



Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 3 Núm. 2 Julio-Diciembre, 2016

ISSN: 2007-9559

Revista Mexicana de Agroecosistemas



Oaxaca, Volumen III, Número 2, 2016

Foto: *Pastizal*



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca



Revista Mexicana de Agroecosistemas

REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol. 3, Núm. 2 julio-diciembre 2016, es una publicación de la Secretaría de Educación Pública-Tecnológico Nacional de México, editada a través del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por la División de Estudios de Posgrado e Investigación. Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 56230, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-060211581800-203 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsables de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez y Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 56230, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, www.itvalleoaxaca.edu.mx, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 20 de diciembre de 2016.

Su objetivo principal es difundir los resultados de investigación científica de las áreas agropecuaria, forestal, recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas, ambientales y socioeconómicas.

Para su publicación, los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución; las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.



Comité Editorial (DEPI-ITVO)

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle
Dr. Salvador Lozano Trejo
Dr. Vicente A. Velasco Velasco
Dr. Yuri Villegas Aparicio
Dra. Gisela M. Santiago Martínez
Dra. Gisela V. Campos Ángeles
Dra. Martha P. Jerez Salas
M.C. Gustavo O. Díaz Zorrilla
M.C. Judith Ruíz Luna
M.C. María Isabel Pérez León

Coordinación editorial

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez

Diseño de portada

Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz



Comité de arbitraje en este número

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo (DEPI-ITVO)
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz (DEPI-ITVO)
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez (DEPI-ITVO)
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle (DEPI-ITVO)
Dr. Rodolfo de los Santos Romero (ITVO)
Dr. Salvador Lozano Trejo (DEPI-ITVO)
Dr. Stefan Marian Waliszewski Kubiak (Universidad Veracruzana)
Dr. Vicente A. Velasco Velasco (DEPI-ITVO)
Dr. Yuri Villegas Aparicio (DEPI-ITVO)
Dra. Columba Citlalli Barrera Mendoza (ITVO)
Dra. Gisela M. Santiago Martínez (DEPI-ITVO)
Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles (DEPI-ITVO)
Dra. Martha P. Jerez Salas (DEPI-ITVO)
Dra. Nancy G. Molina Luna (ITVO)
M. C. Mario Jiménez Ruíz (Universidad de la Sierra Juárez)
M.C. Gustavo O. Díaz Zorrilla (DEPI-ITVO)
M.C. Judith Ruíz Luna (DEPI-ITVO)
M.C. Karen del Carmen Guzmán Sebastián (ITVO)
M.C. María Isabel Pérez León (DEPI-ITVO)
M.C. Óscar López Astilleros (ITVO)



Prólogo

La “Revista Mexicana de Agroecosistemas” (RMAE) surgió de una propuesta del Consejo del Posgrado del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Su objetivo es difundir los resultados generados del esfuerzo de alumnos e investigadores del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas que se imparte en este Instituto, y de las Licenciaturas en Biología e ingeniería en Agronomía y Forestal. Esta revista científica (RMAE) contempla las áreas agrícola, pecuaria, forestal y recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas ambientales y socioeconómicas.

Por ello, se hace la invitación a alumnos, académicos e investigadores para que utilicen este espacio para publicar sus resultados de investigación relacionados con estas áreas. Los manuscritos se pueden enviar de acuerdo con las normas publicadas en el Vol. 1, Núm. 1 (2014) y pueden ser de tres tipos: artículo científico, ensayo libre (artículos de revisión, notas técnicas, nuevas variedades, especies, etc.) y nota informativa. Todos los manuscritos se someterán a arbitraje y a edición. Deberán ser originales e inéditos, de alta calidad, acordes con las normas indicadas en este volumen y que no se hayan publicado o se vayan a publicar en otra revista.

