

tratamientos de fertilización no mostraron diferencias significativas, presentándose incluso una baja respecto a los valores del año anterior, con una media general de 2.0 % de N en la plantación (Cuadro 4), lo que indicó una concentración deficiente de N foliar respecto al óptimo recomendado. Una respuesta similar es reportada por Mite *et al.* (2002) durante el segundo año de experimentación con fertilizantes nitrogenados; esto refleja probablemente que la demanda de N en la palma de aceite en los meses de junio a diciembre, en los cuales ocurre mayor RFF, se incrementa de manera importante (Figura 2), consumiendo todo el fertilizante aplicado y además agotando las reservas contenidas en la planta.

Cuadro 3 Rendimiento de RFF con diferentes tratamientos de fertilización *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

| Tratamiento N-P-K | Rendimiento RFF (t ha ⁻¹) | | | | |
|----------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | Promedio |
| 60-30-120 | 19.50 a | 45.18 a | 77.10 a | 37.20 a | 44.75 a |
| 120-30-120 | 19.79 a | 43.12 a | 81.29 a | 35.25 a | 44.86 a |
| 60-90-120 | 20.25 a | 36.88 a | 77.14 a | 34.50 a | 42.19 a |
| 120-90-120 | 16.60 a | 42.77 a | 83.66 a | 32.17 a | 43.80 a |
| 60-30-240 | 22.91 a | 41.02 a | 71.22 a | 29.48 a | 40.70 a |
| 120-30-240 | 20.60 a | 39.67 a | 76.18 a | 34.44 a | 42.72 a |
| 60-90-240 | 21.10 a | 41.17 a | 78.43 a | 30.87 a | 42.87 a |
| 120-90-240 | 22.90 a | 41.67 a | 79.35 a | 28.46 a | 43.10 a |
| 90-60-180 | 16.87 a | 40.76 a | 80.41 a | 30.00 a | 42.01 a |
| 150-60-180 | 20.78 a | 38.48 a | 74.29 a | 33.62 a | 41.80 a |
| 90-120-180 | 18.67 a | 40.71a | 74.87 a | 29.69 a | 41.00 a |
| 90-60-300 | 19.96 a | 38.22 a | 79.12 a | 35.48 a | 43.20 a |
| Medias | 19.84 d | 40.80 b | 77.75 a | 32.60 c | 42.75 |
| Pr>F | 0.37 | 0.66 | 0.57 | 0.14 | 0.74 |
| C.V. (%) | 44.02 | 25.66 | 18.10 | 29.93 | 14.48 |
| DMS | 10.23 | 12.26 | 16.48 | 11.43 | 7.25 |

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey $P \geq 0.05$).

fueron 19.8; 40.8; 77.8 y 32.6 t ha⁻¹ para los años 2007, 2008, 2009 y 2010, respectivamente (Cuadro 3). Dado que el coeficiente de variación de los RFF fue muy alto, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los rendimientos obtenidos en este estudio superan los reportados por Pérez-Peralta *et al.* (2005) y Cruz y Ramírez (1984). El mayor rendimiento (83.6 t ha⁻¹) se obtuvo con la dosis 120-90-120 en el año 2009.

De modo preliminar, la dosis 60-30-120 se puede considerar la más adecuada para este tipo de suelos ya que aporta los nutrimentos N-P-K en proporción a la demanda del cultivo y restituye los elementos extraí-

Cuadro 4. Efecto de tratamientos sobre la concentración de N foliar (% MS) en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

| Tratamiento N-P-K | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | Promedio cuatro años |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------|
| 60-30-120 | 2.50 a | 1.95 a | 2.90 a | 3.90 a | 2.81 a |
| 120-30-120 | 2.59 a | 2.00 a | 2.95 a | 3.76 a | 2.83 a |
| 60-90-120 | 2.56 a | 2.13 a | 2.95 a | 3.76 a | 2.85 a |
| 120-90-120 | 2.42 a | 2.00 a | 2.82 a | 3.89 a | 2.79 a |
| 60-30-240 | 2.43 a | 1.95 a | 2.87 a | 3.92 a | 2.80 a |
| 120-30-240 | 2.65 a | 2.00 a | 2.70 a | 3.64 a | 2.75 a |
| 60-90-240 | 2.43 a | 1.86 a | 2.87 a | 3.75 a | 2.73 a |
| 120-90-240 | 2.40 a | 2.00 a | 2.92 a | 3.73 a | 2.76 a |
| 90-60-180 | 2.50 a | 2.00 a | 2.97 a | 3.78 a | 2.82 a |
| 150-60-180 | 2.43 a | 2.05 a | 2.87 a | 3.85 a | 2.80 a |
| 90-120-180 | 2.35 a | 2.05 a | 2.72 a | 3.84 a | 2.74 a |
| 90-60-300 | 2.44 a | 2.04 a | 2.97 a | 3.76 a | 2.80 a |
| Media | 2.47 c | 2.00 d | 2.88 b | 3.80 a | 2.79 |
| Pr>F | 0.65 | 0.84 | 0.95 | 0.96 | 0.93 |
| C.V. (%) | 8.02 | 8.81 | 9.96 | 7.14 | 4.07 |
| DMS | 0.49 | 0.43 | 0.71 | 0.67 | 0.28 |

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey $P \geq 0.05$).

En 2008, la concentración de N foliar no mostró diferencias entre tratamientos, aun cuando el promedio en la plantación aumentó considerablemente respecto al año anterior, alcanzando un valor promedio de 2.88 %, lo cual indicó un efecto positivo de las aplicaciones que

un alto RFF, el cual generó una demanda elevada de N. En otros estudios se ha reportado que cuando existe una elevada producción de frutos, la concentración de nutrimentos foliares disminuye (Mite *et al.*, 2002). Dado que el promedio de cuatro años de N fue de 2.79 %, se deduce que 60 kg ha⁻¹ de N pueden ser suficientes para mantener la concentración de este elemento en el rango óptimo y mantener el nivel de fertilidad del suelo (Cuadro 3).

Concentración de fósforo foliar

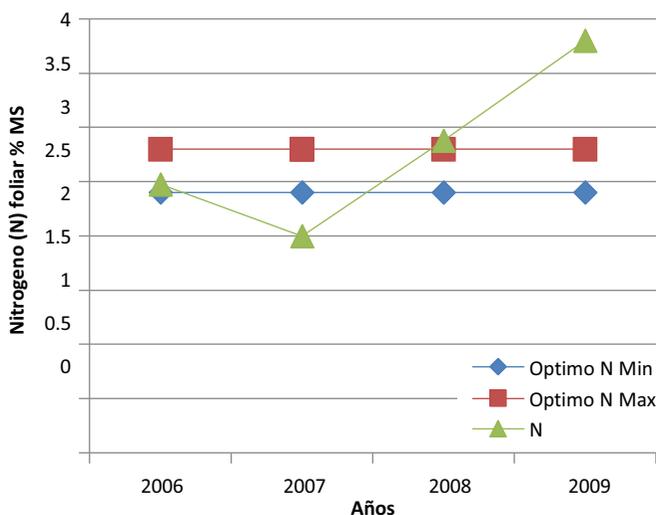


Figura 2. Concentración de nitrógeno foliar (% MS) en un experimento de fertilización en *Elaeis guineensis* Jacq., en Chiapas, México, y su relación con los niveles óptimos recomendados para el cultivo.

aumentaron de forma importante el nitrógeno foliar. En el último año del muestreo foliar (2009), la concentración promedio aumentó aún más, hasta alcanzar en la plantación un valor de 3.80 % (Figura 2), sin que por ello se observaran diferencias significativas entre tratamientos. Durante el experimento, la concentración de N foliar presentó una variación significativa; en 2006 se determinó una concentración óptima en las palmas, aunque al siguiente año disminuyó (2007).

En 2008 y 2009 se registraron aumentos importantes que se reflejaron en mejores RFF. Al hacer las comparaciones entre tratamientos, el N foliar no mostró diferencias significativas en ninguno de los cuatro años consecutivos. La deficiencia de N observada en 2007 se atribuyó a que ese año se registró

La concentración de P resultante de la primera fertilización tuvo un promedio general de 0.16 % pero no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 5). En este estudio, la concentración de P disminuyó en 0.01 % respecto al valor preliminar, probablemente por mayor demanda y bajo contenido de P del suelo (Pérez-Peralta *et al.*, 2005), no obstante, la concentración foliar permaneció dentro del rango óptimo (0.16 % a 0.18 %) reportado en la literatura (Salgado *et al.*, 2013). En el segundo año, los tratamientos evaluados no mostraron diferencias estadísticas; la concentración foliar en la parcela se mantuvo estable respecto al año anterior con 0.16% de P (Cuadro 5), lo que podría deberse que RFF demandó cantidades de P similares a las aplicadas en los tratamientos experimentales. De acuerdo a otros estudios la concentración foliar no necesariamente se incrementa con dosis crecientes, y tampoco se refleja en los diferentes años (Abdul *et al.*, 2014).

Cuadro 5. Efecto de tratamientos sobre la concentración de P foliar (% MS) en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

| Tratamiento (NPK) | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | Promedio de cuatro años |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
| 60-30-120 | 0.16 a | 0.16 a | 0.14 a | 0.15 a | 0.15 a |
| 120-30-120 | 0.16 a | 0.16 a | 0.13 a | 0.18 a | 0.16 a |
| 60-90-120 | 0.16 a | 0.17 a | 0.14 a | 0.15 a | 0.16 a |
| 120-90-120 | 0.16 a | 0.17 a | 0.11 a | 0.15 a | 0.15 a |
| 60-30-240 | 0.19 a | 0.17 a | 0.11 a | 0.19 a | 0.17 a |
| 120-30-240 | 0.16 a | 0.16 a | 0.13 a | 0.13 a | 0.15 a |
| 60-90-240 | 0.18 a | 0.16 a | 0.14 a | 0.16 a | 0.16 a |
| 120-90-240 | 0.16 a | 0.16 a | 0.13 a | 0.15 a | 0.15 a |
| 90-60-180 | 0.14 a | 0.17 a | 0.14 a | 0.15 a | 0.15 a |
| 150-60-180 | 0.16 a | 0.15 a | 0.11 a | 0.15 a | 0.15 a |
| 90-120-180 | 0.16 a | 0.17 a | 0.11 a | 0.18 a | 0.16 a |
| 90-60-300 | 0.18 a | 0.17 a | 0.13 a | 0.22 a | 0.18 a |
| Media | 0.16 a | 0.16 a | 0.13 b | 0.16a | 0.15 |
| Pr>F | 0.18 | 0.69 | 0.70 | 0.38 | 0.22 |
| C.V. (%) | 13.10 | 9.86 | 24.38 | 28.61 | 9.45 |
| DMS | 0.05 | 0.04 | 0.077 | 0.11 | 0.04 |

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey $P \geq 0.05$).

los tratamientos presentaron mucha variabilidad para la concentración nutrimental, con coeficientes de variación de hasta 28 %, lo cual podría considerarse muy alto y enmascararía los efectos de los tratamientos. La concentración de P disminuyó hasta 0.11 % en el año 2008, probablemente porque en este año se duplicaron los RFF; la producción se incrementó a medida que el cultivo tuvo más edad, y por lo tanto aumentó la demanda de P. En la generación de dosis de fertilización es necesario considerar la importancia que tiene el balance demanda-suministro, dado que en plantaciones en desarrollo las necesidades nutrimentales varían en razón de su productividad y del manejo (Tarmizi y Mohd, 2006).

Concentración de potasio foliar

Al evaluar la respuesta foliar a la primera aplicación de K (2006) se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. A nivel de la parcela se registró un promedio de 0.38 %, valor que es inferior al óptimo recomendado de 1.0 %, pero

El resultado de la tercera aplicación (2008) no mostró diferencias significativas en los tratamientos estudiados, aunque este año se observaron los valores más bajos registrados en el estudio (0.13 % en promedio), lo que significa una deficiencia de P en la plantación (Figura 3).

Probablemente esto obedece a que este año los RFF se duplicaron, al pasar de 19.8 a 40.8 t ha⁻¹ de RFF, generando alta demanda de este nutriente. En 2009 la concentración de P se estabilizó en un nivel óptimo, excepto en el tratamiento 120-30-240. Es de notar que el tratamiento 90-60-300, con baja dosis de P pero con la mayor dosis de K, es el que presentó el mayor incremento de P foliar hasta alcanzar 0.22 %. Al hacer comparaciones de todos los datos del estudio se observaron diferencias significativas, siendo 2008 el que tuvo valores más bajos, con niveles claramente deficientes de P en casi todos los tratamientos (Cuadro 5). Pérez-Peralta *et al.* (2005) encontraron diferencias entre años y reportan que la concentración de P disminuyó en el segundo año, y que se presentó únicamente con la dosis más baja (30 kg ha⁻¹ P), mientras que en este estudio se registraron deficiencias incluso con las dosis más altas. Al respecto, Abdul *et al.* (2014) no encontraron diferencias significativas en la concentración foliar entre fechas debido a que las dosis aplicadas no fueron suficientes para cubrir la demanda. En resumen, se observó que

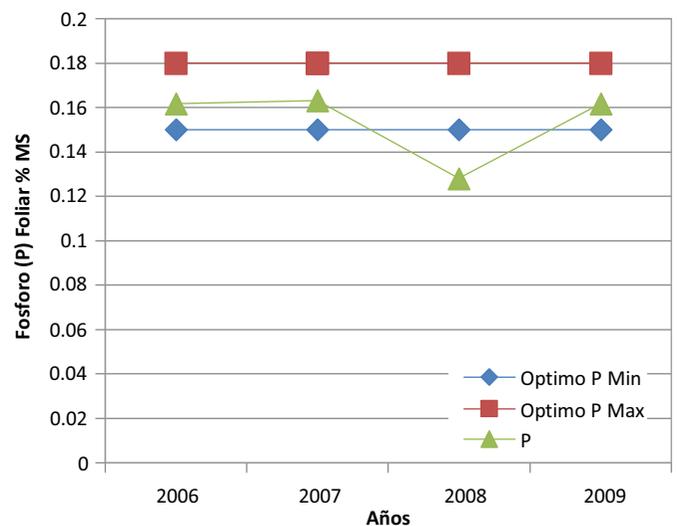


Figura 3. Concentración de fósforo foliar (% MS) en un experimento de fertilización en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, y su relación con los niveles óptimos recomendados para el cultivo

mayor en 0.13 % respecto al muestreo preliminar (Cuadro 2), lo que indica que la fertilización potásica si tuvo un efecto en la nutrición de las palmas. El valor medio producido por la fertilización probablemente indica que el K fue absorbido y almacenado en los órganos de la palma, produciendo un aumento de las reservas, aun cuando el cultivo requería mayores cantidades para alcanzar el nivel óptimo (Cuadro 6).

En el segundo año de experimentación la concentración media de K en la parcela aumentó hasta 1.09 %, alcanzando el nivel óptimo recomendado (Fairhurst y Hardter, 2003), aunque no se observaron diferencias entre tratamientos. El incremento promedio de 0.71 % en el K foliar indica un efecto positivo de la fertilización, sin embargo el efecto es generalizado y no se observa relación entre dosis y concentración foliar. Por lo anterior se sugiere se aplique la dosis de 120 kg ha⁻¹ de K (Cuadro 6), considerando que este suelo tiene contenidos altos de K en los primeros 30 a 60 cm de profundidad.

Cuadro 6. Efecto de tratamientos sobre la concentración de K foliar (% MS) en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, durante cuatro años de evaluación.

| Tratamiento N P K | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | Promedio de cuatro años |
|-------------------|----------|--------|--------|--------|-------------------------|
| 60-30-120 | 0.60 a | 1.16 a | 0.96 a | 0.86 a | 0.90 a |
| 120-30-120 | 0.50 ab | 1.00 a | 0.94 a | 0.83 a | 0.82 a |
| 60-90-120 | 0.50 ab | 0.97 a | 0.89 a | 0.76 a | 0.78 a |
| 120-90-120 | 0.44 abc | 1.16 a | 0.89 a | 0.77 a | 0.82 a |
| 60-30-240 | 0.37 bcd | 1.14 a | 1.04 a | 0.80 a | 0.84 a |
| 120-30-240 | 0.31 cd | 0.99 a | 1.07 a | 0.80 a | 0.79 a |
| 60-90-240 | 0.35 bcd | 1.29 a | 1.05 a | 0.82 a | 0.88 a |
| 120-90-240 | 0.26 d | 1.02 a | 1.16 a | 0.88 a | 0.83 a |
| 90-60-180 | 0.31acd | 1.13 a | 1.14 a | 0.90 a | 0.87 a |
| 150-60-180 | 0.31 cd | 1.04 a | 1.08 a | 0.83 a | 0.81 a |
| 90-120-180 | 0.29 acd | 1.13 a | 1.04 a | 0.78 a | 0.82 a |
| 90-60-300 | 0.36 bcd | 1.08 a | 1.14 a | 0.83 a | 0.86 a |
| Media | 0.38 c | 1.09 a | 1.03 a | 0.82 b | 0.83 |
| Pr>F | 0.0001 | 0.51 | 0.66 | 0.91 | 0.90 |
| C.V. (%) | 17.82 | 16.78 | 20.94 | 15.61 | 12.33 |
| DMS | 0.17 | 0.47 | 0.53 | 0.32 | 0.26 |

Dentro de columnas, literales iguales indican igualdad estadística entre tratamientos. En la hilera de medias, literales diferentes indican diferencias estadísticas entre años (Tukey P≥0.05).

La aplicación de fertilizantes en 2008 no produjo diferencias entre tratamientos aunque el promedio de K foliar se mantuvo en el rango óptimo en casi todos los tratamientos (Fairhurst y Hardter, 2003). Al evaluar la fertilización potásica en una parcela experimental con dosis bajas Villalobos *et al.* (1999), encontraron una concentración de K foliar en niveles muy cercanos al óptimo. En el cuarto año de experimentación (2009) no se observan diferencias estadísticas, y presentó disminución en la concentración de K en todos los tratamientos. En este estudio, las dosis aplicadas no mostraron relación directa con la concentración foliar. Las dosis evaluadas fueron las mismas durante cuatro años, pero el K foliar se comportó de manera muy variable (Cuadro 6); en el muestreo inicial la concentración era deficiente (0.34 %) al igual que después de la primera aplicación (0.38 %). En el segundo y tercer año el K aumentó hasta alcanzar la concentración óptima, pero disminuyó en el año 2009 (Figura 4).

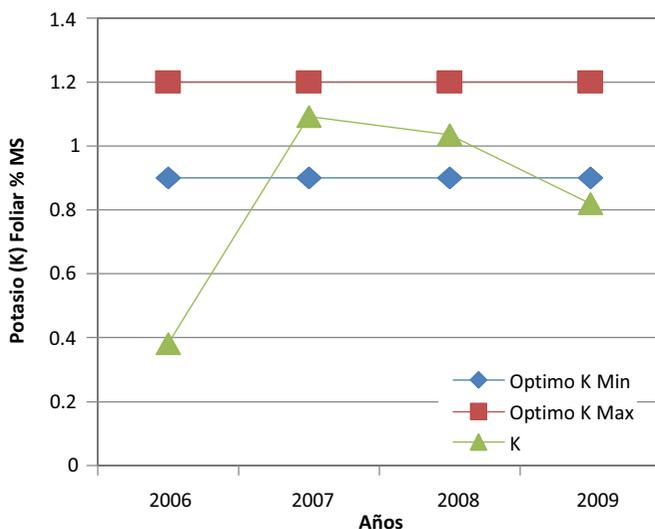


Figura 4. Concentración de potasio foliar (% MS) en un experimento de fertilización en *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada en Chiapas, México, y su relación con los niveles óptimos recomendados para el cultivo.

Al analizar los promedios anuales de K foliar se observan diferencias significativas entre años (Cuadro 6); correspondiendo valores óptimos a los años 2007 y 2008. Lo anterior indica que el K aplicado al suelo fue absorbido por el cultivo y mejoró la nutrición de la parcela en general, a pesar del incremento en la cosecha. Visto que las dosis más bajas tienen el mismo efecto en el cultivo que las dosis más altas, durante cuatro años consecutivos de evaluación, se sugiere

emplear la dosis de 120 kg ha⁻¹ de K₂O y continuar la experimentación en la región.

CONCLUSIONES

El manejo de la fertilización incrementó los rendimientos de RFF, cuadruplicándose del primero al tercer año al pasar de menos de 20 t ha⁻¹ hasta 78 t ha⁻¹. Los tratamientos no mostraron efecto sobre la concentración foliar de N, aunque se observaron variaciones interanuales significativas en esta variable. La fertilización contribuyó a mantener los niveles foliares de N dentro del rango normal. La fertilización fosfórica no mostró efecto significativo entre tratamientos, pero ayudó a mantener el nivel normal durante los primeros dos años mostrando efectos favorables en la nutrición de las palmas. En el tercer año se presentó una alta producción de RFF que triplicó los rendimientos, lo cual generó una deficiencia de P. En el año cuatro el tratamiento 90-60-300 mostró un exceso de P. La fertilización potásica al suelo incrementa su concentración foliar, pasando de deficiente a óptimo en el transcurso de cuatro años. Para las plantaciones de palma de aceite establecidas en el norte de Chiapas se sugiere aplicar la dosis 60-30-120 ya que registra altos rendimientos de RFF, y contribuye a mantener las concentraciones foliares de N-P-K dentro de valores normales.

LITERATURA CITADA

- Abdul R.Z., Gikonyo E.W., Silek B., Goh K.J., Soltangheisi A. 2014. Evaluation of phosphate rock sources and rate of application on oil palm yield grown on peat soils of Sarawak, Malaysia. *Journal of Agronomy* 13 (1): 12-22.
- Comte I., Colin F., Whalen J. K., Grünberger O., Caliman J. P. 2012. Agricultural practices in oil palm plantations and their impact on hydrological changes, nutrient fluxes and water quality in Indonesia. In: Donald L. Sparks, (ed.): *Advances in Agronomy*, Vol. 116, Burlington: Academic Press, pp. 71-124. ISBN: 978-0-12-394277-7.
- Cruz M. R., Ramírez Z. R. 1984. Determinación de la ecuación de respuesta (NPK) de la palma africana en la costa de Chiapas. XV Congreso Nacional. *Terra* 2(2): 171-174. Chiapas, Mexico.
- Fairhurst T., Hartera R. 2003. Management for large and sustainable yield. PPI/PPIC, Singapore. 1a Edic. 384 p.
- EPOA European Palm Oil Alliance. 2017. Producción del aceite de palma. <http://www.palmoilandfood.eu/es/producci%C3%B3n-del-aceite-de-palma>. Fecha de consulta 05/05/2017.
- INEGI 2005. Anuario estadístico de Tabasco. INEGI - Gobierno del Estado de Tabasco. Mapas. Aguascalientes, México 89p.
- Martínez G. A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría. Editorial, Trillas. México, D.F. 756 p.
- Mengel K., Kirkby E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute, traducción al español de la 4ta edición (1987). 692 p.
- Mite F., Carrillo M., Espinosa J. 2002. Efecto del manejo del cultivo y los fertilizantes en el uso eficiente de nitrógeno en palma de aceite. *INPOFOS*, p 4.
- Navarro G. G., Navarro S. B. 2003. Química Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa, México, D.F. 487 p.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 75 p.
- Pérez-Peralta C., Castelán-Estrada M., Salgado-García S., Palma-López D. 2005. Estado nutricional NPK en palma de aceite en Jalapa, Tabasco. Memoria de la XVIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2005. No18. ISSN 1405-1591. p 466-472.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, 3a Edición. Edición Mundi-Prensa, España, 960p.
- Salgado G. S., Palma D.J., Castelán E. M., Lagunes E. L. C., Ortiz L. H. 2013. Manual de procedimientos para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales. Campus Tabasco, CP-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco. 76p.
- Santacruz L., Morales G., Palacio M. 2012. Políticas gubernamentales y reconversión productiva: el caso de la palma de aceite en México. *Observatorio de la Economía Latinoamericana* 170. Texto completo en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2012>
- SIAP 2017. Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes. Modalidad: temporal palma africana o de aceite. <http://www.siap.gob.mx/> Fecha de consulta 22/05/2017.
- Sisworo E.L., Sisworo W.H., Rasjid H.H., Rizal S. 2004. The use of 32P and 15N to estimate fertilizer efficiency in oil palm. *Atom Indonesia*.1:1-7 sobre recursos mundiales de suelos 84. Roma, Italia. 98 p.
- Tarmizi A. M., Mohd T. D. 2006. Nutrient demand of Tenera oil palm planted on inland soils of Malaysia. *Malaysia palm oil Board. Journal of oil palm research* 18:204-209.
- Villalobos E., Chinchilla C., Umaña C. H. León H. 1999. Déficit hídrico en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en costa Rica. *Irrigación y Fertilización con potasio*. Turrialba 4:421-427.
- WRB 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 2007. 2da Edición, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 103, FAO, ROMA.

CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO EN DOS ZONAS DE TABASCO, MÉXICO, CON POTENCIAL PARA CULTIVAR PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq)

QUALITY OF THE IRRIGATION WATER IN TWO ZONES OF TABASCO, MEXICO, WITH POTENTIAL TO CULTIVATE OIL PALM (*Elaeis guineensis* Jacq)

Palma-López, D.J.¹; Palma-Cancino, D.J.^{2*}; Jiménez-Jiménez, R.¹, Obrador-Olán, J.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina S/N Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 3. C.P. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. ²Universidad Politécnica del Golfo de México. Ranchería Monte Adentro S/N Carretera Federal Malpaso-El Bellote, Km. 171. C.P. 86600. Paraiso, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: plusdpc@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua de riego en tierras con aptitud para el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en dos áreas de Balancán y Tenosique, Tabasco, México. La información sobre la infraestructura de riego y los cuerpos de agua en el área de estudio fue recopilada e integrada en una base de datos y mapas, para alimentar al sistema de Información Geográfica (SIG). Para la elaboración del mapa de la ubicación de los cuerpos de agua, fueron digitalizadas 36 ortofotos tomadas en 2003. Se recolectaron 16 muestras de 1 L de agua, sobre la margen del río Usumacinta, para su posterior análisis y clasificación. Los resultados indicaron, que la mayoría es de buena calidad y que puede ser usada para el riego de palma de aceite y de otros cultivos. Sólo cuatro están condicionadas por la Relación de Absorción de Sodio (RAS), tres por cloruros, tres por boro y una más por el contenido de Carbonato de Sodio Residual (CSR).

Palabras clave: clasificación de aguas, irrigación, río Usumacinta.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the quality of irrigation water in lands with aptitude for the cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in two areas of Balancán and Tenosique, Tabasco, México. The information about the irrigation infrastructure and the bodies of water in the study area was gathered and integrated into a database and maps, to feed the Geographic Information System (GIS). For the map elaboration of the location of the bodies of water, 36 orthophotos taken in 2003 were digitalized. Sixteen (16) samples of 1 L of water were gathered on the bank of the Usumacinta River, for their later analysis and classification. The results indicated that most of it is of good quality and can be used for the irrigation of oil palm and other crops. Only four are conditioned by the Relation of Sodium Absorption (RSA), three for chlorides, three for boron, and one more for the content of Residual Sodium Carbonate (RSC).

Keywords: water classification, irrigation, Usumacinta River.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp. 64-70.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

La demanda del agua crece constantemente tanto para agricultura como para uso urbano e industrial; el sector que más agua utiliza es el agrícola, con cerca de 70 % del agua de los ríos y acuíferos (Shiklomanov, 2000). En muchos países en desarrollo se usa hasta 90 % del agua para irrigación (FAO, 2010). El riego se hace necesario en la agricultura debido a las condiciones climáticas imperantes de un lugar, siendo la distribución de la lluvia la de mayor importancia. Las altas tasas de evaporación y características de la precipitación tropical, son el principal problema en relación a la disponibilidad para los cultivos, particularmente en el llamado trópico seco (Larios-Romero y Hernández, 1992).

En México, el mayor uso es el agrícola, con 77 % del volumen concesionado para uso consuntivo. La superficie cosechada varía entre 18 y 22 millones de hectáreas anualmente. La superficie bajo riego representa 6.11 millones de hectáreas, agrupadas en 85 Distritos de Riego (54 % de la superficie bajo riego) y más de 39 mil Unidades de Riego (46 % restante) (SINA, 2008). La agricultura predominante en Tabasco, México, es básicamente de temporal; el éxito de las cosechas obtenidas en sus cultivos está fuertemente influenciado por las interacciones climáticas, debido al régimen de lluvia. La interacción entre temperatura, precipitación, nubosidad y evaporación, prevalecientes en Tabasco, definen tres épocas en el año denominadas: secas, temporal y nortes (SIAP, 2007). En Tabasco, se encuentran establecidas 186 unidades de riego que cubren 15,100 ha, sin embargo, existe el interés en aumentar esta superficie, por lo

que, entre otros estudios, se deben considerar aspectos fundamentales sobre la aptitud de los suelos y la calidad del agua a utilizar para el riego, así como las necesidades hídricas de los cultivos; con el fin de planear políticas estratégicas que fortalezcan el desarrollo comunitario sin descuidar la conservación de los recursos naturales, suelo y agua (Aceves-Navarro, 2011). La calidad del agua se refiere a las características de ésta, que influyen sobre su aptitud para un uso específico. El estudio de la calidad de agua para riego es un paso indispensable al emprender un proyecto de riego, y ésta debe evaluarse con base en la potencialidad de ésta para no producir efectos dañinos al suelo, a los cultivos, a los animales y personas que consumen los productos agrícolas (Aceves-Navarro, 2011).

Algunos parámetros a evaluar durante el análisis de la calidad de riego, son la Relación de Absorción de Sodio (RAS) y el contenido de Carbonato de Sodio Residual (CSR). El primero evalúa la cantidad de sodio disuelta en el agua, contrastándola con la cantidad de magnesio y calcio. Altos niveles de RAS podrían resultar en un daño de la estructura del suelo y en problemas de reducción de infiltración de agua y aire (Bresler *et al.*, 1982).

El cálculo de carbonato de sodio residual (CSR) indica que cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el de calcio más magnesio, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio debido a que por su alta solubilidad puede permanecer en solución, aún después de que se hayan precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones, la concentración

total y relativa de sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y magnesio del complejo de intercambio, favoreciendo la defloculación del suelo (Aguilera y Martínez, 1996). El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua para riego en tierras con aptitud para el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en dos zonas de Balancán y Tenosique, Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprendió áreas de Balancán y Tenosique, Tabasco, México. La superficie total comprendida fue de 141,823 ha localizadas (636703 a 676588 y 1989488 1925140 UTM). Se recabó información relacionada con la infraestructura de riego, cuerpos de agua y ríos del área de estudio, dicha información se integró en una base de datos y posteriormente se transfirió a mapas para su integración al Sistema de Información Geográfica (SIG). Para la elaboración del mapa que muestra la ubicación de los cuerpos de agua se realizó la digitalización de 36 ortofotos correspondientes al área de estudio tomadas en 2003. Para determinar los sitios de toma de muestras de agua, se compiló información de las fuentes de agua presentes en el área de estudio que permitiera la caracterización del agua, tipo de uso, características del equipo de riego, cultivo y época de siembra. Se recolectó 1 L de agua de diferentes fuentes, entre ellas, el río Usumacinta, pozos para riego, jagüeyes, riachuelos y lagunas, el protocolo de muestro se basó en la NOM-250-SSA1-2014. Las muestras fueron enviadas para su análisis al Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados campus Tabasco. Los métodos químicos para el diag-

nóstico de la calidad del agua fueron los establecidos por la NOM-250-SSA1-2014 (SEMARNAT, 2016).

La clasificación de las diferentes muestras de agua se realizó según la metodología citada por Salgado-García *et al.* (2013), la cual permite conocer los límites de valores máximos y mínimos permisibles para la utilización de aguas con fines de riego agrícola (Cuadro 1).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Elaboración de mapas

Se obtuvo un mapa que muestra la ubicación de los cuerpos de agua y sistemas de riego existentes en el área de estudio, así como la ubicación de las muestras de agua analizadas (Figura 1). El análisis químico fue realizado a 16 muestras de agua, 11 colectadas en Balancán y cinco en Tenosique. De las muestras recolectadas, seis fueron provenientes de pozo, cinco de lagunas, dos de jagüeyes, dos del río Usumacinta y una más de riachuelo (Cuadro 2).

Se estudiaron las limitantes presentes en 16 muestras de agua colectadas en el área de estudio, con la finalidad de determinar si dichas fuentes de agua pueden ser utilizadas con fines de riego agrícola. Los resultados de laboratorio de dichas muestras de agua analizadas se muestran en el Cuadro 3. La clasificación de las diferentes muestras de agua fue realizada con base en estándares citados por Salgado-García *et al.* (2013), y en el Cuadro 4 se muestran los cálculos de indicadores y clasificación de aguas. La principal limitante para la planificación y puesta en marcha de un proyecto de irrigación es la cantidad de agua disponible (Ángeles-Montiel, 2002), sin embargo, dicha limitante no existe en el área de estudio (Velázquez, 1994), por cual la limitante a evaluar fue la calidad del agua existente. Aguilera y Martínez (1996), mencionan que

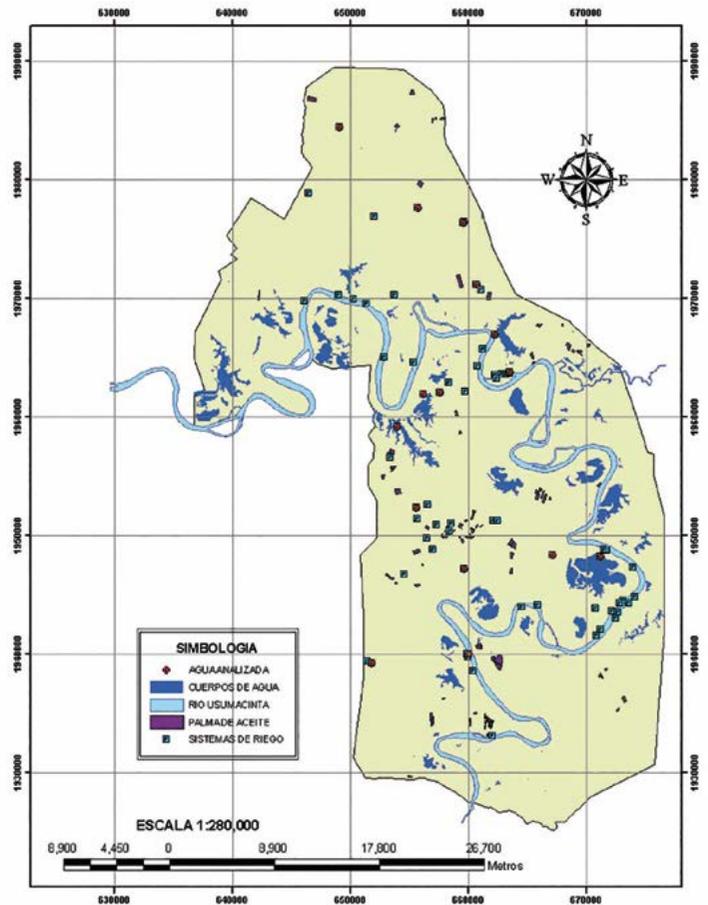


Figura 1. Mapa de parcelas de palma de aceite, los sistemas de riego existentes y cuerpos de agua como posibles fuentes de agua para el riego.

la salinidad efectiva (SE) es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, pues consideran la precipitación ulterior de las sales menos solubles (carbonato de calcio y carbonato de magnesio así como el sulfato de calcio), las cuales dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo. Mientras que la salinidad potencial (SP) es un índice para cuando el suelo tiene una humedad aprovechable menor del 50 % y las últimas sales que quedan en solución son cloruros y sulfatos, la SP indica el peligro de estas sales al favorecer el aumento de la presión osmótica.

De acuerdo al Cuadro 4 de clasificación de las muestras de agua analizadas, se registraron nueve muestras (494-497, 502, 504 y 628-630), procedentes de aguas de buena calidad que pueden ser usadas para el riego de la gran mayoría de cultivos y suelos, con un mínimo de cuidados en el suelo y aguas.

Cuadro 1. Sistema de clasificación de agua para riego (Palacios y Aceves, 1970).

| Criterios | Índices y numerales | Abreviaturas |
|---|--|-------------------|
| 1. Contenido de sales solubles. | 1. Conductividad eléctrica. 2. Salinidad efectiva. 3. Salinidad potencial. | CE SE SP |
| 2. Efecto probable del sodio sobre las características físicas. | 1. Relación de adsorción de sodio. 2. Carbonato de sodio residual. 3. Por ciento de sodio posible. | RAS CSR PSP |
| 3. Contenido de elementos tóxico para las plantas. | 1. Contenido de boro. 2. Contenido de cloruro. | B Cl |

Cuadro 2. Ubicación de las muestras de agua recolectadas.

| COORDENADAS UTM | | FUENTE | MUNICIPIO | MUESTRA |
|-----------------|---------|----------------------|-----------|---------|
| X | Y | | | |
| 649044 | 1984448 | POZO | BALANCÁN | 494 |
| 655757 | 1977655 | POZO | BALANCÁN | 495 |
| 659699 | 1976481 | POZO | BALANCÁN | 496 |
| 659588 | 1976420 | POZO | BALANCÁN | 497 |
| 660735 | 1971165 | POZO | BALANCÁN | 498 |
| 663557 | 1963790 | RIO USUMACINTA | BALANCÁN | 499 |
| 657598 | 1962083 | POZO | BALANCÁN | 500 |
| 656223 | 1961906 | LAGUNA EL LECHUGAL | BALANCÁN | 501 |
| 655568 | 1952410 | JAGÜEY | BALANCÁN | 502 |
| 653996 | 1959173 | LAGUNA LEONA VICARIO | BALANCÁN | 503 |
| 662298 | 1966990 | LAGUNA SUNINA | BALANCÁN | 504 |
| 651823 | 1939301 | JAGÜEY | TENOSIQUE | 627 |
| 671193 | 1948227 | LAGUNA CANITZAN | TENOSIQUE | 628 |
| 667142 | 1948343 | RIACHUELO | TENOSIQUE | 629 |
| 659679 | 1947187 | LAGUNA | TENOSIQUE | 630 |
| 660029 | 1940041 | RIO USUMACINTA | TENOSIQUE | 631 |

Los problemas de toxicidad se diferencian de los de salinidad, porque los primeros ocurren en el interior de la planta, cuando un ion absorbido se acumula en las hojas, por efecto de la transpiración, hasta un nivel que daña la planta y los segundos en el suelo. Los elementos contenidos en las aguas de riego que pueden causar daño en forma individual o combinada son el cloro (Cl), sodio (Na) y boro (B) (Maas, 1986). La toxicidad más común a partir del agua de riego es la producida por Cl, el cual no es adsorbido por el suelo, y se mueve fácilmente en la solución desde donde es absorbido por la planta y circula en ella hasta acumularse en las hojas. Si la concentración sobrepasa la tolerancia del cultivo aparecen claros síntomas de toxicidad que incluyen hojas quemadas y necrosis de tejidos (Barrios *et al.*, 2003). En los cultivos sensibles, los síntomas ocurren cuando la concentración de Cl alcanza niveles de 0.3 % a 1.0 % del peso seco, aunque algunos árboles frutales muestran síntomas importantes en el límite inferior del rango (Palma-López *et al.*, 2003). Las muestras de agua 498, 499 y 503 presentan restricciones para ser utilizadas como fuente de agua de riego, debido a los niveles de Cl encontrados en dichas muestras (1.17, 2.42 y 1.08 meq L⁻¹, respectivamente), no obstante entran dentro del límite permisible para el agua de riego al ser menores a 5.0 meq L⁻¹, cantidad que se considera no recomendable (Salgado-García *et al.*, 2013). Considerando que la palma de aceite es un cultivo tolerante al Cl, las aguas correspondientes a dichas muestras pueden ser utilizadas como fuente de agua para su riego, mientras que las concentraciones no sobrepasen el umbral mayor a 10 meq L⁻¹, que podría resultar letal para la planta (Barrios *et al.*, 2003). Del total de muestras de agua analizadas, únicamente tres (501, 503 y 627) fueron clasificadas como condicionadas para ser utilizadas como fuente de agua de riego, debido a los niveles de B registrados de 0.4, 0.4 y 0.6 mg L⁻¹, respectivamente. En las demás muestras la cantidad de B no fue considerada como limitante, ya que las concentraciones fueron me-

nores a 0.30 mg L⁻¹ (Howe, 1998). Pero, considerando que la palma de aceite es un cultivo tolerante al B, concentraciones mayores a 2 mg L⁻¹ pueden ser letales (Howe, 1998), las aguas correspondientes a dichas muestras pueden ser utilizadas como fuente de agua para el riego en palma de aceite.

Las muestras 498 y 499 están condicionadas por Cl y RAS. De acuerdo con el cuadro de clasificación, esta agua se condiciona por su contenido de Cl aplicable sólo en cultivos muy sensibles. Esta agua es recomendable para suelos orgánicos o de textura ligera; no así para suelos minerales de textura pesada. Los suelos predominantes en el área de estudios, son los Leptosoles y Luvisoles (Palma-López *et al.*, 2007). Considerando la RAS, puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado, aunque en Tabasco no se practica el lavado de suelos agrícolas, ya que la presencia de precipitación es constante a lo largo del año, y evita la necesidad de esta técnica. En casi todos los casos se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a sales y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad.

La muestra 500 procedente de la Laguna Colorada, está condicionada por CSR y por RAS, por lo que, al utilizar esta agua como fuente de riego, se debe tener especial cuidado, dado que existe la posibilidad que se formen carbonatos de sodio, debido a que su alta solubilidad le permite permanecer en solución aún después de que se han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones la concentración total y relativa de sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y magnesio de

Cuadro 3 Resultados de laboratorio de las muestras de agua analizadas.

| MUESTRA | SITIO DE MUESTREO | pH | CE dS m ⁻¹ | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | meq L ⁻¹ | | | | | | B mg L ⁻¹ | FECHA |
|---------|--|------|--------------------------|-----------------|------------------|------|-----------------|---------------------|------|------|------|------|------|-------------------------|-------|
| | | | | | | | | Ca | Mg | Na | K | Ca | Mg | | |
| 1494 | RANCHERÍA LAS DELICIAS, CAMPO ALTO | 5.21 | 0.050 | NSD | 0.51 | 0.75 | NSD | 0.03 | 0 | 0.01 | 0.24 | 0.11 | 0.11 | 14/01/2008 | |
| 495 | RANCHERÍA XOCHIMILCO, GUAJIMALPA | 5.71 | 0.080 | NSD | 0.51 | 0.83 | NSD | 0.05 | 0.03 | 0.10 | 0.3 | 0.11 | 0.11 | | |
| 496 | VIVERO PROPLANSE | 5.43 | 0.050 | NSD | 0.51 | 0.75 | NSD | 0.02 | 0 | 0.01 | 0.24 | 0.06 | 0.06 | | |
| 497 | VIVERO PROPLANSE | 5.43 | 0.090 | NSD | 0.51 | 0.75 | NSD | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.66 | 0.17 | 0.17 | | |
| 498 | RANCHERÍA SUNINA | 4.71 | 0.280 | NSD | 0.51 | 1.17 | NSD | 0.23 | 0.03 | 0.64 | 1.43 | 0.11 | 0.11 | | |
| 499 | RIO USUMACINTA | 7.35 | 0.480 | 0.51 | 2.86 | 2.42 | NSD | 0.03 | 3.56 | 1.21 | 0.19 | 0.17 | 0.17 | | |
| 500 | RANCHERÍA 2 ARBOLITOS, LAGUNA COLORADA | 7.39 | 0.330 | 0.51 | 3.20 | 0.83 | NSD | 0.10 | 1.44 | 0.50 | 0.55 | 0.17 | 0.17 | | |
| 501 | LAGUNA EL LECHUGAL | 7.27 | 0.170 | NSD | 2.36 | 0.75 | NSD | 0.08 | 0.66 | 0.48 | 0.24 | 0.40 | 0.40 | | |
| 502 | EJIDO EL ARENAL | 6.70 | 0.060 | NSD | 0.51 | 0.67 | NSD | 0.06 | 0.01 | 0.05 | 0.24 | 0.29 | 0.29 | | |
| 503 | LAGUNA LEONA VICARIO | 6.96 | 0.100 | NSD | 1.18 | 1.08 | NSD | 0.09 | 0.25 | 0.23 | 0.22 | 0.4 | 0.4 | | |
| 504 | LAGUNA SUNINA | 7.03 | 0.100 | NSD | 0.10 | 0.92 | NSD | 0.08 | 0.21 | 0.16 | 0.26 | 0.29 | 0.29 | | |
| 627 | SANTA LUCIA (JAGUEY) | 5.98 | 0.029 | NSD | 0.51 | 0.83 | NSD | 0.09 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | 0.60 | 0.60 | 28/01/2008 | |
| 628 | LAGUNA CANITZAN | 6.89 | 0.202 | 0.34 | 2.02 | 0.83 | NSD | 0.05 | 1.01 | 0.64 | 0.16 | 0.43 | 0.43 | | |
| 629 | EL MANANTIAL | 6.46 | 0.041 | NSD | 0.51 | 0.83 | NSD | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.20 | 0.34 | 0.34 | | |
| 630 | EJIDO GUAYACAN | 5.95 | 0.048 | NSD | 0.67 | 0.83 | NSD | 0.07 | 0.15 | 0.08 | 0.16 | 1.20 | 1.20 | | |
| 631 | RIO USUMACINTA, EJIDO CENTRO USUMACINTA | 7.72 | 0.518 | 0.51 | 2.86 | 0.83 | NSD | 0.02 | 2.89 | 1.48 | 0.17 | 0.30 | 0.30 | | |

† NUMERO DE MUESTRA ASIGNADO EN EL LABORATORIO.

NSD=No se Determinó.