En este número presentamos editados como artículos de investigación, estudios sobre modelos alométricos de volumen arbóreo, sistemas de producción de gallinas y un artículo de revisión sobre la situación de mercados locales de Oaxaca; estos son complementados con artículos científicos y notas técnicas derivadas del XV Congreso Internacional y XXI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales-2016, desarrollado en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

ATENTAMENTE

Comité editorial



Núm.	Contenido	Pág.
	Artículos científicos	
1	MODELOS DE VOLUMEN FUSTAL PARA <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren / STEM VOLUME MODELS FOR <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren Agustín Ramírez-Martínez ¹ , Wenceslao Santiago-García ^{1,2§} , Gerónimo Quiñonez-Barraza ³ , Faustino Ruiz-Aquino ^{1,2} , Pablo Martínez-Antúnez ^{1,2}	61-74
2	MANEJO DE GALLINAS DE TRASPATIO EN SEIS COMUNIDADES DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA / BACKYARD CHICKENS MANAGING IN SIX COMMUNITIES FROM THE VALLES CENTRALES OF OAXACA Joaquín H. Viveros-Hernández ¹ , José L. Chávez-Servia ^{1§} , Martha P. Jerez-Salas ² , Yuri Villegas-Aparicio	75-86
3	CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LAS GALLINAS CRIOLLAS EN COMUNIDADES DE OAXACA / PHENOTYPIC AND PRODUCTION SYSTEM CHARACTERIZATION OF CREOLE HENS IN COMMUNITIES OF OAXACA Héctor Luis-Chincoya ^{1§} , Martha Patricia Jerez-Salas ² , José Guadalupe Herrera-Haro ³ , Paula Mendoza-Nazar ⁴	87-98
4	ACEITES ESENCIALES PARA CONTROLAR <i>Acanthoscelides obtectus</i> (SAY) Y <i>Sitophilus zeamais</i> (MOTSCHULSKY) PLAGAS DE GRANOS ALMACENADOS / ESSENTIAL OILS FOR CONTROL OF <i>Acanthoscelides obtectus</i> (SAY) AND <i>Sitophilus zeamais</i> (MOTSCHULSKY) PEST OF STORED GRAINS Germán Chávez-Díaz ¹ , Ma. Elena Valdés-Estrada ² , María Candelaria Hernández-Reyes ² , Mirna Gutiérrez-Ochoa ² , María Guadalupe Valladares-Cisneros ^{3§}	99-107
5	EXPOSICIÓN A MATERIA PARTICULADA Y DIÓXIDO DE CARBONO EN UN AMBIENTE UNIVERSITARIO EN VILLAHERMOSA, TABASCO / EXPOSURE TO PARTICULATE MATTER AND CARBON DIOXIDE IN A UNIVERSITY CAMPUS IN VILLAHERMOSA, TABASCO Aurora Azharel Matías Velázquez ¹ , Paola De Jesús Torrez Cortés ¹ , Elizabeth Magaña Villegas ^{2§} , Sergio Ramos Herrera ² , Jesús Manuel Carrera Velueta ²	108-121
6	EFFECTO DE NANOPARTÍCULAS SOBRE LA SIMBIOSIS RHIZOBIA-LEGUMINOSA Y MORFOLOGÍA DE <i>Phaseolus vulgaris</i>	



L. / EFFECT OF NANOPARTICLES ON RHIZOBIA-LEGUME SYMBIOSIS AND MORPHOLOGY OF *Phaseolus vulgaris* L.

César Roberto Sarabia-Castillo^{1,8}, Fabián Fernández-Luqueño² 122-132

7

EFFECTO DE LOS IONES Na⁺ SOBRE LA BIOMASA MICROBIANA EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL BAJIO / EFFECT OF Na⁺ ON MICROBIAL BIOMASS IN AGRICULTURAL SOILS OF BAJIO

Miriam del Rocío Medina Herrera¹, María de la Luz Xochilt Negrete Rodríguez³, Jesús Becerra Cervera², Francisco Paúl Gámez Vázquez⁴, Nadia Renata Osornio Rubio³, Eloy Conde Barajas³⁸ 133-148

8

APROVECHAMIENTO DE HUERTOS FAMILIARES EN EL ALTIPLANO CENTRAL MEXICANO / USE OF FAMILY ORCHARDS IN MEXICAN CENTRAL HIGHLANDS

José Carmen García Flores¹⁸, Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo², Miguel Ángel Balderas Plata², Maria Raimunda Araújo Santana³ 149-162

Notas Técnicas

9

AFECTACIÓN DEL MANGLAR POR ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS EN LA SUBCUENCA DE NUXCO, GUERRERO, MÉXICO / AFFECTATION OF MANGROVE BY ANTHROPOGENIC ACTIVITIES AT SUB-BASIN NUXCO, GUERRERO, MÉXICO

José Ángel Vences Martínez⁸¹, María Laura Sampedro Rosas², Benjamín Castillo Elías³, Elizabeth Olmos Martínez⁴, Ana Laura Juárez López², Maximino Reyes Umaña², Itzel Amaya Gama⁵, José Domingo Cipriano Espino¹ 163-174

10

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS Y EVALUACIÓN DE SU PELIGROSIDAD / PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF MINING WASTE AND EVALUATION OF DANGER

Berenice Noriega Luna¹⁸, Eduardo Lara Yepez², Alma Hortensia Serafín Muñoz², Norma Leticia Gutiérrez Ortega², Mario Ávila Rodríguez² 175-183

11

DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES NODRIZA DE *Ferocactus pilosus* (GALEOTTI) WERDERM. (Cactaceae) EN MIQUIHUANA, TAMAULIPAS, MÉXICO / DETERMINATION OF NURSE SPECIES OF *Ferocactus pilosus* (GALEOTTI) WERDERM.



(Cactaceae) IN MIQUIHUANA, TAMAULIPAS, MEXICO

Edna Ivonne Lara Juárez¹, Jacinto Treviño-Carreón^{2§}, Benigno Estrada Drouaillet²,
Wilberth Alfredo Poot Poot², Virginia Vargas-Tristán², Claudia Ballesteros-Barrera³

184-194

12

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PROPAGACIÓN DE CONIDIOS ENCAPSULADOS DE *Trichoderma harzianum* EN REACTOR AIRLIFT / EVALUATION OF THE CAPACITY OF ENCAPSULATED *Trichoderma harzianum* CONIDIA FOR ITS PROPAGATION IN AN AIRLIFT REACTOR

María E. Mancera-López, Wendy F. Izquierdo-Estévez, Elvira Ríos-Leal, Josefina Barrera-Cortés[§]

195-202

13

DETERMINACIÓN DE LA PERMANENCIA DE CEPAS INOCULADAS EN UN SUELO PARA SU BIORREMEDIACIÓN POR BIOAUMENTACIÓN. ANÁLISIS POR DGGE / PERMANENCE DETERMINATION OF STRAINS INOCULATED IN A SOIL FOR ITS BIOREMEDIATION BY BIOAUGMENTATION. DGGE ANALYSIS

Verónica E. Gallegos Hernández¹, Edgar Navarro Estrada¹, Eduardo D. Morales Becerra¹, Paola B. Zárate Segura^{1,2}, Josefina Barrera-Cortés^{3§}

203-210

14

EVALUACION DE DOS SURFACTANTES PRODUCIDOS POR LEVADURAS PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE MICROEMULSIONES / EVALUATION OF TWO YEAST SURFACTANTS FOR ITS APPLICATION IN MICRO-EMULSION FORMULATION

Elena Alcántara-Martínez¹, Elvira Ríos-Leal¹, Carlos M. Cerda García-Rojas², Josefina Barrera-Cortés^{1§}

211-219

15

PROCESOS BIOGEOGRÁFICOS ENFOCADOS A VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA DE MOSQUITOS DEL GÉNERO *Culex* spp. EN MÉXICO / BIOGEOGRAPHICAL PROCESS FOCUSED ON EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF MOSQUITOES *Culex* spp. IN MÉXICO

María Elena Torres Olave^{1§}, Gina Isabel Zesati Pereyra², Luis Carlos Alatorre Cejudo¹, Lara Cecilia Wiebe Quintana¹, Luis Carlos Bravo Peña¹, Mario Iván Uc Campos¹, Manuel Octavio González León¹

220-231

16

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE DESECHOS INDUSTRIALES EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE



LADRILLOS ROJOS COCIDOS / EFFECT OF ADDITION OF INDUSTRIAL WASTES ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF FIRED CLAY BRICKS

Víctor Jiménez-Quero^{1§}, Olivia Teresa Maza-Ignacio², Margarito Ortiz-Guzmán¹ ... 232-238

17

VISIÓN CAMPESINA DEL USO TRADICIONAL DE PLANTAS MEDICINALES EN HUERTOS DE TRASPATIO / RURAL VISION OF TRADITIONAL MEDICAL USE OF PLANTS IN BACKYARD GARDENS

Wel Olvein Cruz Macías¹, Rady Alejandra Campos Saldaña¹, Ruth López Aguilar² .. 239-249

18

METODOLOGÍA PARA TRANSVERSALIZAR EL EJE MEDIO AMBIENTE: UN ENFOQUE ESTADÍSTICO / METHODOLOGY TO MAINSTREAM ENVIRONMENTAL AXIS: A STATISTICAL APPROACH

Mirna Castro Bello^{1§}, Columba Rodríguez Alviso², Ma. Laura Sampedro Rosas², José Luis Aparicio López² 250-262

19

METALES PESADOS (Cd, Cr, Pb, Hg) EN *Rhizophora mangle* EN RÍO Y BAHÍA DE CHETUMAL / HEAVY METALS (Cd, Cr, Pb, Hg) IN *Rhizophora mangle* IN CHETUMAL BAY AND RIVER

Carlos Francisco Ochoa Jiménez[§], José Luis González Bucio², José Manuel Carrión Jimenez² 263-271

Artículo de revisión

20

HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MERCADOS SEMANALES EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA / HISTORY AND CURRENT SITUATION OF WEEKLY MARKETS OF OAXACA'S CENTRAL VALLEYS

Nancy Gabriela Molina Luna^{1§}, Gisela Virginia Campos Ángeles² 272-290



DIRECTORIO

Mtro. Manuel Quintero Quintero- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Salvador González Vázquez- Director de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

M. C. Oscar A. Silva Sánchez- Director (ITVO)

Ing. Vicente Castillo Benítez- Subdirección Académica (ITVO)

Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles- Encargada (DEPI-ITVO)

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71230

Tel. y Fax: 01(951) 5170444, 5170788

Correo: rmae.itvo@gmail.com

<http://www.itvalleoaxaca.edu.mx/posgradoitvo/RevistaPosgrado/>



MODELOS DE VOLUMEN FUSTAL PARA *Pinus ayacahuite* Ehren¹

[STEM VOLUME MODELS FOR *Pinus ayacahuite* Ehren]

Agustín Ramírez-Martínez¹, Wenceslao Santiago-García^{1,2§}, Gerónimo Quiñonez-Barraza³, Faustino Ruiz-Aquino^{1,2}, Pablo Martínez-Antúnez^{1,2}

¹Ingeniería Forestal, Universidad de la Sierra Juárez. Avenida Universidad s/n, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, 68725. ²Instituto de Estudios Ambientales-División de Estudios de Postgrado, Universidad de la Sierra Juárez. Avenida Universidad s/n, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, 68725. ³Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Durango- Mezquital Km 4.5, Durango, Durango, México, 34170. [§]Autor para correspondencia: (wsantiago@unsij.edu.mx).

RESUMEN

Los modelos de volumen de fuste total son una herramienta eficiente en la estimación del volumen de árboles individuales y a nivel rodal, información esencial para la realización del manejo forestal sustentable. En el presente trabajo se ajustaron a datos de 55 árboles de *Pinus ayacahuite* Ehren, 12 modelos de volumen total de una y dos entradas por mínimos cuadrados lineales y no lineales. La evaluación y selección del modelo más eficaz se realizó con base en indicadores estadísticos de bondad de ajuste. Los modelos de Berkhout (de una entrada) y de Schumacher-Hall (de doble entrada), mostraron los mejores indicadores de ajuste con valores altos en el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) (> 97%); valores bajos del cuadrado medio del error (CME) (<0.43), de la raíz cuadrada del cuadrado medio (REMC) (<0.16) y del sesgo en la predicción ($\bar{E}$) (<0.014 m³). Estos modelos fueron empleados en la construcción de tablas de volumen de una y dos entradas cuyo uso permite estimar el volumen fustal, mismo que contribuirá en la valoración adecuada del recurso estudiado.