Cuadro 4 Cálculo de indicadores para la clasificación de aguas.

| MUESTRA | SITIO DE MUESTREO | ↘ DE CATIONES | ↘ DE ANIONES | SALINIDAD EFECTIVA | SALINIDAD POTENCIAL | CSR | RAS | CLORO | BORO | CLASIFICACIÓN POR | | | | | |
|---------|---|---------------|--------------|--------------------|---------------------|-------|-------|-------|------|--------------------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| | | | | | | | | | | Salinidad efectiva | Salinidad potencial | CSR | Cl | RAS | BORO |
| 1494 | RANCHERÍA LAS DELICIAS, CAMPO ALTO | 0.28 | 1.26 | 0.27 | 0.75 | 0.5 | 3.394 | 0.75 | 0.11 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 495 | RANCHERÍA XOCHIMILCO, GUAJIMALPA | 0.48 | 1.34 | 0 | 0 | 0.41 | 1.176 | 0.83 | 0.11 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 496 | VIVERO PROPLANSE | 0.27 | 1.26 | 0 | 0 | 0.5 | 3.394 | 0.75 | 0.06 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 497 | VIVERO PROPLANSE | 0.73 | 1.26 | 0 | 0 | 0.47 | 4.666 | 0.75 | 0.17 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 498 | RANCHERÍA SUNINA | 2.33 | 1.68 | 1.82 | 1.17 | -0.16 | 2.470 | 1.17 | 0.11 | BUENA | BUENA | BUENA | CONDICIONADA | C2-S1 | BUENA |
| 499 | RIO USUMACINTA | 4.99 | 5.79 | 1.62 | 2.42 | -1.4 | 0.123 | 2.42 | 0.17 | BUENA | BUENA | BUENA | CONDICIONADA | C2-S1 | BUENA |
| 500 | RANCHERÍA 2 ARBOLITOS, LAGUNA COLORADA | 2.59 | 4.54 | 0.65 | 0.83 | 1.77 | 0.558 | 0.83 | 0.17 | BUENA | BUENA | CONDICIONADA | BUENA | C2-S1 | BUENA |
| 501 | LAGUNA EL LECHUGAL | 1.46 | 3.11 | 0 | 0 | 1.22 | 0.317 | 0.75 | 0.40 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | CONDICIONADA |
| 502 | EJIDO EL ARENAL | 0.36 | 1.18 | 0 | 0 | 0.45 | 1.385 | 0.67 | 0.29 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 503 | LAGUNA LEONA VICARIO | 0.79 | 2.26 | 0 | 0 | 0.7 | 0.449 | 1.08 | 0.40 | BUENA | BUENA | BUENA | CONDICIONADA | C1-S1 | CONDICIONADA |
| 504 | LAGUNA SUNINA | 0.71 | 1.02 | 0 | 0 | -0.27 | 0.604 | 0.92 | 0.29 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 627 | SANTA LUCIA (JAGÜEY) | 0.23 | 1.34 | 0 | 0 | 0.43 | 0.300 | 0.83 | 0.60 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | CONDICIONADA |
| 628 | LAGUNA CANITZAN | 1.86 | 3.19 | 0 | 0 | 0.71 | 0.176 | 0.83 | 0.16 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 629 | EL MANANTIAL | 0.31 | 1.34 | 0 | 0 | 0.45 | 1.154 | 0.83 | 0.20 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 630 | EJIDO GUAYACAN | 0.46 | 1.5 | 0 | 0 | 0.44 | 0.471 | 0.83 | 0.16 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C1-S1 | BUENA |
| 631 | RIO USUMACINTA, EJIDO CENTRO USUMACINTA | 4.56 | 4.2 | 1.19 | 0.83 | -1 | 0.115 | 0.83 | 0.17 | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | C2-S1 | BUENA |

† NUMERO DE MUESTRA ASIGNADO EN EL LABORATORIO.

la solución del complejo de intercambio, produciendo la defloculación del suelo (Martínez *et al.*, 2008). Para evitar lo anterior (defloculación), se debe contar con drenaje en las áreas de cultivo para reducir el riesgo de compactación de suelo, asimismo, se recomienda realizar el subsoleo para evitar el encostramiento y formación del piso de arado en el suelo. Además, los agricultores deben tener muy en cuenta los riegos hacia sus parcelas en tiempo y volúmenes (dosificación), emplear metodologías de control de salinidad e implementar la incorporación de materia orgánica en las parcelas, con la finalidad de mejorar el suelo. Sin embargo, por ser zonas bajas inundables, el control de salinidad suele ser poco necesario para la región estudiada; ya que por el constante lavado de los suelos, no existe un riesgo importante de salinización de los suelos.

La muestra 503 está condicionada por el contenido de cloruros y boro. Para el caso del cloruro, el problema se puede solucionar impidiendo su acumulación en el suelo al mantener una fracción adecuada de lavado del suelo. Tratando siempre de monitorear los niveles de cloruro para que no se conviertan en problemas a futuro, ya que en cultivos muy sensibles pueden ocasionar quemaduras al follaje cuando se emplea el riego por aspersión. Para el caso del boro, también está condicionada, debido a que éste causaría problemas a cultivos muy sensibles, no así en la palma de aceite, por lo que esta agua se puede utilizar para el riego, únicamente se debe descartar un sobre riego ya que esto pudiera aumentar las concentraciones de cloro y afectar el crecimiento de los cultivos. La muestra 631, procedente del río Usumacinta, está limitada por el RAS, aunque según la clasificación puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado.

En general, las muestras de aguas analizadas con fines de riego en el área de estudio están condicionadas por la RAS (498-500 y 631), cloruros (498, 499 y 503), boro (501, 503 y 627) y una más (500) por el contenido de CSR.

CONCLUSIONES

La palma de aceite puede cultivarse sin problema, ya que en la zona la elevada presencia de precipitaciones ayuda a que los lavados de sales se realicen anualmente y de forma cíclica, reduciendo considerablemente el riesgo de salinidad. Para el uso de esta agua en palma, es necesario considerar la adición de boro, además del existente en el suelo. Se recomien-

da, además, realizar estudios periódicos de calidad del agua en las zonas agrícolas del área caracterizada con la finalidad de poder inferir riesgos potenciales de daños a los suelos y cultivos y, de manera indirecta, a los consumidores por presencia de agentes potencialmente tóxicos, desde biológicos (coliformes fecales, bacterias facultativas), metales pesados, plaguicidas, químicos disueltos, exceso de sales, entre otros.

LITERATURA CITADA

- Aceves-Navarro E. 2011. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de Postgraduados, Mundi Prensa. México. 203 p.
- Aguilera S. A., Martínez E. R. 1996. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo. México. 256 p.
- Ángeles-Montiel V. 2002. Diseño Agronómico de Sistemas de Riego Presurizados. Universidad Autónoma Chapingo. México. 168 p.
- Barrios R., Arteaga A., Florentino A., Amaya G. 2003. Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. UDO Agrícola 3 (1): 39-46.
- Bresler E. B., McNeal L., Carter D. L. 1982. Saline and sodic soils: Principles- Dynamics-Modeling. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg. New York. 236 p.
- Canovas C. J. 1986. Calidad agronómica de las aguas de riego. Servicio de extensión Agraria. España. 190 p.
- FAO. 2010. Statistical Database (FAOSTAT). <http://faostat.fao.org/2010>.
- Howe P.D. 1998. A review of boron effects in the environment. Biological Trace Elemental Research 66: 153-166.
- Larios-Romero J., Hernández J. 1992. Fisiografía, ambientes y uso agrícola de la tierra en Tabasco, México. Ed. Unidad de Centros Regionales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 130 p.
- Maas E.V. 1986. Salt tolerance of plants. Applied Agricultural Research 1:12-26.
- Martínez H.E., Fuentes E. J., Acevedo H. E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 8 (1): 68-96.
- Palma-López D. J., Bernabé A. V., Rincón-Ramírez J. A., Moreno-Cáliz E., López-Castañeda A., Escanga V. 2003. Infraestructura de riego y diagnóstico de erosión en el estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados. México. 22 p.
- Palma-López D. J., Cisneros D. J., Moreno-Cáliz E., Rincón-Ramírez J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. México. 195 p.
- Salgado-García S., Palma-López D. J., Castelán-Estrada M., Lagunes-Espinoza L. C., Ortiz L. H. 2013. Manual para muestreo de suelos, plantas y agua e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados campus Tabasco. México. 101 p.
- SEMARNAT. 2016. Norma Oficial Mexicana NOM-250-SSA1-2014, Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua y requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, su control y vigilancia. Procedimiento sanitario de muestreo.
- Shiklomanov I. A. 2000. Appraisal and assessment of world water Resources. Water International 25 (1): 11-32.
- SIAP. 2007. Anuario estadístico. México, DF. 131 p.
- SINA. 2008. Información sobre el agua en México. México, D.F.
- Velázquez V. G. 1994. Los recursos hidráulicos del estado de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. 242 p.

CLASIFICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE SUELOS DEL ESTADO DE CAMPECHE, MÉXICO

CLASSIFICATION AND CARTOGRAPHY OF SOILS IN THE STATE OF CAMPECHE, MEXICO

Palma-López, D.J.¹; Zavala-Cruz, J.^{1*}; Bautista-Zúñiga, F.²; Morales-Garduza, M.A.¹; López-Castañeda, A.³; Shirma-Torres, E.D.¹; Sánchez-Hernández, R.⁴; Peña-Peña, A.J.¹; Tinal-Ortiz, S.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. México. ²Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA) Morelia, Michoacán. México. ³Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco. México. ⁴Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias.

*Autor de correspondencia: zavala_cruz@colpos.mx

RESUMEN

Se realizó un estudio de suelos en Campeche, México, utilizando como base la cartografía de paisajes geomorfológicos y relieves. El objetivo fue clasificar los tipos de suelos y determinar las superficies ocupadas por medio de cartografía. Para ello se realizaron 115 perfiles edafológicos distribuidos en diferentes relieves y se clasificaron a nivel de unidades de suelos de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso (WRB) versión 2007. Los suelos del estado de Campeche se clasifican en los siguientes grupos: Leptosoles (48.05%), Gleysoles (16.56%), Nitisoles (8.49%), Vertisoles (6.93%), Luvisoles (6.26%), Stagnosoles (2.71%), Histosoles (1.93%), Solonchaks (1.83%), Calcisoles (0.97%), Cambisoles (0.71%), Phaeozems (0.69%), Arenosoles (0.52%), Fluvisoles (0.35%) y Regosoles (0.23%); de estos se derivan 45 unidades de suelos representadas en cartografía a escala 1:250 000.

Palabras clave: suelos tropicales, levantamiento de suelos, karst.

ABSTRACT

A study was carried out of soils in Campeche, México, using as a base the cartography of geomorphologic landscapes and reliefs. The objective was to classify the types of soils and to determine the surfaces occupied through cartography. For that purpose, 115 soil profiles distributed into different reliefs were classified at the level of soil units according to the World Reference Base (WRB) version 2007. The soils from the state of Campeche are classified into the following groups: Leptosols (48.05%), Gleysols (16.56%), Nitisols (8.49%), Vertisols (6.93%), Luvisols (6.26%), Stagnosols (2.71%), Histosols (1.93%), Solonchaks (1.83%), Calcisols (0.97%), Cambisols (0.71%), Phaeozems (0.69%), Arenosols (0.52%), Fluvisols (0.35%) and Regosols (0.23%); and from these, 45 soil units are represented in cartography at a scale of 1:250 000.

Keywords: tropical soils, soil survey, karst.

INTRODUCCIÓN

El propósito de los estudios de suelos es obtener predicciones, sobre usos específicos de las tierras. Para ello es necesario determinar el patrón de distribución de suelos dividiendo la superficie del terreno en unidades relativamente homogéneas, cartografiar dichas unidades y caracterizar sus propiedades a modo de inferir su potencial productivo, además de evaluar las respuestas de las mismas ante diferentes alternativas de manejo.

En este sentido Porta *et al.* (2013), mencionan que es vital conocer las características del suelo ya que de la capacidad de este recurso dependen la vida y los medios de vida para la producción de alimentos para la sociedad. Buol *et al.* (1995), indican que el uso del recurso suelo se debe basar en su capacidad de proporcionar elementos esenciales, pues éstos son finitos y limitan, por ende, la productividad. A pesar de ello, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece (Bautista *et al.*, 2004). Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad, y su mal manejo se debe principalmente al desconocimiento y falta de atención en cuanto a sus características y fragilidades (PNUMA, 2002). En la actualidad existe la necesidad de aumentar los sistemas productivos derivados del campo del estado de Campeche, México, para lo cual, es necesario partir de los estudios de suelo, en los cuales se identifiquen los principales grupos y unidades de suelos, así como describir sus características. Con base en lo anterior, se clasificaron los tipos de suelos de Campeche, México, hasta el segundo nivel (unidades) por medio de la WRB y determinaron las superficies ocupadas por medio de cartografía a escala 1:250 000, usando el enfoque geopedológico (Zinck, 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estado de Campeche, México, tiene una extensión territorial de 57924 km², representa 2.9% de la superficie del país, cuenta con 425 km de litorales costeros. Se localiza en el sureste formando parte de la península de Yucatán, con una altitud media de 10 m (17° 48' y 20° 52' N y 89° 06' y 92° 27' O), presenta tres tipos de clima Aw (92% del territorio), Am (7.99%) y BS (0.01%) (INEGI 2015). Se recopiló la información cartográfica y bibliográfica sobre los suelos y ambientes geomorfológicos, y se generó una cartografía a escala 1: 250 000 con base en la identificación de regiones fisiográficas (Lugo y Córdova, 1992), sistemas terrestres, paisajes geomorfológicos (Bautista *et al.*, 2005) y relieves (Zinck, 2012). Sobre este mapa se

ubicaron 115 perfiles edafológicos tomando en cuenta la variabilidad del tipo de relieve y accesibilidad del área, y fueron descritas de acuerdo al manual de Cuauhtémoc (1990). Se realizaron análisis químicos y físicos de las muestras de cada horizonte de los suelos con base en las especificaciones técnicas de análisis de clasificación de suelos que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-021RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), la cual considera al pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N), fósforo asimilable (P), potasio (K⁺), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺) y sodio (Na⁺) intercambiables, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura. Con los datos obtenidos de los análisis químicos y la descripción en campo, se hizo la clasificación de los grupos y unidades de suelos de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo WRB (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Se precisaron los linderos mediante barrenaciones en zig-zag y compararon con datos de suelos generados por el INEGI (1984). Esta información se integró en un sistema de información geográfica (ArcGis versión 9.3) y se realizó el mapa final de suelos a escala 1:250 000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La clasificación de suelos efectuada indica que los grupos de suelos del estado de Campeche corresponden a los: Leptosoles, Gleysoles, Vertisoles, Arenosoles, Solonchaks, Fluvisoles, Nitisoles, Luvisoles, Cambisoles, Histosoles, Stagnosoles, Calcisoles, Phaeozems y Regosoles (Figura 1). Comparando estos resultados con

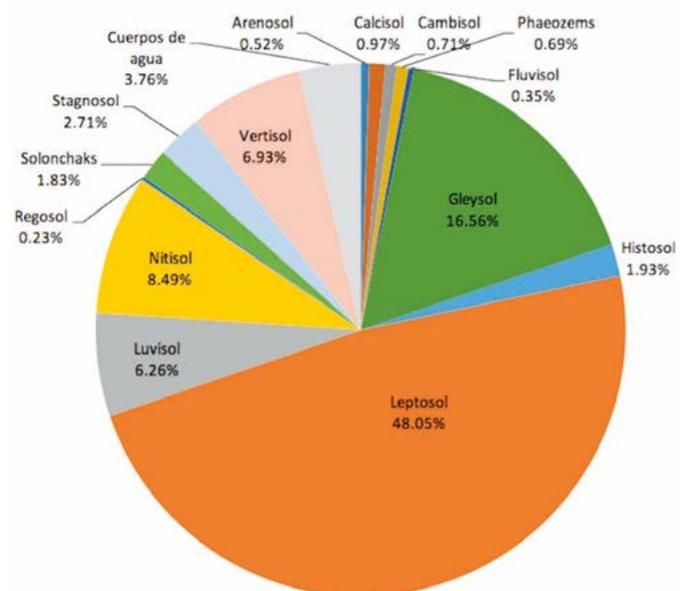


Figura 1. Distribución de los grupos de suelos del estado de Campeche, México.

los reportados por Bautista *et al.* (2010) e INEGI (2016), hay grupos de suelo que en este trabajo contabilizan mayor superficie: Arenosoles, Gleysoles, Histosoles, Leptosoles, Luvisoles y Nitisoles. Mientras que los Phaeozems, Regosoles, Solonchaks y Vertisoles evidenciaron menor porcentaje ocupado que en los dos trabajos mencionados. El grupo Lixisol que es registrado por INEGI (2016), no fue detectado en este estudio y tampoco lo reportó Bautista *et al.* (2010). Los Stagnosoles no los identificaron ninguno de los autores mencionados. Los Calcisoles y Cambisoles son reportados por Bautista *et al.* (2010) pero no por el INEGI (2016). Los grupos con sus unidades de suelo se representan cartográficamente en un mapa de suelos a escala 1: 250 000 (Figura 2), de acuerdo a la base geográfica de perfiles elaborados en este trabajo, estos se clasificaron en 45 unidades de suelos de acuerdo a la clasificación de IUSS Grupo de Trabajo WRB (2007) (Cuadro 1). Al respecto INEGI (2016), menciona 44 unidades de suelo determinadas por su calificador, pero con la versión de 1989 de la WRB.

Leptosoles (LP): representa el grupo de suelos con mayor superficie, pues ocupan cerca de 48 % del territorio. Son los suelos que están limitados en la profundidad por una roca dura y continua, o por material muy calcáreo. Estos suelos tienen menos de 25 cm de profundidad efectiva o bien presentan alta pedregosidad en el perfil que puede llegar hasta 75 cm de profundidad (modificador Esquelético). Se identificaron siete unidades, sobresaliendo LP Réndzico (Arcílico), LP Háplico (Éutrico, Esquelético) y LP Lítico (Calcárico) por su mayor área (Cuadro 1). Destaca la presencia de

los modificadores: Háplico (presenta la expresión típica de los horizontes del grupo de suelo), Éutrico (alto porcentaje de saturación de bases en la mayor parte del perfil), Esquelético (ya definido anteriormente), Lítico (profundidad efectiva del suelo de 10 cm o menos), Calcárico (tiene material calcárico entre 20 y 50 cm de profundidad), Mólico (presencia de un horizonte superficial muy oscuro y rico en materia orgánica), Arcílico (dominancia de texturas arcillosas en la mayor parte del perfil de suelo), Réndzico (horizonte Mólico que descansa sobre material parental de roca caliza pulverulenta) y Húmico (alto porcentaje de carbono orgánico en los primeros 40 cm de profundidad).

Gleysoles (GL): presentan dentro de los primeros 50 cm de la superficie del suelo mineral una capa de 25 cm o más de espesor que muestra condiciones reductoras en algunas partes y un patrón de color gléyico (colores grisáceos, azulosos o verdosos con o sin moteado ocre debido a los procesos de óxido-reducción del hierro y manganeso) en todo el espesor. Son suelos que sufren de anegamiento con agua dulce durante la mayor parte del año lo cual los restringe para su uso (Figura 3). Se identificaron diez unidades, de las cuales GL Mólico (Calcárico, Arcílico) ocupó la mayor superficie (Cuadro 1). Los modificadores nuevos que tiene este grupo con respecto al anterior son el Hístico (más de 30 % de materia orgánica dentro de los primeros 40 cm de profundidad), Sódico (tiene más de 15 % de Na+Mg intercambiables en los primeros 50 cm de profundidad) y Nóvico (tiene sedimentos de material edáfico nuevo en los primeros 10 cm de profundidad). Este grupo de suelo representó gran parte del territorio con cerca de 16.5% de la superficie total.

Luvisoles (LV): suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que lleva a la formación de un horizonte subsuperficial denominado árgico. Son suelos de moderadamente profundos a profundos, de buena productividad y moderadamente ácidos. Se identificaron nueve unidades donde LV Léptico (Hiperéutrico, Arcílico) tiene mayor extensión (Cuadro 1 y Figura 2). Los modificadores que se identificaron en este grupo, dentro de los primeros 100 cm de profundidad indicados por la WRB, fueron el Cutánico (presenta cutanes o revestimientos de arcilla en el horizonte árgico), Gléyico (tiene condiciones de reducción y un patrón de color gléyico en al menos 25 cm), Hiperéutrico (tiene una saturación de bases de 80 % o más en alguna capa), Arénico (presenta textura arenosa dominante), Férrico (presenta segregación de Fe, moteados rojos con nódulos de Fe, que forman un horizonte férrico), Léptico (tiene roca continua) y Nítico (presenta colores rojos brillantes que constituyen un horizonte nítico). También se identificó el calificador Crómico (tiene una capa dentro de los 150 cm de profundidad de colores rojizos).

Vertisoles (VR): suelos muy arcillosos que desarrollan grietas anchas y profundas cuando están secos, lo que ocurre en la mayoría de los años. El nombre de Vertisoles se refiere al reciclado interno constante del material de suelo. Son muy fértiles, pero con graves problemas de laboreo debido al endurecimiento en la época de secas y al anegamiento en época de lluvias, lo cual influye en un desarrollo pobre de raíces. Ocupan el 6.93 % del territorio y se identificaron cinco unidades, de las cuales sobresalen VR Gléyico

Cuadro 1. Unidades de suelos del estado de Campeche, México.

| Tipos de suelos | Clave | ha | % |
|---|--------------|-----------|-------|
| Arenosol Endoglético (Éutrico) | ARnd(eu) | 29064.2 | 0.5 |
| Calcisol Endoglético (Sódico) | CLnd(so) | 54043.1 | 0.9 |
| Cambisol Glético (Húmico, Arcílico) | CMgl(huce) | 39201.7 | 0.7 |
| Phaeozem Réndzico (Arcílico) | PHrz(ce) | 38551.1 | 0.7 |
| Fluvisol Glético (Éutrico) | FLgl(eu) | 19298.2 | 0.3 |
| Gleysol Hístico (Calcárico, Sódico) | GLhi(caso) | 3389.1 | 0.1 |
| Gleysol Háptico (Húmico, Arcílico, Nórico) | GLha(hucenv) | 19059.3 | 0.3 |
| Gleysol Háptico (Calcárico, Húmico, Arcílico) | GLha(cahuce) | 13004.0 | 0.2 |
| Gleysol Mólico (Húmico, Sódico, Arcílico) | GLmo(husoce) | 1552.8 | 0.0 |
| Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico) | GLmo(cace) | 624854.5 | 10.8 |
| Gleysol Mólico (Calcárico, Arcílico, Nórico) | GLmo(cacenv) | 40982.1 | 0.7 |
| Gleysol Mólico (Calcárico, Húmico, Arcílico) | GLmo(cahuce) | 107223.0 | 1.9 |
| Gleysol Mólico (Calcárico, Sódico) | GLmo(caso) | 41511.3 | 0.7 |
| Gleysol Mólico (Calcárico, Sódico, Arcílico) | GLmo(casoce) | 20846.6 | 0.4 |
| Gleysol Mólico (Éutrico, Arcílico) | GLmo(euce) | 51351.1 | 0.9 |
| Histosol Sáfico (Éutrico) | HSsz(eu) | 107513.2 | 1.9 |
| Leptosol Háptico (Éutrico, Esquelético) | LPha(eusk) | 589983.5 | 10.2 |
| Leptosol Lítico (Calcárico) | LPli(ca) | 307187.7 | 5.3 |
| Leptosol Mólico (Arcílico) | LPmo(ce) | 21083.5 | 0.4 |
| Leptosol Réndzico (Esquelético) | LPrz(sk) | 108067.7 | 1.9 |
| Leptosol Réndzico | LPrz | 1329352.5 | 23.0 |
| Leptosol Réndzico (Arcílico) | LPrz(ce) | 152098.6 | 2.6 |
| Leptosol Réndzico (Húmico, Esquelético) | LPrz(husk) | 163126.2 | 2.8 |
| Luvisol Cutánico Glético (Hiperéutrico, Arcílico) | LVctgl(hece) | 22113.2 | 0.4 |
| Luvisol Cutánico, Glético (Hiperéutrico, Arénico) | LVctgl(euar) | 1867.1 | 0.0 |
| Luvisol Glético (Hiperéutrico, Arcílico) | LVgl(hece) | 1888.5 | 0.0 |
| Luvisol Háptico (Férrico, Hiperéutrico) | LVha(frhe) | 9726.1 | 0.2 |
| Luvisol Háptico (Férrico, Crómico) | LVha(frchr) | 37453.9 | 0.6 |
| Luvisol Háptico (Hiperéutrico, Esquelético, Arcílico) | LVha(heskce) | 57666.6 | 1.0 |
| Luvisol Háptico (Húmico, Hiperéutrico) | LVha(huhe) | 35448.8 | 0.6 |
| Luvisol Léptico (Hiperéutrico, Arcílico) | LVle(hece) | 127754.0 | 2.2 |
| Luvisol Nítico (Férrico, Hiperéutrico) | LVni(frhe) | 53783.9 | 0.9 |
| Nitisol Háptico (Éutrico, Ródico) | NTha(euro) | 417377.8 | 7.2 |
| Nitisol Mólico (Húmico, Éutrico) | NTmo(hueu) | 52709.3 | 0.9 |
| Nitisol Mólico (Éutrico, Ródico) | NTmo(euro) | 1950.9 | 0.0 |
| Regosol Endoglético (Calcárico, Sódico) | RGng(caso) | 12752.2 | 0.2 |
| Solonchak Glético (Arénico) | SCgl(ar) | 70852.5 | 1.2 |
| Solonchak Glético (Carbonático, Arcílico) | SCgl(cnce) | 31036.1 | 0.5 |
| Stagnosol Endoglético (Húmico, Éutrico) | STng(hueu) | 119818.6 | 2.1 |
| Stagnosol Mólico (Calcárico, Arcílico) | STmo(cace) | 32410.3 | 0.6 |
| Vertisol Glético (Calcárico) | VRgl(ca) | 216001.4 | 3.7 |
| Vertisol Glético (Calcárico, Húmico) | VRgl(cahu) | 81860.6 | 1.4 |
| Vertisol Glético (Calcárico, Pélico) | VRgl(cape) | 91579.1 | 1.6 |
| Vertisol Glético (Húmico) | VRgl(hu) | 103750.0 | 1.8 |
| Vertisol Glético (Éutrico) | VRgl(eu) | 107809.9 | 1.9 |
| Cuerpo de agua | CA | 209062.4 | 3.6 |
| Total | | 5779018.3 | 100.0 |

(Calcárico) (Cuadro 1). Para este grupo de suelos solo se identificó un modificador diferente a los ya definidos: Pélico (Vertisoles que tienen al menos en los primeros 30 cm de profundidad colores muy oscuros no debidos a la gleyzación).

Solonchaks (SC): este tipo de suelo tiene como característica principal un horizonte sub superficial sálico dentro de los primeros 50 cm de profundidad, lo cual se confirma al presentar una $CE > 15 \text{ dS m}^{-1}$. Son suelos salinos donde solo crecen especies halófitas, predominando los manglares. Se identificaron dos unidades de las cuales el SC Gléyico (Arénico) tuvo mayor área (Cuadro 1). Este grupo tuvo únicamente un modificador diferente referido al Carbonático (Solonchaks cuyo horizonte sálico tiene pH de 8.5 o más).

Stagnosoles (ST): suelos con un manto freático colgado que provoca rasgos redoximórficos causados por el anegamiento (encharcamiento) en los primeros horizontes. Están periódicamente mojados y presentan colores grises con moteados rojizos en el suelo superficial y subsuelo, con o sin concreciones y/o decoloración. Son suelos relativamente fértiles, donde los cultivos tienen problemas debido al encharcamiento superficial, en época de lluvias. Se identificaron dos unidades y sobresalieron el ST Endogléyico (Húmico, Éutrico) (Cuadro 1). En este grupo de suelos únicamente se registró un modificador diferente a los ya definidos: Endogléyico (presenta condiciones reductoras y patrón de color gléyico entre 50 y 100 cm de profundidad).

Arenosoles (AR): Comprenden suelos arenosos, incluyendo tan-

to suelos desarrollados en arenas residuales y suelos desarrollados en arenas recién depositadas tales como dunas y tierras de playas. Son suelos poco fértiles con severos problemas de baja retención de humedad y de erosión. Se encontró la unidad AR Endogléyico (Éutrico) (Cuadro 1). Los modificadores que presenta se describieron en los grupos anteriores.

Cambisoles (CM): son suelos que presentan apenas un ligero desarrollo en sus horizontes sub superficiales, por ello se presentan como suelos intermedios entre las otras unidades de suelo. El desarrollo del horizonte se manifiesta por un cambio de color debido a la gleyzación y a la oxidación del hierro, y el desarrollo de una estructura más fuerte en el subsuelo. Son suelos fértiles pero presentan anegamiento lo cual dificulta su uso. Se identificó la unidad CM Gléyico (Húmico Arcílico) (Cuadro 1). La definición de sus modificadores ya fue hecha anteriormente.

Histosoles (HS): comprenden suelos formados a partir de la acumulación de material orgánico; generalmente asociados a relieves cóncavos y tierras bajas. Son suelos muy fértiles y ácidos, están ocupados con vegetación hidrófila. No se deben utilizar en agricultura, dado que si se someten a drenaje cambia drásticamente su constitución oxidando la materia orgánica. Son recomendables para la reserva de la vida silvestre. En este estudio se identificó la unidad HS Sálico (Éutrico) (Cuadro 1), y únicamente se registró un modificador diferente a los ya definidos: Sálico (presenta un horizonte enriquecido de sales solubles dentro de los 100 cm de profundidad).

Nitisoles (NT): suelos rojos profundos, bien drenados, con límites difusos entre horizontes y un horizonte sub superficial enriquecido en hierro muy oxidado que tiene color rojo brillante denominado horizonte nítico y se encuentra principalmente en los trópicos.

Son mucho más productivos que la mayoría de otros suelos rojos tropicales, por lo que se utilizan ampliamente en agricultura. Se identificaron tres unidades y sobresalieron el NT Háplico (Éutrico, Ródico) (Cuadro 1). En este grupo de suelos únicamente se registró un modificador diferente a los ya definidos: Ródico (tiene dentro de los 150 cm de profundidad algún horizonte de 30 cm o más de grueso que tiene colores rojo oscuros).

Fluvisoles (FL): son suelos formados por sedimentos fluviales y lacustres que reciben material fresco a intervalos regulares o los han recibido en el pasado reciente. Son suelos muy fértiles apropiados para la agricultura intensiva. Se identificó la unidad FL Gléyico (Éutrico, Arcílico) (Cuadro 1).

Regosoles (RG): son suelos minerales muy débilmente desarrollados sobre materiales no consolidados, no tienen horizontes de diagnóstico bien definidos, o no cuentan con alguna de las características propias de un grupo de suelo. Presentan gravas y piedras en los horizontes y anegamiento, lo cual dificulta su uso agrícola. Se identificó la unidad RG Endogléyico (Calcárico, Sódico) (Cuadro 1).

Calcisoles (CL): suelos caracterizados por poseer un horizonte sub superficial que presenta alta

acumulación de calcio en forma de manchas blancas con gran cantidad de carbonatos (horizonte cálcico). Son suelos fértiles con problemas de anegamiento en los horizontes sub superficiales y altos contenidos de sodio, que restringen su uso en agricultura permanente. Se clasificó la unidad CL Endogléyico (Sódico) (Cuadro 1).

Phaeozems (PH): estos suelos presentan un horizonte superficial profundo y con altos contenidos de materia orgánica. Son suelos fértiles y friables que son usados en agricultura intensiva. Tienen presencia de roca calcárea pulverulenta dentro de los 50 cm de profundidad. Se clasificó la unidad PH Réndzico (Arcílico) (Cuadro 1).

CONCLUSIONES

En Campeche, México, se identificaron 14 grupos mayores de suelos y 45 unidades de suelos que se representaron cartográficamente a escala 1:250,000, la mayor superficie la ocupan suelos muy pedregosos con limitada profundidad y de origen calcáreo denominados Leptosoles.

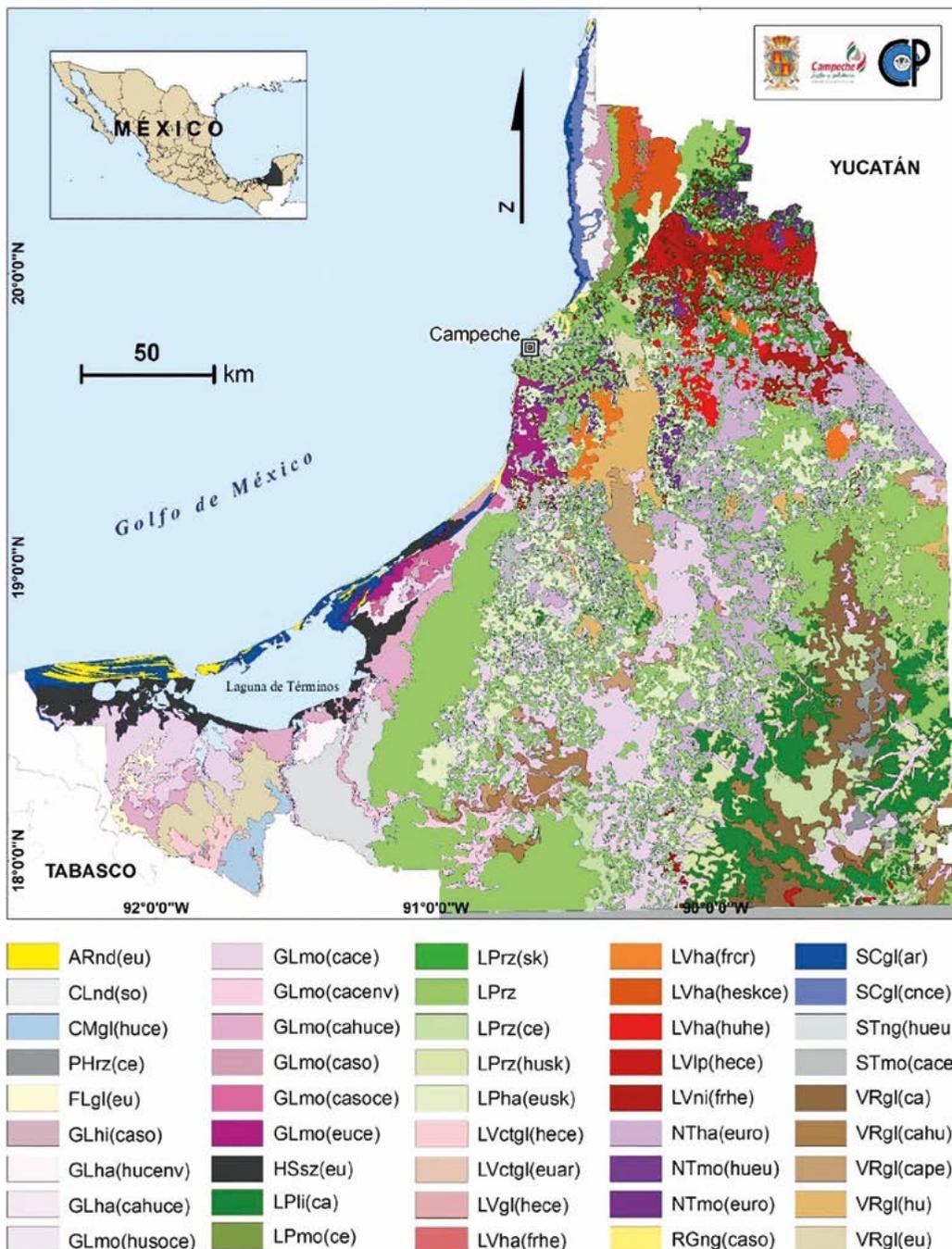


Figura 2. Mapa de unidades de suelos del estado de Campeche, México.

Los Gleysoles y Vertisoles ocupan el segundo y tercer lugar respectivamente. El estudio mostró gran variabilidad de suelos, aunque una buena parte de ellos no son apropiados para uso agrícola intensivo debido principalmente a su poca profundidad o al exceso de humedad. La utilización más apropiada para los suelos delgados y moderadamente profundos es para zonas de reserva de la vida silvestre, lo cual coincide con las extensas áreas protegidas en el estado.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Campeche, México, por el financiamiento de este trabajo.

LITERATURA CITADA

Bautista A. C., Etchevers J. B., del Castillo R. F., Gutiérrez C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas. 13(2): 90-97.
 Bautista F., Batllori-Sampedro E., Palacio-Aponte G., Ortiz-Pérez M., Castillo-González M. 2005. Integración del conocimiento actual sobre paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán. In:

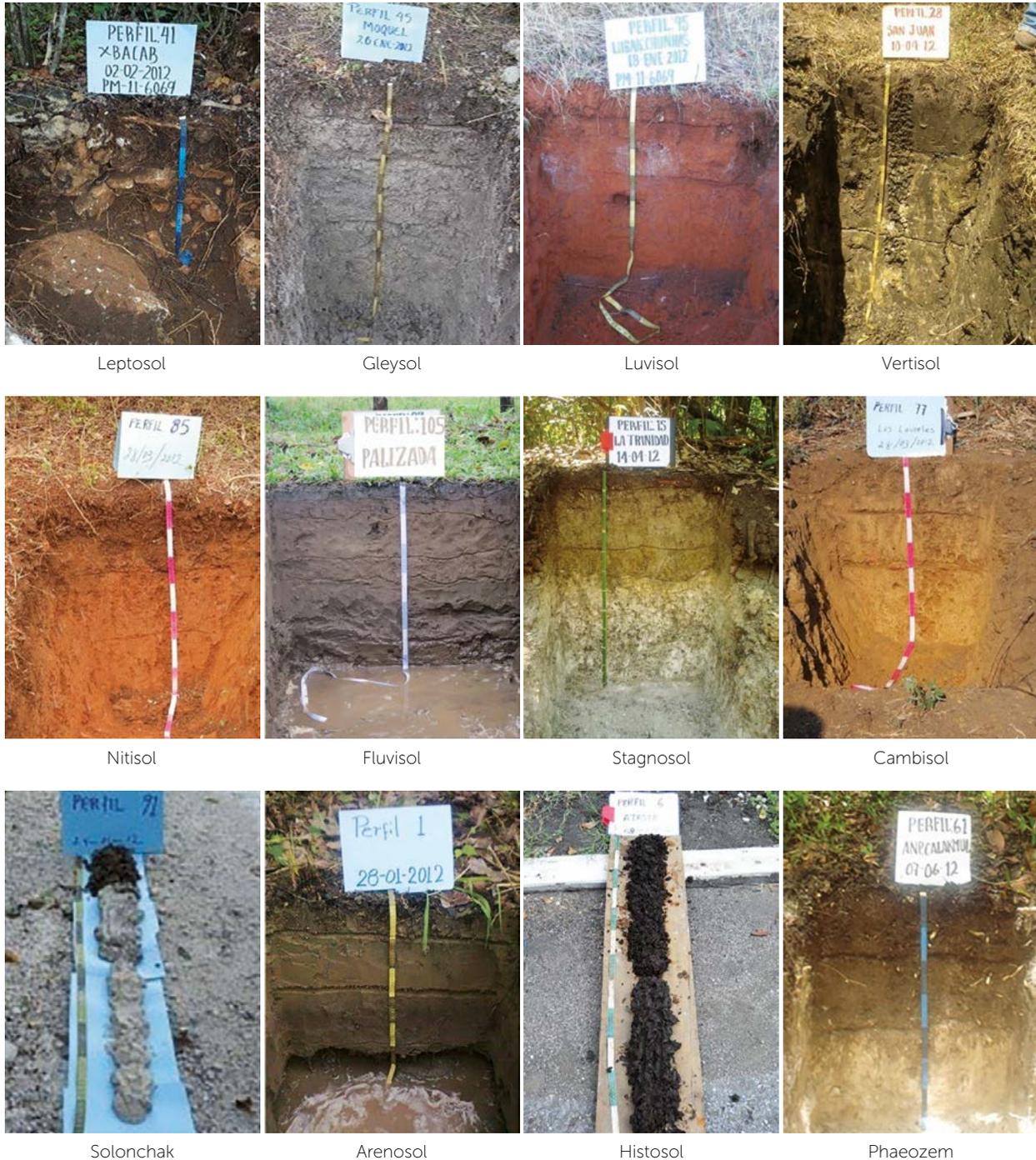


Figura 3. Grupos de suelos representativos del estado de Campeche.

- Bautista Z. F. y Palacio A. G. (editores). Caracterización y manejo de suelos de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Campeche, Centro de Ecología Pesquería y Oceanografía del Golfo de México, UADY, SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología y CONACYT. México D. F. p: 33-58.
- Bautista Z. F., Palacio A. A. G., Mendoza V. J., Kú Q. V. M., Pool N. L., Cantarell J. W. 2010. Suelos. *In*: Villalobos-Zapata. G. J. y Mendoza V. J. (Coord.). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. CONABIO, Gobierno del Estado de Campeche, UACAM y ECOSUR. México. p: 20-27.
- Buol S. W. 1995. Sustainability of soil use. *Annual review of ecology and systematic*. 26: 25-44.
- Cuanalo de la C. H. 1990. Manual para la descripción de perfiles en el campo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.
- INEGI. 1984. Cartas edafológicas: Calkiní F15-9-12, Campeche E15-3, Ciudad del Carmen E15-6, Frontera E15-5, Mérida F16-10, Felipe Carrillo Puerto E16-1, Chetumal E16-4-7 y Tenosique E15-9. Escala 1:250 000. Aguascalientes.
- INEGI. 2015. Anuario estadístico y geográfico de Campeche. 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. 385 p.
- INEGI. 2016. Anuario estadístico y geográfico de Campeche 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. 405 p.
- IUSS Grupo de trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización traducida al español por Mabel Susana Pazos. Informe sobre recursos mundiales de suelos. FAO. Roma. 124 p.
- Lugo H. J., Córdova C. 1992. Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas* 25: 25-63.
- Porta J., López-Acevedo M., Poch R. M. 2013. Edafología: uso y protección de suelos. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 607 p.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente). 2002. Síntesis GEO-3. Perspectivas del medio ambiente mundial 3. http://www.unep.org/geo/GEO3/pdfs/GEO3_Synthesis_spa.pdf. (Consultado el 3 de febrero de 2012).
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT). 2002. NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002. (Consultado el 12 de julio de 2017).
- Zinck J. A. 2012. Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Special Lecture Notes Series. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede. 123 p.



APTITUD EDÁFICA DE *Eucalyptus urophylla* S.T BLAKE EN LA TERRAZA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

SOIL APTITUDE OF *Eucalyptus urophylla* S.T BLAKE ON THE TERRACE OF HUIMANGUILLO, TABASCO, MEXICO

Aguilar-Rodríguez, J.R.¹; Zavala-Cruz, J.^{2*}; Juárez-López, F.²; Palma-López, D.J.²; Castillo-Acosta, O.³; Shirma-Torres, E.

¹Forestaciones Operativas de México S. A. de C. V., Las Choapas, Veracruz, México. ²Profesor investigador, Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, ³Profesor Investigador, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

*Autor de correspondencia: zavala_cruz@colpos.mx

RESUMEN

México importa productos forestales como papel y madera aserrada, por lo que se requiere fomentar las superficies de plantaciones forestales en suelos aptos para contribuir a satisfacer la demanda. El objetivo del estudio fue evaluar la aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake a nivel semidetallado en la región terraza de Huimanguillo (TH), Tabasco, México, en 158,406 ha. Los requerimientos edáficos del cultivo se definieron mediante revisión de literatura. La información del área consistió en un mapa semidetallado de suelos, datos físicos y químicos de perfiles, y variables de clima y relieve. La evaluación de la aptitud edáfica se basó en la metodología de zonificación agroecológica propuesta por FAO, y el mapa final se diseñó a escala 1:50 000 en un sistema de información geográfica. En la TH domina el grupo de suelo Acrisol (AC) en el 84.9 % del área, seguido del Cambisol (CM) y Gleysol (GL). La zona de aptitud media para *E. urophylla* representó 82.5% del área, y concuerda con los AC, las restricciones son por pH muy ácido, baja fertilidad en todas las unidades, y drenaje imperfecto en el AC Úmbrico Gléyico. Los CM y GL no presentaron aptitud para el cultivo. Se recomienda implementar prácticas de manejo sustentables para mitigar la acidez, mejorar la fertilidad y evitar la erosión hídrica en pendientes de 6 a 25 %.

Palabras clave: Eucalipto, papel, madera aserrada, Acrisol.

ABSTRACT

México imports forest products such as paper and sawn wood, so it is required to promote the surfaces of forest plantations in soils that are apt to contribute to satisfying the demand. The objective of the study was to evaluate the soil aptitude of *Eucalyptus urophylla* S.T Blake at a semidetailed level in the region of Terrace of Huimanguillo (TH), Tabasco, México, in 158,406 ha. The soil requirements of the crop were defined through a literature review. The information of the area consisted in a semidetailed map of the soils, physical and chemical data of the profiles, and variables of weather and relief. The evaluation of soil aptitude was based on the methodology of agroecological zoning proposed by FAO, and the final map was designed at a scale of 1:50 000 in a geographic information system. In the TH, the Acrisol (AC) group dominates in 84.9 % of the area, followed by Cambisol (CM) and Gleysol (GL). The zone of medium aptitude for *E. urophylla* represented 82.5% of the area, and coincides with those of AC; the restrictions are from very acid pH, low fertility in all the units, and imperfect drainage in the Gleyic Umbric AC. The CM and GL did not present aptitude for the crop. It is recommended to implement sustainable management practices to mitigate acidity, improve fertility and avoid water erosion in slopes of 6 to 25 %.

Keywords: Eucalyptus, paper, sawn wood, Acrisol.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp: 79-84.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

México es importador de productos forestales celulósicos como papel y madera aserrada (Flores-Velázquez, 2007; Chapela, 2012), de ahí la necesidad de ampliar las áreas de plantaciones forestales comerciales en suelos aptos para contribuir a satisfacer la demanda nacional (Bustillos-Herrera, 2007). Los recursos de la vegetación primaria se transforman a otros usos del suelo, con frecuencia insostenibles, solo en el periodo 2000-2005 se perdieron 200,000 ha de bosque (Sepúlveda y Muhammad *et al.*, 2009). Ante el déficit de madera y energía a nivel mundial, el género *Eucalyptus* sobresale como uno de los recursos forestales más utilizado por la industria en el mundo (Martínez-Ruiz *et al.*, 2006), ya que agrupa entre 513 y 700 especies distribuidas en diversas regiones (Juárez-Palacios *et al.*, 2013). Su rápido crecimiento, bajo costo de explotación, madera relativamente homogénea, alta adaptabilidad y calidad de las fibras de celulosa, lo ubican como la materia prima por excelencia de la actividad forestal en zonas tropicales (Ceccon y Martínez-Ramos, 2000). Entre los beneficios que aportan las plantaciones de eucalipto sobresalen: mejoramiento de la economía de la población, conservación de la materia orgánica, aumento de la fertilidad de suelos, recuperación de tierras erosionadas y disminución de la presión sobre los bosques naturales (Ceccon y Martínez-Ramos, 2000; Martínez-Ruiz *et al.*, 2006; Palma-López *et al.*, 2015); y el balance de nutrimentos y calidad de agua es similar en microcuencas cubiertas con eucalipto que con bosques nativos (Ceccon y Martínez-Ramos, 2000). La investigación tuvo como objetivo evaluar la aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake a nivel semidetallado en la región terraza de Huimanguillo (TH), Tabasco, México, para zonificar las tierras con mayor potencial para la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La TH se ubica en el municipio de Huimanguillo, en Tabasco, México, (17° 32' 35" y 17° 57' 26" N, y 93° 25' 15" y 93° 57' 09" O), en una superficie de 158,406 ha. El relieve más notable es de lomeríos mesiformes a ondulados, derivados de rocas sedimentarias de arenisca, conglomerado polimíctico y arena-limo del Terciario Plioceno al Cuaternario Pleistoceno (Ortiz-Pérez *et al.*, 2005). El clima varía de cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am(f)) a cálido húmedo con lluvias todo el año (Af(m)). Prevalece el suelo Acrisol (AC) con sistemas agrícolas de pastizales inducidos, plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) y hule (*Hevea brasiliensis*), cultivos de cítricos, piña y maíz, y vegetación secundaria (Salgado *et al.*, 2010; Zavala-Cruz *et al.*, 2014; Palma-López *et al.*, 2015).

Requerimientos edáficos de *Eucalyptus urophylla*. Los requerimientos edáficos de *E. urophylla*, acorde a la revisión de literatura son: pH, profundidad, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE) y drenaje del perfil; las variables significativas por clima y relieve son: tipo de clima, temperatura, precipitación, altitud y pendiente. Los valores de los requerimientos para definir los intervalos de aptitud se basaron en Nieto y Rodríguez (2003), Ecocrop (2007), Delgado-Caballero *et al.* (2010) y Sein y Mitlohner (2011); las clases de drenaje se adoptaron de Cuanalo (1990) y IUSS Grupo de Trabajo WRB (2007). Los intervalos por pH y CIC, se adoptaron

de SEMARNAT (2002), y los límites inferiores se definieron considerando información de suelos de la TH, donde la productividad de madera de *E. urophylla* en seis parcelas, varió de 94 a 148 m³ ha⁻¹, con promedio de 130.4 m³ ha⁻¹ a la edad de siete años. Dicha producción es rentable económicamente según comunicación facilitada por la empresa FOMEX S.A. de C.V., pero baja en comparación con rendimientos de madera 1.6 a 3 veces mayor en plantaciones de la especie de la misma edad en otras regiones tropicales (Delgado-Caballero *et al.*, 2009).