Palabras clave: Bondad de ajuste, existencias maderables, manejo forestal, tabla de volumen.

ABSTRACT

A bole total volume model and their tabulated expression are effective tools to estimate the volume of individual trees and forest stands. This information is essential for the sustainable forest management. In this context, 12 volume models (of one-input and two-inputs) were fitted using linear and non-linear least squares methods to data from 55 *Pinus ayacahuite* Ehren trees. To the evaluation and selection of the best model, statistical indicators were used. All models showed a good fit, but the Berkhout (one-input) and Schumacher-Hall (two-input) models, were selected to estimate the bole total volume over and under bark. This models showed the highest

¹ Recibido: 21 de septiembre de 2016.
Aceptado: 20 de octubre de 2016.

values in R^2_{adj} ($> 97\%$); the lowest values for MSE and $RMSE$ (<0.43 and $<0.16\text{ m}^3$ respectively), also $\bar{E}$ ($<0.014\text{ m}^3$). The models generated, were used to build volume tables, with the objective of making accurate stock estimates, thus allowing for a better assessment of the forest resources.

Index words: Goodness of fit, timber stocks, forest management, volume table.

INTRODUCCIÓN

La estimación de las existencias maderables que un rodal puede sustentar, es una de las tareas de mayor importancia para los manejadores de bosques. El conocimiento de las existencias maderables es un aspecto básico en la planeación del manejo forestal sustentable. El volumen maderable se puede estimar con el uso de modelos de volumen, en los cuales el volumen es una función del diámetro normal o del diámetro normal y la altura, que mediante técnicas de regresión (lineal y no lineal) son ajustados obteniéndose así sus parámetros, con la ecuación que se genera es posible realizar las estimaciones (García, 1995; Romahn-de la Vega *et al.*, 2006; Diéguez-Aranda *et al.*, 2003).

La implementación de las ecuaciones de volumen permite la construcción de tablas de volumen. Jiménez (1988) define a la tabla de volumen como una tabulación o gráfica en la que el diámetro normal y la altura total son las variables principales para determinar el volumen maderable. Asimismo, señala que estas tablas se fundamentan en el principio de que, árboles pertenecientes a la misma especie poseen el mismo volumen promedio, cuando el diámetro y la altura son iguales y las condiciones ecológicas en las que se desarrollan son las mismas. De acuerdo con Avery y Burkhart (2001), estas tablas tienen el propósito de proporcionar una tabulación que exprese el volumen promedio de los árboles en pie de diversos tamaños y especies.

Romahn-de la Vega *et al.* (2006) mencionan que las tablas de volumen más utilizadas son de dos tipos: las tablas de una entrada, en las cuales el volumen es una variable que está en función únicamente del diámetro normal, en México son conocidas como tarifas de volumen; y las tablas de doble entrada, en donde el volumen está representado por dos variables independientes como lo son: el diámetro normal y la altura, ambas tablas pueden elaborarse para una sola especie o para un grupo de especies y para una o varias localidades.

Este tipo de herramientas son de importancia en inventarios forestales cuando se trata de cuantificar la producción y el rendimiento de un rodal o masa forestal en cuanto a volumen de madera, también se emplean para cuantificar áreas plagadas, para la supervisión de los aprovechamientos forestales, verificación de la intensidad de corta, estimación del crecimiento en volumen, y lo más importante es que son fundamentos de la silvicultura y manejo forestal.

Es por ello que los modelos de volumen deben de ser contruidos para cada especie y localidad de estudio con la finalidad de que la estimación de las existencias sea más precisa, y así, no subestimar o sobreestimar el volumen maderable, lo que a su vez puede ocasionar pérdidas económicas, además de incidir en la aplicación de tratamientos silvícolas inapropiados. Asimismo, se ha demostrado que la forma de los árboles responde al efecto de los tratamientos

silviculturales. Hernández *et al.* (2013) y Uranga-Valencia *et al.* (2015) evaluaron la forma del fuste en rodales naturales y plantaciones con manejo intensivo, y encontraron que los árboles tienden a un factor de forma constante, es decir, presentan una forma más cilíndrica, en consecuencia, tienen mayor concentración de volumen en el fuste con respecto a rodales naturales con manejo extensivo, por tanto, contar con modelos de volumen actualizados es indispensable para la elaboración de los programas de manejo forestal.

Debido a la importancia de la estimación de existencias maderables en masas forestales, este trabajo tuvo como objetivo generar modelos de volumen de una y dos entradas para el fuste total con y sin corteza en *Pinus ayacahuite* Ehren del predio de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en áreas de aprovechamiento forestal de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, localizada al noroeste de la ciudad de Oaxaca en la provincia fisiográfica denominada Sistema Montañoso del Norte de Oaxaca, se ubica entre las coordenadas 17° 18' 16" y 17° 34' 00" Latitud Norte; 96° 31' 38" y 96° 20' 00" Longitud Oeste (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2010). Los tipos de climas predominantes en el área son templado subhúmedo y templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual entre 14 °C y 18°C. Los tipos de suelos más comunes en el área son: acrisol, luvisol y cambisol. El principal tipo de vegetación corresponde a bosques de pino-encino (STF, 2015).

Selección del arbolado y tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de muestra y ajustar modelos de volumen, existen varios criterios; por ejemplo, Torres y Magaña (2001) indican que la muestra debería cubrir la mayor diversidad de tamaños y formas de los árboles. Por su parte, Lares (1994) y Pompa (1997) recomiendan que 50 individuos por especie distribuidos en todas las categorías diamétricas son suficientes para el ajuste de modelos de volumen. Atendiendo a este criterio, la muestra estuvo conformada por 55 árboles sanos, vigorosos, con una conformación adecuada, sin bifurcación y de las dimensiones inventariables mínimas y máximas para el aprovechamiento maderable. La base de datos incluyó árboles de todas las categorías de diámetro existentes en la comunidad con el fin de obtener una muestra representativa, la distribución fue cercana a una normal estándar (Figura 1) en donde las clases del centro de 30 cm a 45 cm presentaron mayor número de árboles.

Toma de datos y registro del arbolado

Los árboles seleccionados fueron marcados y georeferenciados en pie, después del derribo se limpió completamente el fuste para facilitar las mediciones. El fuste fue seccionado en trozas, en la parte inferior del tronco hasta el 1.30 m se hicieron más mediciones por ser esta parte donde se presenta el ahusamiento y volumen mayor. De esta zona se obtuvieron tres rodajas, las dos primeras de aproximadamente 30 cm de grosor y para la última la longitud fue variable

dependiendo de la altura del tocón y de la longitud de cada una de las dos primeras trozas hasta alcanzar el 1.30 m; a partir de ahí, se seccionaron según las medidas comerciales para la industria forestal (1.25 m a 2.62 m).

De las trozas se registraron los diámetros con y sin corteza en la sección mayor y sección menor. La altura total de cada árbol, se estimó con la suma de las secciones del fuste. Para el manejo de la información, los datos de campo fueron registrados en un formato de control (predio, fecha, pendiente, exposición, altitud, especie, edad, número de árbol, entre otros), y para facilitar las operaciones necesarias, los datos fueron capturados y ordenados en el programa Microsoft Office Excel 2013®.