Datos de suelos, clima y relieve de la terraza de Huimanguillo.

El mapa de unidades de suelos a escala 1: 50 000 y los datos físicos y químicos de perfiles, al igual que la información climatológica, se obtuvieron de Salgado *et al.* (2010). El mapa de relieves y pendientes se generó con un modelo LIDAR (INEGI) mediante el software ARC GIS 9.2 (ESRI, 2004); la verificación de campo permitió mejorar el mapa de suelos en la zona noroeste de la TH, las unidades se asignaron de acuerdo a la relación de relieves y suelos establecida por Zavala-Cruz *et al.* (2014).

Evaluación de la aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla*.

La evaluación de la aptitud edáfica de *E. urophylla* se basó en la guía general de zonificación agroecológica de FAO (1997). Las clases de aptitud se agruparon en: a) alta, correspondientes a valores de las variables que se encuentran en el intervalo óptimo; b) media, agrupa los valores de las variables que se sitúan en el intervalo de aptitud absoluta; y c) nula, está definida por variables que tienen valores inferiores a los reportados como míni-

mos absolutos. Los datos de requerimientos edáficos de *E. urophylla* en zonas tropicales, se compararon con los datos de suelos de la TH; las unidades de suelos se etiquetaron y transformaron en el mapa preliminar de aptitud edáfica de la especie. El mapa generado se comparó con los datos de clima, y posteriormente se sobrepuso con el mapa de relieves y pendientes, mediante álgebra de mapas en el software ARC GIS 9.2 (ESRI, 2004). El mapa de aptitud edáfica de *E. urophylla* se diseñó a escala 1: 50 000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los requerimientos para definir la aptitud de *E. urophylla* en zonas tropicales, considerando variables de suelo, clima y relieve, se presentan en el Cuadro 1.

Características físicas y químicas de los suelos de la terraza de Huimanguillo

En la TH prevalecen los grupos AC, CM y GL, en superficies del 84.9%, 10.1% y 3.6%, respectivamente; los AC se desarrollan sobre lomeríos, los CM en valles fluviales y los GL en depresiones mal drenadas. Las unidades de suelos representativas fueron: Acrisol Úmbrico Cutánico (60.4%), Acrisol Úmbrico Gléyico (12.9%), Acrisol Cutánico (11.6%), Cambisol Flúvico Endogléyico y Cambisol Endogléyico (10.1%), y Gleysol Álico (3.6%) (Figura 1).

Los tres grupos son profundos, de textura migajón arcillo arenosa a migajón arenosa en el horizonte A, y arcillosa a arcillo arenosa en el horizonte B; el drenaje de los AC varía de bueno a imperfecto en los primeros 100 cm de profundidad, y el de los CM y GL es pobre en el horizonte A; el pH varía de fuertemente a moderadamente ácido (3.9

| Factor | Variable | Aptitud | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|---------------------|------------------|
| | | Alta | Media | Nula |
| Clima | Tipo: tropical | X | X | |
| | Temperatura (°C) | 18-28 | 8-18 y 28-34 | <8 y >34 |
| | Precipitación (mm) | 1300-2500 | 700-1300, 2500-3500 | <700 y >3500 |
| Suelo | pH | 5-6.5 | 4.0-7.5 | <4.0 y >7.5 |
| | Profundidad (m) | >1.5 | 0.5-1.5 | <0.5 |
| | Textura | F | L, M, P, A | |
| | CIC (Cmol (+)kg ⁻¹) | >15 | 3.9-15 | <3.9 |
| | Salinidad CE (dS/m ⁻¹) | <4 | <4 | >4 |
| | Drenaje | Bueno | Imperfecto | Pobre |
| | Relieve | Altitud (msnm) | 200-2200 | 0-200, 2200-3000 |
| Pendiente (%) | 0-8 | 8-25 | >25 | |

Textura: F Franca, L Ligera, M Media, P Pesada, A Arenosa.

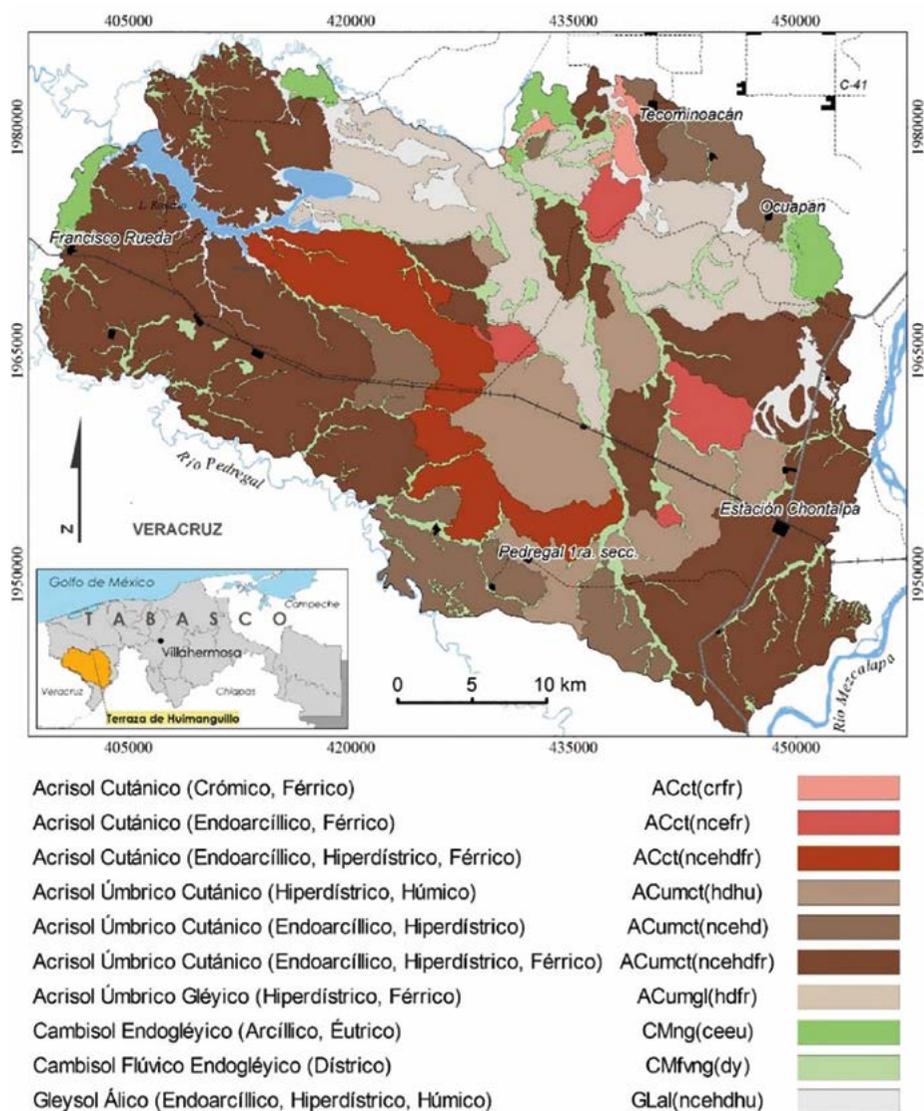


Figura 1. Unidades de suelos de la terraza de Huimanguillo, Tabasco, México.

a 5.6); no tienen problemas de salinidad $CE < 0.07 \text{ dS m}^{-1}$, son ricos a muy pobres en MO (16.9 a 0.2%), los contenidos de nutrimentos son muy bajos en N ($< 0.3\%$), altos a bajos en P (14.4 a 0.1 mg kg^{-1}), pobres en bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na) y medios a bajos en CIC (27 a $2 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$). Estas variables indican que los suelos son de fertilidad baja (Salgado *et al.*, 2010; Zavala-Cruz *et al.*, 2014).

Características climáticas y del relieve en la terraza de Huimanguillo

El clima Am(f) prevalece en el norte y noroeste, y el Af(m) en el centro, sur y sureste de la TH; la temperatura media oscila de 24 a 28 °C, y la precipitación media anual varía de 2,000 mm en el norte a 3,000 mm en el sur.

El relieve y los intervalos de pendiente son: a) plano a ligeramente inclinado, de 1 a 6% (72.7% de la TH), en el noreste, centro y noroeste; b) moderada a fuertemente inclinado, 6 a 25% (24.8% de la TH), en el centro, sur y oeste; y c) muy inclinado, $> 25\%$ (2.4% de la TH), en el sur y sureste (Figura 2). La altura varía de 6 a 80 msnm.

Aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* en la terraza de Huimanguillo

Los AC tienen aptitud media para *E. urophylla*, en las unidades AC Cutánico, Úmbrico Cutánico y Úmbrico Gléyico, que representan el 84.9% de la TH (Figura 3); son profundos ($> 100 \text{ cm}$), de textura migajón arenosa a migajón arcillo arenosa en la capa superficial (0 a 45 cm), con buen drenaje interno en los primeros 74 cm de profundidad, sin problemas de salinidad. Estas características concuerdan con las de sue-

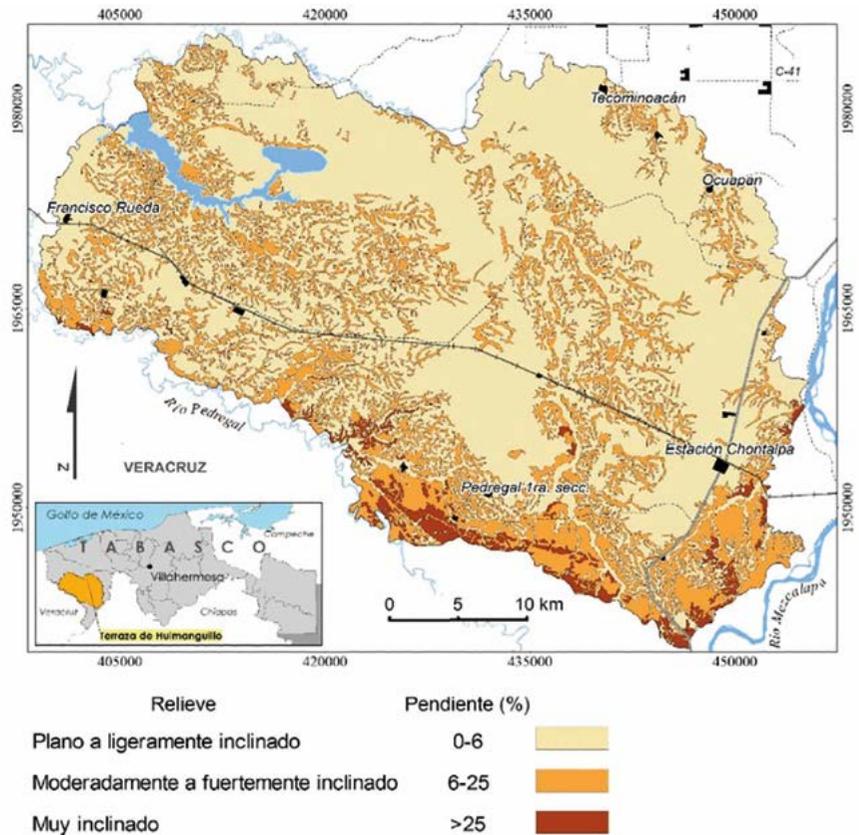


Figura 2. Relieves y pendientes en la terraza de Huimanguillo, Tabasco, México.

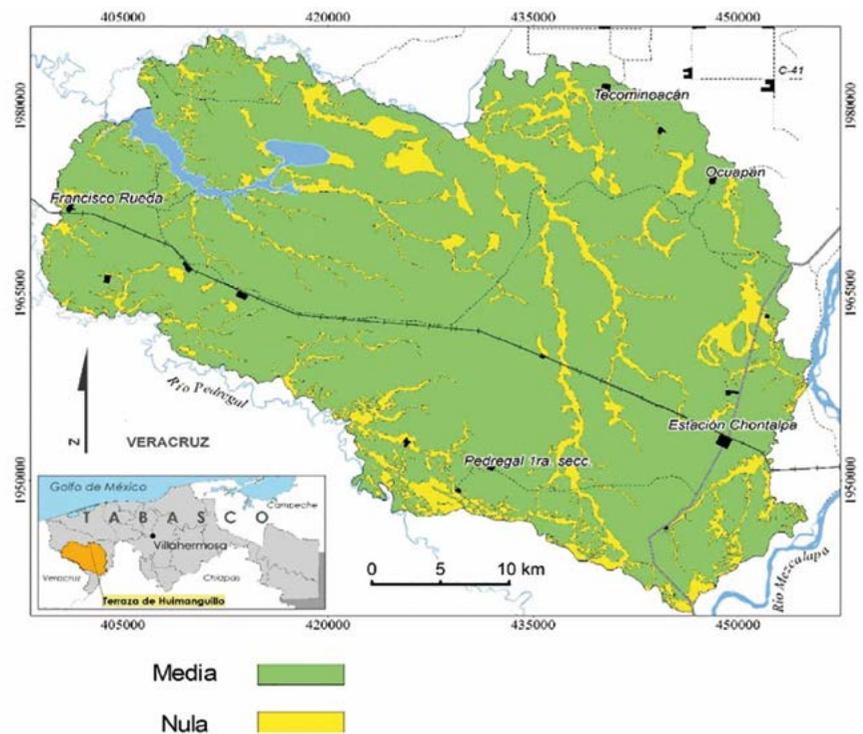


Figura 3. Aptitud edáfica de *E. urophylla* en la terraza de Huimanguillo, Tabasco, México.

los aptos para *E. urophylla* en otras regiones tropicales (Henri, 2001; Acosta *et al.*, 2005; Delgado-Caballero *et al.*, 2009; Sein y Mitlohner, 2011).



Por textura, los AC de la TH son comparables con Ultisoles donde se han obtenido volúmenes favorables de *E. urophylla*, variando de 76 a 133.1 m³ ha⁻¹, sin y con fertilización (González *et al.*, 2005). Los datos de la especie, proporcionados por FOMEX S.A. de C.V., indican que las plantaciones en AC Úmbrico Cutánico (Endoarácillico Hiperdístico) y AC Úmbrico Gléyico (Hiperdístico Férrico), de textura migajón arenosa en la capa superficial (0 a 40 cm), tienen mayor productividad (139 a 148 m³ de madera ha⁻¹ al turno de siete años), y las de AC de textura más fina tienen rendimientos menores (94 a 125 m³ de madera ha⁻¹ al turno de siete años). Al respecto, los contenidos de arena de 24 a 28% en el horizonte A (0 a 30 cm de profundidad), tienen efecto positivo en el crecimiento de *E. urophylla*, y las texturas muy arcillosas o muy arenosas determinan crecimientos inferiores (Delgado-Caballero *et al.*, 2009). Las variables edáficas que inducen aptitud media para *E. urophylla* en los AC de la TH son, pH ácido y baja fertilidad en todos los AC, y drenaje en el AC Úmbrico Gléyico. Los valores ponderados de pH fluctúan entre 4 y 4.7 en la capa de 0 a 50 cm de profundidad, y los de CIC varían de 3.9 a 11.7 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ en la capa de 0 a 30 cm de profundidad, indicando niveles bajos. Estos resultados concuerdan con los de González *et al.* (2005), Acosta *et al.* (2005) y Rodríguez-Juárez *et al.* (2014) quienes mencionan que *E. urophylla* tiene buen desarrollo en suelos ácidos, con bajos contenidos de CIC y bases intercambiables; incluso mejora la fertilidad del suelo, o la mantiene en condición similar a los AC con vegetación secundaria (Cecon y Martínez-Ramos., 2000; Palma-López *et al.*, 2015).

El drenaje imperfecto del AC Úmbrico Gléyico en la capa de 74 a 145 cm de profundidad, se identifica por los horizontes Btg y Cg de color gris, indicadores de procesos de óxido-reducción por saturación de agua. Esta característica se explica por la posición topográfica baja de la unidad, entre 12 y 45 msnm, en relieves planos (pendiente de 0 a 2%) receptores de agua de ríos y arroyos que drenan lomeríos altos (Zavala-Cruz *et al.*, 2014). Los suelos con drenaje imperfecto asociado a hidromorfismo en horizontes subyacentes al A, disminuyen 14% la altura de las plantaciones de eucalipto de cinco años de edad (Acosta *et al.*, 2005). Los CM y GL de aptitud nula para *E. urophylla* representan el 13.7% de la TH, tienen drenaje pobre en la capa superficial (0 a 50 cm), se identifica por un horizonte Ag de color gris y motas de color gris oscuro y ocre, evidencian procesos de óxido-reducción en condiciones alternadas de saturación de agua. Estas características se explican por su ubicación

en posiciones topográficas bajas, en depresiones, planicies y valles fluviales, asociados a inundaciones estacionales (Cajuste-Botemps y Gutiérrez-Castorena, 2011). El drenaje pobre en la capa superficial del suelo limita la productividad de *E. urophylla* (Acosta *et al.*, 2005; Delgado-Caballero *et al.*, 2009), los árboles crecen 18% menos rápido en comparación con suelos bien drenados (Henri, 2001), y merma 28% la altura de árboles de plantaciones con otras especies de eucalipto a los cinco años de edad (Acosta *et al.*, 2005), pero puede ser útil en programas de reforestación de zonas inundables (Sein y Mitlohner, 2011).

Aptitud de *Eucalyptus urophylla* por clima y relieve en la terraza de Huimanguillo

Por clima, la TH tiene aptitud alta para *E. urophylla*, al dominar el tropical lluvioso con precipitación media anual de 2,000 a 3,000 mm y temperatura de 24 a 28 °C. Por relieve, la altura menor a 80 msnm, le confiere aptitud media a la especie, y la pendiente de 0 a 25% indica aptitud alta a media en 97.5% de la TH. Los AC de lomeríos en pendientes de 6% a 25% están expuestos a erosión hídrica (Palma-López *et al.*, 2008) por lo que el desarrollo de plantaciones de *E. urophylla* deben incorporar prácticas de manejo sustentable. El 2.4% de la TH tiene aptitud nula en lomeríos con AC sobre pendientes mayores a 25%, en el sur y sureste.

CONCLUSIONES

La región terraza de Huimanguillo, Tabasco, tiene suelos Acrisoles (AC) con aptitud media para el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus urophylla*, en el 84.9% del área; las mayores limitantes son por pH muy ácido y fertilidad baja. La aptitud por clima es alta, y media por relieve al prevalecer alturas y pendientes menores a 80 msnm y 25%. Se recomienda implementar prácticas de manejo sustentable en las plantaciones de *E. urophylla* para mitigar los efectos por acidez, fertilidad y erosión hídrica.

LITERATURA CITADA

- Acosta B., Márquez O., Mora E., García V., Hernández R. 2005. Uso del método de análisis de componentes principales para la evaluación de la relación suelo-productividad en *Eucalyptus* spp. Estado Portuguesa-Venezuela. Rev. Forestal Latinoamericana 37: 17-44.
- Bustillos-Herrera J. A., Valdez-Lazalde J. R., Alderete A., González-Guillen M. J. 2007. Aptitud de terrenos para plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): definición mediante el proceso de análisis jerarquizado y SIG. Agrociencia 41 (7): 787-796.

- Cajuste-Botemps L., Gutiérrez-Castorena M. C. 2011. El factor relieve en la distribución de los suelos en México. En: Krasilnikov P., Jiménez-Nava F. J., Reyna-Trujillo T., García-Calderón N. E. (eds) Geografía de suelos de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, México. 462 p.
- Ceccon E., Martínez-Ramos M. 2000. Aspectos ambientales referentes al establecimiento de las plantaciones forestales en larga escala para revisión de la norma forestal. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. K009. México D. F., México. 22 p.
- Cuanalo de la C. H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 40 p.
- Chapela G. 2012. Problemas y oportunidades en el mercado para las empresas sociales forestales en México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A. C., Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 241 p.
- Delgado-Caballero C. E., Valdez-Lazalde J. R., Fierros-González A. M., De los Santos-Posadas H. M., Gómez-Guerrero A. 2010. Aptitud de áreas para plantaciones de eucalipto en Oaxaca y Veracruz: proceso de análisis jerarquizado vs álgebra Booleana. Rev. Mex. Cien. For. 1 (1): 123-133.
- Delgado-Caballero C. E., Gómez-Guerrero A., Valdez-Lazalde J. R., De los Santos-Posadas H. M., Fierros-González A. M., Horwath R. W. 2009. Índice de sitio y propiedades del suelo en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en el sureste de México. Agrociencia 43: 61-72.
- Ecocrop. 2007. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Version 1.0. Agls. Rome, Italy. [http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home: 12 de Noviembre de 2014].
- ESRI. 2004. ArcGIS 9 what is ArcGis? Redland, USA. 119 p.
- FAO. 1997. Zonificación agroecológica guía general. Boletín de Suelos de la FAO, Núm. 73. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 96 p.
- Flores-Velázquez R., Serrano-Gálvez E., Palacio-Muñoz V. H., Chapela G. 2007. Análisis de la industria de la madera aserrada en México. Madera y Bosques 13 (1): 47-59.
- González R., Stock J., Jerez M., Carrero-Gamaz O., Plonczak M., Shutte F. 2005. Análisis biológico y financiero de un ensayo de fertilización en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* establecidas en suelos arenosos del Oriente de Venezuela. Revista forestal Venezolana 49 (2): 175-181.
- Henri C. J. 2001. Soil-site productivity of *Gmelina arborea*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* forest plantations in western Venezuela. Forest Ecology and Management 144: 255-264.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO. Roma, Italia. 124 p.
- Juárez-Palacios J. C., Honorato-Salazar J. A., Vázquez-Silva L., Conrado Parraguire-Lezama J. F. 2013. Patogenicidad de *Chrysosporthe cubensis* en clones de *Eucalyptus grandis* y *E. Urophylla* en el sureste de México. Madera y Bosques 19 (1): 17-36.
- Martínez-Ruiz R., Azpíroz-Rivero H. S., Rodríguez-de la O. J. L., Cetina-Alcalá V. M., Gutiérrez-Espinoza M. A. 2006. Importancia de las plantaciones de *Eucalyptus*. Ra Ximhai 2 (3): 815-846.
- Nieto V. M., Rodríguez J. 2003. *Eucalyptus urophylla* Dehnh. In: Vozzo J. A. Tropical tree seed manual. Part II. Species descriptions. USDA Forest Service. Washington, USA. 473 p.
- Ortiz-Pérez M. A., Siebe C., Cram S. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. En: Bueno J., Álvarez F., Santiago S. (eds.), Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM, CONABIO. México D. F., México. 384 p.
- Palma-López D. J., Moreno-Cáliz E., Rincón-Ramírez J. A., Shirma-Torres E. D. 2008. Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa, México. 74 p.
- Palma-López D. J., Salgado-García S., Martínez-Sebastián G., Zavala-Cruz J., Lagunes-Espinoza L. del C. 2015. Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de Tabasco, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 2 (5): 163-172.
- Rodríguez-Juárez M. I., Velázquez-Martínez A., Gómez-Guerrero A., Alderete A., Domínguez-Domínguez M. 2014. Fertilización con boro en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Black en Tabasco. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 20 (2): 203-2013.
- Salgado-García S., Palma-López D. J., Zavala-Cruz J., Ortiz-García C. F., Castelán-Estrada M., Lagunes-Espinoza L. del C., Guerrero-Peña A., Ortiz-Ceballos A. I., Córdova-Sánchez S. 2010. Sistema Integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Fundación Produce Tabasco A. C. Villahermosa, México. 81 p.
- SEMARNAT. 2002. Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. [http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002: 26 de mayo de 2017].
- Sein C. C., Mitlohner R. 2011. *Eucalyptus urophylla* ST Blake ecology and silviculture in Vietnan. Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. 26 p.
- Sepúlveda C. J. L., Muhammad I. 2009. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. CATIE, UNEP. Turrialba, Costa Rica. 294 p.
- Zavala-Cruz J., Salgado-García S., Marín-Aguilar A., Palma-López D. J., Castelán-Estrada M., Ramos-Reyes R. 2014. Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 1 (2): 123-137.

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DEL AGENTE CAUSAL DE LA SECADERA DEL GLADIOLO (*Gladiolus grandiflorus* Hort)

MOLECULAR CHARACTERIZATION OF THE CAUSAL AGENT OF THE GLADIOLUS DRIER (*Gladiolus grandiflorus* Hort)

Olalde-Lira, G.G.¹; Vargas-Sandoval, M.¹; Ávila-Val, T. Del C.¹; Raya-Montaño, Y.A.¹; Delgado-Valerio, P.¹; Lara-Chávez, Ma. B.N.¹

¹Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Paseo Lázaro Cárdenas, esquina con Berlín, Col. Revolución. 60090, Uruapan, Michoacán, México.

*Autor de correspondencia: chavez12001@yahoo.com.mx

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue la caracterización molecular del agente causal de la secadera en gladiola (*Gladiolus grandiflorus* Hort). En Villa Guerrero, Estado de México, se recolectaron plantas de gladiola enfermas y obtuvieron aislamientos del género *Fusarium*, para producir cultivos monospóricos; los conidios se almacenaron en glicerol 25 % a -70 °C, y para su caracterización molecular se hizo la extracción de ácidos nucleicos con el protocolo de Cenis (1992). Para la reacción en cadena de la polimerasa se utilizó el gen factor de elongación y el gen que codifica para calmodulina. Las secuencias obtenidas se compararon con *F. sterilihyphosum*, *F. circinatum*, *F. pseudocircinatum* y *F. mexicanum*; por ser las que comparten el carácter de hifas enrolladas. *F. oxysporum* y *F. oxysporum* f. sp. *gladioli* se utilizaron por sus antecedentes en el cultivo. El análisis filogenético se hizo para máxima parsimonia y máxima verosimilitud, observando que la especie de *Fusarium* aislada de gladiola no se asoció con ninguna de las otras especies, las cuales se agruparon de acuerdo a sus características morfológicas y moleculares, sugiriendo que organismo aislado es una nueva especie de *Fusarium* no reportada.

Palabras clave: *Fusarium*; nueva especie; enfermedades fungosas

ABSTRACT

The objective of this study was the molecular characterization of the causal agent of the gladiolus drier (*Gladiolus grandiflorus* Hort). In Villa Guerrero, Estado de México, sick gladiolus plants were collected and isolates of the *Fusarium* genus were obtained to produce monospore cultures; the conidia were stored in glycerol 25 % at -70 °C, and for their molecular characterization the extraction of nucleic acids was made with the Cenis (1992) protocol. For the polymerase chain reaction, the elongation factor gene and the gene that codifies for calmoduline were used. The sequences obtained were compared with *F. sterilihyphosum*, *F. circinatum*, *F. pseudocircinatum* and *F. mexicanum*, because they share the character of rolled hyphae. *F. oxysporum* and *F. oxysporum* f. sp. *gladioli* were used because of their antecedents in the crop. The phylogenetic analysis was carried out for maximum parsimony and maximum authenticity, observing that the *Fusarium* species isolated from gladiolus was not associated with any of the other species, which were grouped according to their morphological and molecular characteristics, suggesting that the organism isolated is an unreported new species of *Fusarium*.

Keywords: *Fusarium*, new species, fungi diseases.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 85-90.

Recibido: agosto, 2016. **Aceptado:** septiembre, 2017.



INTRODUCCIÓN

La gladiola (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) es uno de los principales cultivos ornamentales del Estado de México, sin embargo, en la floricultura, las enfermedades y su manejo son un reto, ya que pueden generar pérdidas importantes. En el caso de la gladiola (*Gladiolus grandiflorus* Hort), la enfermedad denominada "Secadera" causada por un hongo del género *Fusarium* puede provocar daños hasta del 100% (Leszczyńska y Borys, 1994). Las especies de *Fusarium* están ampliamente distribuidas en el suelo y en sustratos orgánicos; abundan en suelos cultivados en regiones templadas y tropicales (Booth, 1986). Como muchos hongos del suelo, está dotado con formas de supervivencia, y uno de sus mecanismos es la capacidad de cambio rápido tanto del hospedero como de su morfología y comportamiento (Booth, 1986; Alves-Santos *et al.*, 2007; Katan y Di Primo, 1999; Ortoneda *et al.*, 2003). La diferenciación de este género se basa en características fisiológicas y morfológicas, tales como la forma y tamaño de macroconidios, presencia o ausencia de microconidios, clamidosporas y morfología de las colonias. Las diferencias sutiles en una sola característica pueden delinear especies (Llorens *et al.*, 2006). En fitopatología, la identificación de hongos fitopatógenos se ha basado tradicionalmente en la observación de caracteres morfológicos. Sin embargo, en cada uno de los niveles de especie, subespecie, variedad, *forma specialis* y raza, existen pocos caracteres morfológicos que distingan un patógeno de otro (Coddington y Gould, 1992). Para superar los problemas asociados al método convencional de clasificación racial, se ha comenzado a hacer uso de la variación natural presente en el ADN de cualquier especie. Así, la aparición de técnicas basadas en el análisis de polimorfismos en los ácidos nucleicos, ha revolucionado los aspectos de detección e identificación de organismos fitopatógenos y sus variantes patogénicas y por consiguiente, el control y prevención de los mismos, dado su gran poder resolutivo y aplicabilidad a una gran variedad de éstos (Henson y French, 1993; Martin *et al.*, 2000). De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo de investigación se planteó como objetivo, caracterizar molecularmente el agente causal de la secadera del gladiolo *Gladiolus grandiflorus* Hort.

MATERIALES Y MÉTODOS

El aislamiento se hizo de bulbos afectados por el patógeno recolectados en Villa Guerrero, Estado de México (18° 57' 36" N y 99° 38' 24" O), con clima templado sub-

húmedo y régimen de lluvias en verano, precipitación de 651 mm, temperatura media anual de 18.8 °C y altitud de 2,160 m (INEGI, 2011).

Extracción de ADN. Se hizo la extracción de ADN de micelio monoconidial en base al protocolo de Cenis (1992) se almacenó a -20 °C hasta su uso. La calidad se valoró mediante electroforesis en gel y tinción con bromuro de etidio a 120 volts por 20 minutos y se observó en un transiluminador. La concentración y pureza se midió en un espectrofotómetro Smart Spec® de BioRad®.

Caracterización molecular de *Fusarium* sp. Los aislados de *Fusarium* spp. se caracterizaron con ayuda de los primers calmodulina 3-4 (GCA TCG ATG AAG AAC GCA GC) y Factor de Elongación. (ATG GGT AAG GAR GAC AAG AC) utilizados por Knutsen *et al.*, (2004) y Bétancourt *et al.*, (2012) para la caracterización de especies de *Fusarium*.

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Para la amplificación de secuencias se utilizó una mezcla de reacción de PCR compuesta por 1M Tris pH 9.0 2.5 µL, dNTPs 2 µL, Primer forward 0.5 µL, Primer reverse 0.5 µL, dH₂O 11.3 µL, 50mM MgCl₂ 3 µL, Taq polimerasa 0.2 µL y 2.5 µL del ADN extraído. La PCR se llevó a cabo en un termociclador Thermal Cycler C1000® de BIORAD® bajo las siguientes condiciones: un ciclo inicial de desnaturalización de 95 °C por cuatro minutos; seguido de 35 ciclos de desnaturalización a 95 °C por un minuto, alineación a 55 °C por un minuto y extensión a 72 °C por dos minutos; la extensión final se llevó a cabo a 72 °C durante 10 minutos. Las muestras de las amplificaciones se analizaron electroforéticamente en geles de agarosa al 2% TBEX a 120 volts por 25 minutos. Los fragmentos amplificados se purificaron con el kit comercial (Pure Link™ Quick PCR Purification Kit, Invitrogen™).

Secuenciación. El ADN purificado se envió al laboratorio de MacroGen Inc. en Seúl, Corea, para su secuenciación en ambas direcciones del gen (3' a 5' y viceversa). Las secuencias obtenidas de los aislamientos fueron comparadas en homología con secuencias de bases de datos del banco de genes (NCBI Gen Bank) mediante el software BLAST, posteriormente se realizó el análisis filogenético en base a las inferencias de Neighbor-joining, Máxima parsimonia y máxima verosimilitud en el programa MEGA 6.0. Se seleccionaron las secuencias para el gen Factor de elongación, así como para el gen que codifica para calmodulina en base a la caracteriza-

ción morfológica observada, se utilizaron las que compartían caracteres de importancia y aquellas que tenían un antecedente en la zona y en el cultivo de acuerdo a la literatura citada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis filogenético y taxonómico

El ADN extraído se observó en gel de agarosa al 2% TAE, teñido con bromuro de etidio. La concentración del ADN fue de 5 ng μL^{-1} y presentó una pureza de 1.8. La información generada por la secuenciación de los diferentes genes, así como la obtención de secuencias homólogas en el GenBank permitieron la construcción de árboles filogenéticos. Como se indica a continuación.

Factor de elongación: se obtuvieron fragmentos con un tamaño superior a los 600 pares de bases, los cuales fueron comparados en homología con análisis BLAST y se obtuvieron aquellas secuencias cuya similitud era superior al 97%. En el análisis por el método de Neighbor-Joining se resolvieron las especies *F. circinatum*, *F. sterilihyphosum*, *F. pseudocircinatum* y *F. mexicanum* agrupándose en clados monofiléticos, mientras que las

especies de *F. oxysporum* *F. oxysporum* f. sp. *gladioli* se agruparon entre ellas. *F1 Villa Guerrero* a pesar de tener caracteres en común no fue resuelto, sin embargo se mantuvo junto a sus similares. Las especie de *F. solani* son un grupo sin resolver, y las especies del grupo externo *Stromantinia gladioli* y *Sclerotinia sclerotiorum* quedaron en clados aislados (Figura 1). En el caso del dendrograma que describe la relación de las secuencias del factor de elongación, obtenido por el método de máxima parsimonia, se encontró la formación de cinco clados. El clado I, contiene secuencias de especies *F. circinatum*, *F. sterilihyphosum*, *F. pseudocircinatum* y *F. mexicanum*, en el clado II se encuentra *F1 Villa Guerrero*, el tercer clado está conformado por *F. oxysporum* *F. oxysporum* f. sp. *gladioli*, en un cuarto clado sin resolver se encontró a *F. solani*, mientras que *Sclerotinia sclerotiorum* (grupo externo) se encontró en un quinto clado. Es importante resaltar que al igual que en el árbol obtenido por las secuencias del Factor de Elongación usando el método de Neighbor-Joining, no se evidenció relación de las agrupaciones resultantes con *F1 Villa Guerrero* a pesar de los caracteres en común que presentan (Figura 2).

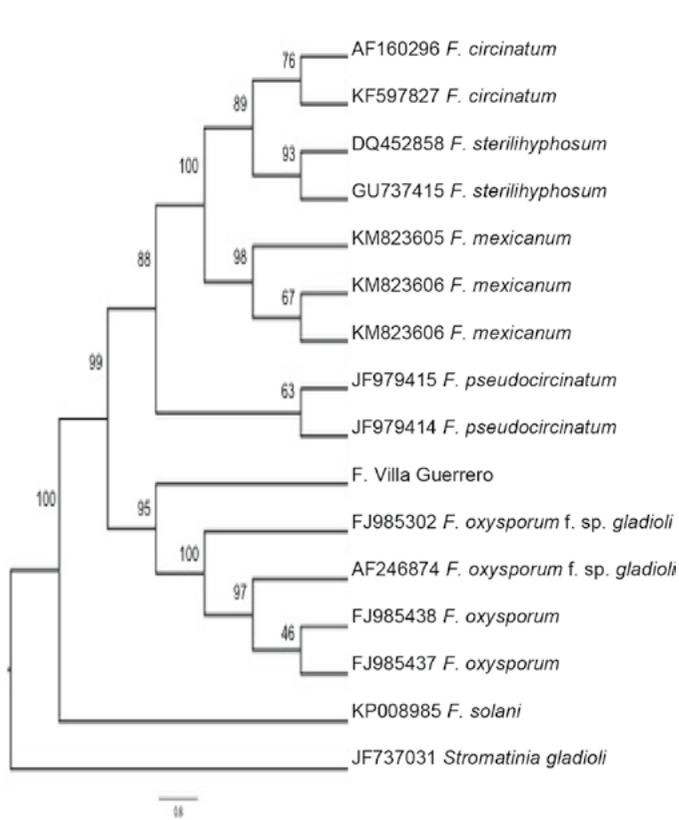


Figura 1. Cladograma generado a partir de secuencias que codifican para el Factor de elongación mediante el análisis de Neighbor-joining con 500 repeticiones en bootstrap para 14 aislados de *Fusarium*, *Stromantinia gladioli* y *Sclerotinia sclerotiorum* representan grupos externos.

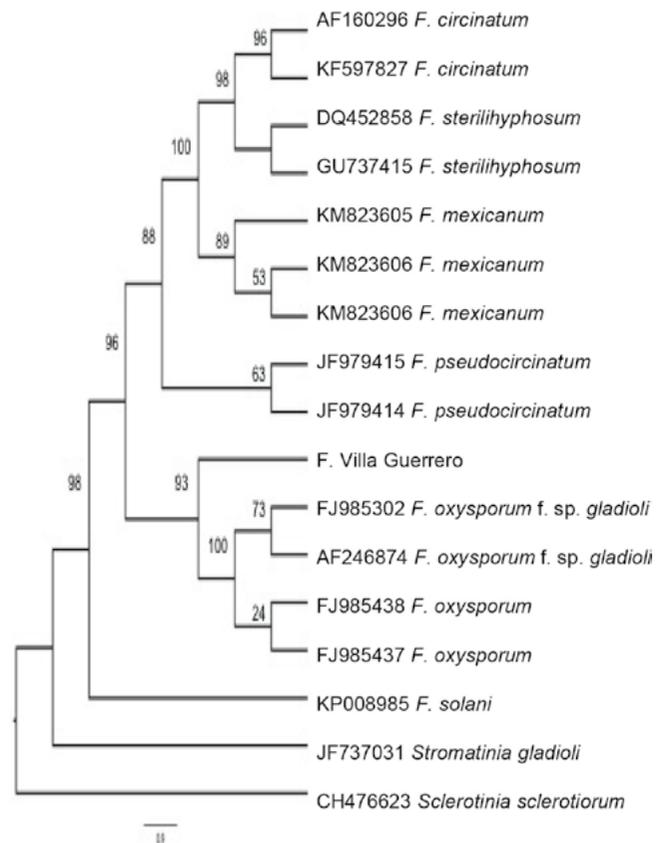


Figura 2. Cladograma generado a partir de secuencias que codifican para el Factor de elongación mediante el análisis de Máxima parsimonia con 500 repeticiones en bootstrap para 14 aislados de *Fusarium*, *Stromantinia gladioli* representa un grupo externo.

El cladograma producto del análisis de las secuencias que codifican para el Factor de Elongación con base en Máxima verosimilitud presentó a *F. circinatum*, *F. sterilihyphosum*, *F. mexicanum* y *F. pseudocircinatum* en un grupo monofilético, mientras que *F. oxysporum*, *F. oxysporum* f. sp. *gladioli* y el aislado de *Fusarium* de Villa Guerrero se presentan en otro grupo, lo que hace suponer que estos comparten características moleculares que representan un alto porcentaje de similitud entre ellas (Figura 3).

Calmodulina

Se obtuvieron fragmentos superiores a los 600 pares de bases, los cuales fueron comparados en homología con análisis BLAST, y se obtuvieron aquellas secuencias cuya similitud era superior al 95%. Los análisis de neighbor-joining (Figura 4), máxima parsimonia (Figura 5) y máxima verosimilitud (Figura 6) para calmodulina presentaron topología similar, pero distinta a los observado para Factor de Elongación.

Las secuencias de *Fusarium* con hifas enrolladas (*F. circinatum*, *F. pseudocircinatum*, *F. sterilihyphosum*) se agruparon entre ellas sin discriminar a *Fusarium oxysporum*, mientras que el aislado de *Fusarium* de Villa Guerrero quedó en un clado distante. En los tres análisis

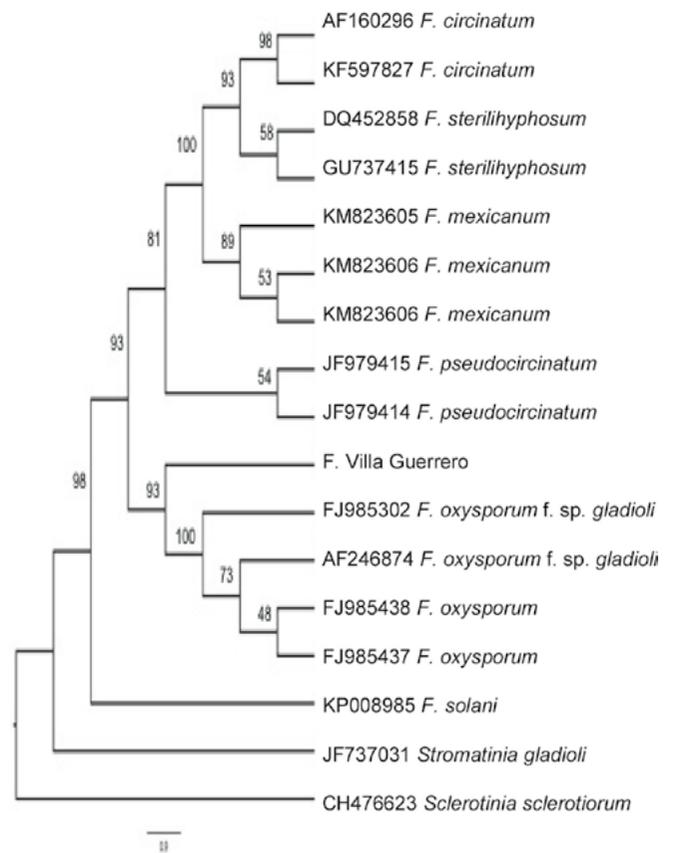


Figura 3. Cladograma generado a partir de secuencias que codifican para el Factor de elongación mediante el análisis de Máxima verosimilitud con 500 repeticiones en bootstrap para 14 aislados de *Fusarium*, *Stromatinia gladioli* y *Sclerotinia sclerotiorum* representan grupos externos.

se agrupa a *Sclerotinia* sp y *Sclerotinia trifoliorum* funcionando como grupo externo.

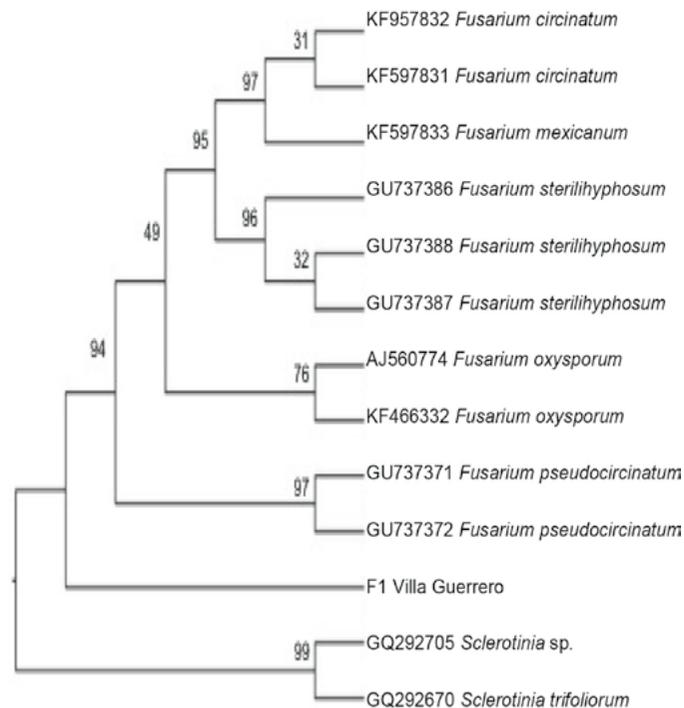


Figura 4. Cladograma generado a partir de secuencias que codifican para calmodulina mediante el análisis de Neighbor-joining con 500 repeticiones en bootstrap para 11 aislados de *Fusarium*, *Sclerotinia* sp. y *Sclerotinia trifoliorum* representan grupos externos.

Actualmente una de las regiones más utilizadas para la identificación de *Fusarium* a nivel de especie es el gen del factor de elongación de la traducción, otras regiones también estudiadas con este mismo fin incluyen, genes de apareamiento (MAT), genes que codifican para la Celobiosa-C y la Topoisomerasa II, el gen que codifica para la β -tubulina, Calmodulina, entre otros (Atkins y Clark, 2004; Hatsch *et al.*, 2004; Hinojo *et al.*, 2004; Wilson *et al.*, 2004; Bogale *et al.*, 2006; Dyavaiah *et al.*, 2007; Alustrey-Izquierdo *et al.*, 2008). Sin embargo, se ha logrado demostrar la poca utilidad de las regiones ribosomales para la identificación de *Fusarium* a nivel de especie, debido a que son demasiado conservadas y por ende tienen menor capacidad de resolución lo que han generado taxonomías y filogenias erróneas además de poca confiabilidad en procesos de identificación (Sakai *et al.*, 2006; Dyavaiah *et al.*, 2007; Zaccardelli *et al.*, 2008). En este estudio el análisis BLAST

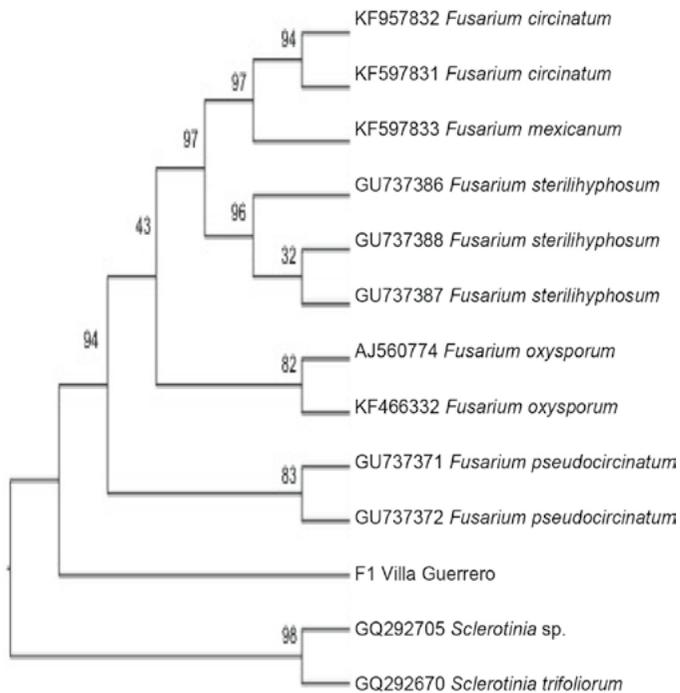


Figura 5. Cladograma generado a partir de secuencias que codifican para calmodulina mediante el análisis de Neighbor-joining con 500 repeticiones en bootstrap para 11 aislados de *Fusarium*, *Sclerotinia* sp. y *Sclerotinia trifoliorum* representan grupos externos.

de las secuencias del gen de factor de elongación en la base de datos de *Fusarium*, permitió identificar que en todos los aislamientos se trató de una especie de *Fusarium* cuyas características moleculares no coinciden con las reportadas para otras especies patógenas en gladiolo. Las secuencias codificantes para calmodulina al ser analizadas por la herramienta BLAST en la base de datos de referencia *Fusarium*, no lograron identificar los aislamientos como miembros de especies reportadas para gladiolo.

CONCLUSIONES

Las pruebas moleculares indican que hay una similitud de 96% a 99% con otras especies que presentan el carácter de hifas enrolladas, sin embargo, el análisis filogenético indicó que no hay similitud entre ellas. El análisis filogenético ubicó al aislado en estudio de *Fusarium* dentro de un grupo monofilético junto con las especies de *Fusarium oxysporum*, sin embargo, y de acuerdo a lo reportado por otros autores, estas carecen de hifas enrolladas. Con base en el análisis filogenético molecular se propone que es una nueva especie de *Fusarium* como agente causal de la secadera del gladiolo en Villa Guerrero, Estado de México.