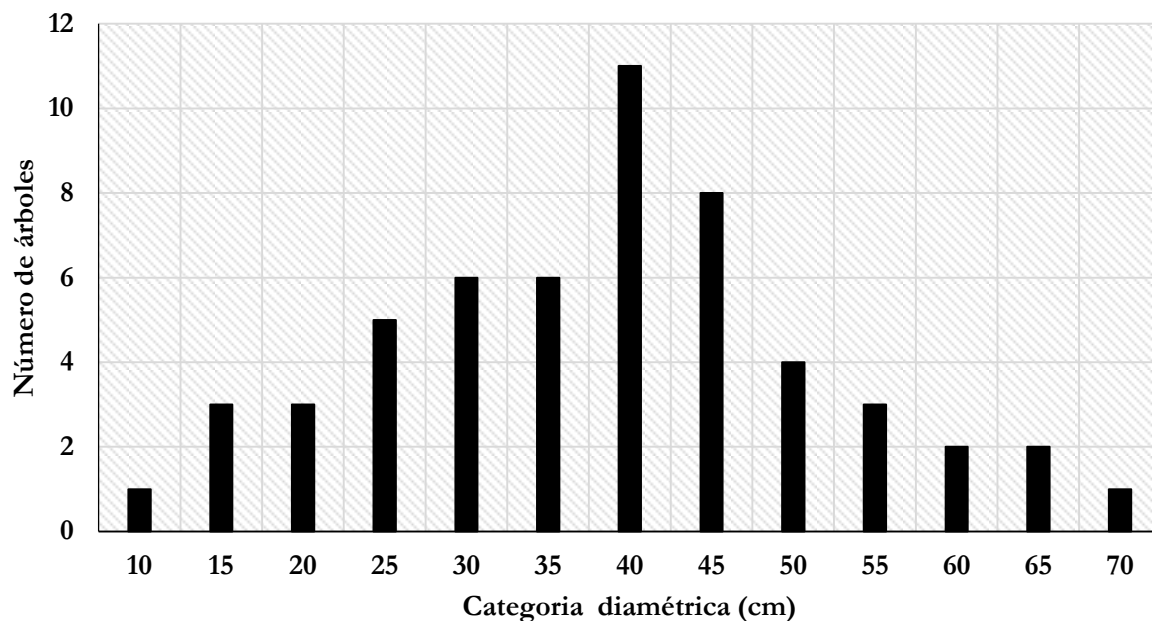


Figura 1. Gráfico de la distribución diamétrica de la muestra.

Obtención del volumen individual

Las trozas se asumieron con forma cilíndrica, con un grado de ahusamiento; y que al dividir el fuste en varios segmentos cortos, éstos se asemejan a un cilindro, por tanto, mientras menor la longitud de la troza mejor será su estimación de volumen (Torres y Magaña, 2001).

La estimación del volumen de cada una de las secciones del fuste se obtuvo mediante la fórmula de aproximación de Smalian $V = \left(\frac{A_b + A_s}{2}\right)L$ y la última sección (la punta) con la fórmula de volumen de un cono $V = \left(\frac{A_b}{3}\right)L$, donde V representa el volumen de la troza, A_b el área de la sección mayor (m^2), A_s el área de la sección menor (m^2) y L la longitud de la troza (m) (Avery y Burkhart, 2001). La sumatoria de todas las secciones del fuste generó una estimación del volumen del fuste total. En el Cuadro 1 se presenta el resumen estadístico de las principales variables dendrométricas de la base de datos utilizada en el ajuste de los modelos de volumen.

Cuadro 1. Valores estadísticos descriptivos de los datos usados.

Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
<i>Dncc</i>	55	38.36	13.68	9.40	71.00
<i>Dnsc</i>	55	36.05	12.84	8.80	62.75
<i>H</i>	55	26.72	4.78	9.87	33.37
<i>Vfcc</i>	55	1.59	1.09	0.03	4.80
<i>Vfsc</i>	55	1.42	0.99	0.02	4.27

Dncc: Diámetro normal con corteza (cm); *Dnsc*: Diámetro normal sin corteza (cm); *H*: Altura total (m); *Vfcc*: Volumen fustal con corteza (m³); *Vfsc*: Volumen fustal sin corteza (m³).

Modelos de volumen de fuste total de una y dos entradas

En el presente trabajo se ajustaron 12 modelos de volumen fustal, clásicos de la literatura forestal (Clutter *et al.*, 1983; Prodan *et al.*, 1997; Diéguez-Aranda *et al.*, 2003), mismos que se clasificaron de acuerdo con el número de variables consideradas en: modelos de volumen de una entrada (Cuadro 2) y modelos de volumen de doble entrada (Cuadro 3).

Cuadro 2. Modelos de volumen de una entrada.