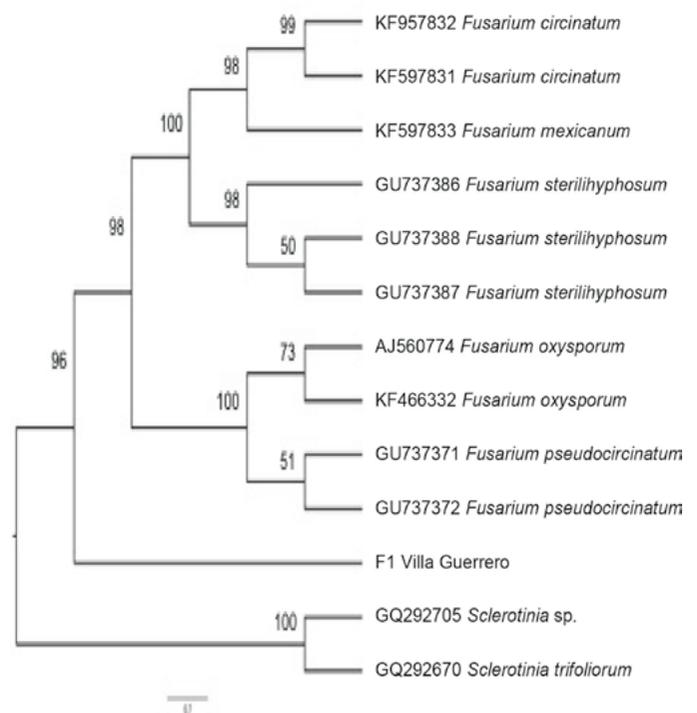


Figura 6. Cladograma generado a partir de secuencias que codifican para calmodulina mediante el análisis de Neighbor-joining con 500 repeticiones en bootstrap para 11 aislados de *Fusarium*, *Sclerotinia* sp. y *Sclerotinia trifoliorum* representan grupos externos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos el apoyo económico proporcionado por el P/PROFOCIE-2014-16MSU0014T-04 (PIFI) y Proyecto 2014/2015 de la Coordinación de la Investigación científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

LITERATURA CITADA

- Alastruey-Izquierdo A., Cuenca-Estrella M., Monzón A., Mellado E. 2008. Antifungal susceptibility profile of clinical *Fusarium* spp. isolates identified by molecular methods. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 61: 805-809.
- Alves-Santos F.M., Martínez-Bermejo D., Rodríguez-Molina M.C., Díez J.J. 2007. Cultural characteristics, pathogenicity and genetic diversity of *Fusarium oxysporum* isolates from tobacco fields in Spain. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 71: 26-32.
- Atkins S., Clark I. 2004. Fungal molecular diagnostics: a mini review. *Journal of Applied Genetics* 45: 3-15.
- Bogale M., Wingfield B., Wingfield M., Steenkamp E. 2006. Characterization of *Fusarium oxysporum* isolates from Ethiopia using AFLP, SSR, and DNA sequence analyses. *Fungal Diversity* 23: 51-66.
- Betancourt R. I., Velázquez M. J., Montero C. J., Fernández P. S., Lozoya S. H., Rodríguez A. G. 2012. *Fusarium mexicanum*, agente causal de la malformación de Mango en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30:115-127.
- Booth C. 1986. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Reino Unido. 237 p.
- Cenis J.L. 1992. Rapid extraction of fungal DNA for PCR amplification. *Nucleic Acids Research* 20: 2380.

- Coddington A., Gould D.S. 1992. Use of RFLPs to identify races of fungal pathogens. In: Techniques for the Rapid Detection of Plant Pathogens. J. M. Duncan & L. Torrance, eds. British Society for Plant Pathology. Blackwell Science Publications, Oxford, Gran Bretaña. pp 162-176.
- Dyavaiah M., Ramani R. Chu D., Ritterband D., Shah M., Samsonoff W., Chaturvedi S., Chaturvedi V. 2007. Molecular characterization, biofilm analysis and experimental biofouling study of *Fusarium* isolates from recent cases of fungal keratitis in New York State. BMC Ophthalmology 7: 1.
- Hatsch D., Phalip V., Jeltsch J.M. 2004. Use of genes encoding cellobiohydrolase-C and topoisomerase II as targets for phylogenetic analysis and identification of *Fusarium*. Research in Microbiology 155: 290-296.
- Henson J.M., French R. 1993. The polymerase chain reaction and plant disease diagnosis. Annual Review of Phytopathology 31: 500-504.
- Hinojo M., Llorens A., Mateo R., Patiño B., González-Jaén M., Jiménez M. 2004. Utility of the polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism of the intergenic spacer region of the rDNA for characterizing *Gibberella fujikuroi* isolates. Systematic and Applied Microbiology 27: 681-688.
- INEGI. 2011. Catálogo General de localidades. Unidad de microrregiones dirección general adjunta de planeación microrregional derechos reservados. <http://mapserver.inegi.org.mx>.
- Katan T., Di Primo P. 1999. Current status of vegetative compatibility groups in *Fusarium oxysporum*. Supplement Phytoparasitica 27:1-5.
- Leszczńska B.H., Borys W.M. 1994. Gladiolo. EDAMEX. México, Distrito Federal. 61 p.
- Knutsen A. K., Torp M., Holst-Jensen A. 2004. Phylogenetic analyses of the *Fusarium poae*, *Fusarium sporotrichioides* and *Fusarium langsethiae* species complex based on partial sequences of the translation elongation factor-1 alpha gene, International Journal of Food Microbiology 95: 287-295.
- Llorens A., Hinojo M.J., Mateo R., Valle-Algarra F.M., González-Jaén M.T., Jiménez M. 2006. Characterization of *Fusarium* spp. isolates by PCR-RFLP analysis of the intergenic spacer region of the rRNA gene (rDNA). International Journal of Food Microbiology 106: 297-306.
- Martin R.R., Delano J. & Levesque C.A. 2000. Impacts of molecular diagnostic technologies on plant disease management. Annual Review of Phytopathology 38: 207-239.
- O'Donnell K., Gueidan C., Sink S., Johnston P.R., Crous P.W., Glenn A., Riley R., Zitomer N.C., Colyer P., Waalwijk C., van der Lee T., Moretti A., Kang S, Kim H.S., Geiser D.M., Juba J.H., Baayen R.P., Cromey M.G., Bithell S., Sutton D.A., Skovgaard K., Ploetz R., Kistler H.C., Elliott M., David M., Sarver B.A. 2009. A two-locus DNA sequence database for typing plant and human pathogens within the *Fusarium oxysporum* species complex. Fungal Genetics and Biology 46: 936-948.
- Ortoneda M., Guarro J., Madrid M., Caracuel Z., Roncero M. I., Mayayo E., Di Pietro A. 2003. *Fusarium oxysporum* as a Multihost Model for the Genetic Dissection of Fungal Virulence in Plants and Mammals. Infection and immunity 72: 1760-1766.
- Sakai A., Ozeki Y., Sasaki Y., Suzuki C., Masui Y., Aihara M., Kikuchi Y., Takatori K. 2006. Identification of fungi using DNA sequences: an approach to identify *Fusarium* species isolated from domestic unpolished rice. Shokuhin Eiseigaku Zasshi 47: 268-76.
- Wilson A., Simpson D., Chandle E., Jennings P., Nicholson P. 2004. Development of PCR assays for the detection and differentiation of *Fusarium sporotrichioides* and *Fusarium langsethiae*. FEMS Microbiology Letters 233: 69-76.
- Zaccardelli M., Vitale S., Luongo L., Merighi M., Corazza L. 2008. Morphological and molecular characterization of *Fusarium solani* isolates. Journal of Phytopathology 156: 534-541.



INDICADORES DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) EN MORELOS, MÉXICO

INDICATORS OF NATURAL RESOURCE MANAGEMENT IN THE PRODUCTION OF NOPAL (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) IN MORELOS, MEXICO

Venado-Campos, R.¹; García-Matías, F.¹; Bahena-Delgado, G.²; Alpuche-Garcés O.¹; Saldaña-Fernández M. C.³; Sainz-Aispuro M. J.¹; Aguirre-Flores V.¹; Perdomo-Roldan F.¹

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209. Cuernavaca, Morelos, México. ²Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial Cuautla, CP 62715. Ayala, Morelos, México. ³Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209. Cuernavaca, Morelos, México.

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

RESUMEN

Con el objetivo de identificar las estrategias empleadas por los productores en el manejo de los recursos naturales en la producción de nopal verdura (*Opuntia* sp.). Se realizaron recorridos de campo, entrevistas con líderes y productores, mediante la aplicación de un cuestionario en las localidades de Totolapan y Tlalnepantla en Morelos, México. El 100% de los productores entrevistados mencionaron tener conciencia sobre la importancia de conservar los recursos naturales; 66% de los encuestados en Totolapan aseguraron no estar de acuerdo en abrir nuevas tierras al cultivo; el 54.7% de productores en Tlalnepantla hizo mención de que si hay un efecto positivo en la detención de la degradación del suelo; otro 52.8% perteneciente a Tlalnepantla informaron que la vigilancia del monte es necesaria para el cuidado de los recursos naturales; el 43.4% menciona que la intervención de los productores para mitigar incendios es poco participativa, siendo solo de algunos en Totolapan; mientras que 45.3% de productores en Tlalnepantla señalaron que obtienen leña, madera, oxígeno, plantas medicinales y comestibles del monte; por lo que es necesario implementar estrategias y acciones que contribuyan a preservar los recursos naturales de que disponen.

Palabras clave: Producción, recursos de uso común, nopales, desarrollo rural.

ABSTRACT

With the objective of identifying the strategies used by producers in the management of natural resources in nopal (*Opuntia* spp.) production, field visits were carried out, as well as interviews with leaders and producers, through the application of a questionnaire in the localities of Totolapan and Tlalnepantla in Morelos, México.

All of the producers (100%) interviewed mentioned having awareness about the importance of conserving natural resources; 66 % of the interview respondents in Totolapan declared not being in agreement of opening new lands to cultivation; 54.7 % of the producers in Tlalnepantla mentioned that there is a positive effect in stopping soil degradation;

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 91-97.

Recibido: febrero, 2015. **Aceptado:** agosto, 2017.



another 52.8 % from Tlalnepantla stated that vigilance of the natural areas is necessary for the care of natural resources; 43.4 % mentioned that the intervention of producers to mitigate fires has low participation, with only some from Totolapan participating; meanwhile, 45.3 % of producers in Tlalnepantla pointed out that they get timber, wood, oxygen, medicinal and edible plants from the forest; therefore, it is necessary to implement strategies and actions that contribute to preserving the natural resources that they have available.

Keywords: Production, resources of common use, nopal, rural development.

dos municipios donde además se encuentra la mayor extensión de tierra utilizada para el cultivo del nopal verdura (Paz, 2008). A pesar de la importancia económica que representa el nopal verdura para los agricultores en la parte alta del estado de Morelos, existen factores de la producción que inciden de manera directa en la conservación de los recursos naturales. El objetivo de esta investigación fue identificar las estrategias que han empleado los productores en la conservación de los recursos naturales y la producción de nopal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la zona productora de nopal verdura de Tlalnepantla (18° 59' y 19° 06' N, y 98° 54' y 99° 03' O) con altitud de entre 1,700 y 3,500 m (Google Earth, 2014); presenta un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano. Del total de su extensión territorial 12,409.2 hectáreas (124.092 km²) 4,752.6 hectáreas son dedicadas para las actividades agrícolas lo que representa un 38.3%; en lo que respecta al tipo de suelo, predomina el Andosol con un 57.42%, además de los suelos de tipo Leptosol (28.73%), Phaeozem (9.82%), Regosol (2.47%) y Arenosol (0.4%) (INAFED, 2010). Totolapan se ubica a 18° 52' y 19° 20' N, y 98° 52' y 98° 59' O; con altitud de entre 1,700 y 2,700 m (Google Earth, 2014); presenta los climas Templado subhúmedo con lluvias en verano y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media. Del total de su extensión territorial 6,779.8 hectáreas (67.798 km²), el 79.95% es dedicado a la agricultura; los tipos de suelo predominantes son Andosol (69.2%), Regosol (14.17%), Leptosol (12.18%) y Phaeozem (0.13%) (INAFED, 2010). La investigación se llevó

INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia ficus Indica* L. Miller) es originario de América, tiene usos como verdura para consumo en fresco, industria alimenticia, farmacéutica y cosmetológica. Es una hortaliza ligada a la comida mexicana, con fuerte demanda en el extranjero, debido ello son las familias de origen mexicano quienes demandan en grandes volúmenes este producto, razón por la cual se incrementaron las exportaciones de nopal verdura hacia Estados Unidos y Canadá (Flores, 2009). De acuerdo con Cahue (2006) el nopal tiene la cualidad de contribuir a frenar la degradación de los suelos, propiciada por el hombre y por los factores del clima. En Morelos, México, el nopal verdura ocupa el sexto lugar de la superficie cultivada por las hortalizas que se producen en la entidad (SIAP-SAGARPA, 2013). Es parte principal de la vida productiva de las personas que cultivan la tierra en los municipios de Tlalnepantla y Totolapan, desde hace poco más de cuatro décadas, debido quizá (según testimonios de pobladores) a las relaciones sociales de convivencia que se dan con pobladores de la Delegación Milpa Alta en la Ciudad de México. En la actualidad, Tlalnepantla y Totolapan concentran el 86% de la producción estatal de nopal verdura, lo que representa una actividad preponderante en el desarrollo económico; ya que el 90% de la población depende de este producto para cubrir sus necesidades básicas. El nopal, se sigue cultivando en estas tierras debido a que las condiciones ambientales en los dos municipios son extremas, presentando bajas temperaturas en los meses de noviembre a febrero, tampoco se dispone de agua para riego y la topografía es accidentada, lo que impide el desarrollo de otras especies (SAGARPA, 2011). Bocco (2000), plantea que el hombre presenta cierta preocupación derivada de la crisis ambiental que enfrenta, por lo que es necesario buscar alternativas que favorezcan la protección, conservación y uso racional de todo recurso natural que se encuentre en un territorio específico; sobre todo, aquellos que sufren fuertes presiones de tipo ambiental, social y económico. Tal es el caso del panorama encontrado en el área de investigación, como lo señala Paz (2008), la explotación de los bosques en los dos municipios ha sido enorme a cargo de las fábricas papeleras, aunado al accionar de los mismos pobladores para extender la superficie cultivada de nopal en los últimos años, mostrando nulo respeto hacia los recursos naturales. Durante los años ochenta se decreta a la zona de bosques templados ubicados en la parte norte del estado, como un área de reserva natural protegida "Corredor Biológico Chichinautzin", dentro de la cual están incluidos terrenos comunales y ejidales pertenecientes a los

a cabo en las etapas: Primer contacto y sensibilización; observación (recorridos de campo), aplicación de encuesta y realización de entrevistas a informantes clave. Para la recopilación de la información fue determinante contar con la confianza de los productores de nopal verdura; después de ello, se realizaron las observaciones durante los recorridos por las parcelas en campo de acuerdo con la metodología de Howard (2003), con lo cual se elaboró un cuestionario; el cual fue aplicado a una población estudiada de n=53 productores pertenecientes a dos municipios en el Estado de Morelos. Se aplicaron entrevistas a informantes clave y productores líderes en cada localidad, para reafirmar y contrastar la información obtenida mediante la encuesta; la selección de los participantes se llevó a cabo mediante la técnica de muestreo no probabilístico denominada "Bola de nieve" (Martín, 2007), la cual consiste en contactar a los primeros participantes, seguido de nominar o proponer a los siguientes y así sucesivamente hasta recopilar la información suficiente para la investigación. Las variables analizadas fueron: conservación de los recursos naturales, apertura de nuevas tierras al cultivo, el nopal ayuda a frenar la degradación de los suelos, los beneficios que obtienen los productores de nopal del bosque; las cuales no están dadas de manera numérica, sino más bien como categorías descriptivas (Howard, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1, muestra que el 100% de los productores entrevistados en el municipio de Tlalnepantla manifestaron tener conciencia sobre la conservación de los recursos naturales de que disponen en

el territorio, a pesar de que cuando fue introducido el cultivo de nopal, hubo una agresión hacia el bosque por ampliación de superficie para siembra, en los últimos años se ha registrado mayor control al respecto. En cuanto a las estrategias de conservación de los recursos naturales, los productores han optado por construir terrazas, ya sea utilizando piedras, madera o con árboles frutales, los cuales sirven como barrera viva evitando la erosión de los suelos por lluvia, viento y propiciando la recarga de los mantos acuíferos, además de proporcionar frutos que son empleados como complemento de su alimentación

generado por las UMA (Unidad de Manejo Ambiental) creando mayor conciencia en los productores sobre el cuidado de sus recursos.

Lo anterior coincide con lo planteado por Bonilla (2009), quien señala que la permanencia de actividades agropecuarias y el bosque, se efectúan en un espacio de transición entre el ámbito rural y el urbano, donde es posible llevar a cabo los trabajos agrícolas, la conservación del ambiente y la lucha social por mantener la posesión de la tierra, dándole el arraigo e identidad a la población del lugar. Baraza (2008), puntualiza que es determinante un

Cuadro 1. Acciones implementadas por productores de nopal verdura para conservar los recursos naturales en dos municipios de Morelos, México.

| Acciones para el cuidado de los recursos naturales | Tlalnepantla | Totolapan |
|--|--|--|
| Conservación del suelo | Elaboración de terrazas | Elaboración de terrazas |
| Reforestación del monte | Programas de reforestación por el gobierno y productores | Programas de reforestación por el gobierno y productores |
| Control de Fauna silvestre | Manejo de UMA y hacer respetar las temporadas de veda entre la comunidad | Manejo de UMA y hacer respetar las temporadas de veda entre la comunidad |

Fuente: elaboración propia con datos del cuestionario.

y generar un ingreso adicional por la venta de sus productos en la misma comunidad. Otras acciones que han emprendido para contribuir a la conservación de los recursos naturales han sido programas de capacitación en cuanto a reforestación, podas sanitarias de los árboles eliminando ramas secas que son empleadas como combustible, control de plagas y enfermedades. Así mismo, de acuerdo a las opiniones hechas por los productores, otras estrategias de conservación de recursos naturales, es mantener controlada la caza de animales silvestres, ya que estos efectúan un control de roedores y aves que afectan los cultivos, todo ello fue

vínculo entre los investigadores y habitantes campesinos, con lo cual se pretende que haya una contribución en el desarrollo rural a nivel local, considerando los programas de conservación de los recursos naturales como una de las estrategias para el lograr un desarrollo sustentable, haciendo sinergia entre la ciencia y los saberes locales. Los productores de nopal han creado conciencia de ello, porque con los cultivos anteriores observaban que sus tierras eran erosionadas. En cuanto a la apertura de nuevas tierras al cultivo los resultados indicaron que el 58% de los productores entrevistados en Tlalnepantla manifestaron que la apertura pro-

vocó la destrucción de matorrales bajos que son los que captan la lluvia y facilitan la recarga de los mantos acuíferos y que muchos manantiales se secaron debido a la deforestación, mientras que en Totolapan el 66% de los productores de nopal coinciden en que el abrir nuevas tierras al cultivo han provocado consecuencias negativas, como deforestación bosque. Por otra parte, el 25% y 26% de los encuestados de cada municipio opinaron que ya no hay lugar para continuar con la plantación del cultivo de nopal y además se provocaría la saturación de los mercados, propiciando una disminución en el precio del producto; en tanto que, el 17% y 8% de los encuestados en cada municipio, consideraron que si es posible la apertura de nuevas tierras, siempre y cuando se realicen acciones encaminadas a la conservación de los recursos naturales de manera controlada, como lo es la construcción de terrazas y plantación de árboles frutales en los límites de sus terrenos para evitar la erosión de suelos, obtención de alimentos y recursos económicos.

Autores como Bartra (2008), afirman que ante la globalidad mundial, se debe de tomar en consideración para la producción de alimentos aspectos, tales como la degradación de los sistemas agrícolas intensivos, en los que se logran altos rendimientos pero ocasionan la degradación de los recursos naturales, como lo es la apertura de nuevas tierras a los cultivos que contribuyen a acrecentar el cambio climático, muchas de estas situaciones se tornan agresivas al ambiente, afectando principalmente los bosques y aquellas áreas naturales protegidas. Es el caso de los municipios estudiados, los cuales se ubican en un corredor biológico protegido, para ello se planteaba que no se dañarían sus recursos naturales debido a las experiencias pasadas con las empresas madereras; pese a ello, en la práctica los productores afectan en gran medida al monte, sobre todo cuando se extendió la superficie establecida con el cultivo de nopal verdura. En el caso de los productores de los municipios de estudio adoptaron el cultivo de nopal verdura debido a que los cultivos anteriores no les garantizaban rentabilidad.

En cuanto a la percepción de los productores referente a que si el cultivo de nopal ayuda a detener la degradación de los suelos, los resultados de la aplicación del cuestionario indicaron que 54.7% de los encuestados en Tlalnepantla, aseguran que si se tiene un efecto positivo en cuanto a la erosión de los suelos; mientras que el 24.6% de los productores en Tlalnepantla opinaron que el nopal ha provocado erosión de los suelos debido a que para su siembra se tumbaron muchos árboles y las raíces del nopal no son muy grandes y el suelo es arrastrado por las lluvias además de que en medio de los surcos se aplican herbicidas y se eliminan todas las hierbas. Otro 13.1% señaló que la pérdida de los suelos es demasiada, a pesar del

establecimiento del nopal; por otro lado, 32.1% de productores de Totolapan, indicaron que el efecto es negativo y no contribuye a frenar la pérdida de los suelos, debido al laboreo continuo por medio del uso de motocultores que es realizado en el cultivo (Figura 1).

Al respecto Pérez (2013), señala que los sistemas de terrazas son empleados en ambientes de laderas, terrenos con fuertes pendientes, donde actúan para evitar la degradación del suelo y no disponen normalmente de riego, y cuyo efecto es proporcionar fertilidad al suelo sin emplear fertilizantes químicos. Es importante comentar que el conocimiento tradicional es trascendente para implementar este tipo de sistema de producción, ya que tiene un impacto significativo en la producción de alimentos en las regiones montañosas de México (Figura 1). La erosión de los suelos se debe a que en muchos casos se elimina la cubierta protectora que contribuye a disminuir el impacto de la lluvia, y el continuo laboreo del suelo aumenta las pérdidas de suelo. La responsabilidad de efectuar la vigilancia del monte en ambos municipios (Figura 2), mostró que 52.8% de los encuestados en Tlalnepantla, mencionan que el responsable de vigilar el monte es el comisariado de bienes comunales; otro 35.9% de los productores en Totolapan, afirmó que la vigilancia del monte la realiza el comisariado ejidal en los dos municipios; 20.8% de los productores en Tlalnepantla, comentan que la guardia la efectúa el propio municipio; en tanto que 15.1% de los

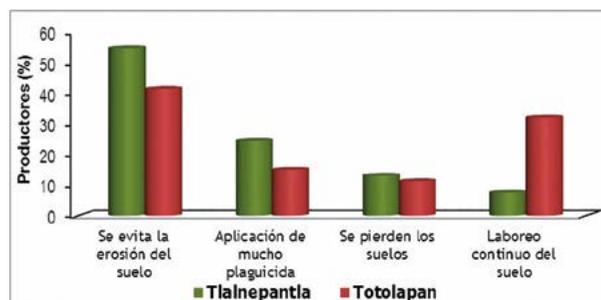


Figura 1. El cultivo de nopal verdura ayuda a frenar la degradación de los suelos en los Municipios de Tlalnepantla y Totolapan, Morelos, México.

encuestados en Totolapan, señalaron que la comunidad misma ejerce la vigilancia del monte.

Todas estas acciones son realizadas por los productores y sus familias para evitar que se siga deforestando el bosque, evite el robo de sus productos cuando tienen un elevado precio o bien la utilización de otras plantas en las festividades, tal como el pericón, así como en la recolección de insectos, hongos comestibles, recolección de tierra de hoja y vara empleada para el tutoreo de algunas hortalizas, así como de otros bienes que las comunidades aprovechan del monte. Autores como Pérez (1998), afirman que aquellas comunidades que disponen de recursos naturales deberán tener la difusión de una cultura forestal, que permita comprender el valor y la complementariedad de las diversas funciones que otorga el monte (bosque), para lo cual se tenga una constante vigilancia sobre los recursos de tal manera que propicie un cambio en sus conductas sociales y dé responsabilidad para garantizar un desarrollo forestal sostenible. En este sentido Sánchez y Ramírez (2012), señala que las comunidades deben de crear mayor conciencia y desarrollar acciones que contribuyan a la conservación de los recursos naturales con los que cuentan, haciendo uso de los conocimientos tradicionales para generar estrategias que garanticen la preservación ambiental.

Las opiniones hechas por los productores de nopal en cuanto al combate de incendios presentados en el monte (Figura 3) mostraron que 43.4% de los encuestados en Totolapan, consideran que la colaboración para tal efecto es mínima porque sólo intervienen algunos productores; 35.8% de las opiniones en Tlalnepantla, mencionan que la intervención es de la mayoría de los productores para controlar incendios en el monte; por otra parte, 26.5% en ambas entidades mencionaron que la participación es de todos los

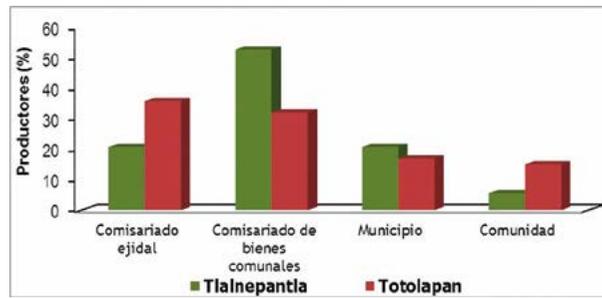


Figura 2. Responsables de realizar la vigilancia de los recursos naturales en el monte del Municipio de Tlalnepantla y Totolapan, Morelos, México.

Ardila (2013), afirma que es determinante la intervención de la comuna para la conservar la biodiversidad, mantener la sostenibilidad y aprovechamiento del territorio; con lo cual los resultados encontrados en la investigación muestran cierta similitud al respecto de la mitigación de los incendios en el monte, para salvaguardar los recursos.

En cuanto a la percepción de las opiniones que tienen los productores de nopal en los municipios bajo estudio, con respecto de los beneficios que les ofrece el monte, el 45.3% de los encuestados en Tlalnepantla, señalan que los principales beneficios obtenidos son leña, madera, plantas comestibles y medicinales, oxígeno y tierra de hoja; del mismo modo, 37.7% de los productores en Tlalnepantla, afirman que los bienes emanados del monte son: leña, plantas comestibles o medicinales, caza de animales principalmente; otro 22.6% de las opiniones de parte de productores en Totolapan, comentan que extraen tanto oxígeno como agua del monte; por otro lado, 13.2% de los encuestados en Totolapan señala que es determinante la obtención de plantas comestibles o medicinales para complementar su dieta o bien propiciar el ahorro aprovechando las bondades de la naturaleza; por último, 5.7% de los productores en Tlalnepantla puntualizan sobre el

hecho de que la madera y la leña son productos conseguidos del monte y que les permite usarlos para la construcción o como combustible para la cocción de sus alimentos. Por lo tanto, hay otros productos que son extraídos para satisfacer sus necesidades, o bien son utilizados para su venta y poder obtener un ingreso

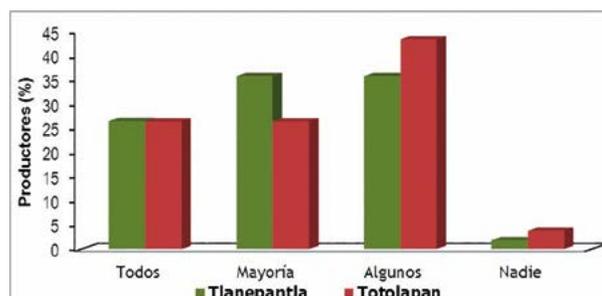


Figura 3. Intervención de los productores para mitigar incendios en el monte en los municipios de Tlalnepantla y Totolapan, Morelos, México.

adicional y no dejan de ser importantes para los mismos productores de nopal en los aspectos ambiental, social y económico (Figura 4).

Por su parte Priego y Ruiz (2008), afirma que el uso y conservación de los recursos naturales, han experimentado cambios debido a su escasa valoración, de tal modo que hoy en día se pueden tener grandes beneficios del vínculo social del monte en torno a tres aspectos: la diversificación desde una perspectiva amplia de la sostenibilidad, un cambio en la educación ambiental de la comunidad y una mayor participación social en la gestión de los espacios naturales; tal como se ha señalado anteriormente, los productores de nopal verdura en los dos municipios estudiados muestran mayor conciencia con respecto al cuidado y manejo de los recursos naturales, sobre todo por aquellos materiales que utilizan para sus propios intereses.

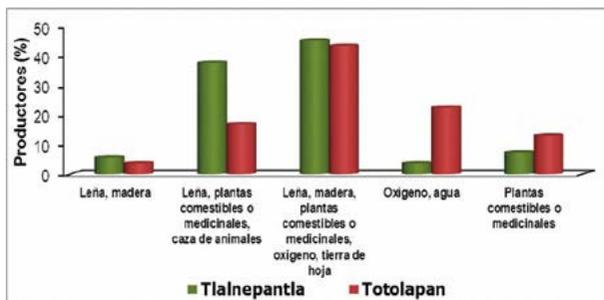


Figura 4. Beneficios que brinda el monte a los productores de nopal verdura en dos Municipios de Morelos, México.

CONCLUSIONES

El nopal verdura en los dos municipios analizados, tiene gran importancia la conservación de los recursos naturales, como lo es el manejo de un sistema de producción basado en la construcción de terrazas para evitar la degradación de los suelos por la acción del agua, ya que el sistema radical del nopal contribuye a tal efecto; por otro lado, en cuanto al manejo del monte se tiene como recompensa la obtención de ciertos materiales y productos que son necesarios para satisfacer sus necesidades; así mismo, se encontró que existe conciencia en cuanto a su manejo y aprovechamiento de manera racional, y con ello consolidar la relación existente entre el área natural protegida y la producción de nopal. La intervención de los productores en algunas acciones es relevante por la mitigación de incendios en el monte, donde la participación es solo de algunos para controlar los incendios presentados, y en la responsabilidad

de llevar a cabo la vigilancia de los recursos naturales, donde las opiniones de los productores indicaron que el compromiso lo asumen los órganos de representación ejidal y de bienes comunales.

LITERATURA CITADA

- Altieri M.A., Bravo E. 2008. La tragedia social y ecológica de la producción de agrocombustibles en el continente Americano. Documento Disponible en: <http://www.landaction.org/IMG/pdf/Altieri-Bravo-Biocombustibles-ES.pdf>
- Ardila-Cortés E.L. 2013. Caracterización socioambiental de la localidad 20 de Bogotá, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, Vol. 17. Núm. 33. pp. 13-27
- Baraza-Ruiz E., Estrella-Ruiz J.P. 2008. Manejo sustentable de los recursos naturales guiado por proyectos científicos en la mixteca poblana mexicana. *Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Vol. 17 Núm. 2. Mayo. España. pp. 3-9 Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/98>
- Bartra A. 2008. Fin de fiesta: El fantasma del hambre recorre el mundo. En *Revista Argumentos. Estudios críticos de la sociedad, nueva época*. Vol. 21 Núm. 57. Mayo - Agosto. UAM-Xochimilco. México. pp. 15-31
- Bocco G., Velázquez-Montes A., Torres-García A. 2000. Ciencia, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Un caso de investigación participativa en México. *Revista Interciencia*. Vol. 25. Núm. 2. Marzo-Abril. Venezuela. pp. 64-70. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33904403>
- Bonilla-Rodríguez R. 2009. Agricultura y tenencia de la tierra en Milpa Alta. Un lugar de identidad. En: *Argumentos. Estudios críticos de la sociedad, nueva época*. Núm. 61. Septiembre - Diciembre. UAM-Xochimilco. México. pp. 249-284
- Cahue-Morales D., Calderón-Ortiz G., Ruiz-Pérez A. 2006. Alimentación, pobreza y el cultivo de nopal. *Congreso Alimentación y Territorios 2006. Red Sistemas Agroalimentarios Localizados, SIAL*. Cd. Baeza, Andalucía, España. pp. 30.
- Flores-Valdez C.A. 2009. Producción y comercialización de la tuna y el nopalito en México. pp 87-94. En: Vázquez-Alvarado, R. E.; Blanco-Macías, F.; Valdez-Cepeda, R. D. y Santos-Haliscak, a. (Editores). *Memoria del VIII Simposium-Taller Nacional y I Internacional de Producción y aprovechamiento del nopal y maguey*. Campus de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de nuevo León. Escobedo, N. L., México. 285 p.
- Google Earth. 2014. Digital Globe. Us Dept of State Geographer U S Navy.
- Halfpeter G. 1994. Conservación de la biodiversidad y áreas protegidas en los países tropicales. En: *Revista Ciencias UNAM*. Número 36. Octubre - Diciembre. México. pp. 4-13.
- Howard-Schwartz J.J. 2003. *Sociología cualitativa. Método de la reconstrucción de la realidad*. Editorial Trillas. Cuarta reimpresión. México. 543 p.
- INAFED. 2010. Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal Enciclopedia de los Municipios de México. Secretaría de Gobernación. México. Consultado en: http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_morelos 21 de Noviembre de 2014.
- Karlin M. 2015. Aprovechamiento de la potencialidad silvopastoril como alternativa para el control de incendios en la Reserva

- Natural Militar La Calera, Córdoba (Argentina). En: 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles - VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales. Mayo. Argentina. pp. 636-640
- Martín-Crespo B.C., Salamanca-Castro A.B. 2007. El muestreo en la investigación cualitativa. Nure Investigación. Núm. 27. Consultado el 22 de febrero de 2013. En: www.nureinvestigacion.es/FICHEROS_ADMINISTRADOR/F_METODO...
- Paz-Salinas M.F. 2008. De áreas naturales protegidas y participación: convergencias y divergencias en la construcción del interés público. En: Nueva Antropología, vol. XXI, núm. 68, enero-junio, pp. 51-74.
- Pérez-Sánchez J.M., Juan-Pérez J.I. 2013. Caracterización y análisis de los sistemas de terrazas agrícolas en el valle de Toluca, México. En: Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Vol. 10. Núm. 4. Octubre – Diciembre. México. pp. 397-418
- Pérez-Vilariño J. 1998. Construcción social del monte y desarrollo corporativo del sector forestal. Revista Agricultura y Sociedad. No. 85. Enero-Abril. España. pp. 15-45
- Priego G. de C.C., Ruiz R.J. 2008. Perspectivas y demandas sociales para el desarrollo de los espacios forestales. Agricultura Familiar en España 2008. Fundación de estudios rurales. UPA. pp 44-56. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/24629/1/Perpectivas%20y%20demandas%20sociales%20para%20el%20desarrollo%20de%20los%20espacios%20forestales.pdf>
- SAGARPA. 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Opuntia*. Nopal y Tuna, un cultivo con alto potencial. Revista especializada en Nopal, Tuna y Xoconostle. Año 1. Número 1. Diciembre. Comité Nacional Sistema Producto Nopal y Tuna. 29 p.
- Sánchez-Midence L.A., Ramírez V.L. 2012. La interculturalidad y la protección de los recursos naturales en Guatemala. Centro de Estudios Educativos. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos. Vol. XLII. No. 3. México. pp. 65-90
- SIAP-SAGARPA. 2013. Consultado el 26 de enero de 2013. En: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>



SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS DE HIDROXIAPATITA Y SU TOXICIDAD EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

HYDROXYAPATITE NANOPARTICLES SYNTHESIS AND THEIR TOXICITY ON LETTUCE (*Lactuca sativa* L.)

Ortiz, C.G.¹, Carrillo-González, R.^{1*}; González-Chávez, M.C.A.¹, López, L.J.²

¹Colegio de Postgraduados, Edafología. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, México. CP 56230. ²Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez 68725, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia: crogelio@colpos.mx

RESUMEN

Se sintetizó hidroxiapatita tamaño nanométrico mediante extracción biológica a partir de huesos de pescado y por precipitación química. Los materiales sintetizados se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido, potencial zeta, conductividad eléctrica, tamaño hidrodinámico, por difracción de rayos X y pruebas de solubilidad. Se evaluó la toxicidad de las nanopartículas en lechuga (*Lactuca sativa* L.). El menor y más homogéneo tamaño de partícula (89 a 99 nm) de β -hidroxiapatita (nHAP) se obtuvo con el método de precipitación química, con formas esféricas y estables. Por el procedimiento biológico se obtuvieron partículas irregulares en forma y tamaño. Las nHAP en polvo tuvieron solubilidad muy baja y se observó pérdida del material de menor tamaño en el proceso de secado. Las nHAP en solución no tuvieron efectos tóxicos en la germinación de semillas de lechuga.

Palabras clave: precipitación química, secado por aspersión, potencial zeta, difracción de rayos X.

ABSTRACT

Hydroxyapatite of nanometric size was synthesized through biological extraction from fish bones and by chemical precipitation. The materials synthesized were characterized through scanning electron microscopy, zeta potential, electric conductivity, hydrodynamic size, X-ray diffraction, and solubility tests. The toxicity of the nanoparticles was evaluated in lettuce (*Lactuca sativa* L.). The smallest and most homogenous particle size (89 to 99 nm) of β -hydroxyapatite (nHAP) was obtained with the chemical precipitation method, with spherical and stable shapes. Through the biological procedure, irregular particles in shape and size were obtained. The nHAP in powder had very low solubility and a loss of the material of smaller size was observed in the drying process. The nHAP in solution did not have toxic effects in the germination of lettuce seeds.

Keywords: chemical precipitation, drying by spraying, zeta potential, X-ray diffraction.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp: 98-105.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** septiembre, 2017.

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es el estudio y manipulación de la materia en la nanoescala de 1 hasta 100 nm (Ramsden, 2011). Este tamaño permite una amplia posibilidad de aplicaciones (Guo *et al.*, 2014). Las estructuras a tamaño nanométrico tienen propiedades y aplicaciones no observables en la materia a escala mayor (Corbett *et al.*, 2002). El tamaño de estos materiales permite que manifiesten propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes a las del mismo material con tamaños de partícula mayores. Záyago *et al.* (2013) explicaron la diferencia en las propiedades de los materiales debido principalmente a dos razones: las nanopartículas poseen mayor superficie por unidad de volumen y por tanto mayor reactividad. El efecto cuántico hace que la materia a menor tamaño experimente mayores cambios en las propiedades magnéticas, ópticas, eléctricas, mecánicas y térmicas. El método de síntesis de nanopartículas resulta en variaciones en las propiedades físicas y químicas de los materiales. Hay cinco tipos de síntesis de nanopartículas de hidroxiapatita (NPH): a saber: a) métodos secos, b) métodos húmedos, c) procesos en alta temperatura, d) extracción biológica, e) métodos combinados; cada uno con diversas subdivisiones (Sadat-Shojai *et al.*, 2013). Uno de los efectos secundarios de la utilización de los nanomateriales es su liberación al ambiente (Bystrzejewska-Piotrowska *et al.*, 2009), lo que puede ser una preocupación por sus implicaciones ambientales (Forloni, 2012). La toxicidad y degradación de estos nanomateriales no puede evaluarse con precisión, ni de forma generalizada (Frejo *et al.*, 2011). Sus efectos en el ambiente dependen del tipo de nanopartícula, propiedades físicas y químicas y además del medio en el que se liberan (Remédios *et al.*, 2012), lo que dificulta su rastreo. Casi toda la roca fosfórica producida actualmente (95%) se usa para producir fertilizantes (Aydin *et al.*, 2010); sin embargo se puede destinar a otros usos en los cuales es deseable mayor reactividad, como para atrapar compuestos tóxicos. Desde este punto de vista las nanopartículas pueden ser una opción útil por su reactividad (Chen *et al.*, 2010). Para el uso de nanomateriales en la actividad agrícola o en química ambiental es necesario seleccionar procedimientos de bajo costo, evaluar su eficiencia en comparación con los materiales a escala micrométrica y a granel, así como su toxicidad en el ambiente donde puedan ser liberados. Considerando esta información, este estudio tuvo como objetivos: 1) Sintetizar nanopartículas de hidroxiapatita por los métodos convencional de precipitación química y extracción biológica por hidrólisis alcalina y; 2) analizar el riesgo de

toxicidad aguda de estos nanomateriales en semillas y plántulas de lechuga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis: La finalidad de comparar los procedimientos de síntesis es recomendar el método con el que se obtenga el menor y más homogéneo tamaño de partícula. Para la síntesis biológica, el tejido óseo de salmón se calentó a 200 °C durante 3 h para remover tejido blando. Se enjuagó con agua y se repitió la operación a 100 °C por 4 h para eliminar el tejido remanente. Los huesos se hirvieron por una hora con 500 mL de acetona (0.02%) y NaOH (2%). La fracción sólida se enjuagó varias veces para eliminar las grasas y se secó en horno a 100 °C por 3 h. Se pesó 10 g del sedimento resultante y se agregó 100 mL de NaOH 2M a 100 °C. Este paso se repitió varias veces para remover las trazas de carne, grasa y colágeno. Se lavó con agua, se centrifugó a 1000 rpm durante cinco min hasta alcanzar pH de 7. El sedimento se secó a 100 °C por una h (Venkatesan *et al.*, 2015). La síntesis química se hizo a partir de las siguientes soluciones: Ca(OH)₂ 0.1 M y H₃PO₄ 0.06 M. La ecuación de la reacción de síntesis es la siguiente:



La solución de hidróxido se calentó (80 °C) antes de la adición del ácido con agitación constante a 400 rpm y en sistema abierto (Kumar *et al.*, 2004), como energía de activación. La solución ácida (H₃PO₄) se adicionó con una bomba peristáltica gota a gota sobre el hidróxido a una velocidad de 3 mL min⁻¹. El pH de reacción se mantuvo en 10 con solución de KOH 1 M. Al terminar la reacción, la hidroxiapatita se dejó cristalizar por 1 h con la misma agitación y temperatura (Gentile *et al.*, 2015). La solución se enfrió agitando por 1.5 h, y se colocó en un baño de ultrasonido (a 40 W) por 30 min para disgregar los conglomerados y reducir el tamaño de las partículas.

Caracterización de nanopartículas: Se midió el tamaño de partículas en solución (diámetro hidrodinámico), el potencial zeta (mediante electroforesis Doppler) con el Zetasizer Nano ZS90 (Malvern Instruments), mediante la técnica dispersión de luz dinámica (DLS) a temperatura ambiente. De manera simultánea se determinó el índice de polidispersidad (PDI). Los valores cercanos a 0 indican que la muestra es monodispersa; mientras valores cercanos a la unidad indican que la muestra presenta gran variedad de tamaños. El tamaño y forma de partículas secas se midió con microscopio electrónico

de barrido (JEOL Japan Scanning Electron Microscopy 6390 SEM). La eficiencia de la síntesis se determinó con la concentración de fósforo y calcio remanente en el sobrenadante, después de centrifugar las muestras por 10 min a 10,000 rpm. El calcio se determinó por absorción atómica y el fósforo total por colorimetría usando el reactivo Armstrong, formando un complejo color azul (Murphy, 1962). Se utilizó un equipo de difracción (Rigaku modelo Miniflex 600), con un tubo de rayos X, radiación de $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda=1.54 \text{ \AA}$), foco lineal, 40 kV y 15 mA. En el haz incidente se colocó una rendija Soller con filtro de Ni y rendija de 0.5 mm. En la óptica difractada se utilizó un detector Dtex ultra de alta velocidad para obtener los patrones de difracción de alta calidad. Se realizaron mediciones en geometría simétrica o de polvos (2θ) de 2 a 100 grados con tamaño de paso de 0.01 a 3 grados min^{-1} . Se midió la concentración total de fósforo en las nanopartículas en polvo, para lo cual se digirió la muestra con 4 mL de la mezcla $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ relación 4:1:2 (Batey *et al.*, 1974). La concentración de fósforo en las nanopartículas sintetizadas vía precipitación química (nHAP) se comparó con la de: 1) Fosfato dicálcico anhidro (DCPA) grado analítico (CaHPO_4); 2) roca fosfórica de Baja California Sur (RFBCS); 3) roca fosfórica de San Luis Potosí (RFSLP); 4) roca fosfórica de Marruecos (RFM); 5) roca fosfórica de Zimapan, Hidalgo (RFZ). La solubilidad de nHAP se midió extrayendo (0.3 g) con 30 mL de ácido cítrico a 2% (Brathwaite *et al.*, 1989); también se comparó con los cinco materiales mencionados anteriormente.

Prueba de fitotoxicidad: Se determinó fitotoxicidad (imbibición y germinación de lechuga) de las nanopartículas obtenidas por síntesis química (nHAP; Bowers *et al.*, 1997). Se utilizaron semillas peletizadas de lechuga italiana var. Starfighter (95% de germinación garantizada en la etiqueta). La prueba de efecto sobre la imbibición se hizo sumergiendo durante 1 h 100 semillas seleccionadas en 40 mL de las siguientes soluciones (USEPA, 1996): 1) Agua destilada como testigo; 2) RFM (8,000 mg L^{-1}); 3) nHAP (8,000 mg L^{-1}); 4) fosfato dicálcico anhidro (DCPA), (8,000 mg L^{-1}). Después del tratamiento se evaluó la humedad y el contenido de fósforo. El efecto en la germinación se evaluó exponiendo las semillas a las soluciones mencionadas en cajas Petri cubiertas con papel filtro, hasta su germinación. Las unidades experimentales se dejaron en la obscuridad a temperatura constante (20 °C) y cada 24 h se revisó la proporción de germinación (emergencia de la radícula; Joseph *et al.*, 2014).

Porcentaje de germinación total o potencial germinativo (PGT):

$$PGT = \frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Semillas totales}} * 100$$

Índice de germinación (IG): Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$IG = \frac{PGR * CRR}{100}$$

Donde: PRG es el porcentaje de semillas germinadas en el tratamiento con respecto al testigo; CRR es el crecimiento relativo de la radícula

$$PRG = \frac{\text{Semillas germinadas en el tratamiento}}{\text{Semillas germinadas en el testigo}} * 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de nanopartículas: Tamaño. Las partículas de hidroxiapatita (FHAP) obtenidas por extracción biológica tuvieron tamaños superiores a los 100 nm, con amplia variabilidad en tamaño y formas irregulares (Figura 1a). Las partículas de hidroxiapatita obtenidas por este

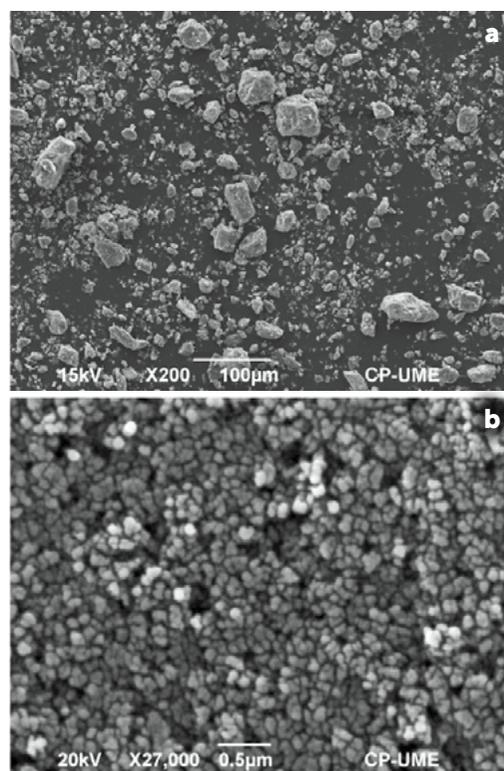


Figura 1. Forma y tamaño de partículas de hidroxiapatita obtenidas por: a) síntesis biológica (FHAP), b) síntesis química (nHAP).

método de síntesis no se utilizaron en las pruebas posteriores. El intervalo amplio de tamaño de partícula obtenido en la síntesis biológica puede atribuirse a la hidrólisis final con NaOH 2 M. En este estudio se utilizó una relación de 1:10 partículas de hidroxiapatita: solución alcalina, pero Venkatesan *et al.* (2011) utilizaron una relación 1:30, mayor relación de partículas:solución alcalina que permite hidrólisis mucho más fuerte. Con el método de precipitación química se obtuvieron nHAP con distribución homogénea de tamaños de partícula, pero inferior a 100 nm (Cuadro 1), pese a que las variaciones en la temperatura fueron de 4 °C. La temperatura es el factor más importante para controlar el tamaño de las partículas, debido a que variaciones pequeñas de temperatura afectan el radio hidrodinámico o la aglomeración de las moléculas. El pH es el segundo factor más importante, pues la síntesis debe hacerse en condiciones alcalinas; ya que de este factor depende la estabilidad de las estructuras que se forman. Otro factor que provoca variaciones es la concentración de los reactivos; pues en soluciones muy concentradas el tamaño de las partículas aumenta. La homogeneidad en la distribución de los tamaños de partícula (muestra monodispersa) se observa durante todo el proceso de estandarización del método. Esto se corrobora con los valores de PDI (Cuadro 1) muy por debajo del valor máximo 1 (Lancheros *et al.*, 2014).

Los intervalos de tamaños de nHAP se deben a las variaciones en el tiempo de nucleación de las partículas con respecto a su tiempo de crecimiento. A mayor tiempo de nucleación y menor tiempo de crecimiento, se obtienen nanopartículas con menor tamaño (González *et al.*, 2015). Se asume al obtener partículas menores a 100 nm el tiempo de nucleación de las mismas fue mayor que el tiempo de crecimiento. Forma. Las nHAP sintetizadas fueron esféricas, lo cual concuerda con lo reportado por Kumar *et al.* (2004) para este método de síntesis (Figura 2). Según este autor, el tamaño y forma de las partículas es dependiente tanto de la concentración y tipo de los reactivos, como de la temperatura. Conforme la tem-

peratura de síntesis aumenta, se cambia de nanoagujas (25 nm de ancho y más de 200 nm de largo) a nanopartículas esféricas. Sin embargo, estos cambios se dan en orden inverso si se usan otros reactivos, como los mostrados en la siguiente ecuación:



La homogeneidad o monodispersión de tamaños de partícula depende de que ocurra nucleación homogénea, la cual se describe a partir del modelo de LaMer y Dinegar (1950). Para tener nucleación homogénea se requiere que la solución se encuentre sobresaturada. Esto implica condiciones de inestabilidad termodinámica en ausencia de una interface sólida, lo cual podría explicar la dificultad para controlar las variaciones internas de temperatura en la solución. Según González *et al.*, (2015) los procesos termodinámicos y la cinética a escala nanométrica resultan más complicados que en procesos a escala micrométrica; debido a los altos valores de relación superficie/volumen. A pesar de estas complicaciones, se logró nucleación homogénea durante la síntesis con 99.5% de las nanopartículas del mismo tamaño. *Potencial Zeta*. De acuerdo con Velasco-Rodríguez *et al.* (2012) una suspensión se considera inestable si la variación del potencial Zeta es mayor a ± 30 mV, en este caso la variación observada fue mucho menor a ese valor (Cuadro 1). El potencial Zeta adquiere valores negativos posiblemente debido a la presencia de grupos fosfato e hidroxilo (Maia *et al.*, 2016).

Eficiencia de síntesis: Se observó que 99.7% del fósforo usado en la reacción formó hidroxiapatita, quedando sólo de 0.26% a 0.1% en solución. No se detectó relación lineal entre el gasto de KOH y la cantidad de cationes o aniones en solución. Pero como el sistema de reacción fue abierto, es posible que durante la síntesis el CO₂ atmosférico pueda sustituir al fosfato (PO₄³⁻) en diversas proporciones en la estructura de la hidroxiapatita, ocurriendo sustituciones tipo B que son predominantes

Cuadro 1. Variación de las propiedades físico-químicas de la hidroxiapatita en solución durante el proceso de estandarización.

| Muestra | Tamaño hidrodinámico (nm) | ^a PDI | Potencial Zeta (mV) | ^b CE (mS cm ⁻¹) | Eficiencia de síntesis (%) | Gasto KOH (mL) |
|----------|---------------------------|------------------|---------------------|--|----------------------------|----------------|
| Mínimo | 85 ± 3.50 | 0.15 ± 0.01 | -49.97 ± 1.60 | 1.88 ± 0.02 | 96.25 | 18 |
| Estándar | 99.6 ± 0.29 | 0.16 ± 0.02 | -48.53 ± 1.27 | 2.34 ± 0.02 | 95.00 | 8 |
| Máximo | 8092 ± 10191 | 0.21 ± 0.07 | -0.008 ± 0.001 | 4.34 ± 0.01 | 91.25 | 35 |

^aPDI=Polidispersidad, ^bCE=conductividad eléctrica. Media±desviación estándar, n=3.

en hidroxiapatita sintetizada por precipitación química (Barralet *et al.*, 2002). La conductividad eléctrica de la solución de H_3PO_4 0.06 M usada fue de 10.54 mS cm^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Este valor se redujo notablemente después de la reacción y formación de nHAP. Esto se explica por la baja solubilidad de las nHAP. Prakash *et al.*, (2006) reportaron conductividad de 7.31 mS cm^{-1} a $22 \text{ }^\circ\text{C}$ y pH de 1.84. La disociación de H_3PO_4 en iones ($H^+/H_2PO_4^-$ a $22 \text{ }^\circ\text{C}$) es de 24%, la cual se incrementa en forma directamente proporcional con el pH, durante la síntesis ($80 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). El pH se ajustó a 10. Bajo estas condiciones el porcentaje de disociación del fosfato varía pues las constantes de equilibrio cambian en función de la temperatura, (van't Hoff, 1884).

Pureza por método de síntesis: El análisis elemental dio una relación molar Ca/P de 1.59 (Figura 2), muy cercana al valor teórico de hidroxiapatita con fórmula general $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ (Ca/P=1.667). La diferencia de valor puede explicarse por la presencia de minerales secundarios como fosfato tricálcico (Best *et al.*, 2008). La concentración de carbono podría indicar sustitución de carbonatos por el ión fosfato en la estructura de la hidroxiapatita (hidroxiapatita tipo B). Durante el secado por aspersión de las nHAP en suspensión, se perdió 50% del material. El peso de las nHAP secas fue de 2 g. Los espectros de difracción de rayos X muestran que se produjo nHAP con parámetros cristalográficos semejantes. El espectro del mineral de referencia que más se asemeja a estas partículas corresponde a una apatita con sustituciones de sílice, con fórmula química secundaria $Ca_{10}(PO_4)_{4.92}(SiO_4)_{1.08}(OH)_{0.664}$ (Figura 3).

Se observa el pico principal de la hidroxiapatita, con la mayor intensidad a $2\theta=31.773$ correspondiente al plano 1 2 1 acompañado por dos picos con menor intensidad a $2\theta=32.093$ y $2\theta=32.943$; correspondientes a los planos 1 1 2 y 0 3 0 respectivamente. La amplitud de los picos de difracción muestra tamaño de cristal muy grande, esto posiblemente se debe al secado.

Los parámetros de celda fueron muy parecidos a los de la hidroxiapatita estequiométrica (JCPDS card, 9-432), lo que implica que sus estructuras

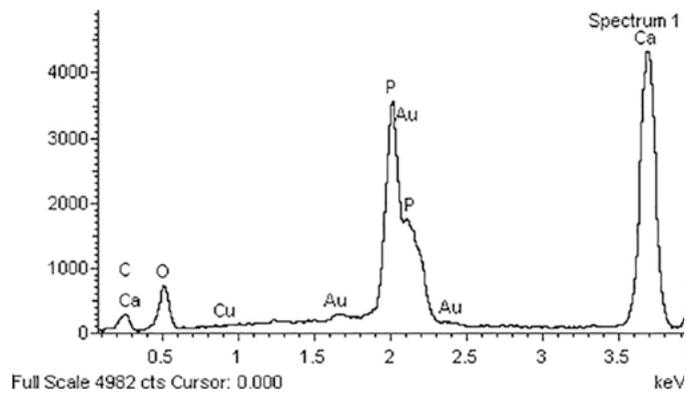


Figura 2. Análisis elemental de partículas mediante microanálisis EDAX.

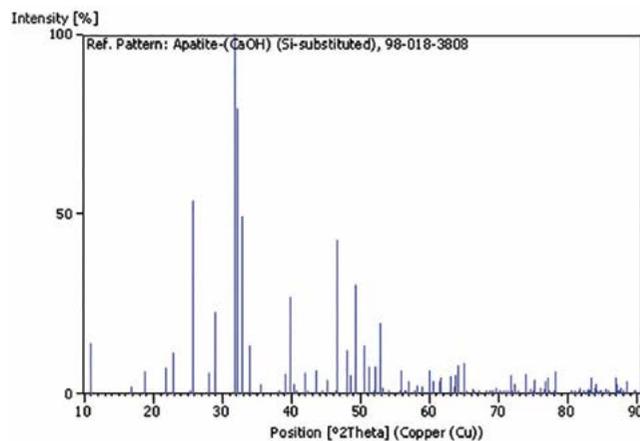
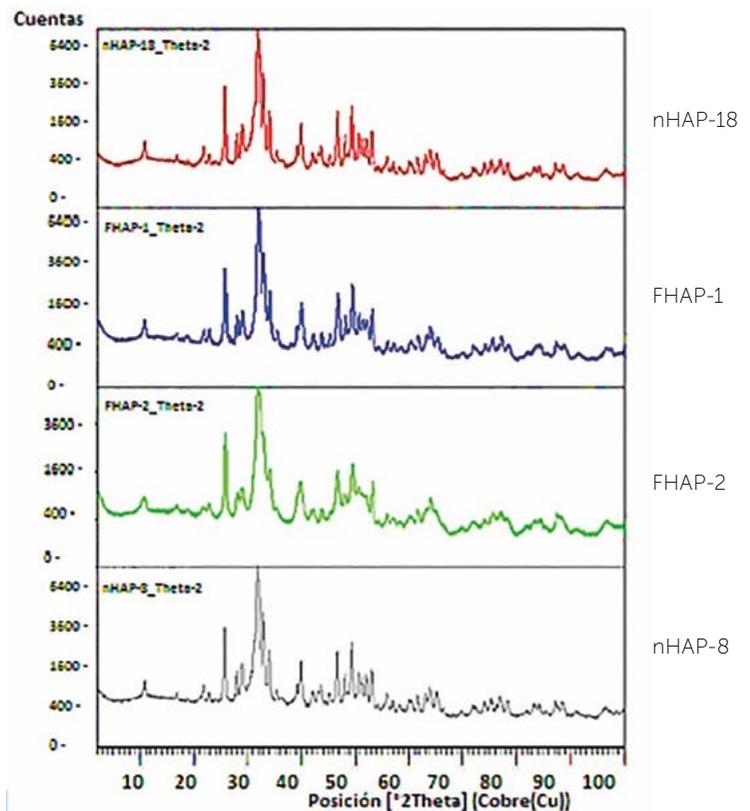


Figura 3. Espectros de difracción de rayos X de las muestras sólidas de partículas sintetizadas mediante los métodos químico (nHAP) y biológico (FHAP) y patrón de referencia de apatita con sustituciones de sílice.

son semejantes. En la síntesis biológica, las diferencias en los parámetros se explican debido a las sustituciones iónicas que presenta la hidroxiapatita en los huesos de cualquier animal. Como lo reportaron Tamamura *et al.*, (2016) para hidroxiapatita obtenida de huesos de bovino. En el caso de la síntesis química, las diferencias pueden deberse a iones potasio agregado para controlar el pH, que sustituyen al calcio dentro de la estructura de la hidroxiapatita. Esto es importante para definir el uso al que se destinen las nanopartículas. Las nHAP obtenidas por el método biológico se pueden usar en aplicaciones donde el tamaño no es el factor principal en la reactividad del material como reservorios de agentes anticorrosivos (Ferreira & Montemor, 2010). La síntesis biológica mediante hidrólisis alcalina resulta más amigable con el ambiente (Venkatesan *et al.*, 2011), pues se puede sintetizar a partir de residuos biológicos.

Espectroscopia infrarroja (FTIR): En los espectros de las nHAP sintetizadas por método químico (Figura 4b) se observan las bandas de absorción ubicadas a 564, 602 y 1027 cm^{-1} , correspondientes a las vibraciones asimétricas tipo flexión y estiramiento y asimétricas de estiramiento (Nikcevic *et al.*, 2006), la banda en 962 cm^{-1} corresponde a vibraciones de estiramiento del PO_4^{3-} , respectivamente. Las bandas en 876 y 1419 cm^{-1} corresponden a la sustitución (tipo B) de CO_3^{2-} por PO_4^{3-} ; asociadas a vibraciones de flexión fuera del plano y vibraciones de estiramiento asimétrico. Esto concuerda con lo reportado por Gunduz (2014) para nHAP. Las sus-

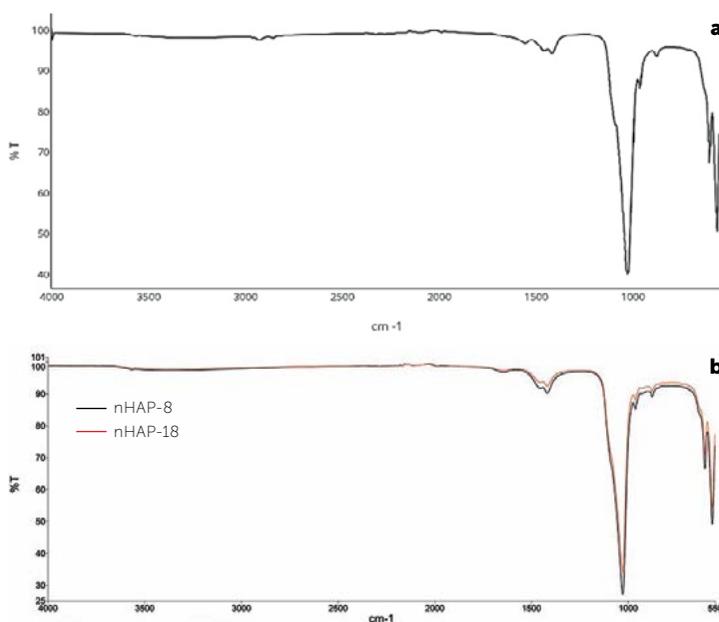


Figura 4. Espectro de infrarrojo (FTIR) de partículas de hidroxiapatita (a) síntesis biológica y (b) síntesis química.

Cuadro 2. Parámetros cristalográficos de partículas de hidroxiapatita

| Parámetro | Valor | ^a JCPDS | |
|---|------------|--------------------|-------|
| Sistema cristalino | Hexagonal | Hexagonal | |
| Grupo espacial | P 63/m | | |
| Número de grupo espacial | 176 | | |
| Ejes | a (Å): | 9.411 | 9.418 |
| | b (Å): | 9.411 | 9.411 |
| | c (Å): | 6.917 | 6.884 |
| Ángulos | Alfa (°): | 90.000 | |
| | Beta (°): | 90.000 | |
| | Gamma (°): | 120.000 | |
| Densidad calculada ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$): | 3.12 | | |

^a Hidroxiapatita estequiométrica (JCPDS card, 9-432; Nikcevic *et al.*, 2006).

tituciones de CO_3^{2-} causan variaciones en la eficiencia de síntesis, reflejada ésta como variación en la intensidad de la vibración de enlaces PO_4^{3-} (picos 1027, 602 y 564 cm^{-1}).

La concentración de fósforo (126.61 g kg^{-1}) en la roca fosfórica de Marruecos (RFM) es similar al de las nHAP (118.68 g kg^{-1}), razón por la cual se usó esta roca fosfórica como material de referencia para las pruebas de toxicidad. Las rocas fosfóricas de San Luis (RFSLP; 137.6 g kg^{-1}) y Zimapan (RFZ; 136.78 g kg^{-1}) tuvieron mayor concentración de fósforo, en contraste con la de Baja California Sur (RFBCS; 76.93 g kg^{-1}), lo cual se debe al origen de los minerales que determina la cantidad de impurezas.

Pruebas de solubilidad: El fosfato dicálcico anhidro (DCPA) y nHAP solubilizaron únicamente fósforo durante dos extracciones, con igual porcentaje acumulado pero menor que los otros minerales. La roca fosfórica a granel liberó más lentamente el P: RFBCS en tres extracciones y, RFSLP, RFM y RFZ durante las cuatro extracciones. Las variaciones en la solubilidad pueden ser explicadas por las impurezas como calcita, dolomita o yeso (Axelrod & Greidenger, 1979). Esto concuerda con lo presentado por Hedley *et al.*, (1988). Las impurezas influyen en la reacción con los extractantes. (Gholizadeh *et al.*, 2009)

Para obtener nHAP en polvo en tamaño nano se necesita del secado por aspersión y éste presenta varios inconvenientes: mayor gasto energético; pérdida de las partículas por volatilización. Se

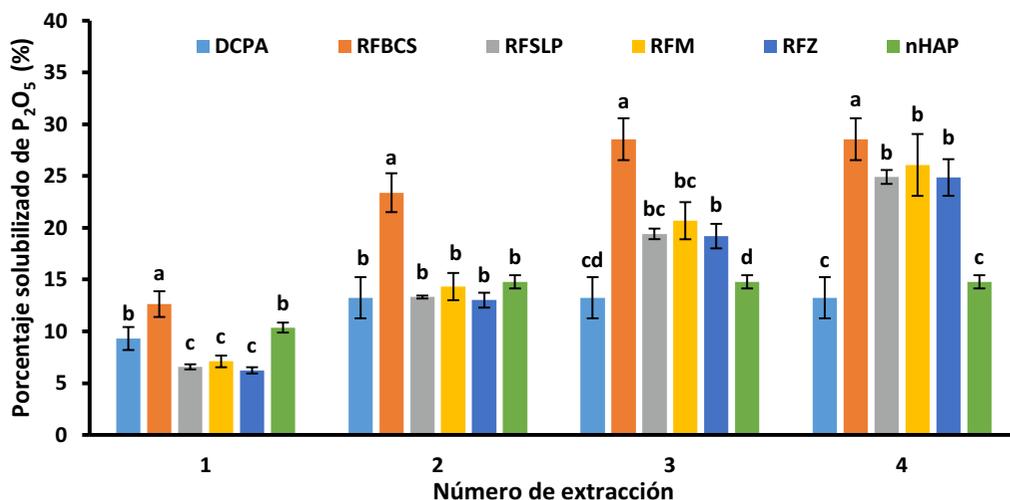


Figura 5. Solubilidad acumulada de fósforo (P_2O_5) de los minerales utilizados. Letras distintas indican diferencias significativas entre los minerales ($p < 0.05$). $n = 3$. DCPA=Fosfato dicálcico anhidro, RFBCS=Roca fosfórica de Baja California Sur, RFSLP=Roca fosfórica de San Luis Potosí, RFM=Roca fosfórica de Marruecos, RFZ=Roca fosfórica de Zimapán Hidalgo, nHAP=nanopartículas de hidroxiapatita.

recomienda usar las nanopartículas directamente en solución, ya que presentan menor tamaño y mayor reactividad.

Ensayo de toxicidad de nanopartículas de hidroxiapatita

La concentración de nHAP (8000 mg L^{-1}) usadas en esta prueba equivale a 247 mg L^{-1} de P extraíble con ácido cítrico; concentración que podría ser tóxica. Sin embargo, durante la prueba de imbibición de las semillas, las nHAP en suspensión no fueron absorbidas por las semillas. La suspensión de hidroxiapatita presentó mayor fuerza iónica que el testigo. De acuerdo con Chaparro *et al.* (2011) existe relación inversa entre la fuerza iónica y la absorción del agua; sin embargo, no se observó este efecto en las propiedades de la semilla. Las semillas germinaron al día siguiente de embebidas. El promedio del porcentaje de germinación de semillas de lechuga fue 100% en agua destilada (testigo) y no hubo diferencias con la aplicación de nHAP, DCAP y RFM. Esto significa que las nHAP no tienen efectos tóxicos en el proceso germinativo. La concentración de fósforo disponible en los minerales no es suficiente para ser absorbida por las semillas. Por último, la reducción en el tamaño de partículas en el caso de nHAP no facilitó su penetración o absorción. Como las cantidades aplicadas son pequeñas, el pH (8) de la solución no parece tener efecto tóxico en las plantas.

CONCLUSIONES

El método de síntesis de hidroxiapatita nanométrica más eficiente fue la precipitación química; ya que se obtuvieron tamaños menores a 100 nm. La morfología de

las nHAP fue esférica, con distribución de tamaños homogénea. El secado por aspersión causó pérdidas por lo que debe mejorarse la forma de secado. Las nHAP en solución no son tóxicas para semillas de lechuga.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor. A la extinta Línea Prioritaria de Investigación (LPI 16) Innovación Tecnológica del CP por su apoyo en la Unidad de Microscopía Electrónica, y las facilidades para el uso del Zeta Sizer Nano.

LITERATURA CITADA

Axelrod S., Greidinger D. 1979. Phosphate solubility tests - interference of some accessory minerals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 30(2), 153-157. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740300209>

Aydin I., Aydin F., Saydut A., Bakirdere E.G., Hamamci C. 2010. Hazardous metal geochemistry of sedimentary phosphate rock used for fertilizer (Mazidag, SE Anatolia, Turkey). *Microchemical Journal*, 96(2), 247-251. <http://doi.org/10.1016/j.microc.2010.03.006>

Barralet J., Knowles J.C., Best S., Bonfield W. 2002. Thermal decomposition of synthesised carbonate hydroxyapatite. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 13(6), 529-533. <http://doi.org/10.1023/A:1015175108668>

Batey T., Cresser M.S., Willett I.R. 1974. Sulphuric-perchloric acid digestion of plant material for nitrogen determination. *Analytica Chimica Acta*, 69(2), 484-487. [http://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)80919-3](http://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)80919-3)

Best S.M., Porter A.E., Thian E.S., Huang J. 2008. Bioceramics: Past, present and for the future. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(7), 1319-1327. <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.12.001>

Bowers N., Pratt J.R., Beeson D., Lewis M. 1997. Comparative Evaluation of Soil Toxicity Using Lettuce Seeds and Soil Ciliates. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(2), 207-213. <http://doi.org/10.1002/etc.5620160216>

Braithwaite A.C., Eaton A.C., Groom P.S. 1989. Some factors associated with the use of the extractants 2 % citric acid and 2 % formic acid as estimators of available phosphorus in fertiliser products, 175-181.

- Bystrzejewska-Piotrowska G., Golimowski J., Urban P.L. 2009. Nanoparticles: Their potential toxicity, waste and environmental management. *Waste Management*, 29(9), 2587-2595. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.001>
- Chaparro A.S.P., Gil G.J.H., Aristizábal T.I. D. 2011. Efecto de la hidratación y la cocción en las propiedades físicas y funcionales de la harina de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Vitae*, 18(2), 133-143.
- Chen S.B., Ma Y.B., Chen L., Xian K. 2010. Adsorption of aqueous Cd 2+, Pb 2+, Cu 2+ ions by nano-hydroxyapatite: Single- and multi-metal competitive adsorption study. *Geochemical Journal*, 44, 233-239. <http://doi.org/10.2343/geochemj.1.0065>
- Corbett J., McKeown P.A., Peggs G.N., Whatmore R. 2002. Nanotechnology: International Developments and Emerging Products, 47(8), 1324-1328. [http://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63454-4](http://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63454-4)
- Ferreira M.G.S., Montemor M.F. 2010. Hydroxyapatite Microparticles as Feedback-Active Reservoirs of Corrosion, 21(11), 3011-3022. <http://doi.org/10.1021/am1005942>
- Forloni G. 2012. Responsible nanotechnology development. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(8). <http://doi.org/10.1007/s11051-012-1007-1>
- Frejo M., Díaz M., Lobo M., García J., Capó M. 2011. Nanotoxicología ambiental : retos actuales, 26(2).
- Gentile P., Wilcock C., Miller C., Moorehead R., Hatton P. 2015. Process Optimisation to Control the Physico-Chemical Characteristics of Biomimetic Nanoscale Hydroxyapatites Prepared Using Wet Chemical Precipitation. *Materials*, 8(5), 2297-2310. <http://doi.org/10.3390/ma8052297>
- Gholizadeh A., Ardalan M., Tehrani M.M., Hosseini H. M., Karimian N. 2009. Solubility test in some phosphate rocks and their potential for direct application in soil. *World Applied Sciences Journal*, 6(2), 182-190.
- González J. E. E. 2015. Nanomateriales: Nanopartículas coloidales. Colombia. Nanocitec. ISBN: 978-950-46-6931-5
- Gunduz O. 2014. A simple method of producing hydroxyapatite and tri calcium phosphate from coral (*Pocillopora verrucosa*). *Journal of the Australian Ceramic Society*, 50(2), 52-58.
- Guo D., Xie G., Luo J. 2014. Mechanical properties of nanoparticñes: basic and applications. *J. Phys. D. Appl. Phy* 47(1), 1-25.
- Hannah W., Thompson P.B. 2008. Nanotechnology, risk and the environment: a review. *Journal of Environmental Monitoring*, 10(3), 291. <http://doi.org/10.1039/b718127m>
- Hashim M.A., Mukhopadhyay S., Sahu J.N., Sengupta B. 2011. Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2355-2388. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.009>
- Hedley M.J., Bolan N.S., Braithwaite A.C. 1988. Single superphosphate-reactive phosphate rock mixtures. 2. The effect of phosphate rock type and denning time on the amounts of acidulated and extractable phosphate. *Fertilizer Research*, 16(2), 179-194. <http://doi.org/10.1007/BF01049773>
- Joseph A., Romero R., Alberto C., Salazar R., Arturo R., Picos R., Díaz S. 2014. Índices De Germinación Y Elongación Radical De, 30(2), 307-316.
- Kumar R., Prakash K.H., Cheang P., Khor K.A. 2004. Temperature driven morphological changes of chemically precipitated hydroxyapatite nanoparticles. *Langmuir*, 20(13), 5196-5200. <http://doi.org/10.1021/la049304f>
- Lancheros C.A. Guerrero R.D. Godoy-Silva 2014. Producción de nanopartículas de PLCA por el método de evaporación para encapsular N-acetilcisteína (NAC). *Univ. Sci.* 19: 161-168.
- LaMer V.K., Dinegar R.H. 1950. Theory, Production and Mechanism of Formation of Monodispersed Hydrosols, *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 72, No. 11, 1950, pp. 4847-4854. [doi:10.1021/ja01167a001](http://doi.org/10.1021/ja01167a001)
- Lindsay W.L. 1980. Chemical Equilibria in Soils. *Clays and Clay Minerals*, 28(4), 319-319. <http://doi.org/10.1346/CCMN.1980.0280411>
- Liu R., Lal R. 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports*, 4, 5686. <http://doi.org/10.1038/srep05686>
- Murphy J.P.R. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters., 27, 31-36.
- Nikcevic I., Maravic D., Ignjatovic N., Mitric M., Makovec D., Uskokovic D. 2006. The formation and characterization of nanocrystalline phases by mechanical milling of biphasic calcium phosphate/poly-L-lactic biocomposite. *Materials Transactions* 47: 2980-2986.
- Ostwald W. 1917. An introduction to theoretical and applied colloid chemistry.
- Prakash K.H., Kumar R., Ooi C.P., Cheang P., Khor K. A. 2006. Conductometric study of precursor compound formation during wet-chemical synthesis of nanocrystalline hydroxyapatite. *Journal of Physical Chemistry B*, 110(48), 24457-24462. <http://doi.org/10.1021/jp065200x>
- Ramsden J.J. 2011. Chapter 12 - The Impact of Nanotechnology. *Nanotechnology*, 227-246. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-096447-8.00012-0>
- Remédios C., Rosário F., Bastos V. 2012. Environmental Nanoparticles Interactions with Plants: Morphological, Physiological, and Genotoxic Aspects. *Journal of Botany*, 2012, 1-8. <http://doi.org/10.1155/2012/751686>
- Sadat-Shojai M., Khorasani M.T., Dinpanah-Khoshdargi E., Jamshidi A. 2013. Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite with diverse structures. *Acta Biomaterialia*. <http://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.04.012>
- Tamamura R., Kono T., Okada H., Kuwada-kusunose T., Suzuki K., Gotouda H., Sakae T. 2016. Crystallographic Study of the Immature Bovine Incisor Enamel and Dentin. *Journal of Hard Tissue Biology*, 25(4), 421-426.
- Taniguchi N. 1975. On the basic concept of 'nanotechnology'. In: Proceedings of international conference on production engineering Tokyo Part II. Japan Society of Precision Engineering, (Japan Society of Precision Engineering).
- USEPA. 1996. Ecological effects test guidelines. Seed germination/root elongation toxicity tes. U.S. Environmental Protection Agency, 712-Na-96-1.
- Velasco-Rodríguez V., Cornejo-Mazon M., Flores-Flores J.O., Gutierrez-Lopez G.F., Hernandez-Sanchez H. 2012. Preparation and properties of alpha-lipoic acid-loaded chitosan nanoparticles. *Revista Mexicana De Ingenieria Quimica*, 11(1), 155-161.
- Venkatesan J., Lowe B., Manivasagan P., Kang K.H., Chalisserry E. P., Anil S., Kim S.K. 2015. Isolation and characterization of nano-hydroxyapatite from salmon fish bone. *Materials*, 8(8), 5426-5439. <http://doi.org/10.3390/ma8085253>
- Venkatesan J., Qian Z. J., Ryu B., Thomas N.V., Kim S.K. 2011. A comparative study of thermal calcination and an alkaline hydrolysis method in the isolation of hydroxyapatite from Thunnus obesus bone. *Biomedical materials (Bristol, England)*, 6(3), 35003. <http://doi.org/10.1088/1748-6041/6/3/035003>
- Záyago E., Foladori G., Appelbaum R., Arteaga E. 2013. Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer inventario. *Estudios Sociales*, 42, 9-25.

BIODIGESTOR MÓVIL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS UTILIZANDO ESTIÉRCOL DE OVINO

MOBILE BIODIGESTOR FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS USING SHEEP MANURE

González-Medina, E.E.^{1*}; Rössel-Kipping, E.D.¹; Amante-Orozco, A.^{1*}; García-Herrera, E.J.¹; Ortiz-Laurel, H.²

¹Colegio de Postgraduados. Campus S.L.P. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. C. P. 78600. México. ²Colegio De Postgraduados Campus Córdoba Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: aamante@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue diseñar conceptualmente un biodigestor de campo que se caracterizara por tener movilidad, integración de otras energías renovables en su operación y funcionamiento, y alta capacidad de materia seca, con el fin de disponer de una fuente alternativa de energía para el altiplano mexicano y cuidar el medio ambiente. La investigación se realizó en Salinas, San Luis Potosí, México. Se eligió estiércol de ovino como residuo orgánico, se realizó la optimización de transporte y ubicación de almacenes según la disponibilidad en el municipio. Se efectuaron ensayos de filtración en estiércol y se obtuvo el peso seco en laboratorio. El biodigestor móvil termofílico permitió mejorar el proceso de la producción de biogás al reducir la cantidad de agua necesaria en más del 50 % por la alta concentración de sólidos totales utilizados; al ahorrar energía para el transporte del suministro del residuo y distribución de biofertilizante por la movilidad del biodigestor; y al reducir el tiempo de digestión del sustrato alrededor del 50% por su calentamiento usando energía. Además, no es necesario el mezclado del sustrato de forma hidráulica, mecánica o neumática, dado que esa función la realiza la recirculación del líquido y del biogás en el biodigestor. Se mejoran también las propiedades físico-químicas de los suelos agrícolas al aplicar el biofertilizante coproducto del proceso. Es posible utilizar el biodigestor en forma móvil, transportable o estacionario. Es necesario realizar ensayos de producción de biogás con el biodigestor para determinar su factibilidad.

Palabras clave: Energía alterna, ahorro de agua y energía en el tratamiento de residuos orgánicos.

ABSTRACT

The objective of this study was to conceptually design a field biodigester that is characterized by being mobile, integrating other renewable energies in its operation and functioning, and a high capacity for dry matter, with the aim of having an alternative source of energy for the Mexican highlands and to care for the environment. The research was done in Salinas, San Luis Potosí, México; sheep manure was chosen as organic residue, and the optimization of transport and location of storehouses was performed based on the availability in the municipality. Manure filtration assays were done and the dry weight was obtained in the laboratory. The mobile thermophilic biodigester presented the possibility of improving the biogas production process with the following effects: reduction of the water necessary in more than 50 % due to the high dry matter. Because of the mobility, energy is saved for transport of the material supply and biofertilizer distribution. Solar heating of the substrate allows reducing the processing time around 50 %. The process of mixing the hydraulic, mechanic, pneumatic substrate is not necessary because only the liquid moves. In addition, soil compacting is reduced because of the weight reduction of the biofertilizer. It is possible to use the biodigester in a mobile, transportable or stationary way. Assays are necessary in the production with different technological uses to receive experiences of feasibility.

Keywords: alternative energy, energy reduction of the process and water.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 106-115.

Recibido: junio, 2016. **Aceptado:** septiembre, 2017.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el planeta ha experimentado un acelerado proceso de calentamiento global. La temperatura media de la atmósfera terrestre y de los océanos se ha elevado desde finales del siglo XIX, esto debido a la actividad humana relacionada con la industrialización, principalmente por la quema de combustibles a base de petróleo, gas y carbón (IPCC, 2002; Bravo, 2008; Rojas, 2009). De acuerdo a Domínguez (2002) y Guevara (1996), es necesario trazar una estrategia con el tratamiento y disposición final de desechos sólidos y líquidos (Guevara, 1996). El suministro descentralizado de energía significa que la energía se produce y consume en el mismo lugar. Aunque para algunos, como GVBI Hessen (1985) y Grawe (1989), la descentralización se relaciona con el tamaño de las plantas generadoras y su adaptación a las condiciones locales. La producción descentralizada de energía permite satisfacer las necesidades energéticas de cada lugar con los recursos energéticos de que ésta disponga, disminuyendo el efecto sobre el medio ambiente y contribuyendo a disminuir las pérdidas energéticas ocasionadas por los procesos de transmisión y distribución (Gavilán, 2004). En ese sentido, Rössel et al. (2013) mencionan que es necesario tomar las medidas necesarias para asegurar

una constante interacción entre el progreso científico y técnico, de tal manera que la producción energética se realice con una mayor eficiencia y con bajos costos. Bajo este contexto, el uso de biodigestores para la producción descentralizada de una energía limpia como el biogás y la reutilización de desechos, así como la integración de otras energías renovables en el proceso que impacten positivamente los balances de energía y de emisión de GEI, es una alternativa interesante y prometedora. El objetivo de este trabajo, fue diseñar un prototipo de biodigestor de campo que se caracterice por: a) su movilidad, de tal manera que el tratamiento de residuos orgánicos y producción de biogás sean descentralizados, b) se integren otras energías renovables en su operación y funcionamiento para aumentar la producción de biogás y su contenido de metano, c)

tenga alta capacidad de carga de materia orgánica para un uso más eficiente del agua. Con lo cual se dispondrá de una fuente alternativa de energía para el altiplano mexicano y de una tecnología que permita el cuidado al medio ambiente.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en el Municipio de Salinas, San Luis Potosí, México; el clima corresponde a Seco semifrío con lluvias en verano y precipitación invernal que van desde 300-500 mm al año (INEGI, 2009). La agricultura y la ganadería ocupa el 22.80% de la superficie municipal, y se cría ganado bovino, porcino, ovino y caprino (INEGI, 1987). Se consideraron los siguientes aspectos: optimización de transporte y almacenaje, aspectos climáticos, dimensiones del biodigestor, modo de operación, almacenamiento del biogás, y los posibles usos de la energía. Un ejemplo de biodigestor estacionario con calentador solar integrado es el desarrollado en el

Colegio de Postgraduados (Figura 1). También se analizaron 60 plantas existentes las cuales realizan tareas parciales del flujo tecnológico ideal para el uso de un biodigestor que se muestra en la Figura 2.

El diseño del biodigestor móvil consideró que debería contar con las características de movilidad para transportar el biodigestor de un almacén a otro, el

biodigestor integraría energías renovables en su operación y funcionamiento (proceso termofílico), con la finalidad de optimizar los balances de energía y de emisión de gases de efecto invernadero; y debería reducir el agua del proceso por una alta concentración de masa seca en el biodigestor. En cuanto al residuo orgánico, se buscó que tuviera alta disponibilidad en el municipio de Salinas. Por lo tanto, y con información de SINIIGA (2015) se obtuvieron las localidades del municipio con ganado ovino. La producción diaria de estiércol por localidad se estimó entonces asumiendo un peso promedio de 30 kg por animal, los cuales, según Cruz (1986) generan 0.7 kg diarios de estiércol. Se recogieron 250 g de estiércol de borregas en dos formas, una oreada y otra fresca. Se colocaron en una estufa a 65 °C y se mantuvo en ella hasta obtener peso



Figura 1. Biodigestor estacionario utilizando energía solar.

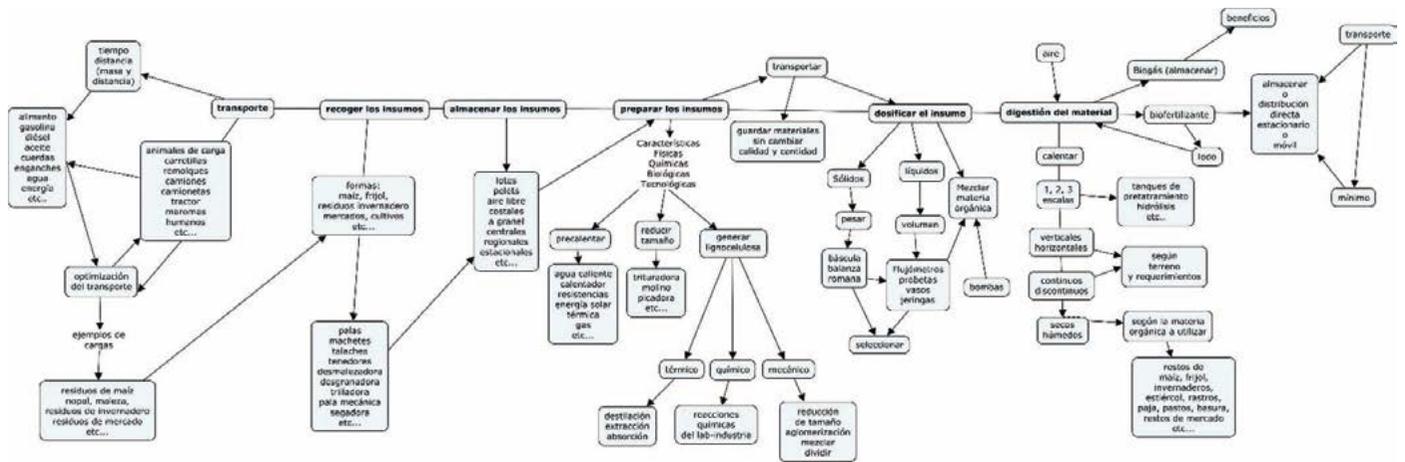


Figura 2. Flujo tecnológico del biodigestor.

constante, con lo cual el ensayo se realizó con estiércol fresco, y otro oreado. En la Figura 3 se presenta un diagrama del ensayo de filtración de agua en estiércol.

Optimización del transporte y almacenaje de residuos

Para la optimización del transporte se utilizó el método para un modelo continuo propuesto por Rössel et al. (2013). El método se utilizó para determinar el sitio de ubicación del almacén dentro de una zona determinada con diferentes áreas productoras del residuo, en este caso, de residuos orgánicos, y consiste en seleccionar un lugar para concentrar los residuos de tal manera que su transporte requiera un mínimo de energía. El cálculo requiere de establecer un sistema de coordenadas cartesianas con divisiones elegidas arbitrariamente. A los puntos medios de las áreas productoras (A_i) se les asigna las coordenadas correspondientes x_i y y_i . También se estima el rendimiento promedio de residuos orgánicos en cada área productora (a_i). La distancia del punto medio de A_i hasta el lugar D se determina con la ecuación:

$$e_i = \sqrt{(x_D - x_i)^2 + (y_D - y_i)^2}$$

La selección del lugar D se realiza entonces en función de que el transporte de los residuos represente un costo mínimo, lo cual se determina con la siguiente expresión: $\sum_{i=1}^n a_i * e_i \rightarrow \text{mínimo}$; El valor se aproxima al mínimo previsto cuando las coordenadas x_D y y_D donde se ubicará el almacén se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$x_D = \frac{\sum_i x_i * a_i}{\sum_i a_i};$$

$$y_D = \frac{\sum_i y_i * a_i}{\sum_i a_i}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con datos de SINIIGA (2015) se determinaron las áreas productoras de estiércol de ovino en el municipio de Salinas. Para cada una de estas áreas se determinaron las coordenadas x y y de su punto medio, a la vez que se estimó la producción diaria del residuo orgánico, con lo que, finalmente, se calcularon las coordenadas del lugar donde se debe ubicar el almacén, de tal manera que el uso de energía para el transporte del estiércol sea mínimo (Figura 4). Como ejemplo de la forma como se determinaron los lugares donde se establecerán los almacenes de residuos orgánicos (estiércol en nuestro caso), el Cuadro 1 presenta la información

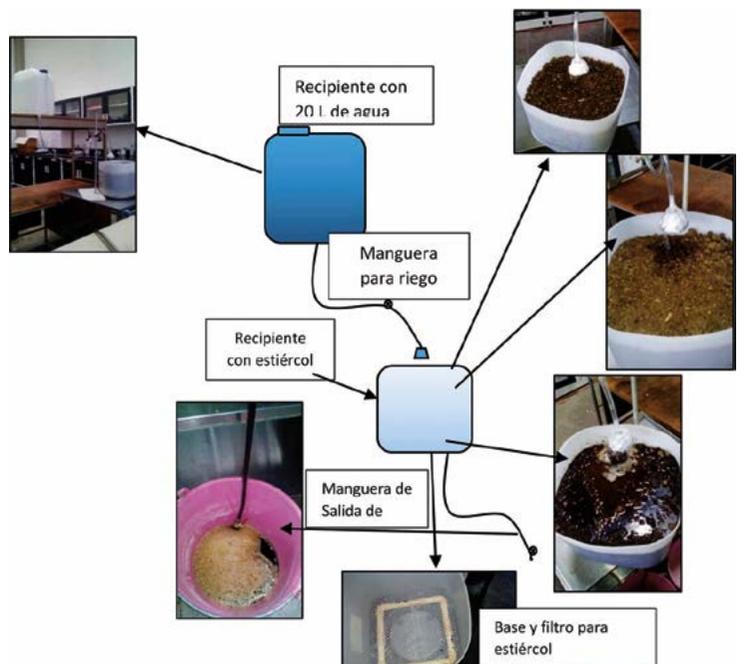


Figura 3. Filtrado de agua en stock de estiércol fresco y oreado respectivamente.

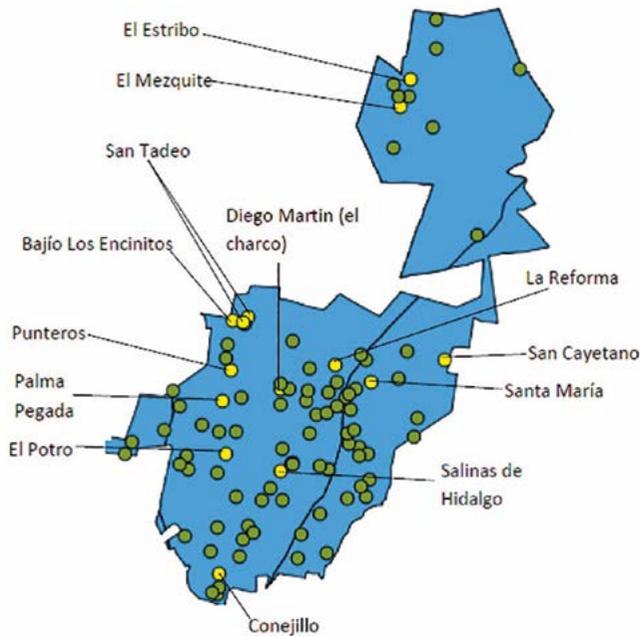


Figura 4. Localidades en el municipio de Salinas, SLP, México, con residuos de ovinos.

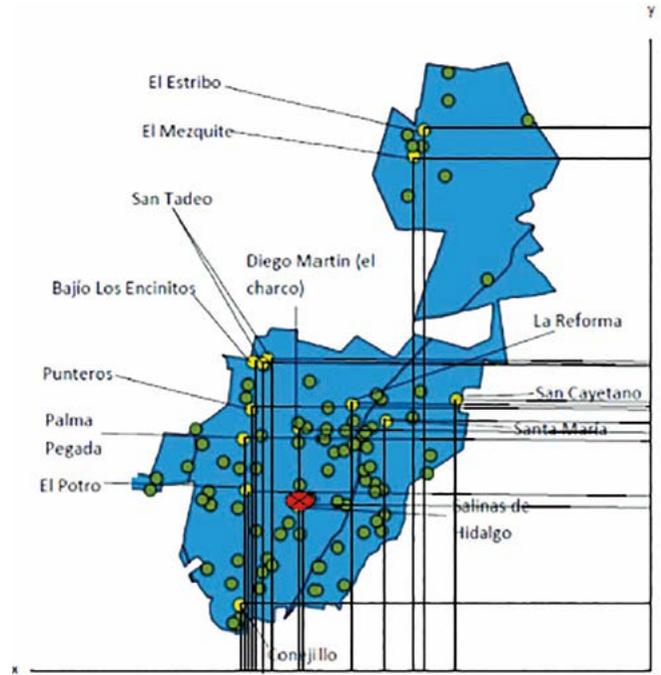


Figura 5. Ubicación del almacén en el municipio de Salinas, SLP, México, en las coordenadas x_D y y_D calculadas.

necesaria para determinar el lugar de un almacén de acuerdo al método empleado.

Con la información del Cuadro 1 se obtuvieron las coordenadas x_D y y_D donde se ubicó el almacén de residuos de ovinos como se indica a continuación.

$$x_D = \frac{\sum_i x_i * a_i}{\sum_i a_i} = \frac{146349}{12467} = 11.7$$

$$y_D = \frac{\sum_i y_i * a_i}{\sum_i a_i} = \frac{110591}{12467} = 8.9$$

Cuadro 1. Localidades con ovinos en el municipio de Salinas y cálculos necesarios para determinar las coordenadas x_D y y_D para el punto central de almacenaje.

| Localidad A_i | Ovinos (cabezas) | Coordenadas | | Producción diaria de residuos (kg) a_i | $x_i * a_i$ | $y_i * a_i$ |
|-------------------|------------------|-------------|-------|--|---------------|---------------|
| | | x_i | y_i | | | |
| Bajío los Encinos | 35 | 12.7 | 12.8 | 24.5 | 311 | 314 |
| Conejillo | 2388 | 13.0 | 5.5 | 1671.6 | 21731 | 9194 |
| Diego Martín | 41 | 11.2 | 10.9 | 28.7 | 321 | 313 |
| El Estribo | 39 | 7.0 | 20.3 | 27.3 | 191 | 554 |
| El Mezquite | 36 | 7.4 | 19.5 | 25.2 | 186 | 491 |
| Palma Pegada | 4481 | 13.0 | 10.1 | 3136.7 | 40777 | 31681 |
| El Potro | 1192 | 12.8 | 9.1 | 834.4 | 10680 | 7593 |
| Punteros | 52 | 12.7 | 11.5 | 36.4 | 462 | 419 |
| La Reforma | 1173 | 9.5 | 11.7 | 821.1 | 7800 | 9607 |
| Salinas de Hgo. | 8112 | 11.0 | 8.5 | 5678.4 | 62462 | 48266 |
| San Cayetano | 138 | 6.2 | 11.9 | 96.6 | 599 | 1150 |
| San Tadeo | 41 | 12.0 | 13.0 | 28.7 | 344 | 373 |
| Santa María | 82 | 8.4 | 11.1 | 57.4 | 482 | 637 |
| Total | 17810 | | | 12467.0 | 146349 | 110591 |

En la Figura 5 se muestra la ubicación de un almacén conforme a las coordenadas x_D y y_D calculadas y con la cual se optimizó la cantidad de energía requerida para el transporte de los residuos orgánicos que se generan diariamente. Algunos autores consideran que es necesario mediante distribuciones óptimas de lugares, nuevas tecnologías, programas de ahorro y mejora de la eficiencia energética al reducir en gran medida costos medioambientales, económicos y salubres. (Lakshmanan y Han,

1997; Schipper *et al.*, 1997; Steenhof *et al.*, 2006).

De acuerdo a la distribución de las localidades productoras de residuos de ovinos a lo largo y ancho del municipio de Salinas, se proponen dos tipos de esquemas (modelos) para la recolección de residuos orgánicos los cuales

servirán de materia prima para la producción de biogás centralizado. En lo que respecta al primer modelo, en la Figura 6 se muestra una comunidad compuesta por la ciudad en el eje central, seis áreas de coberturas distintas y cada una de ellas con su respectivo almacén descentralizado. El biodigestor que tendrá la característica de ser móvil, se podrá desplazar a cada una de las áreas y aprovechar los residuos orgánicos generados en dicha zona para la producción de biogás y biofertilizante para aprovecharse en el mismo sitio; es más factible el llevar un biodigestor a donde están los residuos que lo contrario, ya que el gasto energético, de tiempo y económico, es menor.

La Figura 7 muestra el otro esquema o modelo propuesto de recolección de residuos orgánicos. Se divide en cuatro zonas, cada una con la misma área, en cada uno de los cuadrantes se ubica un almacén parcial en los cuales se guardarán los residuos orgánicos, para después transportarlos a un almacén central donde el biodigestor móvil tratará dichos materiales mediante fermentación anaerobia con la respectiva producción de biogás y biofertilizante. Tal como lo mencionan diversos autores que consideran el ahorro y la eficiencia energética como un elemento esencial, y ciertamente la ganancia principal durante las próximas décadas, hasta

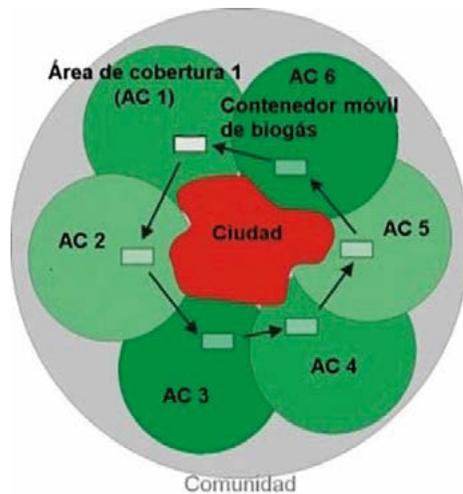


Figura 6. Diagrama de optimización de almacén y transporte para el primer esquema de recolección de residuos orgánicos de manera descentralizada.

que las innovaciones tecnológicas en desarrollo y aún por desarrollar puedan llegar a implantarse de forma masiva para un mayor ahorro energético (Kahn *et al.*, 2007).

Peso seco y cálculo de agua en porcentajes de masa seca

Según lo obtenido en laboratorio, 1 kg de estiércol contiene 440 g de sólidos (44%) y 560 de humedad (56%). Se elige un porcentaje deseado de masa seca, como ejemplo será $8\% = \frac{440 \text{ g}}{80} = 5.5$

Se divide la masa seca entre el porcentaje deseado, luego se multiplica por 1000

$$= 5.5 \times 1000 = 5500 \text{ (masa total de mezcla agua y estiércol)}$$

El resultado es la mezcla total de agua y sólidos totales. A esta se le resta el valor de la masa seca y el resultado es el total de agua a agregar por la cantidad de masa seca deseada.

$$5500 \text{ (mezcla total)} - 440 \text{ (masa seca)} = 5060 \text{ (agua a agregar)}$$

El Cuadro 2 presenta los cálculos para el gasto y ahorro de agua según el porcentaje deseado de sólidos totales.

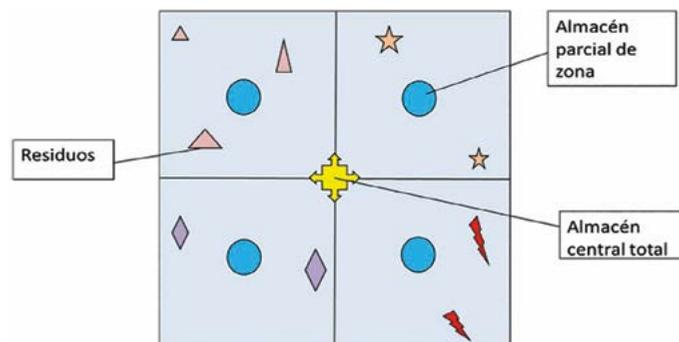


Figura 7. Diagrama de optimización de almacén y transporte para el segundo esquema de recolección de residuos orgánicos.

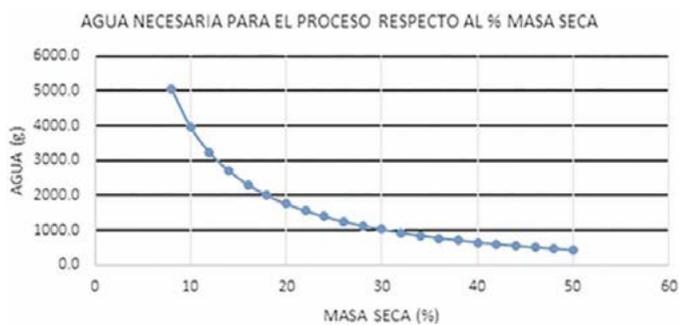
Se compara con 8% ya que según Varnero (2011) en los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de sólidos totales no debe exceder 10%. Botero y Preston (1987) recomiendan una entrada de 5% a 10% de concentración de sólidos totales para biodigestores en general.

Ahorro y gasto de agua mediante la masa seca

La Figura 8 presenta el gasto de agua, o el ahorro de la misma, según el porcentaje de sólidos totales utilizado en el sustrato a digerir en el biodigestor. Cuando se utiliza un sustrato con poca concentración de sólidos totales, es necesario añadir grandes cantidades de agua para cumplir el proceso de fermentación, conforme

Cuadro 2. Cálculo de gasto y ahorro de agua según porcentaje deseado de sólidos totales.

| Porcentaje deseado | Equivalencia del % a g ⁻¹ | Masa seca de 1 kg g ⁻¹ deseados | Masa total (estiércol y agua) | Diferencia del total menos la masa seca | Diferencia del 8% respecto a otros porcentajes |
|--------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|---|--|
| 8 | 80 | 5.50 | 5500.0 | 5060.0 | 0.0 |
| 10 | 100 | 4.40 | 4400.0 | 3960.0 | 1100.0 |
| 12 | 120 | 3.67 | 3666.7 | 3226.7 | 1833.3 |
| 14 | 140 | 3.14 | 3142.9 | 2702.9 | 2357.1 |
| 16 | 160 | 2.75 | 2750.0 | 2310.0 | 2750.0 |
| 18 | 180 | 2.44 | 2444.4 | 2004.4 | 3055.6 |
| 20 | 200 | 2.20 | 2200.0 | 1760.0 | 3300.0 |
| 22 | 220 | 2.00 | 2000.0 | 1560.0 | 3500.0 |
| 24 | 240 | 1.83 | 1833.3 | 1393.3 | 3666.7 |
| 26 | 260 | 1.69 | 1692.3 | 1252.3 | 3807.7 |
| 28 | 280 | 1.57 | 1571.4 | 1131.4 | 3928.6 |
| 30 | 300 | 1.47 | 1466.7 | 1026.7 | 4033.3 |
| 32 | 320 | 1.38 | 1375.0 | 935.0 | 4125.0 |
| 34 | 340 | 1.29 | 1294.1 | 854.1 | 4205.9 |
| 36 | 360 | 1.22 | 1222.2 | 782.2 | 4277.8 |
| 38 | 380 | 1.16 | 1157.9 | 717.9 | 4342.1 |
| 40 | 400 | 1.10 | 1100.0 | 660.0 | 4400.0 |
| 42 | 420 | 1.05 | 1047.6 | 607.6 | 4452.4 |
| 44 | 440 | 1.00 | 1000.0 | 560.0 | 4500.0 |
| 46 | 460 | 0.96 | 956.5 | 516.5 | 4543.5 |
| 48 | 480 | 0.92 | 916.7 | 476.7 | 4583.3 |
| 50 | 500 | 0.88 | 880.0 | 440.0 | 4620.0 |

**Figura 8.** Cálculo de agua para el proceso según porcentaje de sólidos totales.

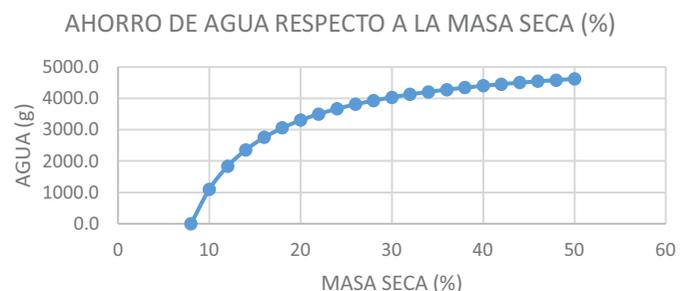
aumenta la concentración de masa seca, el ahorro de agua aumenta al no haber necesidad de añadir mayores cantidades de agua.

La Figura 9 muestra que cuando el porcentaje de masa seca tiene poca concentración en el sustrato a digerir, el ahorro de agua es menor, mientras que si tiene un porcentaje alto en sólidos totales, el ahorro es mayor. Según Mandujano y Hernández (2001), existen ventajas importantes con un proceso de biodigestión anaeróbico de só-

lidos en alta concentración, tales como bajos requisitos de agua y tasa más alta de producción de biogás por unidad de volumen del biodigestor.

Teoría de filtración para la aplicación de drenaje en el biodigestor

Para determinar la capacidad de filtración en el sustrato de un biodigestor termofílico con alta concentración de masa seca se realizaron ensayos en laboratorio. Los factores de filtración son: la estructura del

**Figura 9.** Cálculo de ahorro de agua según porcentaje de sólidos totales.

pastel del filtro o sustrato; el grosor del sustrato; la constitución del sustrato; la viscosidad del líquido; y la fuerza de acción del proceso.

De acuerdo a la ecuación de Poiseuille, el movimiento del líquido en un sustrato se da de acuerdo a la siguiente igualdad

$$w = \frac{\Delta p d^2}{32 \eta l}$$

donde w =velocidad del flujo del líquido en los poros en m/s; p =presión en Pa; d =diámetro de capilares en m; l =longitud en m; η =viscosidad en Pa s; Δp =diferencia de presión en la parte superior e inferior del sustrato.

En el caso del biodigestor la ecuación se puede expresar también como:

$$w = \frac{\Delta p d^2}{32 \eta l} = \frac{\Delta p 4r^2}{32 \eta l} = \frac{\Delta p r^2}{8 \eta l}$$

En nuestro caso, η se reduce por el rango termofílico al cual trabajará el biodigestor, lo cual aumenta la velocidad de filtración (velocidad de drenaje). También, el líquido (agua) que pasa por el filtro (sustrato en el biodigestor) revuelve el material con lo cual se aumenta el diámetro de los capilares, lo que permite hacer un cálculo considerando poros constantes. En cuanto a la longitud de los poros, esta no se reduce significativamente ya que el líquido disuelve parte del material. Por tanto, con presión constante y sin acumular líquido por encima del sustrato, se considera que el drenaje en el biodigestor no tendrá complicaciones. Los resultados de los ensayos que se muestran en las Figuras 10 y 11 confirman lo anterior.

Filtración de agua en stock de estiércol

La humedad y la consistencia del estiércol influyen en los tiempos de drenaje de agua y formación del espejo de agua. Los tiempos de drenaje del espejo o total de agua son proporcionales, ya que los primeros días hay más retención de agua en el estiércol fresco por la absorción de agua llegando al punto de saturación en sus poros, esto hace que el drenaje de agua sea más lento por la saturación del medio, conforme pasan los días, el filtrado de agua se encuentra con mayor libertad en el stock de estiércol, debido a que se crean canales

de corriente con la saturación de poros, el tiempo de drenaje se minimiza y el agua drenada es mayor. Este mismo comportamiento se presenta en estiércol seco, aunque a diferencia con el estiércol fresco es que en las primeras filtraciones absorbe mayor cantidad de agua que en el fresco, el tiempo de drenaje disminuye y el agua drenada es menor a comparación de los siguientes días en los cuales la saturación del estiércol es menor, el tiempo de drenaje de agua aumenta y el agua drenada es mayor.

El estiércol seco, los primeros días retiene mayor cantidad de agua debido a la falta de humedad en él. Al momento de llegar a la saturación de sus poros por el agua, empieza el drenaje.

Todo lo anterior tiene importancia en el mezclado del biodigestor, ya que por ser una concentración alta en masa seca se vuelve complicado el movimiento del sustrato, es por ello que mediante filtraciones de agua dentro del biodigestor con alta masa seca se resuelve el problema, aunado al ahorro energético que se pueda obtener por la no utilización de bombas, motores, etcétera, para su mezclado. Diversos autores como Weiland (2001), Balssen (2009), Postel et al. (2008), Schulz et al. (2006) mencionan los gastos energéticos de distintos

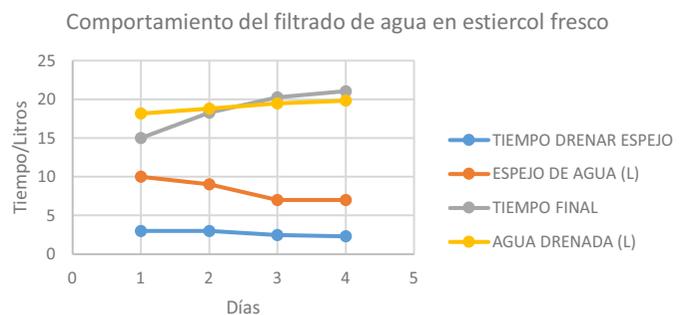


Figura 10. Comportamiento del filtrado de agua en estiércol fresco.

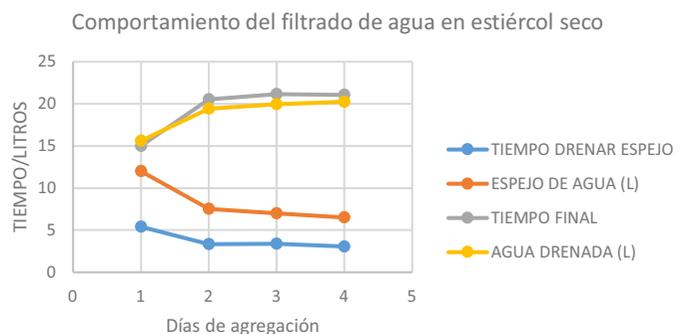


Figura 11. Comportamiento del filtrado de agua en estiércol seco (oreado).

dispositivos para mezclar sustratos en biodigestores. Para el mezclado mecánico los valores van desde 2 hasta 35 kW según el tipo de sustrato. El mezclado neumático va desde 0.5 kW a cualquier rango necesario dependiendo del sustrato. El mezclado hidráulico va de 2 a 30 m³/min. Ejemplo, 3kW a 2 m³/min.

Diseño del biodigestor

Debido a que el biodigestor debe ser móvil y a la disponibilidad de recursos de los productores, se decidió que el biodigestor será transportado en un remolque, el cual representará la principal limitante para el tamaño del mismo. Por tal razón se consideró que una capacidad apropiada para el biodigestor es de 12 m³. Notoriamente, con un biodigestor de esta capacidad es imposible tratar los residuos que se generan diariamente, los cuales de acuerdo a lo reportado en el Cuadro 1 son de alrededor de 12.5 t día⁻¹ de residuos de ovino. Esta situación se soluciona con la construcción de los biodigestores que sean necesarios para tratar dicha cantidad. Para ello se considera que el tiempo de retención del sustrato en el biodigestor es de 15 días por el proceso termofílico, y se podrán realizar alrededor de 24 cambios en el año ya que según Varnero (2011), la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; y mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás.

Por lo que un biodigestor de 12 m³ efectivos de capacidad podrá tratar alrededor de 288 t año⁻¹, dependiendo del contenido de humedad de los residuos y con una carga de sólidos totales en el sustrato del biodigestor de alrededor de 44%. Según Ward *et al.* (2008), los requerimientos básicos para el diseño de un biodigestor son permitir una tasa de carga orgánica continua, alta y sostenible, en corto tiempo de retención hidráulico (para reducir al mínimo el volumen de reactor) y para producir el volumen máximo de metano. Algunos de los cálculos necesarios para el diseño de un biodigestor con capacidad de 12 m³ efectivos para la biodigestión se enuncian a continuación: con la finalidad de tener mayor estabilidad del contenedor en el remolque, es deseable tener una relación altura-área del mismo de 1:3; y por las características del tipo de remolque a utilizar se considera pertinente utilizar dos recipientes con capacidad de 6 m³ efectivos, cada uno para el sustrato a fermentar, más una tercera parte de ese volumen para contener el biogás. Por otra parte, considerando que el remolque tiene un ancho de 2.2 m, se puede determinar el área de los recipientes de la siguiente manera

$$\pi * r^2 = 3.14 * 1.1 \text{ m} = 3.80 \text{ m}^2 = \text{área del recipiente}$$

Conociendo los datos de volumen (v) efectivo y área (a) de los recipientes podemos determinar entonces la altura efectiva realizando la siguiente operación:

$$v = a * h; \quad h = \frac{v}{a} = \frac{6 \text{ m}^3}{3.8 \text{ m}^2} = 1.58 \text{ m}$$

Se considera también pertinente, destinar alrededor de un tercio del volumen efectivo como volumen adicional para contener el biogás que se genere, por lo tanto el volumen en el recipiente destinado a contener el biogás se calcula por:

$$\text{volumen} = \frac{6 \text{ m}^3}{3} = 2 \text{ m}^3$$

Por lo tanto la altura libre de sustrato en el recipiente para contener el biogás se determina de la siguiente manera:

$$v = a * h; \quad h = \frac{v}{a} = \frac{2 \text{ m}^3}{3.8 \text{ m}^2} = 0.52 \text{ m}$$

Cuadro 3. Condiciones del biodigestor.

| Capacidad | TRT | Rel. altura-área | Área recipiente | Altura efectiva | Volumen reservorio de biogás | Altura libre del sustrato para el biogás | Altura total de recipientes |
|-----------------------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|------------------------------|--|-----------------------------|
| 12 m ³ (2 recipientes) | 15 días (24/año) | 1:3 | 3.80 m ² | 1.58 m | 2 m ³ | 0.52 m | 2.1 m |

Por lo que la altura total de cada uno de los dos recipientes será de aproximadamente: $1.58 \text{ m} + 0.52 \text{ m} = 2.1 \text{ m}$ (Cuadro 3).

La Figura 12 muestra una vista superior interna y lateral externa del biodigestor con sus dimensiones.

CONCLUSIONES

Mediante el uso de métodos de optimización de almacenamiento y transporte existentes, es posible determinar la ubicación de almacenes, que permitan que el gasto de energía para el transporte de residuos orgánicos, en una región determinada, sea mínimo. La subdivisión de una superficie en zonas parciales de igual tamaño, las cuales contendrían un almacén parcial, permite tratar los residuos orgánicos generados en ellas con el uso de un biodigestor móvil, con lo cual se generará de manera descentralizada un biocombustible como el biogás y un biofertilizante como coproducto a partir de los lodos residuales resultantes de la fermentación de los residuos orgánicos. Mediante el aumento de masa seca en el biodigestor se ahorra agua a comparación de los procesos con bajas cantidades de sólidos totales. Gracias al filtrado de agua en el stock de estiércol es posible un ahorro de energía, ya que no hay mezclado con algún tipo de aparato que requiera energía, sino que este se da por gravedad. Aunado a esto, mediante el calentamiento de agua la viscosidad baja y el proceso se vuelve más eficiente. El diseño con la integración de energías renovables en la operación y funcionamiento del biodigestor, permite hacer un uso más eficiente de la energía requerida en todo el proceso, así como reducir la emisión de gases de efecto invernadero. El diseño puede dar solución a la carencia energética existente en zonas marginadas rurales, especialmente en la zona de estudio.

LITERATURA CITADA

Balsen Memorandum. 2009. Tratamiento de Aguas Servidas de Flygt ITT; setiembre

Bravo E. 2008. Encendiendo el debate sobre los biocombustibles, cultivos energéticos y soberanía alimentaria en América Latina. Ed. Capital Intelectual S. A. HIVOS. Quito, Ecuador. 135 p.

Botero B.R., Preston T. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas 20 pág.

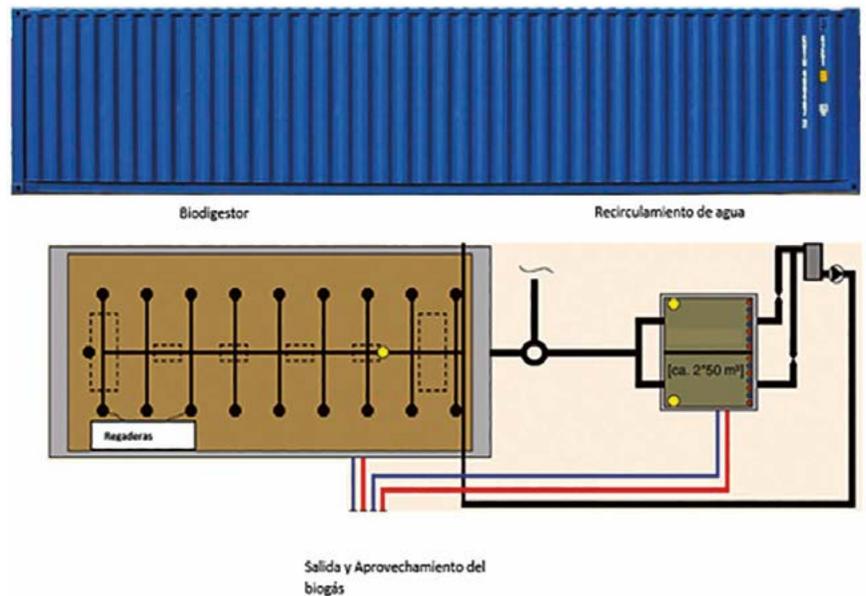


Figura 12. Diagrama del diseño conceptual del biodigestor. Vista de arriba interna y lateral externa.

Cruz M.S. 1986. Abonos orgánicos. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Domínguez J. 2002. La integración económica y territorial de las energías renovables y los sistemas de información geográfica. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. p. 471.

Gavilán J.A. 2004. Celdas combustibles: una opción para la transformación descentralizada de energía. *Energética* Vol. XXVI, No. 1/2005.

Grawe J. 1989. Dezentrale Stromerzeugung. Stand und Aussichten; *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*. 39. S. 186 ff.

GVBI Hessen. 1985. S § 5 des Geses Über sparsame, rationelle, sozial- und umweltverträgliche Energienutzung in Hessen vom 3.7. 101 ff.

Guevara V.A. 1996. Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales. Producción de gas y Saneamiento de Efluentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud, Lima, Perú. 73 p.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Salinas, San Luis Potosí. Clave geoestadística 24025.

INEGI. 1987 Cuaderno Estadístico Municipal. Aguascalientes. 1987. 153 pág. http://www.colpos.mx/slp/salinas_localizacion.htm.

IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Documento Técnico V. PNUMA-UNEP. ISBN: 92-9169 104-7.

Kahn Ribeiro S., Kobayashi S., Beuthe M., Gasca J., Greene D., Lee D.S., Muromachi Y., Newton P.J., Plotkin S., Sperling D., Wit R., Zhou P.J. 2007. Transport and its infrastructure, in: Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave y L.A. Meyer (eds.), "Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 323-385 pp.

Lakshmanan T.R., Han X. 1997. "Factors underlying transportation CO₂ emissions in the U.S.A.: A decomposition analysis", en:

- Transportation Research Part D: Transport and Environment 2, Elsevier, Amsterdam, 1-15 pp.
- Mandujano S.P., Hernández M.A.F. 2001. Digestión anaerobia de sólidos en alta concentración. Universidad Politécnica de Madrid, España. 389 pág. Tesis Doctoral.
- Postel J., Jung U., Fischer E., Scholwin F. 2008; Stand der Technik beim Bau und Betrieb von Biogasanlagen – Bestandsaufnahme, Umweltbundesamt (pub.); disponible en línea en http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3873
- Rössel K.E.D., Ortiz L.H., Talavera M.D. 2013. Logística rural. Transporte, transbordo y almacenamiento. Colegio de Postgraduados, México. 188 pág.
- Rojas R.R. 2009. Construcción de un biodigestor como alternativa de generación de energía eléctrica "limpia". Instituto Tecnológico de Ensenada, B.C. 5 p.
- Schipper L., Scholl L., Price Y.L. 1997. Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1973 to 1992, en: Transportation Research Part D: Transport and Environment 2, Elsevier, Amsterdam, 57-76 pp.
- Schulz H., Eder B. 1996, 2001, 2006.: Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, segunda edición revisada, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg.
- SINIIGA. 2015. <https://www.siniiga.org.mx/>
- Steenhof P., Woudsma C., Sparling E. 2006: "Greenhouse gas emissions and the surface transport of freight in Canada", en: Transportation Research Part D: Transport and Environment 11, Elsevier, Amsterdam, 369-376 pp.
- Varnero M.M.T. 2011. Manual de biogás, Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Global Environment Facility, Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. 120 pág.
- Ward A.J., Hobbs. P.J., Holliman P.J., Jones D.L., 2008. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology 99: 7928-7940.



ESPECIES TROPICALES (FABACEAE): INVERSIÓN ASOCIADA AL APORTE RIZOSFÉRICO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO AL SUELO

TROPICAL SPECIES (FABACEAE): INVESTMENT ASSOCIATED
TO THE RHIZOSPHERE CONTRIBUTION OF N AND P TO THE SOIL

Díaz-Prieto, L.A.¹; Vázquez-Luna, D.^{2*}; Jarquín-Sánchez, A.³; Velázquez-Silvestre, A.²; Lara-Rodríguez, D.A.⁴

¹Centro de Enseñanza e investigación para el Desarrollo Agrícola. Acayucan, Veracruz, México. C.P. 96000. ²Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria (FISPA), Universidad Veracruzana, Carretera Costera del Golfo km. 220, Col. Agrícola y Ganadera Michapan. Acayucan, Veracruz, México. C.P. 96000. ³Colegio de la Frontera Sur, Laboratorio de biogeoquímica, ECO-SUR, Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n., Guineo 2da. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280. ⁴Colegio Posgraduados, Campus Veracruz. Carretera Xalapa Veracruz km 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, 91700 Veracruz, México. C.P. 91700.

*Autor de correspondencia: divazquez@uv.mx

RESUMEN

El uso intensivo de fertilizantes sintéticos y el bajo uso de plantas mejoradoras de suelos tropicales, han deteriorado los recursos naturales, debido a que los agricultores no aprecian una mejora visible en proporción al trabajo que implica su cultivo. Con el propósito de considerar como una inversión económica el aporte de nitrógeno y fósforo (N y P) al suelo por tres especies fijadoras de nitrógeno (*Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea*, *Canavalia ensiformis*: Fabaceae), y tener una estimación que permita tomar decisiones, se analizó la inversión económica asociada al aporte rizosférico de N y P en un suelo de uso pecuario (Up) y otro agrícola (Ua). Se usó un diseño completamente al azar con tres repeticiones por cada especie. Las propiedades del suelo evaluadas fueron Nitrógeno total (N) y Fósforo aprovechable (P). La diferencia inicial y final de estos valores fueron estimados como aporte y convertidos a dólares americanos. Los resultados sugirieron que *P. vulgaris* fue la especie que mostró menor aporte de N en suelo de Up (14,723 kg ha⁻¹); y el contenido de P fue mayor con *C. ternatea* (26,851 kg ha⁻¹). *C. ensiformis* fue quien registró más inversión por N (US\$ 70.06) y *C. ternatea* fue la de mayor inversión por P (US\$ 42.80) con Up, sin registrar inversiones por N y P en suelo de Ua.

Palabras clave: Agricultura orgánica, conservación de suelos, fijación biológica.

ABSTRACT

The intensive use of synthetic fertilizers and the low use of plants that improve tropical soils have damaged natural resources, because farmers do not see a visible improvement in proportion to the work that their crop entails. With the purpose of considering as an economic investment the contribution of nitrogen and phosphorus (N and P) to the soil by three nitrogen fixing species (*Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea*, *Canavalia ensiformis*: Fabaceae), and having an estimation that allows making decisions, the economic investment associated to the rhizosphere contribution of N and P was analyzed in a livestock production soil (Up) and an agricultural one (Ua). A completely random design with three

repetitions was used for each species. The soil properties evaluated were total nitrogen (N) and useful phosphorus (P). The initial and final difference of these values were estimated as contribution and converted into American dollars. The results suggested that *P. vulgaris* was the species that showed the least contribution of N in Up soils (14,723 kg ha⁻¹); and the P content was higher with *C. ternatea* (26,851 kg ha⁻¹). *C. ensiformis* was the one that showed the highest investment for N (US\$ 70.06) and *C. ternatea* was the one of highest investment for P (US\$ 42.80) with Up, without showing investments for N and P in Ua soil.

Keywords: Organic agriculture, soil conservation, biological fixation.

INTRODUCCIÓN

En la familia Fabaceae hay especies de árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, de distribución cosmopolita con aproximadamente 730 géneros y 19400 especies, reconocida por sus múltiples usos y funciones (Thomas y Sumberg, 1995), tal es el caso de *Phaseolus vulgaris* L. usada como una fuente de proteína vegetal para el consumo humano (Iqbal *et al.*, 2006), *Canavalia ensiformis* L. empleada como abono verde (Ramos *et al.*, 2001) y *Clitoria ternatea* L. apreciada por ser fuente de proteína para la alimentación de rumiantes (Juma *et al.*, 2006). La familia Fabaceae es caracterizada por permitir la fijación del nitrógeno atmosférico al suelo, mediante su asociación con diversas cepas de *Rhizobium* spp., éstas habitan en los nódulos de las raíces en forma de bacteroides y permiten la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), transformado el nitrógeno en un compuesto asimilable por las plantas (Mpai *et al.*, 2016). Por ello, el uso de leguminosas representa una alternativa que disminuye el uso de fertilizantes nitrogenados y aumenta los rendimientos de cultivos de interés agropecuario (St. Luce *et al.*, 2015), calculando un ahorro de US\$ 3,3 billones en fertilizantes (Moreira *et al.*, 2012). No obstante, muchos agricultores de países tropicales no han usado en gran medida esta alternativa, debido a que no aprecian una mejora visible en el suelo, en proporción con el trabajo que implica (Sumberg, 2002). En México, de acuerdo con datos del SNIIM (SNIIM, 2016), los precios de la Urea y del Superfosfato simple, en los últimos quince años, han incrementado en 390,5% y 417,6%, respecti-

vamente. Por ello, el objetivo fue evaluar el crecimiento vegetativo de tres leguminosas tropicales (*Phaseolus vulgaris*, *Canavalia ensiformis* y *Clitoria ternatea*) y la inversión económica asociada al aporte rizosférico de N y P en dos suelos: uno de uso pecuario (Up) y otro agrícola (Ua), mediante la determinación de dichas propiedades edáficas y su consecuente conversión monetaria, con el propósito de que los agricultores tengan una estimación, que les permita tomar decisiones con respecto al cuidado del suelo, mediante el cultivo de leguminosas tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos sitios, uno de uso pecuario (Up) y otro de uso agrícola (Ua), de donde se recolectó suelo dentro de los primeros 30 cm de profundidad, siguiendo el procedimiento de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2001). La primera zona se seleccionó por haber permanecido bajo un sistema de pastoreo extensivo por más de 15 años, con ganado bovino y praderas con *Brachiaria brizantha*, las propiedades de suelo fueron: pH 5,4; Materia Orgánica, MO 3,9%; Carbono total, CT 2,3%; Nitrógeno total, N 0,06%; Fósforo aprovechable, P 2,6 mg kg⁻¹; Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC 7,8 cmol(+) kg⁻¹ y clase textural Franco-arcillo-arenoso con 23% de arena, 10% de limo y 68% de arcilla. El segundo sitio se eligió por haber sido mantenido bajo un sistema agrícola tradicional con maíz (*Zea mays* L.) por más de 15 años. Las características del suelo fueron: pH 4,5; MO 5,0%; CT 2,9%; N 0,09%; P 20,6 mg kg⁻¹; CIC 8,6 cmol(+) kg⁻¹ y clase textural Franco-arcillo-arenoso con 28% de arena, 9% de limo y 63% de arcilla.

El suelo fue secado bajo sombra, tamizado e introducido en contenedores (25 cm por 30 cm) (OECD, 1984). La humedad se mantuvo al 30%. Los bioensayos fueron establecidos bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las especies fueron seleccionadas debido a su valoración agronómica en el trópico (Cáceres *et al.*, 1995; Villanueva *et al.*, 2012; Hernández-López *et al.*, 2013). El establecimiento de los bioensayos se desarrolló en condiciones semi-controladas. Durante el proceso de los ensayos no se aportaron nutrimentos, con la finalidad de evitar interferencias. Se evaluó hasta llegar a la floración, debido a que en este período se ha encontrado la mayor actividad nitrato reductasa en la raíz (Pliego *et al.*, 2002). Esta fase varió de 66 días para *Clitoria ternatea*, 109 para *Phaseolus vulgaris* y 54 para *Canavalia ensiformis*.

El trabajo en laboratorio fue regido por la NOM-021-REC-NAT-2000. El N total fue analizado por el procedimiento AS-25 y el P aprovechable por el método de Olsen (AS-10) (SEMARNAT, 2001). El potencial aporte de N y P, resultó de restarle al valor final de cada elemento, el valor inicial en suelo rizosférico de cada unidad experimental.

Análisis financiero

Las estimaciones económicas del aporte de N y P estuvieron basadas en el precio promedio de mercado en México para la Urea (\$7768,36 t⁻¹) y el Superfosfato simple (\$5693,33 t⁻¹), expresado en pesos mexicanos (SNIIM, 2016) y fueron calculadas de acuerdo con las formulaciones de estos elementos, 46-00-00 y 00-20-00, respectivamente. El potencial de aporte de N y P fueron estimados según las densidades de siembra recomendadas por hectárea, siendo de 250000 plantas para *Phaseolus vulgaris* (Jiménez y Acosta, 2013) y para *Clitoria ternatea* (Villanueva et al., 2012); mientras que para *Canavalia ensiformis* fue de 148149 plantas (Martín y Rivera, 2015). Los datos obtenidos fueron transformados de pesos mexicanos (\$) a dólares estadounidenses (US\$), conforme al tipo de cambio (\$17.8601), correspondiente al 11 de marzo de 2016 (SAT, 2016). Los resultados fueron analizados usando ANOVA y comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los resultados fueron procesados con el software estadístico SAS versión 9.1 usando PROC GLM (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo de Up con *Phaseolus vulgaris* fue el que menos precisó N al suelo (0.006% por planta, correspondiente 14.72 kg N ha⁻¹). *Clitoria ternatea* fue la especie que más P aportó en suelo de Up (18.124 mg P kg⁻¹), correspondiente a 26.85 kg P ha⁻¹ (Cuadro 1), mientras que en Ua no se encontró aporte alguno, por el contrario existió extracción de N y P, a excepción de *Clitoria ternatea*, cuya aportación estimada fue de 4.32 kg N ha⁻¹; aunque no fue significativa, por lo que hay que considerar que esto puede representar una pérdida en los reservorios de N y P en el suelo (Cuadro 2). Al respecto, se ha encontrado que suelos de pradera con cantidades limitadas de P son difíciles de restaurar (Kooijman et al., 2016) y puede reducir hasta en 12% la actividad microbiana, debido al

incremento del N mineral (Geisseler et al., 2016). En el caso de la agricultura, resulta ser una actividad que incrementa el riesgo de lixiviación o escorrentía del N, así como la velocidad de oxidación del NH₄⁺, en comparación con los bosques. Por ello, en regiones tropicales se recomienda la aplicación de fertilizantes orgánicos con altas relaciones C/N, para aumentar el contenido de carbono orgánico y mejorar la capacidad de inmovilización del N en el suelo (Zhang et al., 2013). En un estudio realizado en Tailandia, se encontraron reducciones en la pérdida de N hasta en 55 kg N ha⁻¹, la labranza mínima combinado con el cultivo de fabáceas en el contorno de los sistemas de barreras vivas, han demostrado ser una alternativa para la conservación de suelos con pendientes moderadas (Pansak et al., 2008).

En zonas frías y templadas, la estimación de fijación de N en suelo por las leguminosas se ha estimado entre 57 y 210 kg N ha⁻¹ (Yang et al., 2010), mientras que en

Cuadro 1. Estimación del aporte de Nitrógeno total (N) y el Fósforo aprovechable (P) en suelo de uso pecuario (Up) y en suelo de uso agrícola (Ua), con la siembra de *Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea* y *Canavalia ensiformis* por densidad de siembra recomendada.

| Especie | Up | | Ua | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | N | P | N | P |
| | kg ha ⁻¹ | | | |
| <i>Phaseolus vulgaris</i> | 14.723 ^b | 9.279 ^b | -25.137 ^a | -1.962 ^a |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 74.094 ^a | 3.036 ^c | -23.581 ^a | -5.708 ^a |
| <i>Clitoria ternatea</i> | 26.104 ^{ab} | 26.851 ^a | 4.327 ^a | -27.060 ^b |

† Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) (a>b).

zonas tropicales y en suelos degradados, la asociación de *Clitoria ternatea* ha mejorado las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo (Murillo et al., 2014). La incorporación de 291.25 kg N ha⁻¹ como abono verde de *Canavalia ensiformis* ha sido reportada como equivalente a la aplicación de 158.28 kg N ha⁻¹ de fertilizante sintético, además de una contribución de 31.53 kg P ha⁻¹ (Martín et al., 2007b), resultado del aporte de la biomasa aérea, sin embargo, se ha encontrado que la contribución potencial como cultivo de cobertura es de 173.68 kg N ha⁻¹ y 15.86 kg P ha⁻¹ (Puertas et al., 2008), con una fijación biológica de nitrógeno del 62.84 %, equivalente a 81.77 kg N ha⁻¹ (Martín et al., 2007a), dato cercano al encontrado en el ensayo con suelo de Up. En un estudio donde se evaluaron 68 variedades de *P. vulgaris* se encontró que sin la aplicación de N al suelo, la planta logró aportar 113 kg N ha⁻¹, produciendo de 2.71 a 8.26 t ha⁻¹ de biomasa aérea (Castellanos et al., 1998), dato superior a lo reportado en

la presente investigación; sin embargo, actualmente se sabe que los hongos micorrícicos arbusculares, así como sus redes de hifas extra-radical juegan un papel importante en el proceso de fijación, mediante la promoción de la interconectividad y la transferencia del N y P (Wahbi *et al.*, 2016), lo que sugiere el aporte de P en suelo de Up. Al respecto, se han encontrado quistes formados por *Azotobacter* spp. en muestras de excretas de bovino, asépticamente extraídos del pasaje rectal (Tippannavar y Ramachandra Reddy, 1990), lo que podría estar relacionado con el incremento del N en este suelo de Up, además del aumento en el P rizosférico, el cual se le atribuye principalmente la estimulación de la biomasa microbiana (Jin *et al.*, 2014).

En México, existen pérdidas de N y P incluso en sistemas de conservación (Camas *et al.*, 2012), por ello es importante no sólo conocer lo aportado por las leguminosas, sino que debe ser considerada como una inversión al suelo. No obstante, en suelos agrícolas, su degradación disminuye la acumulación de biomasa y por ende su rendimiento (Escalante-Estrada *et al.*, 2015), por lo que estos costos deberán ser forzadamente amortiguados con las utilidades por ventas, además de ser evaluados consecutivamente, con la finalidad de mejorar el pH y optimizar las condiciones para fijación de N. Los pequeños agricultores a menudo tienen poco dinero para invertir en fertilizantes, por lo que es necesario optimizar la rentabilidad. En este sentido, *Mucuna pruriens* var. Utilis con un rendimiento de 2.6 a 7.9 t ha⁻¹, acumula de 80 a 200 kg N ha⁻¹, de los cuales 34 a 108 kg N

Cuadro 2. Costo total de producción y estimación económica del aporte de N y P en suelo de uso pecuario (Up) y en suelo de uso agrícola (Ua), con la siembra de *Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea* y *Canavalia ensiformis*.

| Especie | Costo total de producción estimado [¶] | Estimación de la aportación económica de los reservorios de N y P en suelo [‡] | | | |
|-----------------------------|---|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Up | | Ua | |
| | | N | P | N | P |
| <i>Phaseolus vulgaris</i> | \$189,04* | \$13,92 ^{bt} | \$14,79 ^c | -\$23,77 ^a | -\$3,13 ^a |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | \$460,08** | \$70,06 ^a | \$4,84 ^b | -\$22,30 ^a | -\$9,10 ^a |
| <i>Clitoria ternatea</i> | \$210,00*** | \$24,68 ^{ab} | \$42,80 ^a | \$4,09 ^a | -\$43,13 ^b |

[¶]Expresado en dólares estadounidenses; [‡]Estimación bruta, sin restar costos de producción; * (Jiménez y Acosta, 2013); ** (Martín y Rivera, 2015); *** (Torres *et al.*, 2002; Villanueva *et al.*, 2012).

[†]Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$) ($a > b$).

ha⁻¹ son procedentes de la atmósfera, por lo que estas estrategias de suministro de N son rentables (Kaizzi *et al.*, 2006), debido a que permiten fijar el N al suelo (nitrogeno invertido) e incrementar entre 39% y 49% el rendimiento de los cereales asociados (Shah *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

El cultivo de tres especies tropicales fijadoras de nitrógeno (*Phaseolus vulgaris*, *Canavalia ensiformis* y *Clitoria ternatea*) hasta la etapa de floración tuvieron efectos significativos sobre el aporte de N y P en el suelo, siendo *Canavalia ensiformis* y *Clitoria ternatea* las que presentaron mayor desarrollo en biomasa y favorecieron significativamente el aporte de N y P en suelo de Up, respectivamente. En suelo de Ua, las condiciones previas de manejo no favorecieron el crecimiento de *Phaseolus vulgaris*, ni el aporte económico potencial de N y P por parte de ninguna de las leguminosas estudiadas, por lo que hay considerar que este aporte, dependerá en gran medida de las condiciones de los suelos y manejo previo. Se recomienda el estudio de leguminosas de doble propósito (valor agropecuario y mejora de suelo), con la finalidad de facilitar su proceso de adopción, esperando que impacte de manera positiva en el entorno agroecológico, social y financiero del sector agropecuario.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, al PIFI-UV-FISPA y al PROMEP (UV-PTC-730), además al Sistema Nacional de Investigadores (CONACyT-57345) por el financiamiento de la presente publicación. A la Universidad Veracruzana, Área Biológico-Agropecuaria por la publicación del presente artículo

LITERATURA CITADA

- Cáceres O., González E., Delgado R. 1995. *Canavalia ensiformis*: leguminosa forrajera promisoría para la agricultura tropical. Pastos y Forrajes 18.
- Camas G.R., Turrent F.A., Cortes F.J.I., Livera M.M., González E.A., Villar S.B., López M.J., Espinoza P.N., Cadena I.P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. Revista mexicana de ciencias agrícolas 3, 231-243.
- Castellanos J., Peña J., Badillo V., Aguilar S., Acosta G., Rodríguez G. 1998. Características agronómicas del frijol asociadas a la capacidad de fijación de N₂ en el centro de México. Terra 16, 351-357.
- Escalante-Estrada J.A., Rodríguez-González M.T., Escalante-Estrada Y.I. 2015. Nitrógeno,



- distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares De frijol. *Bioagro* 27, 75-82.
- Geisseler D., Lazicki P.A., Scow K.M. 2016. Mineral nitrogen input decreases microbial biomass in soils under grasslands but not annual crops. *Applied Soil Ecology* 106, 1-10.
- Hernández-López V.M., Vargas-Vázquez M., Luisa P., Muruaga-Martínez J.S. Hernández-Delgado S., Mayek-Pérez N. 2013. Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana* 36, 95-104.
- Iqbal A., Khalil I.A., Ateeq N., Sayyar Khan M. 2006. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry* 97, 331-335.
- Jiménez G.J.C., Acosta G.J.A. 2013. Efecto de la densidad a simple y doble hilera en el rendimiento de frijol de temporal en Chihuahua, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 4, 393-407.
- Jin J., Tang C., Robertson A., Franks A.E., Armstrong R., Sale P. 2014. Increased microbial activity contributes to phosphorus immobilization in the rhizosphere of wheat under elevated CO₂. *Soil Biology and Biochemistry* 75, 292-299.
- Kaizzi C.K., Ssali H., Vlek P.L.G. 2006. Differential use and benefits of Velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in maize production in contrasting agro-ecological zones of E. Uganda. *Agricultural Systems* 88, 44-60.
- Kooijman A.M., Cusell C., van Mourik J., Reijman T. 2016. Restoration of former agricultural fields on acid sandy soils: Conversion to heathland, rangeland or forest? *Ecological Engineering* 93, 55-65.
- Martín A.G.M., Rivera E.R. 2015. Efecto económico de la rotación canavalia-maíz y de la sustitución parcial de fertilizantes minerales. *Cultivos Tropicales* 36, 34-39.
- Martín G.M., Rivera R., Mujica Y. 2007a. Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de N total. *Cultivos Tropicales* 28, 75-78.
- Martín G.M., Rouws J.R.C. Urquiaga S., Rivera R.A. 2007b. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico eútrico de Cuba. *Agronomía Tropical* 57, 313-321.
- Moreira F.M.S., Huising E.J., Bignell D.E. 2012. Manual de biología de suelos tropicales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). México DF.
- Mpai T., Jaiswal S.K., Dakora F.D. 2016. Biological nitrogen fixation and molecular diversity of rhizobia isolated from root nodules of wild legumes: *Polhillia*, *Wiborgia* and *Wiborgiella* species of the South African Cape fynbos. *South African Journal of Botany* 103, 336.
- Murillo J., Rodríguez G., Roncallo B., Amparo Rojas L., Bonilla R.R. 2014. Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes* 37, 270-278.
- OECD 1984. Terrestrial plants growth test. Test guideline no. 208, guidelines for the testing of chemicals. OECD, Paris.
- Pansak W., Hilger T.H., Dercon G., Kongkaew T., Cadisch G. 2008. Changes in the relationship between soil erosion and N loss pathways after establishing soil conservation systems in uplands of Northeast Thailand. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128, 167-176.
- Pliogo L., Ocaña A., Lluch C. 2002. Crecimiento, fijación de nitrógeno, acumulación y asimilación de nitratos con dosis de nitrógeno en frijol. *Terra Latinoamericana* 21, 213-223.
- Puertas F., Arévalo E., Zúñiga L., Alegre J., Loli O., Soplin H., Baligar V. 2008. Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la amazonia Peruana. *Ecología Aplicada* 7, 23-28.
- Ramos M.G., Villatoro M.A.A., Urquiaga S., Alves B.J.R., Boddey R.M. 2001. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using 15N-isotope techniques. *Journal of Biotechnology* 91, 105-115.
- SAS. 2004. SAS/GRAPH 9.1 Reference. SAS Institute, North Carolina, USA.
- SAT. 2016. Servicio de Administración tributaria.
- SEMARNAT. 2001. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, México, D.F., p. 85.
- Shah Z., Shah S.H., Peoples M.B., Schwenke G.D., Herridge D.F. 2003. Crop residue and fertiliser N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. *Field Crops Research* 83, 1-11.
- SNIIM. 2016. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados.
- St. Luce M., Grant C.A., Zebarth B.J., Ziadi N., O'Donovan J.T., Blackshaw R.E., Harker K.N., Johnson E.N., Gan Y., Lafond G.P., May W.E., Khakbazan M., Smith E.G. 2015. Legumes can reduce economic optimum nitrogen rates and increase yields in a wheat-canola cropping sequence in western Canada. *Field Crops Research* 179, 12-25.
- Sumberg J. 2002. The logic of fodder legumes in Africa. *Food Policy* 27, 285-300.
- Thomas D., Sumberg J.E. 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 54, 151-163.
- Tippannavar C.M., Ramachandra Reddy T.K. 1990. Aerobic microorganisms in bovine waste with reference to the isolation of nitrogen-fixing *Azotobacter* spp. *Biological Wastes* 33, 287-293.
- Torrealba G.T., Viera J., Bravo P. 1998. Factores relacionados con la acidez del suelo y su efecto sobre el crecimiento de la *Canavalia ensiformis* (L.) DC. *Agronomía Trop* 48, 19-32.
- Torres O., Herrera J., Zaluk J., Holmann F. 2002. Análisis de alternativas tecnológicas de los sistemas de producción agropecuarios en el valle del Cesar, Colombia. *REv. Pasturas Tropicales* 23, 1-9.
- Villanueva A., Bonilla C., Rubio C., Bustamante G. 2012. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 42, 79-96.
- Wahbi S., Maghraoui T., Hafidi M., Sanguin H., Oufdou K., Prin Y., Duponnois R., Galiana A. 2016. Enhanced transfer of biologically fixed N from faba bean to intercropped wheat through mycorrhizal symbiosis. *Applied Soil Ecology* 107, 91-98.
- Yang J.Y., Drury C.F., Yang X.M., De Jong R., Huffman E.C., Campbell C.A., Kirkwood V. 2010. Estimating biological N₂ fixation in Canadian agricultural land using legume yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137, 192-201.
- Zhang J., Zhu T., Meng T., Zhang Y., Yang J., Yang W., Müller C., Cai Z. 2013. Agricultural land use affects nitrate production and conservation in humid subtropical soils in China. *Soil Biology and Biochemistry* 62, 107-114.

ASPERSIÓN DE THIDIAZURON Y ACIDO GIBERÉLICO COMBINADO CON PODA SOBRE FENOLOGÍA DEL ARÁNDANO (*Vaccinium* spp.)

THIDIAZURON SPRAYING AND GIBERELIC ACID COMBINED WITH PRUNING ON CRANBERRY (*Vaccinium* spp.) PHENOLOGY

Loera-Alvarado, M. E.¹, Calderón-Zavala, G.¹, Sánchez-García, P.² y Rebollar-Alviter, A.³

¹Postgrado Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura/Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km 36.5 Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. Tel. (55) 58045900. (loera.maria@colpos.mx) (cazagu@colpos.mx). ²Postgrado de Edafología/Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. Tel. (595) 9510198 (promet@colpos.mx). ³Centro Universitario Regional Centro Occidente/ Universidad Autónoma Chapingo, Periférico Paseo de la República No. 1000, Colonia Lomas del Valle, Morelia, Michoacán. C.P. 58170 Tel. (443) 3161489. (rebollaralviter@gmail.com).

*Autor para correspondencia: loera.maria@colpos.mx

RESUMEN

En México la producción de arándano (*Vaccinium* spp.) tiene potencial de crecimiento al ser un cultivo para exportación, y por ello, se requiere programar cosechas para comercializar en la época de demanda internacional; dado que el fruto madura en distintas fechas en una misma planta, lograr adelantar y concentrar la producción, significa disminuir costos; por ello, se evaluó la aplicación de promotores de brotación combinado con poda en la fenología del arándano. Se aplicaron diferentes dosis de TDZ (20, 40 y 80 mg L⁻¹) adicionado con 50 mg L⁻¹ de ácido giberélico, combinado con 5, 10 y 20 % de poda de despunte, en plantas de arándano cultivar 'Biloxi' en su segundo año de edad, durante el ciclo 2015. Se usó un diseño de bloques al azar con seis repeticiones. Se evaluó el porcentaje de brotación de yemas laterales, dinámica de floración, producción y calidad de fruto. Los mejores resultados se obtuvieron en las plantas asperjadas con 80 mg L⁻¹ TDZ+50 mg L⁻¹ AG3+10 % de poda obteniendo un porcentaje de brotación de 89 % contra 37 % del testigo a 42 días de aplicación. La aspersion y poda adelantó el inicio de floración y la concentró; mientras que la producción de fruto y su calidad no se vieron afectados significativamente por lo anterior. La aspersion de Thidiazurón y AG₃ en combinación con poda puede ser una herramienta para programar y concentrar la floración y cosecha de arándano, pero debe ser validado en plantaciones "siempre verdes" comerciales.

Palabras claves: Frutillas, citocininas, giberelinas, reguladores del crecimiento, producción forzada.

ABSTRACT

In México, cranberry (*Vaccinium* spp.) production has the potential of growing since it is an export crop, and therefore, it is required to program harvests to commercialize in the season of international demand; given that the fruit matures at different dates on the same plant, managing to advance and concentrate the production means decreasing costs; therefore, the effect of applying budding promoters combined with pruning on the cranberry phenology was evaluated. Different doses of TDZ were applied (20, 40 and 80 mg L⁻¹) with 50 mg L⁻¹ of gibberellic acid added, combined with



Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 121-127.

Recibido: septiembre, 2016. **Aceptado:** junio, 2017.

5, 10 and 20 % of sprout pruning, in 'Biloxi' cultivar cranberry plants in their second year of age, during the 2015 cycle. A random block design with six repetitions was used. The percentage of budding of lateral shoots was evaluated, as well as the flowering dynamics, production and fruit quality. The best results were obtained in plants sprayed with 80 mg L⁻¹ TDZ+50 mg L⁻¹ AG₃+10 % of pruning obtaining a budding percentage of 89 % against 37 % from the control after 42 days of application. The spraying and pruning advanced the beginning of the flowering and concentrated it, while the fruit production and its quality were not significantly affected from this. Spraying with Thidiazuron and AG₃ in combination with pruning can be a tool to program and concentrate flowering and harvest of cranberry, but it should be validated in "evergreen" commercial plantations.

Keywords: berries, cytokinins, gibberellins, growth regulators, forced production.

mente TDZ o Thidiazurón) y podas en diversas épocas e intensidades. En el tema de podas, básicamente se sugiere que a través del despunte de ramas de buen vigor, se estimule mayor desarrollo de brotes anticipados, aumentando la cantidad de yemas florales por planta (Williamson *et al.*, 2004). En cuanto a las aplicaciones de promotores de brotación, diversas investigaciones comprueban que la eficiencia de cianamida de hidrógeno rompe el letargo invernal de las yemas, de forma exitosa en frutales, tales como manzano (*Malus pumila* L.) (Jackson y Bepete, 1995), durazno (*Prunus persica* L.) (George y Nissen, 1993), vid (*Vitis vinifera* L.) (Dookozlian *et al.*, 1995) y arándano (*Vaccinium* spp.) (Williamson *et al.*, 2002). Sin embargo, este compuesto químico es extremadamente corrosivo y ha ocasionado daños en la piel y es riesgoso a la salud en general. Por esta razón, se ha empleado otro promotor de brotación menos tóxico, el TDZ o Thidiazurón, el cual ha tenido gran éxito para promover brotación y adelantar el inicio de la floración en ciruelo 'Shiro' (Alvarado *et al.*, 2000) y en zarzamora 'Brazos' (Calderón y Rodríguez, 1996). Por lo anterior y para evaluar la efectividad de aplicaciones de TDZ y AG₃ combinado con diferentes intensidades de poda en la promoción de la brotación en arándano, se realizó un estudio durante el ciclo 2014-2015 en Montecillo, Texcoco, México; con el objetivo de evaluar la respuesta en brotación de yemas vegetativas y dinámica de floración en arándano cv. 'Biloxi', así como también la producción de frutos y su calidad por efecto de los tratamientos. Se trabajó bajo la hipótesis de que es posible concentrar la producción y programar la obtención de cosechas de arándano mediante prácti-

INTRODUCCIÓN

El arándano

(*Vaccinium* spp) es un frutal originario del hemisferio norte, reconocido como una frutilla con una especial riqueza nutrimental por su alto contenido de polifenoles y antioxidantes, cuyo consumo mejora la dieta alimenticia y reduce riesgos de adquirir enfermedades degenerativas, razón por la cual sigue ganando áreas de comercialización, al ser más demandada por nuevos mercados y consumidores en el mundo. Los Estados Unidos son el mayor productor mundial de arándanos, registrando una producción de 215,000 t en el año 2012. También es el mayor consumidor mundial de este producto, ya que consume cerca de 80% de la producción mundial. Sin embargo, su cultivo se ha expandido a regiones de latitudes más bajas y otras condiciones extremas, incluyendo algunas áreas subtropicales, tales como el norte de Argentina y Chile, España y lo más extremo, México (Bañados, 2009). En México la producción de arándanos es baja en comparación con la de Estados Unidos, ya que para el 2014 se obtuvo una producción de 18,031 t (SIAP, 2015); sin embargo, tiene un potencial de crecimiento, además de ser un cultivo de gran rentabilidad e importante generador de divisas y empleos rurales, teniendo como inconveniente su elevado costo de producción. En este contexto, la cosecha es la labor que más encarece el cultivo, debido a la gran cantidad de mano de obra requerida en este período, por la necesidad de pasar repetidas veces por una misma planta para lograr completar la cosecha. Este punto puede atribuirse a su prolongada floración en el tiempo, lo cual provoca que el fruto madure en distintas fechas en una misma planta. Por otra parte, la posibilidad de cosechas tempranas tiene importantes beneficios económicos por los mayores precios pagados a inicios de temporada. Período en el cual coincide con la escasez de arándanos frescos en el hemisferio norte. Por lo tanto, lograr adelantar y concentrar la producción de fruta, donde la cosecha comienza a fines de octubre, significa un aumento relevante en la rentabilidad del cultivo y disminución de los costos de producción. Las prácticas culturales que permiten la producción en épocas de mayor demanda en diferentes frutales, son la aplicación de promotores de brotación (cianamida de hidrógeno, ácido giberélico (AG₃); más reciente-

cas culturales, tales como aplicación de promotores de brotación y poda.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en invernadero (19° 29' N y 98° 53' O), a una altitud de 2250 m. Se utilizaron 60 plantas de arándano alto (*Vaccinium* spp.) cultivar 'Biloxi', de dos años de edad. Las plantas se obtuvieron de vivero, teniendo un año de edad, se trasplantaron en contenedores de plástico (macetas de 40 L) en primavera 2014; el sustrato que se utilizó fue una mezcla de agrolita y turba de pantano (Peat Moss) en una relación 1:3. Posterior al trasplante las plantas se regaron con agua corriente, a partir del tercer día se agregaron 320 ml de agua acidificada a pH 5 con ácido fosfórico, a cada maceta, mediante un sistema de riego por goteo automatizado con un programador de tiempo aplicando tres disparos diarios de un minuto. La fertilización se aplicó semanalmente a través del riego en solución nutritiva durante todo el ciclo, utilizando nitrato de calcio, sulfato de amonio, fosfato monoamónico, sulfato de potasio, tradecorp AZ y ultraferro; adicionalmente se realizaron aplicaciones foliares de Tradecorp AZ semanales con un aspersor manual con el fin de corregir deficiencias de micronutrientes.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 10 tratamientos y 6 repeticiones, considerando una planta como unidad experimental. Los tratamientos evaluados fueron: (T1) 20 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+ 5% poda; (T2) 20 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+10% poda; (T3) 20 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+20% poda; (T4) 40 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+5% poda; (T5) 40 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+10% poda; (T6) 40 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+20% poda; (T7) 80 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+5% poda; (T8) 80 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+10% poda; (T9) 80 mg·L⁻¹ TDZ+50 mg·L⁻¹+20% poda; (T10) Testigo. Cada planta representó una unidad experimental.

Los tratamientos consistieron en aspersiones con Thidiazurón (20, 40 y 80 mg L⁻¹) (Revent[®] 500 de Bayer), adicionadas cada una con ácido giberélico (50 mg L⁻¹) (Gibiotin polvo de Biochem Crop & Care Systems), además de tres intensidades de poda (5, 10, 20%) en las ramas del crecimiento del año inmediato anterior. Enseguida de la poda se hizo la aplicación con un aspersor manual de las dosis respectivas de TDZ y AG₃ hasta el punto de goteo temprano por la mañana. Se utilizó una pantalla protectora para evitar la aspersiones sobre plantas ajenas al tratamiento. Los tratamientos se aplicaron el día 26 de febrero del 2015.

Variables evaluadas

Dinámica de brotación, una semana después del inicio de los tratamientos se inició el conteo en una rama completa por planta, del número de yemas laterales brotadas y se registró cada tres días para estimar la proporción (en porcentaje) de yemas brotadas por efecto de los tratamientos hasta los 42 DDAT.

Dinámica de floración, se evaluó en laterales fructificantes desde que aparecieron las primeras flores (46 DDAT), realizándose conteos semanales. Se iniciaron las estimaciones por observación directa, del número de flores abiertas en cada lateral fructificante. Considerando la totalidad de flores abiertas respecto del total de yemas brotadas por rama, para obtener un porcentaje acumulativo del ciclo de floración a través del tiempo (179 DDAT).

Producción de fruto por planta, se cuantificó la producción total en gramos por planta, considerando cada corte parcial realizado a los 183, 225 y 251 DDAT haciendo la sumatoria.

Peso de fruto. En cada corte se seleccionaron tres frutos por tratamientos y se obtuvo el peso promedio en gramos.

Diámetro de fruto, se midió en centímetros en tres frutos por cosecha de cada tratamiento; mediante el uso de un vernier digital universal Modelo FDV-30.

Sólidos solubles totales, se obtuvo con un refractómetro automático ATago Modelo PR-100, calibrado con agua destilada; para esta variable se tomaron dos gotas del jugo de frutos firmes de cada planta por tratamiento. El resultado se expresó como °Brix.

Contenido de fenoles totales, se determinó por el método adaptado de Rodarte *et al.* (2009). Se tomó una muestra de 0.06 g de arándano seco, se maceró en un mortero con 2 mL de metanol 80%. La mezcla se vació en un tubo de centrifuga y se centrifugó a 500 rpm por 10 minutos. Luego de 5 min de reposo y otros 10 min de centrifuga, se colocó del sobrenadante un volumen de 25 μ L a un tubo de ensayo al que se le adicionaron 475 μ L de agua destilada y 25 μ L del reagente Folin-Ciocalteu 2 N al 50% (v/v), después se adicionaron 975 μ L de carbonato de sodio (2% p/v). Después de 1 hora, se midió la absorbancia a 740 nm en un espectrómetro. La curva estándar se preparó usando el mismo procedimiento

con ácido gálico (10, 20, 50 y 100 mg L⁻¹). El contenido de fenoles totales es expresado en mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g de peso seco.

Análisis estadísticos. Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute, NC, EE.UU.), considerando el diseño experimental de bloques al azar; y en las variables donde la prueba de F del análisis de varianza indicó significancia, se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel del 5% para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El registro de la variable dinámica de brotación se inició a los siete días después de la aplicación de tratamientos; y la brotación prácticamente se estabilizó a los 32 días después de la aplicación de tratamientos (DDAT) (Figura 1).

A los 42 DDAT se registró el porcentaje final de brotación donde el tratamiento 8 obtuvo el mayor porcentaje de brotación con 89%, seguido de los tratamientos 6 y 9 con 74% y T2 con 73%. De acuerdo al análisis de varianza existió diferencia ($P \leq 0,05$) entre tratamientos, destacando el de 80 mg L⁻¹ de TDZ+50 mg L⁻¹ de AG+10% poda (T8) comparándolo con el testigo (Figura 2).

Las diferentes dosis de TDZ adelantaron la brotación y elevaron su porcentaje con respecto al testigo; estos resultados coinciden con lo encontrado en zarzamora por Vidal *et al.* (1992), Calderón y Rodríguez (1996) y Galindo *et al.* (2004). En los cultivares Shiro y Santa Rosa de ciruelo japonés, el TDZ adelantó la brotación en 19 y 15 días, respectivamente, con relación al testigo (Almaguer *et al.*, 2000). Además de mayor porcentaje de brotación se encontró mayor velocidad de brotación ya que a los 11 DDAT aún no iniciaba brotación en plantas testigo mientras que las tratadas contaban con hasta 24% de yemas brotadas.

La variable dinámica de floración fue acumulativa durante la toma de datos (Figura 3). También se observó que con la aplicación de tratamientos, la floración se vio claramente adelantada por efecto de los tratamientos hasta 40 días comparado con el testigo.

No obstante, en el porcentaje final acumulativo de floración obtenido a los 179 DDAT (Figura 4) no se hubo diferencia ($P \leq 0,05$) entre tratamientos.

Producción total de fruto por planta. Si bien los valores absolutos, en cuanto a producción total por planta, difieren entre tratamientos, los análisis estadísticos ($P \leq 0,05$) indicaron que esas diferencias no se deben a los tratamientos aplicados, por lo que son

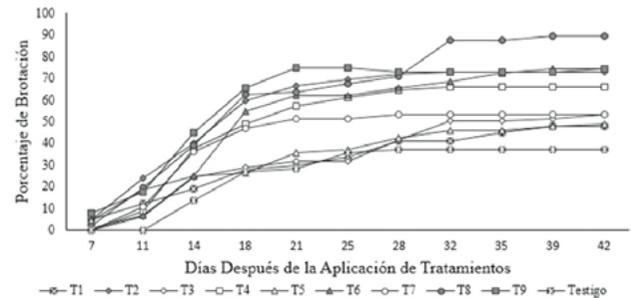


Figura 1. Dinámica de brotación vegetativa por efecto de los tratamientos aplicados el 26 de febrero de 2015 en arándano cv 'Biloxi' en invernadero del Campus Montecillo, del Colegio de Postgraduados en el Estado de México. Los tratamientos fueron: (T1) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T2) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T3) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T4) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T5) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T6) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T7) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T8) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T9) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T10) Testigo.

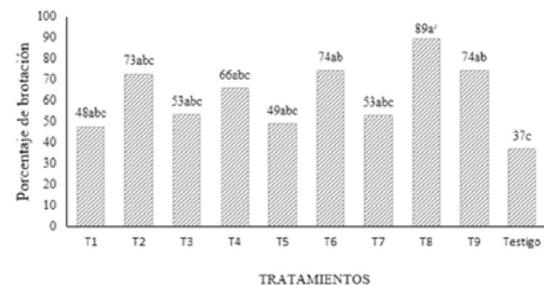


Figura 2. Porcentaje de brotación final a 42 DDAT por efecto de los tratamientos aplicados el 26 de febrero de 2015 en arándano cv 'Biloxi' en invernadero de Montecillo, Texcoco, México. Los tratamientos fueron: (T1) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T2) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T3) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T4) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T5) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T6) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T7) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T8) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T9) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T10) Testigo.

^aValores seguidos por letras iguales no son significativos de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

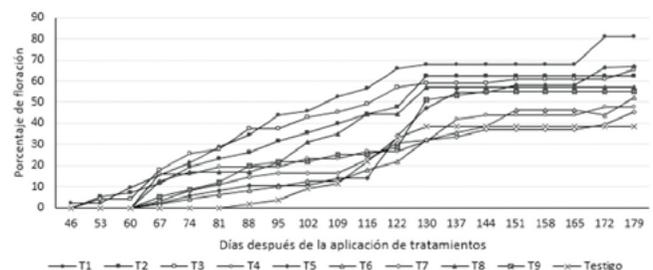


Figura 3. Dinámica de floración por efecto de los tratamientos aplicados el 26 de febrero de 2015 en arándano cv 'Biloxi' en invernadero del Campus Montecillo, Texcoco, México. Los tratamientos fueron: (T1) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T2) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T3) 20 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T4) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T5) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T6) 40 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T7) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 5% poda; (T8) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 10% poda; (T9) 80 mg·L⁻¹ TDZ +50 mg·L⁻¹ + 20% poda; (T10) Testigo.

iguales estadísticamente entre sí (Figura 5).

Soria *et al.*, (1993) mencionan que la producción fuera de temporada propicia problemas fisiológicos relacionados con respuestas inestables en los frutales, así como cambios en el almacenamiento de nutrimentos y sustancias de reserva (Rivas, 2003). Greet *et al.* (2002) reportaron que arboles de manzano con reservas altas de carbohidratos obtienen mayor rendimiento y si estas disminuyen por efecto de la utilización de promotores de brotación, se reduce considerablemente

y consecuentemente habría un desgaste paulatino de la planta, reduciendo su vida útil productiva. Otro factor importante es la edad de la planta, ya que el rendimiento de los frutales varía en función de la edad de las plantas: a medida que avanza en el tiempo, el rendimiento aumenta. La planta de arándano alcanza su máximo rendimiento en el noveno año de plantada (Gough, 1994). La calidad de fruto involucra principalmente el peso, diámetro polar, contenido de sólidos solubles totales (SST) (°Brix) y fenoles totales. En ninguna de estas variables se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1). En cuanto al peso de fruto se obtuvo un peso promedio de arándano cv. 'Biloxi' de 0.6 g, lo cual es inferior al rango óptimo en cosecha para este cultivo (0.8 g a 3.4 g) (Spiers y Stringer, 2002). Maust *et al.* (2000) indicaron que el peso de fruto de arándano se encuentra directamente relacionado con las reservas de carbohidratos y fertilización realizada a los arbustos antes de la fructificación, el cual es utilizado por la planta de forma eficientemente durante el proceso fotosintético, siempre y cuando se desarrolle en las condiciones adecuadas de luz, temperatura, suelo y agua. Por las condiciones registradas de PAR durante las mediciones de intercambio gaseoso, apenas alrededor de los $360 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en promedio máximo, claramente las condiciones de luz fueron deficientes en el invernadero donde se cultivaron las plantas. El Cuadro 1 muestra el tamaño de fru-

tos de arándano medido como diámetro polar; el cual en promedio general fue de 6.83 mm. Al respecto Cordenunsi *et al.* (2002) indican que el tamaño de fruto no se pierde cuando llega al estado completamente azul como pasa con la firmeza, debido al incremento en la respiración provocado por el exceso de temperatura y luz solar. El tamaño de frutos de arándano puede variar en diámetro de 0.7-1.8 cm (Gough, 1994). El análisis de varianza de los datos de la variable diámetro promedio no indicó diferencias estadísticamente ($P \leq 0,05$) entre

tratamientos. El peso de fruto y el diámetro están relacionados, por lo que los tratamientos con menor peso tuvieron menor dimensión de diámetro.

En cuanto a sólidos solubles totales (°Brix) se observó que los tratamientos no afectan la concentración de azúcar en el fruto. El valor de SST al momento de la cosecha fue de 11.5% lo que coincide con lo propuesto por Kushman y Ballinger (1968) quienes indican que niveles superiores a 10 °Brix son un buen criterio de cosecha, el cual es considerado como el índice de calidad mínimo para arándanos (Kader, 1999). Sin embargo, es importante señalar que el cultivar 'Biloxi', se caracteriza por presentar niveles de azúcar de 13.4%. Morgan *et al.* (1984) indican que el contenido de SST está fuertemente asociado con el peso del fruto, ya que aumentan con el tamaño de éste. Estos resultados coinciden a lo encontrado por Galindo *et al.* (2004) en zarzamora y Zermeño *et al.* (2009) en manzano, en relación a que el TDZ no ejerce ningún efecto significativo sobre el contenido de °Brix en estas especies. El contenido medio de fenoles osciló entre 172 y 214 $\text{mg } 100^{-1}$ por gramo equivalente de ácido gálico (EAG) sin encontrar diferencias estadísticas (Cuadro 1). Los datos obtenidos fueron similares a los valores observados por Moyer *et al.* (2002) que dan a conocer niveles de fenoles totales que varían entre 171 y 868 mg de equivalente ácido gálico 100 g^{-1} de fruta

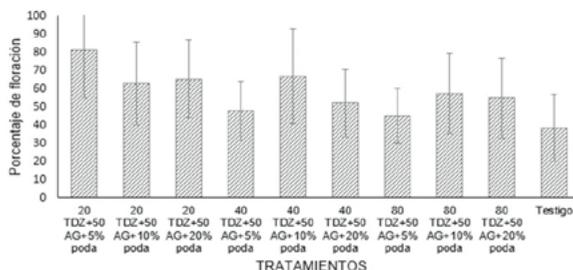


Figura 4. Porcentaje de floración a los 179 DDAT por efecto de los tratamientos aplicados el 27 de febrero de 2015 en arándano cv 'Biloxi' en invernadero del Campus Montecillo, Texcoco, México. Las columnas son el promedio más la desviación estándar (líneas verticales en cada barra).

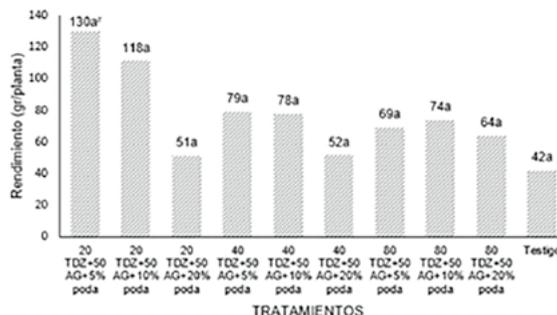


Figura 5. Producción de frutos por planta por efecto de los tratamientos aplicados el 26 de febrero de 2015 en arándano cv 'Biloxi' en invernadero en Montecillo, Edo de México. *Valores seguidos por letras iguales no son significativos de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de promotores de brotación y poda en el peso de fruto, diámetro, sólidos solubles totales y fenoles totales en (*Vaccinium spp.*) cv 'Biloxi' bajo invernadero.

| Tratamiento | TDZ (mg L ⁻¹) | AG3 (mg L ⁻¹) | Poda (%) | Peso fruto (g) | Diámetro polar (mm) | °Brix | Fenoles totales (mg 100 g ⁻¹ equivalentes de ácido gálico) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|----------|----------------|---------------------|--------|---|
| 1 | 20 | 50 | 5 | 0.62a | 7.0a | 12.67a | 214.35a |
| 2 | 20 | 50 | 10 | 0.64a | 7.3a | 12.52a | 181.41a |
| 3 | 20 | 50 | 20 | 0.73a | 8.2a | 11.48a | 182.68a |
| 4 | 40 | 50 | 5 | 0.63a | 7.1a | 11.3a | 172.61a |
| 5 | 40 | 50 | 10 | 0.53a | 5.8a | 11.27a | 173.27a |
| 6 | 40 | 50 | 20 | 0.64a | 7.4a | 11.9a | 207.74a |
| 7 | 80 | 50 | 5 | 0.49a | 5.3a | 11.22a | 202.15a |
| 8 | 80 | 50 | 10 | 0.65a | 8.0a | 11.42a | 186.05a |
| 9 | 80 | 50 | 20 | 0.61a | 6.6a | 11.24a | 199.52a |
| Testigo | 0 | 0 | 0 | 0.46a | 5.2a | 10.7a | 172.57a |

^ZValores seguidos por letras iguales no son significativos de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

fresca. Sin embargo, el contenido de fenoles totales puede presentar una gran variabilidad incluso dentro del mismo cultivar y de la misma localidad. Esta variabilidad es debido a que existen factores que pueden afectar el nivel de fenoles, tales como la madurez de la fruta, época de maduración, condiciones ambientales de precosecha, además del método utilizado para la determinación de fenoles (Clark et al., 2002).

CONCLUSIONES

La aplicación de altas dosis de Thidiazurón (TDZ) (80 mg L⁻¹) en combinación con ácido giberélico e intensidad de poda (10% y 20%) promueve mayor porcentaje de brotación lateral en plantas de arándano 'Biloxi' y adelanta la floración. Los tratamientos a base de aspersiones de promotores de brotación y poda no afectan de manera significativa los parámetros de calidad de frutos en arándano. La aspersión de Thidiazurón y AG3 en combinación con poda puede ser una herramienta para programar y concentrar la floración y cosecha de arándano; no obstante, debe ser

validado en condiciones de producción en lugares subtropicales bajo condiciones ambientales normales de producción en los llamados sistemas de cultivo siempre verdes.

LITERATURA CITADA

- Almaguer V.G., Espinosa E.J.R., Luna C.A., Paz S.J.C. 2000. Aplicación de promotores de la brotación en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lind.) 'Shiro' Y 'Santa Rosa'. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 111-115
- Anderson J.E. 1982. Factors controlling transpiration and photosynthesis. J. Ecol 63: 48-56.
- Bañados M.P. 2009. Expanding blueberry production into non-traditional production areas: northern Chile and Argentina, Mexico and Spain. Acta Hort. 810: 439-445
- Calderón Z.G., Rodríguez A.J. 1996. Adelanto de la floración con revent (i.a. tidiazurón o TDZ) en zarzamora 'Brazos'. Memorias del XVI Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 89p.
- Calderón Z.G., Rodríguez A.J., Becerril R. A. E., Livera M. M., Colinas L.M.T. 1997. Fertilización foliar nitrogenada en la fotosíntesis y el desarrollo de durazno en producción forzada. Agrociencia 31: 291-296.
- Cordenunsi B., Oliveira J., Genovese M. Lajolo F. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruit grown in Brazil. J. Agric. Food Chem. 50 (9): 2581-2586.
- Dale A., Luby, J.J. 1990. The strawberry into the 21st century. Timber Press. Portland, Oregon. 133-135
- Dookozlian N.K., Williams L.E., Neja R.A. 1995. Chilling exposure and hydrogen cyanamide interact in breaking dormancy of grape fruits. HortScience 30(6): 1244-1247.
- Galindo R.M.A., González H.V.A., Muratalla L.A., Soto H.R.M., Livera M.M. 2004. Producción forzada en zarzamora 'Comanche' mediante reguladores de crecimiento. Rev. Chapingo S. Hort. 10(2):205-209.
- George A.P., Nissen R.J. 1993. Effects of growth regulators on defoliation, flowering and fruit maturity of the low chill peach cultivar Flordaprince in subtropical Australia. Austral. J. Expt. Agr. 33(6): 787-795.
- Gough R.E. 1994. The highbush blueberry and its management. Food Products Press, Binghamton, N.Y.
- Kushman L., Ballinger W. 1968. Acid and sugar changes during ripening in Wolcott Blueberries. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci 2: 290-295
- Jackson J.E., Bepete M. 1995. The effect of hydrogen cyanamide (Dormex) on flowering and cropping of different apple cultivars under tropical conditions of subtropical winter chilling. Scientia Horticulturae 60(3): 293-304.

- Maust B., Williamson J., Darnell R. 2000. Carbohydrate reserve concentrations and flower bud density effects on vegetative and reproductive development in Southern Highbush Blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125 (4): 413-419.
- Morgan D., Stanley C., Volz R., Warrington I. 1984. Summer pruning of 'Gala' apple: The relationships between pruning time, radiation penetration, and fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109 (5): 637-642.
- Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei C.E., Wrolstad R.E. 2002. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus* and *Ribes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 519-525.
- Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G., Mainland C.M. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium* species. *J. Agr. Food Chem.* 46:2686-2693.
- Spiers M. J., Stringer S.J. 2002. 'Biloxi' Southern Highbush Blueberry. *Proc. 7th IS on Vaccinium*. Ed. R. F. Hepp. *Acta Hort.* 574.
- Williamson J.G., Krewer G., Maust B.E., Miller E.P. 2002. Hydrogen cyanamide accelerates vegetative budbreak and shortens fruit development period of blueberry. *HortScience* 37(3): 539-542.
- Williamson J., Davies F., Lyrene P. 2004. Pruning blueberry plants in Florida. HS985. University of Florida and Institute of Food and Agricultural Science (UF/IFAS).
- Woolley D.J., Lawes G.S., Cruz C.J.G. 1991. The growth and competitive ability of *Actinidia deliciosa* 'Hayward' fruit: carbohydrate availability and response to the cytokinin-active compound CPPU. *Acta Horticulturae* 297: 467-473.
- Zermeño G.A., Gil M.J.A., Ramírez R.H., Hernández H.A., Rodríguez G.R., Benavides M.A., Jasso C.D. 2009. Efecto del encalado total del manzano en la temperatura interna, rendimiento de frutos y su relación con la aplicación de thidiazurón. *Rev. Chapingo Ser. Hortic* vol.15 no.3.



EVALUACIÓN DE CEPAS DE RIZOBACTERIAS EN LA PRODUCCION DE PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

EVALUATION OF RHIZOBACTERIA STRAINS IN THE PRODUCTION OF HABANERO CHILI (*Capsicum chinense* Jacq.) SEEDLINGS

Castillo-Aguilar, C.C.^{1*}; Dolz-Ramos, R.¹; Arreola-Enríquez, J.¹, Carbajal-León, J.E.², Carrillo-Castañeda, G.³; Coh-Méndez, D.¹, Carrillo-Ávila, E.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. Carretera Federal Haltunchén-Edzná km 17.5. Champotón, Campeche C.P. 24450. ²Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche cementerio 11, Chiná, Campeche. C.P. 24520. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera Federal México Texcoco, km 36.5 Montecillo, Texcoco, Estado de México.

*Autor responsable: ccca@colpos.mx

RESUMEN

Con el objetivo de ver el efecto de cuatro diferentes cepas experimentales de rizobacterias sobre el crecimiento de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en condiciones de vivero, se evaluó la inoculación de rizobacteriana sobre el crecimiento de plántulas de chile habanero. Las cepas estudiadas fueron: *Pseudomonas fluorescens* A9m, Avm y C2, y *Azospirillum brasilense* (UAP40). El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. El crecimiento de las plantas fue significativamente mayor por efecto de la inoculación con rizobacterias. Un mayor crecimiento se obtuvo con la cepa Avm, que aumentó la altura de la plántula en 36.74 %, el diámetro del tallo en 46.27 %, área foliar en 45.73 %; el peso seco de hojas y tallos en 30.23% y el peso seco de raíz en 40 % en comparación al testigo ($p \leq 0.05$). Los resultados mostraron que el uso de las rizobacterias evaluadas mejora significativamente el crecimiento de las plantas de chile habanero en condiciones de vivero.

Palabras clave: Picantes, hortalizas, microorganismos, *Pseudomonas*, *Azospirillum*.

ABSTRACT

With the objective of observing the effect of four different experimental strains of rhizobacteria on the growth of seedling growth of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.), under greenhouse conditions, the inoculation of rhizobacteria on the growth of habanero chili seedlings was evaluated. The strains studied were: *Pseudomonas fluorescens* A9m, Avm and C2, and *Azospirillum brasilense* (UAP40). The experimental design used was complete random blocks with five treatments and four repetitions. The growth of the plants was significantly higher because of the effect of inoculation with rhizobacteria. A greater growth was obtained with the strain Avm, which increased the height of the seedling in 36.74 %, the stalk diameter in 46.27 %, foliar area in 45.73 %, the dry weight of leaves and stems in 30.23%, and the dry weight of the root in 40 % compared with the control ($p \leq 0.05$). The results showed that the use of the rhizobacteria evaluated improves significantly the growth of the habanero chili plants under greenhouse conditions.

Keywords: spicy, vegetables, microorganisms, *Pseudomonas*, *Azospirillum*.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp: 128-133.

Recibido: enero, 2017. **Aceptado:** septiembre, 2017.

INTRODUCCIÓN

Los diferentes mecanismos que utilizan las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR por sus siglas en inglés) hacen de estos microorganismos una herramienta interesante que se puede integrar a la producción agrícola, tal como la nutrición vegetal y control de plagas (incluye enfermedades). Su empleo en los sistemas de producción agropecuarios permite mejor aprovechamiento de la fertilidad natural de los suelos, reduciendo la aplicación de fertilizantes minerales y pesticidas que contaminan el ambiente. Diversos estudios han demostrado que la inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal ha logrado mejorar el crecimiento de plántulas de tomate, trigo, soya, maíz y otras especies (Singh *et al.*, 2010). En algunos casos, las rizobacterias estimulan directamente el crecimiento mediante la producción de reguladores, como el ácido indol-3-acético (AIA), la isopentenyladenosina (IPA) y el ácido giberélico (Parvin *et al.*, 2011). Otro mecanismo que favorece el crecimiento vegetal es la solubilización de fosfatos orgánicos e inorgánicos en el suelo por medio de la producción de fosfatasa y de ácidos orgánicos, los cuales aumentan la disponibilidad del fósforo para las plantas (Wahyudi *et al.*, 2011). En condiciones de escasa disponibilidad de Fe^{+3} , las bacterias benéficas que producen sideróforos compiten ventajosamente con los microorganismos fitopatógenos por este elemento, reduciendo de este modo la disponibilidad de Fe^{+3} para los microorganismos patógenos y en consecuencia la incidencia de enfermedades (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2006). Las rizobacterias estimulan también el crecimiento de las plantas al activar la actividad de la enzima 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) desaminasa, que hidroliza el inmediato precursor del etileno, lo que reduce la concentración de esta fitohormona y su efecto inhibitorio del crecimiento vegetal (Wang *et al.*, 2012). Noh Medina *et al.* (2014) encontraron que los aislados bacterianos KCH3 y TSACH2, inoculados a las semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), solubilizaron fosfato *in vitro*, e incrementaron significativamente la biomasa de la parte aérea de las plántulas (42% y 32% respectivamente), permitiendo obtener plántulas más vigorosas que las no inoculadas. Constantino *et al.* (2008), trabajando con chile habanero, encontraron que el crecimiento vegetativo y el rendimiento de los frutos fueron mayores en plantas inoculadas con *A. brasilense* y *Azotobacter chroococcum*, que en plantas sin inocular. En el mismo cultivo, Reyes-Ramírez *et al.* (2014) regis-

traron que plantas tratadas con *Pseudomonas* spp. tuvieron significativamente mayor altura, diámetro de tallo y biomasa seca total que las plantas testigo, a 120 días después del trasplante. Asimismo el rendimiento fue mayor (899.84 g por planta) y los frutos tuvieron longitud, diámetro y peso más grandes estadísticamente. Dichos autores concluyen que la inoculación de *Pseudomonas* spp en chile habanero durante el trasplante aumenta el crecimiento y el rendimiento del cultivo. Con base en lo anterior, se evaluó el efecto de cuatro diferentes cepas experimentales de rizobacterias sobre el crecimiento de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en condiciones de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental fue realizado a inicios de 2006 en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 169, ubicado el km. 4 de la Carretera Hecelchakán-Balanchén, en la ex-hacienda Tanchi, Hecelchakán, Campeche, México (20° 10' 30" N, y 90° 05' 03" O). El clima predominante es cálido subhúmedo, Aw1 de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973). La temperatura y precipitación promedio anuales son de 26.6 °C y 1100 mm, respectivamente. La variedad empleada fue chile habanero naranja (*Capsicum chinense* Jacq.) producida por la empresa Seminis®. Se evaluaron cuatro cepas experimentales de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR), *Pseudomonas fluorescens*, (cepas A9m, Avm C2) y *Azospirillum brasilense* cepa UAP40. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos en estudio fueron cinco, cuatro cepas de rizobacterias y un tratamiento testigo sin inocular. La inoculación se realizó poniendo en contacto el inóculo líquido con las semillas de chile habanero en una caja de petri por 10 minutos a una concentración de 107 unidades de colonias formadoras de bacterias por mililitro de preparación (107 CFU ml⁻¹). Posteriormente, las semillas fueron puestas a secar para luego ser sembradas manualmente en charolas de poliestireno de 200 cavidades, previamente desinfectadas con cloro mezclado con agua limpia (1 mL L⁻¹ de agua). La siembra se realizó el 27 de febrero de 2006; el sustrato utilizado fue Peatmoss® Canadiense, constituido a base de vermiculita y musgo (esterilizado). Las charolas se llenaron con el sustrato húmedo, depositando una semilla por cavidad, cubriéndolas con una capa del mismo sustrato. Las charolas ya sembradas fueron envueltas con

plástico negro por espacio de ocho días, hasta el inicio de la emergencia de las plántulas (Figura 1).

Posteriormente, las charolas ya con las plántulas emergiendo del sustrato se colocaron sobre unos bancales de madera, dentro de una estructura tipo invernadero cubierta con una malla antiáfido. Los riegos iniciales fueron aplicados con bomba aspersora cuidando de no dejar excesos de agua en las charolas. A partir de los 20 días después de la emergencia de las plantas, se dieron riegos diarios mediante inmersión en recipientes de plástico individuales para cada charola. La fertilización se inició a partir de que las plantas presentaron dos hojas verdaderas, tres veces por semana, mediante aplicaciones al sustrato de la fórmula 19-19-19 (Nitrógeno, Fósforo-Potasio) Poly-feed® (2 g L⁻¹ de agua). El control de enfermedades fue enfocado hacia la prevención de *Damping off*, usando fungicidas como Previcur® y Derosal®, en dosis de 1 mL L⁻¹ de agua de riego. Para el control mosquita blanca se aplicó Confidor® cuatro días antes del trasplante, en dosis de 1 mL L⁻¹ de agua. Las variables de estudio fueron: altura de planta, diámetro de la base del tallo, área foliar y peso seco de la planta (raíz y parte vegetativa). La altura de la planta fue considerada de la base de la planta hasta el punto de crecimiento de la misma, midiendo 20 plantas elegidas al azar por tratamiento y por repetición. La cuantificación del diámetro del tallo, el área foliar y peso seco de la planta fue llevada a cabo mediante la cosecha de 20 plantas tomadas aleatoriamente por tratamiento y por repetición. El diámetro del tallo fue medido un centímetro arriba de la división, tallo-raíz con un vernier digital. Las plantas se cosecharon a los 40 días después de la siembra para los análisis de área foliar y peso seco. La determinación del área foliar se realizó con empleo de un determinador de área foliar Licuor, integrando el área de las hojas de las plantas muestreadas. Las plantas se colocaron

en sobres etiquetados de papel manila, para luego proceder a su secado en estufa a 60 °C por 72 horas hasta peso constante. Se realizó un análisis de varianza de toda la información experimental, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System). En los casos en los que se encontraron efectos significativos de los tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La inoculación con rizobacterias indujo efectos significativos en altura y diámetro de planta, (Cuadro 1). Las rizobacterias *Pseudomonas fluorescens* cepas Avma y A9m, y *Azospirillum brasilense* cepa UAP40, comparadas con las plantas sin inocular.

Estos resultados concuerdan con obtenidos por Guillen et al. (2006), quienes encontraron una altura 20% mayor en plantas inoculadas con rizobacterias del género *Bacillus* spp., en *Capsicum annuum*, coincidiendo a su vez con lo hallado por Terry-Alfoso y Leyva-Galán (2006), al inocular plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) con *Azospirillum brasilense*, obteniendo 24% de incremento en altura. Misma tendencia en los resultados fue obtenida por Sing et al. (2010) y Noh Medina et al. (2014) en la misma especie.

El efecto de la inoculación rizobacteriana en el crecimiento de las plántulas de chile habanero, no sólo pudo verse como un incremento en su altura, sino también con la obtención de plantas más vigorosas, sanas, con una coloración verde más atractiva, lo cual les confiere ventajas adaptativas al momento del establecimiento en campo. Esta respuesta de las plantas, es atribuido al hecho que las rizobacterias pueden promover la síntesis de ácido indolacético y ácido giberélico promoviendo un mayor y rápido crecimiento



Figura 1. Semilla de *Capsicum chinense* Jacq, colocada en las cavidades de la charola de siembra (izquierda). Charolas estibadas por tratamiento y cubiertas con plástico negro para su germinación.

Cuadro 1. Efecto de la inoculación con rizobacterias en la altura y el diámetro del tallo de plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. en condiciones de vivero.

| Tratamiento | Altura de planta | Diámetro del tallo |
|---|------------------|--------------------|
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> cepa Avma | 29.80 a | 2.55 a |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> cepa A9m | 28.02 ab | 2.11 ab |
| <i>Azospirillum brasilense</i> cepa UAP40 | 25.72 ab | 2.15 ab |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> cepa C2 | 22.87 bc | 1.72 bc |
| Testigo (plantas sin inocular) | 18.85 c | 1.37 c |
| DMS | 6.07 | 0.50 |

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$): DMS: diferencia mínima significativa.

vegetativo (Figura 2), además de reducir la presencia de damping off a nivel de 5%, que en conjunto redujo el tiempo de las plantas de chile habanero en vivero en cinco días, lo cual representa menos costos de producción para los viveristas. Respecto al diámetro del tallo, las diferencias estadísticas encontradas entre los tratamientos, señalan como las mejores cepas a *Pseudomonas fluorescens* Avm, *Pseudomonas fliorescens* A9m y *Azospirillum brasilense* cepa UAP40, que promovieron un diámetro del tallo estadísticamente superior al observado en el tratamiento testigo (Cuadro 1), resultados similares a los hallados por Ramírez-Reyes et al., (2014). De esta forma los resultados encontrados en el presente trabajo muestran que el empleo de rizobacterias promueve la formación de tallos con mayor diámetro.

No obstante que el diámetro del tallo es una variable poco evaluada en cuestiones de hortalizas, es considerada importante por viveristas y productores, como elemento para un adecuado establecimiento de las plantas en campo, que las hace más resistentes al manejo.

Área foliar y peso seco: resultados consistentes con los observados en las variables precedentes fueron encontrados para el área foliar y peso seco de plantas. En ambas variables, sobresalió el efecto de la cepas *Pseudomonas florescens* Avm, en las que los valores observados fueron significativamente superiores a los del tratamiento testigo en todos los casos (90.12 cm² para el área foliar y 0.43

y 0.05 g para el peso seco de la parte área de las plántulas y peso seco de raíz, respectivamente). El segundo mejor tratamiento fue *Pseudomonas fluorescens* cepa A9m con valores de 82.20 cm², 0.35 y 0.04 g para el área foliar, peso seco de la parte área de la planta y peso seco de raíz, en forma respectiva (Cuadro 2).

Lo obtenido puede ser explicado por un mayor número de hojas, así como tamaño mayor de éstas ($p \leq 0.05$), que combinadas con la altura de planta y diámetro del tallo produjo plantas de chile habanero



Figura 2. Efecto de la inoculación micorrizica en la altura de las plantas de *Capsicum chinense* Jacq.

más grandes a la cosecha, con mayor vigor, en comparación con las plantas no inoculadas (Figura 3).

El vigor de las plantas inoculadas con rizobacteriana con *Pseudomonas fluorescens* cepa Avm, al trasplante, es una alternativa que le puede dar al productor y viverista plantas en menor tiempo y a menor costo, ya que fueron producidas con al menos una semana de anticipación con relación a las que se producen en los principales viveros de la región. El mayor peso seco de la parte aérea de las plántulas está asociado con el vigor de las mismas, necesario para

Cuadro 2. Efecto de la inoculación con rizobacterias en el área foliar y peso seco de plántulas de *Capsicum chinense* Jacq., 45 días después de la siembra.

| Tratamiento | Área foliar (cm ²) | Peso seco de hojas y tallo (g) | Peso seco de raíz (g) |
|---|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> cepa Avm | 90.12 a | 0.43 a | 0.05 a |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> cepa A9m | 82.20 ab | 0.35 b | 0.04 ab |
| <i>Azospirillum brasilense</i> cepa UAP40 | 75.40 bc | 0.31 bc | 0.04 ab |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> cepa C2 | 66.13 c | 0.31 c | 0.03 b |
| Testigo (plantas sin inocular) | 48.90 d | 0.30 c | 0.03 b |
| DMS | 9.29 | 0.038 | 0.01 |

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$): DMS=diferencia mínima significativa.



Figura 3. Plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: *Pseudomonas fluorescens* cepa Avm; *Pseudomonas fluorescens* cepa A9m; *Azospirillum brasilense* cepa UAP40; *Pseudomonas fluorescens* cepa C2; Testigo (plantas sin inocular).

su supervivencia en el trasplante, así como para el posterior crecimiento y rendimiento. Adicionalmente, las plántulas inoculadas presentaron una coloración verde intenso y brillante y un aspecto más sano. Este efecto benéfico de las rizobacterias puede ser atribuido a diferentes mecanismos, tales como la producción de fitohormonas como auxinas, citocininas y giberelinas, que contribuyen al desarrollo de las plantas al influir sobre el metabolismo de éstas promoviendo su crecimiento y desarrollo; además las rizobacterias también provocan un aumento en la absorción de agua y nutrientes por diferentes mecanismos (Caballero-Mellado, 2006).

La inoculación con *Pseudomonas fluorescens* cepa Avm, permitió obtener plántulas con sistemas radical más desarrollado y denso en el cepellón, con un peso seco significativamente mayor del sistema radicular ($p \leq 0.05$). Este aspecto representa una ventaja desde el punto de vista productivo, ya que este órgano es importante en el anclaje y absorción de agua y nutrientes de la planta. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación, resultaron considerablemente inferiores a los obtenidos por Díaz-

Vargas et al. (2001), quienes encontraron, en lechuga, incrementos de 300% en comparación al de plantas no inoculadas, lo cual establece que el efecto de la inoculación rizobacteriana puede variar dependiendo de la especie vegetal inoculada. Los resultados encontrados en la presente investigación ponen de manifiesto la utilidad del género *Pseudomonas*, siendo importante señalar que es un género común en la rizósfera y abarca un gran número de grupos que se distinguen por múltiples diferencias. El interés basado en este género está apoyado en su influencia en la nutrición de las plantas (Hernández et al., 1995), así como en la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, tales como ácido indolacético, giberelinas, y citoquininas (De Salomone et al., 2001), aspectos a los que puede atribuirse el mayor crecimiento de las plantas de chile habanero en condiciones de vivero.

CONCLUSIONES

La inoculación de *Pseudomonas* spp a plántulas de chile habanero en vivero, promovió significativamente el crecimiento, mayor área foliar y acumulación de materia seca área y radical. Las cepas rizobacterianas superiores fueron Avm y A9m. El empleo de la inoculación



Figura 4. Sistema de raíces en plantas sin inocular (izquierda) y con inoculación (derecha).

micorrízica puede ser una estrategia sustentable para la producción de plántula de chile habanero, al obtenerse plantas, sanas, vigorosas y en menos tiempo (40 días), mejorando en al menos una semana el tiempo al trasplante respecto de los sistemas de producción de plántulas de chile convencionales.

LITERATURA CITADA

- Caballero-Mellado J. 2006. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. Revista latinoamericana de Microbiología 48(2): 154-161.
- Canto-Martín J.C., Medina-Peralta S., Morales A.D. 2004. Efecto de la inoculación con *Azospirillum* sp en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Tropical and Subtropical Agroecosystems 4: 21-27.
- Constantino M., Gómez-Álvarez R., Álvarez-Solís J.D., Geissen V., Huerta E., Barba E. 2008. Effect of inoculation with rhizobacteria and arbuscular micorrhizal fungi on growth and yield of *Capsicum chinense* Jacquin. J. Agric. Rural Develop. Trop. Subtrop. 109: 169-180.
- De Salomone I.E.G., Heynes R.K., Nelson L.M. 2001. Cytoquinin production by plant growth promoting rhizobacteria an select mutants. Canadian Journal 47(5): 404-411.
- Díaz-Vargas P., Ferrera-Cerrato R., Almaraz-Suárez J.J., Alcántar-González G. 2001. Inoculación de Bacterias Promotoras de Crecimiento en Lechuga. Terra 19 (4): 327-335.
- García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Segunda edición corregida y aumentada. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Guillen C.R., Hernández C.F.D., Gallegos M.G., Rodríguez H.R., Aguilar G.C.N., Padrón C.E., Reyes V.M.H. (2006. *Bacillus* spp., como biocontrol en un suelo infestado con *Fusarium* Spp., *Rhizoctonia solani* Kuhn y *Phytophthora capsici* Leonian y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile. Revista Mexicana de Fitopatología 24(002):105-114.
- Hernández A.N., Hernández A., Heydrinch M. 1995. Selección de rizobacteras asociadas al cultivo del maíz. Cultivos tropicales 16(3): 5-8.
- Noh-Medina J., Yam-Chimal C., Borges-Gómez L., Zúñiga-Aguilar J.J., Godoy-Hernández G. 2014. Terra Latinoamericana 32: 273-281.
- Parvin, J., Vedit T., Ballabh B. 2011. Characterization of Rhizobacteria diversity isolated from *Oryza sativa* cultivated at different altitude in north Himalaya. Adv. Appl. Sci. Res. 2: 208-216.
- Reyes-Ramírez A., López-Arcos M., Ruíz-Sánchez E., Latournerie-Moreno L., Pérez-Gutiérrez A., Lozano-Contreras M.G., Závala León M.J. 2014. Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Agrociencia 48(3): 285-294.
- Singh A.V., Shah S., Prasad B. 2010. Effect of phosphate solubilizing bacteria on plant growth promotion and nodulation in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). J. Hill Agric. 1: 35-39.
- Terry-Alfonso E., Leyva-Galán A. 2006. Evaluación agrobiológica de coinoculación micorrizas.rizobacterias en tomate. Agronomía Costarricense. 30(1):65-73.
- Wahyudi A.T., Astuti R.P., Widyawati A., Meryandini A., Nawangsih A.A. 2011. Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria. J. Microbiol. Antimicrobials 3: 34-40.



AGROEMPRESAS FAMILIARES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DIFERENCIADO Y DE ESPECIALIDAD EN VERACRUZ, MÉXICO: CASOS DE ÉXITO

DIFFERENTIATED AND SPECIALTY COFFEE (*Coffea arabica* L.) FAMILY
AGRIBUSINESSES IN VERACRUZ, MÉXICO: SUCCESSFUL CASES

Jáuregui-Arenas, S.¹; Álvarez-Ávila, M.C.¹; Escamilla-Prado, E.²; Olguín-Palacios, C.¹; Figueroa-Rodríguez, K.A.³

¹Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso del Ovejas, Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz. C.P. 91700. Tel: (229) 201-07-70. ²Centro Regional Universitario Oriente. Km 6.5 Carretera Huatusco-Xalapa, Huatusco, Ver. C.P. 94100. tel. (273) 73 4 07 64. ³Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba- Veracruz km 384, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C.P. 94946. México.

*Autor responsable: sarai.jauregui@colpos.mx

RESUMEN

Los cafés diferenciados y de especialidad han desarrollado grandes expectativas para quien lo produce y como producto diferente a quien lo demanda. Un café especial, es un grano tostado que por su cuidado y beneficiado brinda una taza de sabores limpios y con matices o notas organolépticas que lo hacen una bebida que se disfruta en cualquier preparación. El objetivo de esta investigación fue conocer las características que definen a las agroempresas familiares (AF) de café diferenciado y de especialidad de la región de altas montañas de Veracruz, México, como casos de éxito. Se aplicaron tres tipos de diagnósticos: de la estructura productiva del cafetal, empresarial y del perfil del emprendedor. Los resultados indican que las seis AF de café diferenciado y de especialidad se caracterizan por desarrollar avances en la cadena productiva desde la siembra hasta el valor agregado e innovando en procesos y productos.

Palabras clave: empresa familiar, calidad, caso exitoso.

ABSTRACT

Differentiated and specialty coffees have developed great expectations for those who produce them, and as a different product from those who demand it. A special coffee is a toasted grain which from its care and processing provides a cup of clean flavors and with organoleptic nuances or notes that make it a beverage that is enjoyed in any preparation. The objective of this study was to understand the characteristics that define family agribusinesses (FA) as success cases in differentiated and specialty coffee in the region of the high mountains of Veracruz, México. Three types of diagnoses were applied: of the coffee plantation productive structure, entrepreneurial, and of the businessman's profile. The results indicate that the six FAs of differentiated and specialty coffees are characterized by developing advancements in the productive chain from sowing to added value, and innovating in processes and products.

Keywords: family business, quality, successful case.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp. 134-139.

Recibido: enero, 2016. **Aceptado:** septiembre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En el mundo se cultiva más de 10.2 millones de ha de *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* P., es cultivado por 25 millones de productores en 70 países (OIC, 2006 y Pohlan, 2006). De acuerdo a Jeffrey (2003), el 75% de los cafetales son pequeñas fincas que van desde menos de 1.0 ha hasta 10 ha manejadas principalmente mediante mano de obra familiar. En México, la cafecultura es considerada una actividad estratégica, debido a la integración de cadenas productivas, la generación de divisas, empleo y es el modo de subsistencia de muchos productores de bajos ingresos y alrededor de 30 grupos indígenas (Moguel y Toledo, 1999; Escamilla, 2007). En los últimos 50 años el consumo mundial aumentó a una tasa media anual de 1.9%, pasando de 57.9 millones de sacos en 1964 a 142 millones en 2012. Esta tasa de crecimiento se aceleró a partir de 1990 de 2.1% a 2.4% para el año 2000 (OIC, 2014). El factor más determinante entre la oferta y demanda, es el aumento en el consumo, por lo que es importante una mejora constante de la calidad del café en el mercado mundial (Osorio, 2003; López *et al.*, 2013), la calidad en la taza es considerada como una medida

para propiciar el precio de la bebida por el consumidor (Osorio, 2004; López *et al.*, 2013). Pohlan (2006), señala que la calidad se encuentra en el centro de las discusiones y de las propuestas sobre las posibles salidas a la crisis que, desde más de dos décadas afectan a los productores de café. Sobre la necesidad de elevar la calidad del aromático se ha creado un acuerdo en los círculos dedicados a la producción y transformación del café y en las administraciones públicas (Renard, 2004). (Avelino *et al.*, 2005; Lewin *et al.*, 2004; Muschler, 2001; Levin, 1996 y Lingle, 1996), definen a un café de especialidad por sus peculiaridades, sus características gustativas, proceso de producción, condiciones de comercialización, o su origen, el cual puede ser tan preciso como el nombre de la finca, que los convierten en productos especiales, mejor remunerados a nivel de productor, y son buscados hoy en día por el tostador y el consumidor. La producción de café en México, es de gran importancia social, económica, ambiental y cultural, al ser una de las mayores fuentes generadoras de empleo en el medio rural, en

particular en zonas de alta marginación, donde cerca de 300 mil familias dependen económicamente (Escamilla, 2007). El presente estudio tuvo como objetivo conocer las características de producción primaria, transformación (beneficido húmedo y torrefacción) y comercialización que definen a las seis AF de café diferenciado y de especialidad: Como casos de éxito en la región de las altas montañas, Veracruz, México.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio fue en la región de las altas montañas Veracruz, México, que forma parte de la Sierra Madre Oriental, en ella se localiza el Pico de Orizaba (Citlaltépetl) y el Cofre de Perote. En sus pisos altitudinales entre 600 y 1300 m se ubica el 96% del total de la superficie cultivada con café en el estado, conformándose la principal zona compacta productora de café en México (SAGARPA, 2000; INIFAP, 2013). El estudio de

caso se realizó en siete municipios de la región de Córdoba y Huatusco. Localizando como objeto de investigación a seis agro empresas familiares. Tomando en cuenta, que son las de mayor presencia en la región, reconocidas por sus procesos y avances en la producción, trans-

formación y comercialización de café de alta especialidad (Cuadro 1).

La caracterización de la producción primaria se realizó en base al DEP y a la clasificación de los sistemas de cultivo, metodología implementada por el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) y modificada por CRUO (2012); el estudio consistió en ubicar un área representativa del 10% en la cual se clasificaron y calificaron los diferentes tipos de cafetos, se determinó el porcentaje de sombra, analizaron las plagas (incluye enfermedades), así como variedades. Los números de sitios a muestrear dependieron de la superficie del terreno. Este estudio permite conocer las necesidades de la estructura productiva de acuerdo los cafetos que se encuentran en el sitio de muestreo y es base para la planeación de actividades necesarias en el cafetal. La información recabada en campo fue complementada con un diagnóstico empresarial analizando las variables de: origen de las AF, destino de la producción y fuentes de ahorro y crédito.

Cuadro 1. Información de las agroempresas familiares.

| Región | Agroempresas familiares (AF) | Altitud (m) | Superficie (ha) | Experiencia (años) |
|----------|------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| Huatusco | "A" | 1450 | 9 | 4 |
| Córdoba | "B" | 1550 | 3 | 11 |
| Huatusco | "C" | 1150 | 16 | 29 |
| Córdoba | "D" | 1200 | 14 | 38 |
| Córdoba | "E" | 800 | 8 | 12 |
| Huatusco | "F" | 900 | 32 | 27 |

Fuente: Elaboración propia.

El diagnóstico del perfil del emprendedor se basó en el enfoque psicológico considerando como punto de referencias las variables sociodemográficas, personales y de competencia empresarial. Para analizar las variables se aplicó un análisis con preguntas abiertas promoviendo que el encuestado mencionara las variables que domina en su empresa. Las respuestas fueron evaluadas de acuerdo a una escala de Likert, donde el valor de 1 es muy bajo y 5 muy alto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de la estructura productiva

Los cafetos fueron calificados con base a la metodología del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE). Teniendo seis categorías: I (Cafés Normales), II (Cafetos que requieren poda), III (Cafetos que requieren resepa (rejuvenecimiento)), IV (Cafetos que requieren ser renovados), V (Cafetos pre-productivos) y VI (Fallas físicas). El Cuadro 2 muestra cómo se categorizaron, por unidad de producción de cada AF.

En base a los resultados obtenidos, las seis agroempresas presentan alto grado de productividad, la AF "C" representa el **67.09%** de cafetos normales, esto significa que son plantas en etapa productiva, que pueden desarrollar buena producción con los cuidados habituales. Mientras "B" es la más baja en esta categoría representando el **29.65%**. La AF de mayor necesidad a realizar algún tipo de poda es la "F" el **29.28%** de sus plantaciones presentan daños parciales limitando de esta forma el potencial productivo de sus cafetos. Caso contrario a "B", que solo requiere el **2.68%**; Con respecto a la categoría III, "F" representa el **6.96%** de sus plantas en mal estado de la parte aérea (tallos y ramas), por lo tanto, para poder mejorar su producción es importante considerar poda profunda o resepa en sus cafetos y "E" es la AF que **No presentó** datos en

esta clasificación. "E" representa el **21.86%** de las plantaciones en malas condiciones, por lo que requiere la sustitución de plantas. Contrario a la agroempresa "C" que necesita sólo el **1.39%**. "B" con el **34.98%** de plantaciones que fueron renovadas en su cafetal, y "C" sólo el **13.19%**. Las fallas físicas más representativas correspondieron a "B" con **7.22%**, caso contrario a "C" donde **No se identificaron** problemas y representa el **0%**. Por lo tanto las agroempresas familiares "C" y "E", la primera con el **80.28%** y la segunda con **76.67%** fueron las de mayor productividad, con cafetales jóvenes y en etapa de pre-producción. Mientras las más bajas en productividad correspondieron a las AF "A" y "F" representando el **50.85%** y **36.51%**, respectivamente.

De acuerdo a la clasificación de Escamilla y Díaz (2002), el café en México se cultiva en los sistemas de producción rusticano o de montaña, policultivo tradicional, policultivo comercial, especializado y a pleno sol. En los agroecosistemas cafetaleros familiares se identificaron principalmente los sistemas de producción policultivo tradicional (Foto 1) y policultivo comercial, siendo ajenos el sistema rusticano o de montaña, sistema especializado, y a pleno sol. El policultivo tradicional se manifestó en 83% y el sistema policultivo comercial, con asociación de velillo (*Musa acuminata*), Macadamia (*Macadmaia* spp), aguacate (*Persea americana*), Heliconia (*Heliconia* L), entre otras especies representó el 17% (Figura 1). Los entrevistados mencionaron regular la sombra después de la cosecha y antes de la poda de los cafetos. Las AF cultivan en un 90% la especie *Coffea arabica* L., y solo el 10% *Coffea canephora* P., las variedades más importantes utilizadas se mencionan en el (Cuadro 3).

La variedad Bourbon representó el 33% y es considerada por los productores como la más importante en sus parcelas, seguido de la variedad Garnica con 27% y las variedades Typica, Costa Rica y Colombia representan únicamente 20%. Las plagas identificadas en los agroecosistemas de café diferenciado y de especialidad, entre las principales plagas fueron la broca del café (*Hypothenemus hampei*

Cuadro 2. Valores porcentuales de la estructura productiva del cafetal.

| Agroempresa familiar (AF) | I | II | III | IV | V | VI | Total |
|---------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|
| | % | | | | | | |
| "A" | 29.84 | 16.18 | 3.15 | 13.33 | 33.68 | 3.85 | 100 |
| "B" | *29.65 | *2.68 | 3.89 | **21.68 | **34.98 | **7.22 | 100 |
| "C" | **67.09 | 13.14 | 5.23 | *1.39 | *13.19 | *0 | 100 |
| "D" | 52.47 | 21.28 | 1.98 | 8.44 | 14.35 | 1.48 | 100 |
| "E" | 52.50 | 5.83 | *0 | 11.67 | 24.17 | 5.83 | 100 |
| "F" | 30.84 | **29.28 | **6.96 | 10.16 | 18.29 | 4.45 | 100 |

** Porcentaje más alto; *Porcentaje más bajo. Fuente: Elaboración propia obtenida de los resultados del DEP.

Cuadro 3. Variedades de *Coffea* L., presentes en el cafetal.

| Especie | Variedad |
|----------------------------|---|
| <i>Coffea arabica</i> L. | **Typica, Criolla o Nacional; **Bourbon; **Garnica; **Costa Rica; Pluma Hidalgo; **Colombia; San Román; Caturra Rojo; Blue Mountain; Geisha; Oro Azteca |
| <i>Coffea canephora</i> P. | Robusta |

**Variedades con mayor presencia en los cafetales.

Ferr) y el barrenador del tallo del cafeto (*Plagiohamus maculosus* B.). Las enfermedades más frecuentes son: Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br), Ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk. et Curt. Sacc) y Requemo (*Phoma costarricensis* Ech) y la presencia de nematodos (*Meloydogine* spp.) conocida por los productores como nigua (Figura 1). Es importante mencionar que estas enfermedades y plagas no presentan un problema de mermas en producción.

El control fitosanitario realizado es de forma cultural y química, recurriendo a prácticas agrícolas de regulación de sombra, poda de cafetos, control de arvenses, aplicación de fertilizantes químicos, y elaboración de abonos orgánicos y fertilizantes para las AF con certificación orgánica. Para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr) se utiliza el trampeo y cosecha sanitaria. Respecto a nematodos los productores mencionan dos formas: implementación de injertos con patrón de *Coffea canephora* P. Que muestra cierta tolerancia a estos problemas.

Diagnóstico empresarial

Los motivos principales que las llevo a poner en marcha su negocio, se debió a buscar alternativas de producción que contrarrestaran los bajos precios del café. Es importante señalar, que estas AF se integraron por propia iniciativa de los representantes y están conformadas en su totalidad por sus familias. Las características que distinguen a las empresas son confianza en sí mismo, perseverancia, responsabilidad, tolerancia, iniciativa propia, creatividad, constancia entusiasmo, respeto y buscar siempre la superación. La comercialización del café de especialidad se destina principalmente a tres mercados: local, regional y nacional (Figura 2).

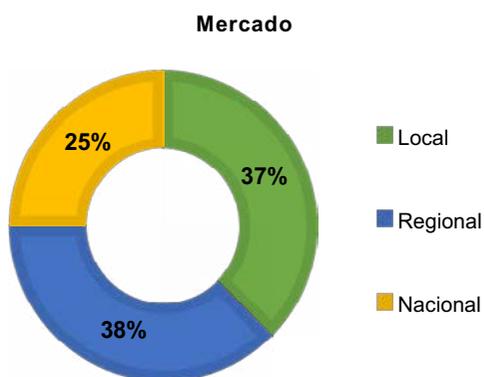


Figura 2. Principales mercados de las AF.

Los entrevistados declararon conocer que sus principales competidores, se encuentran en la misma región y sus principales clientes son consumidores de otros estados de México. Para poder financiar las actividades, las seis empresas coinciden que no alcanzan los recursos propios, para la realización de sus actividades productivas, indicando que han recurrido a diferentes fuentes de financiamiento, principalmente a los préstamos informales locales, seguido de las cajas de ahorro y crédito.

Diagnóstico del perfil del emprendedor

La variable sociodemográficas, determinaron que la población está formada en un 83% de hombres, frente a un 17% de mujeres. Los empresarios entrevistados registraron una edad promedio de 30 años, siendo el más joven de 25 años y

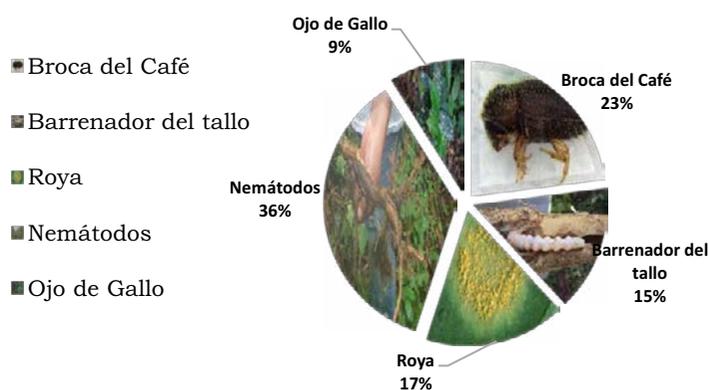


Figura 1. Principales plagas y enfermedades del café (*Coffea* L.).

el de mayor edad de 57 años, (las edades están consideradas, cuando dichos emprendedores iniciaron sus proyectos). Respecto al nivel educativo el 50%, registro niveles de estudios profesionales, el 17% nivel de estudios básico superior y 33% declaro nivel de estudios básicos como primaria y secundaria. De acuerdo a los resultados obtenidos por los emprendedores, la edad, el género y el nivel educativo, no son un factor determinante en el emprendimiento para desarrollar aptitudes y habilidades que les permitan la creación de una empresa (Thurik, 2008; Rodríguez, 2005; Stam, Thurik y Zwan 2008). Los

empresarios, en general, son micro y medianos empresarios con una experiencia profesional mínima de cuatro años y máxima de 38 años en producción, transformación y comercialización de café diferenciado y de especialidad. Estos resultados confirman lo reportado por Lee y Tsang (2001), citado por (Espíritu, 2011), quienes mencionan que la experiencia es uno de los factores que promueve las inversiones y que tiene un mayor efecto sobre el crecimiento de la empresa, con respecto a la variable de antecedentes empresariales, los emprendedores declaran que ningún integrante de su familia cuenta con experiencia empresarial. En cuanto a las variables profesionales o competencias empresariales, los emprendedores expresaron que la producción es el factor en el cual se asumen los mayores riesgos, no así el acceso a maquinaria señalado como de bajo riesgo (Figura 3).

Es importante mencionar que los emprendedores suelen asumir el 30% de riesgo en fuentes de financiamiento y crédito en el periodo de cosecha, para realizar actividades de recolección y transformación del producto. Aunque la forma para acceder a ellos es muy compleja y en ocasiones difícil. Un elemento asociado al perfil del emprendedor es la flexibilidad a los cambios, el 83% reconoce la facilidad con la cuál ellos pueden cambiar de metas y objetivos planteados, y mencionan la flexibilidad a ejecutar cambios en el proceso de beneficiado transformación y marketing. Con respecto a la toma de decisiones, respondieron que antes de poder tomar un juicio de valor, analizan con detalle las ventajas y desventajas que pueden afectar o proporcionar algún beneficio a la agroempresa. Todos declaran a ver realizado alguna innovación en

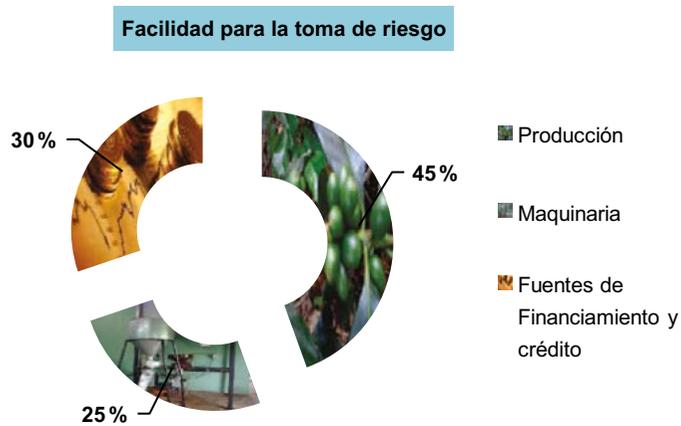


Figura 3. Toma de riesgo.

ocupan los productos derivados de café representado con 12%. Otro elemento importante es la construcción de redes empresariales, observando que únicamente el 33% declaró tener alguna relación con empresas para la transformación y certificación orgánica del café. En relación al 67% que demuestra independencia laboral.

CONCLUSIÓN

Las Agroempresas familiares de café diferenciado y de especialidad surgen ante la necesidad de buscar alternativas a los precios inestables del mercado, buscando avanzar en la cadena productiva, dando un valor agregado y haciendo uso de forma responsable de los recursos existentes dentro del agroecosistema desde el punto de vista agroecológico. Se caracterizan por desarrollar un proceso integral en la cadena productiva desde de la siembra hasta el valor agregado resaltando los atributos organolépticos del fruto, creando e innovando productos derivados de café, que diversifiquen el cultivo y elaboración de artesanías de los recursos presentes dentro

del agroecosistema, generando empleo. La demanda de cafés especiales aumenta en 17% anual, y es por ello que, las agroempresas familiares de café diferenciado y de especialidad son una alternativa viable para los productores de café en México, con pequeños extensiones de cultivo que busquen avanzar en la cadena productiva.



Figura 4. Índice de innovación en las agroempresas.

AGRADECIMIENTOS

A la línea prioritaria 13 Ejidos y Comunidades Agrarias del Campus Veracruz-COLPOS por financiar esta investigación, a las seis agroempresas familiares de café diferenciado y de especialidad por su apoyo y al Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), por las instalaciones prestadas.

LITERATURA CITADA

- Camargo M. 2010. The impact of climatic variability and climate change on arabic Coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 293-247.
- Chavez B.C., Natal A. 2012. Desarrollo regional y acción de base: El caso de una organización indígena de productores de café en Oaxaca. *Economía, Sociedad y Territorio*, 597-618.
- De la Garza-Ramos M.I., Medina-Quintero J.M., Díaz-Figuero J.G. 2010. Empresas Familiares: sus fortalezas y debilidades. Estudio de multicaso. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Comercio y Administración de Tampico, 21.
- Erdener C. 2009. Family business 6 industrial groups in México. *Journal of International Business and Economics*, 44-54.
- Escamilla-Prado E. 2007. Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México. Tepetates Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México: COLPOS.
- Escamilla-Prado E., Díaz-Cardenas S. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Huatusco, Ver., México.: Universidad Autónoma Chapingo. CRUO. CENIDERCAFE.
- Hoshino T. 2004. Family business in México: responses to human resource, limitations and management succession. Chiba: Institute of Developing Economies.
- Jeffrey P. 2003. Depressed coffee prices yield suffering in poor countries. *National Catholic Reporter*.
- Lopez M.R. 2008. Producción de café bajo sistemas agroforestales (SAF- café): resultados experimentales. Veracruz, México: INIFAP.
- López M.R. 2009. Manejo de café bajo sistemas agroforestales tradicionales: la comunidad como estudio de caso. memorias del séptimo congreso de la asociación mexicana de estudios rurales. san cristobal de las casas, Chi., México.
- Macias T. N. 2001. Principales enfermedades del cultivo del café. En J. Arnold, *Manual de la cafecultura*, 3ra.ed. (págs. 176-191). Tegucigalpa, Honduras:
- Moguel P. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology*, 11-21.
- Moreno G. 2004. Obtención de variedades de café con resistencia durable a enfermedades, usando la diversidad genética como estrategia de mejoramiento. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, 187-200.
- Navarro L., Condór, F. 1993. Análisis y difusión de las tecnologías empleadas en los de las industrias agroalimentarias de Aragón y determinación de la estrategia regional.
- OIC. 2014. Comercio mundial del café (1963-2013): Reseña de los mercados, retos y oportunidades que se enfrentan en el sector. ICC, 3-7.
- OIC. 2006. Total production of exporting countries. OIC. Obtenido de Total production of exporting countries.
- Osorio N. 2003. medidas para resolver la crisis del café. Organización Internacional del Café.
- Pohlan-Jürgen H.A., Soto-Pinto L., Barrera-Francisco J. 2006. El cafetal del futuro: realidades y visiones. Alemania: ECOSUR, Shaker Verlag, Aachen.
- Pohlan J.H. 2006. La flor escosistema café. Pohlan-Jürgen J.H., Barrera J., Soto-Pinto L. El cafetal del futuro (págs. 8-9). Alemania: Shaker Verlag Aachen.
- Ramirez A.M. 2007. Campaña nacional contra la broca del café en México: operación y perspectivas. Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Reis P.R. 1986. Pragas do cafeeiro. En E. M. Rena A.B., *Cultura do cafeeiro: factores que afetam a produtividade* (págs. 323-378). Brasil: Piracicaba.
- Renald M.C. 2004. Calidad y certificación: significados e implicaciones. I Congreso Internacional sobre Desarrollo de Zonas cafetaleras, (págs. 6-8). Tapachula, Chiapas, México.
- Lopez-Morgado R., Diaz-Padilla G., Zamarripa-Comenero A. 2013. "El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción". En G. D. Rosalio Lopez Morgado, "El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción" (pág. 45). México, DF.: SAGARPA, INIFAP.
- Torres L.P.J. 2011. Vulnerabilidad agroambiental frente el cambio climático. *Política y Cultura*, 205-232.
- Villers L.N. 2009. Impactos del cambio climaticos en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 322-329.
- Waridel L. 2000. Un café por un causa, hacia un comercio justo. *Acción Cultural Madre Tierra*, 95.



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA ELABORACIÓN DE GALLETAS A PARTIR DE *Manihot esculenta* Crantz EN ESCÁRCEGA, CAMPECHE, MÉXICO

STUDY OF FEASIBILITY FOR THE ELABORATION OF COOKIES FROM *Manihot esculenta* Crantz IN ESCÁRCEGA, CAMPECHE, MEXICO

Arteaga-Castillo, J.E.¹; Morales-Cruz, P.P.¹; Díaz-Pérez, E.¹; Vanoye-Eligio, M.¹; Estrada-Ramírez, L.J.¹; Xool-Alfaro, J.I.^{1*}

Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n, Unidad Esfuerzo y Trabajo # 1, C.P. 24350. Escárcega, Campeche.

*Autor responsable: proyectopeten@hotmail.com

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una especie del trópico, y es un tubérculo importante a nivel mundial. Esta especie ha sido aprovechada principalmente de forma fresca, sin embargo, el valor agregado actual es muy poco. Se realizó un estudio de la factibilidad para elaborar galletas a partir de yuca en Escárcega, Campeche, México. Se determinó que la cantidad de la población económicamente activa en la ciudad de Escárcega es de 14,385, y se calculó una n=300 encuestas, validadas de acuerdo Alfa de Crombach cuyo valor calculado fue de 0.679, que indica que este instrumento tuvo un grado aceptable de confiabilidad, validando su uso para la recolección de datos. Los resultados mostraron una aceptación de las galletas a base de yuca y sus generalidades, de 83 %, atribuido al consumo original del tubérculo, argumentando que es saludable, nutritivo y agradable.

Palabras clave: Yuca, agregación de valor, tubérculo, alternativa industrial.

ABSTRACT

Yucca (*Manihot esculenta* Crantz) is a tropical species, and it is an important tuber at the global level. This species has been exploited primarily in fresh form; however, the current added value is very low. A feasibility study was carried out to elaborate cookies from yucca in Escárcega, Campeche, México. It was determined that the number of the economically active population in the city of Escárcega is 14,385, and n=300 of surveys was calculated, validated according to Crombach's Alfa whose calculated value was 0.679, indicating that this instrument had an acceptable degree of reliability and validating its use for data collection. The results showed an acceptance of the cookies based on yucca and their generalities, of 83 %, attributed to the original consumption of the tuber, arguing that it is healthy, nutritious and pleasant.

Keywords: Yucca, value adding, tuber, industrial alternative.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp. 140-145.

Recibido: enero, 2016. **Aceptado:** septiembre, 2017.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pertenece a la familia Euphorbiaceae. El género *Manihot* contiene 98 especies, de las cuales sólo la yuca tiene relevancia económica y es cultivada (Olsen y Schaal, 2001). La yuca se distribuye en todo el planeta, con una producción anual aproximadamente de 170 millones, siendo África el continente con mayor producción (FAO, 2005). En América latina se producen 34 millones de toneladas (Martínez, 2003). El principal uso de la yuca es el consumo de la raíz, como insumo en la industria alimenticia, como producto intermedio en la industria no alimenticia y como materia prima en la industria productora de alimentos balanceados para animales. Esta raíz es una fuente disponible de carbohidratos y energía en las regiones tropicales, en las cuales se presenta como un cultivo de vital importancia ya sea por su cantidad de materia prima producida por unidad de superficie, o por sus múltiples aplicaciones en la alimentación humana, animal o en la industria (Nestel y Cock, 1976). En general, se emplea este producto en forma de harinas, fécula o sus derivados, y su exportación es motivo, para que tanto investigadores, productores e industriales se interesen por encontrar métodos más técnicos para el mejor aprovechamiento y conservación, garantizando una excelente calidad de producto procesado (Julio, 1977). Una forma en darle el valor agregado a esta raíz es mediante la elaboración de harina, la cual puede aplicarse para el desarrollo de productos alimenticios. Hoy en día, la producción de harinas se realiza de varios cultivos que se obtienen en diferentes partes del mundo, ya que se tiene la idea de enriquecer las características organolépticas de los productos alimenticios, Maldonado y Pacheco (2000) propusieron el uso de harina de plátano verde (*Musa* sp.) con la finalidad de diversificar el uso de esta harina y evaluaron la funcionalidad de una galleta de chocolate sustituyendo la harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) con 7% de harina de plátano verde con el fin de obtener un producto con propiedades físicas y organolépticas agradables, además de mejorar la calidad nutricional, en cuanto a fibra dietética y almidones resistentes, además, debido al interés nutricional que se le pone atención hoy en día a los productos procesados también se proponen otros productos, tales como el cotiledón de algarrobo (*Ceratonia siliqua*) utilizado en la elaboración de dulces, galletas y hojuelas fritas. Otras especies se han utilizado para la elaboración de galletas, con harinas extraídas de cinco especies de la biodiversidad vegetal amazónica (*Dioscorea decorticans*, *Dioscorea trifida*, *Colocasia*

esculenta L., Schott, *Bactris gasipaes* HBK y *Artocarpus comunis* F.). Así como las especies mencionadas anteriormente, existen otras a las cuales se les ha dado un uso similar, ya que la elaboración de galletas constituye un sector sustancial de la industria alimentaria, siendo uno de sus principales atractivos su variedad. Todas las galletas tradicionales se fabrican generalmente con harina de trigo, sin gran cantidad de salvado y pueden tener añadidas pequeñas cantidades de otras harinas o almidones, para conseguir sabores o propiedades estructurales especiales. Sin embargo, como la confección de galletas se ha extendido a países donde la harina de trigo no es muy abundante, o constituye una materia prima de importación, es deseable considerar otros materiales feculentos que se pueden utilizar en la confección de galletas o productos análogos. Es por ello, que el objetivo de esta investigación fue determinar la factibilidad de elaborar galletas a partir de la yuca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de factibilidad como una herramienta económico-administrativa en los escenarios futuros con el fin de facilitar el análisis integral al asegurar que un proyecto tenga sentido operativo y financiero antes de su puesta en marcha; en este estudio de investigación de mercados se hizo un manejo del proceso de análisis de confiabilidad y aceptación del proyecto. Las herramientas que se usaron fueron: La segmentación de mercado, mediante criterios de segmentación, tales como el geográfico y demográfico.

Tamaño de mercado: la ciudad de Escárcega tiene un total de 29477 habitantes; entonces el 48.8% de la población económicamente activa son 14385 personas que cuentan con un empleo remunerado, convirtiéndose a su vez en el **Segmento de mercado**, mientras que el **Mercado Potencial**, lo conformaron las familias de una clase social media que radican en la ciudad de Escárcega con posibilidad de comprar una galleta de yuca. El **Mercado Meta**, fueron hombres y mujeres con edades de entre 5 a 60 años con un nivel socioeconómico medio. Tomando en cuenta que de los 14385 el 75% lo cubre la competencia y 25% no tienen preferencia el mercado meta se formó por 3596 personas.

Consumo aparente: Número de clientes potenciales= 14385 (población actualmente activa). Consumo aparente por cliente: $4.495 \approx 5$ galletas diarias aproximadamente (3596 25% de la población activa/800 consumo diario en toda la población). 25% que actualmente está

incluida=14385×25%=3596, da un consumo mensual aparente: (800×30)=2400.

Demanda potencial de corto plazo

$Q=npq$

Q=demanda potencial.

P=precio promedio del producto en el mercado.

Q=cantidad promedio de consumo per cápita en el mercado

N=14385 activa

$Q=(14385 \times 25\%) / 100 = 3596$

P=\$4

Q=800 galletas (diarias)

$Q=3596 \times 4 \times 800 = 11,507,200$ corto plazo.

Demanda potencial de mediano plazo

N=14385 activa

$Q=(14385 \times 40\%) / 100 = 5754$

P=\$4

Q=800 galletas (diarias)

$Q=5754 \times 4 \times 800 = 18,412,800$ mediano plazo.

Demanda potencial de largo plazo

N=14385 activa

$Q=(14385 \times 55\%) / 100 = 7,911$

P=\$4

Q=800 galletas (diarias)

$Q=7911 \times 4 \times 800 = 25,315,200$ largo plazo.

Grado de participación en el mercado (Cuadro 1)

Determinación del tamaño de muestra

Conforme a la información proporcionada por el instituto nacional de estadística y geografía (INEGI) se determinó la cantidad de personas económicamente activas de la ciudad de Escárcega es de 14385 (Figura 1).

Elaboración del diseño y aplicación del cuestionario y prueba piloto

Se aplicaron 300 encuestas en las diferentes colonias del municipio de Escárcega, Campeche para saber el grado de aceptación de una galleta de yuca. Las encuestas se aplicaron en horario de 07:00 a 09:00 y de 15:00 a 17:00, ya que en estos horarios se encuentran en sus viviendas. La aplicación de las encuestas en promedio 15 minutos. Para la validación de la encuesta diseñada se aplicó el Alfa de Crombach (Cuadro 2): K: El número de ítems; S_i^2 : Sumatoria de Varianzas de los Ítems; S_T^2 : Varianza de la suma de los Ítems; α : Coeficiente de Alfa de Crombach.

| Cuadro 2. Valores coeficiente de Alfa de Crombach. | |
|--|--|
| Suma de ítems | $\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$ <p>$\sum S_i^2 = 300$ K: El número de ítems=7 S_i^2: Sumatoria de Varianzas de los Ítems=8.89 S_T^2: Varianza de la suma de los Ítems=16.979 α: Coeficiente de Alfa de Crombach. α: Coeficiente de Alfa de Crombach=0,679</p> |
| 53 | |
| 59 | |
| 60 | |
| 61 | |
| $S_T^2 = 16.979$ | $\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right] = \frac{7}{7-1} \left[1 - \frac{8.89}{16.95} \right] = 0.679$ |

| Cuadro 1. Participación de la competencia en el mercado. | | | | | | |
|--|--|---|----------------|--|---|----------------------------|
| Nombre del competidor | Ubicación | Productos | Precios (\$) | Principal ventaja | Desventajas | Acciones para posicionarse |
| Bimbo | Flores Magón calle 34/56 | Galleta Barritas Pan | 10 en adelante | Están posicionadas en el mercado. Buena publicidad. | Ofrecen productos no muy nutritivos para la salud y tienen muchos conservadores | Estrategia de marketing |
| Marinela | Tiendas de esquina supermercado | Galleta Barritas Pan Polvorones Canelitas | 10 en adelante | Están posicionadas en el mercado Buena publicidad | Ofrecen productos no muy nutritivos para la salud y tienen muchos conservadores | Estrategia de marketing |
| Gamesa | Tiendas de la esquina supermercado | Galleta Barritas | 10 en adelante | Están posicionadas en el mercado Buena publicidad | Ofrecen productos no muy nutritivos para la salud y tienen muchos conservadores | Estrategia de marketing |
| Tía Rosa | Tiendas de la esquina supermercado | Polvorones, Pan | 2 en adelante | Están posicionadas en el mercado Buena publicidad | Ofrecen productos no muy nutritivos para la salud y tienen muchos conservadores | Estrategia de marketing |
| Sabrita | Calle: 34/26 y 28 colonia Jesús García | Papas Sabritas | 10 en adelante | Están posicionadas en el mercado Buena publicidad | Ofrecen productos no muy nutritivos para la salud y tienen muchos conservadores | Estrategia de marketing |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación a la validación que se aplicó a la encuesta diseñada, se obtuvo el valor 0.679, lo que indicó que este instrumento tiene un grado aceptable de confiabilidad, validando su uso para la recolección de datos.

En relación a la aceptación de las galletas elaboradas a base de yuca y sus generalidades, el 83% equivalente a 249 personas del tamaño de muestra, argumentaron que si les gusta consumir la yuca como verdura, ya que es saludable, nutritiva y rica. El 17% (51 personas) contestaron que no la consumen. Los datos confirman que la yuca si es consumido regularmente por los pobladores (Figura 1), y el 14% (42 personas) contestaron que no consume la verdura yuca porque no les gusta (Figura 2). La Figura 3 muestra que 40% prefiere la verdura yuca en comida, y sorprendentemente únicamente 33% prefiere la yuca en dulce, y 15% la come asada. La Figura 4 reflejó que 36% considera una vez por semana consumir yuca por un antojo o por un gusto. El 31% la consume diario y el 27% la consume cada mes.

En relación al consumo de galletas por parte de la población, el 96% de las personas les gusta comer las galletas por lo que representan sus características organolépticas, mientras que el 4% no les gusta comer de ningún tipo de galletas. La población de la región de estudio está acostumbrada a consumir galletas por muchas causas diferentes en comparación a los que no les gusta consumirlo, estos datos comparativos dan confianza que el producto será consumido (Figura 5). En relación al consumo de galletas el 38% de los encuestados prefieren consumir galletas una vez por semana, mientras que el 33% prefiere consumir más de una vez a la semana una galleta, además se observó que 21% come casi todos los días de la semana una galleta (Figura 6). Los encuestados más allá que les gusta consumir galletas, los datos dicen que no diario lo consumen sino la gran mayoría lo consume una vez por semana. El gráfico 7 refleja que el 96% de los encuestados les gustaría consumir una galleta de yuca porque les parece sabroso, mientras que el 4% no la quieren probar, argumentado que no conocen la raíz de yuca. Porque

se asume que son personas principalmente del norte del país, en donde el consumo de la yuca es bajo. En el gráfico 8 la pregunta se refleja que existen dos factores que sobresalieron como los más importantes para los encuestados, el primero con el 47% que equivalen

a 141 del total de personas encuestadas de las personas encuestadas que comprarían una vez por semana una galleta de yuca. En segundo lugar, con un 21% consumirían tres veces por semana la galleta de yuca con todos sus ingredientes nutritivos. El gráfico

9 resalta tres factores importantes, primero, el 77% se pronunciaron por el sabor de una galleta de yuca, enseguida el diseño donde la ciudadanía se interesó por el empaque de la galleta, y en tercero el segmento que exige (7%) el tamaño de la galleta y otro 7% lo prefiere en forma de corazón, animalitos, cuadrada y circular, entre otras; y 9% en forma del diseño. Por otro lado, el 46% les gustaría comprar la galleta de yuca en cajas y sucesivamente, con un 35% adquirir la galleta en forma individual. Un 18% en la forma de charola, y 1% otros (Figura 10). Finalmente, en cuando o donde le gustaría encontrar la galleta de yuca, se registró que 47% de los encuestados les gustaría encontrarlo en las tiendas de la esquinas de esta ciudad, mientras que 23% en tiendas de abarrotes de la comunidad. Un 17% en cafeterías, 13% en tiendas de abarrotes.

CONCLUSIONES

Existen ciertos factores que tiene mucha relación entre si dentro de esta encuesta, por ejemplo, una de las principales razones por las cuales la gente va consumir galleta de yuca es por el sabor, textura, el aroma, un antojo y gusto en comerla. Además, la población encuestada comentó que si comprarían, ya que satisface un gusto y lo comprarían una vez por semana en tiendas de la esquina es donde le gustaría adquirir la galleta. Su presentación para comercializarlas sería en cajas según las encuestas aplicadas, así podemos decir que el producto es rentable en la ciudad de Escárcega. En base a todo lo anterior se logró el objetivo de determinar la aceptación del consumidor de las galletas elaboradas a partir de la yuca de una manera totalmente favorable

Cuadro 3 Estadísticas de la fiabilidad.

| ÍTEMS (Pregunta) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|--------------|------|
| 1 | 8 | 9 | 5 | 8 | 5 | 9 | 8 |
| 2 | 10 | 7 | 9 | 6 | 9 | 9 | 9 |
| 3 | 9 | 10 | 8 | 5 | 9 | 10 | 9 |
| 4 | 9 | 6 | 9 | 10 | 8 | 8 | 7 |
| VAR.P | 1.73 | 1.19 | 1.32 | 1.59 | 1.49 | 0.89 | 0.68 |
| Varianza de la población | | | | | | $\sum S_i^2$ | 8.89 |



Figura 1-10. Gráficos de preferencias respecto a variables relacionadas con la galleta de yuca.

LITERATURA CITADA

- Estévez A.M. 2001. Situación actual y perspectivas de los alimentos "snacks". En: Hurtado ML, editor. Presente y Perspectivas de la industria de "snack en Chile" Publicaciones Misceláneas Agrícolas 50: 1-4.
- FAO/FAOSTAT Agricultura. 2005. Superficie, Producción y Rendimiento de yuca en Venezuela. <http://www.fao.org>
- Julio E.O.M. 1977. Modelo Matemático para Cuantificar la Deterioración de la Yuca Durante el Proceso de Secado.
- Maldonado R., Pacheco D.E. 2000. Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y de plátano verde. Arch. Latinoam. Nutr, 50(4), 387-393.
- Martínez A. 2003. Seminario la yuca como componente de la cadena avícola.
- Nestel B., Cock J. 1976. Cassava the development of an International Research Network. Ottawa. Canada.
- Sloan E. 2006. Top 10 Functional Food Trends. 2006. Food Technology 60(4): 22-40.