Modelo	Expresión	Nombre
M1	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D^2 + e$	Dissescu-Stanescu (polinómico de segundo grado incompleto)
M2	$V = \beta_0 \times D^{b_1} + e$	Berkhout (Loetsch <i>et al.</i> , 1973)
M3	$V = \beta_1 \times D + \beta_2 \times D^2 + e$	Dissescu-Meyer
M4	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D + \beta_2 \times D^2 + e$	Hohenadl-Krenn (polinómico de segundo grado completo)
M5	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D^2 + \beta_2 \times D^3 + e$	Polinómico de tercer grado incompleto
M6	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D + \beta_2 \times D^2 + \beta_3 \times D^3 + e$	Polinómico de tercer grado completo

V: volumen (m³); D: diámetro normal (cm); β_i : parámetros del modelo.

Análisis estadístico

El ajuste estadístico de los modelos de volumen de fuste total con y sin corteza, se efectuó por mínimos cuadrados ordinarios (bajo estructura lineal y no lineal) a través del software R (R

Development Core Team, 2012). Los criterios para calificar la bondad de ajuste se basaron en métodos analíticos mediante los cuales fue posible cuantificar el grado de ajuste o variabilidad de los modelos ajustados (Cuadro 4). Además del análisis estadístico, se evaluó la significancia de los estimadores de los parámetros, a través de pruebas de hipótesis con la distribución *t* Student, bajo la hipótesis nula $H_0: \beta_i = 0$ y $H_a: \beta_i \neq 0$ (Di Rienzo *et al.*, 2005), considerando un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Cuadro 3. Modelos de volumen de doble entrada.

Modelo	Expresión	Nombre
M1	$V = \beta_0 \times D^{\beta_1} \times H^{\beta_2} + e$	Schumacher-Hall
M2	$V = \beta_0 \times (D^2 \times H)^{\beta_1} + e$	Spurr potencial
M3	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D^{\beta_2} \times H^{\beta_3} + e$	Newnham
M4	$V = \beta_1 \times \left(\frac{H}{D}\right)^{\beta_2} \times D^2 \times H + e$	Thornber
M5	$V = \beta_1 \times (D + 1)^{\beta_2} \times H^{\beta_3} + e$	Korsun
M6	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D^2 \times H + e$	Spurr con término independiente (variable combinada)

V: volumen (m^3); D: diámetro normal (cm); H: altura total (m); β_i : parámetros del modelo.

Cuadro 4. Indicadores estadísticos utilizados para evaluar la bondad de ajuste de los modelos de volumen.

Estadístico	Ecuación
Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj})	$R^2_{adj} = 1 - \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Suma de cuadrados del error (SCE)	$SCE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$
Cuadrado medio del error (CME)	$CME = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}$
Raíz del cuadrado medio del error (REMC)	$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}}$
Sesgo promedio ($\bar{E}$)	$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$

Criterio de información de Akaike (*AIC*)

$$AIC = 2p + n \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right)$$

$\hat{y}$: Valores predichos; y : media de los valores observados; p : número de parámetros del modelo; n : número de observaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos de volumen fustal con y sin corteza de una entrada

Los criterios estadísticos de bondad de ajuste y los parámetros estimados de los modelos de volumen fustal de una entrada, que aportaron los elementos de juicio para optar por el mejor modelo, se presentan en forma resumida en el Cuadro 5.

Los modelos de volumen de una entrada presentaron buen ajuste, con un valor de 0.97 para el coeficiente de determinación ajustado, valores similares eran esperados, puesto que estos modelos ($V = f(D)$), asumen que árboles del mismo diámetro tienen el mismo volumen, así mismo, se pone de manifiesto la relación alométrica entre el volumen con respecto al diámetro normal porque esta variable posee alta significancia en la descripción del volumen fustal.

Con base en el sistema de calificación (Cuadro 6), el modelo polinómico de tercer grado completo, presentó los totales más bajos tanto para volumen fustal con corteza ($Vfcc$) y volumen fustal sin corteza ($Vfsc$) con 15 y 10 unidades, respectivamente, al sobresalir principalmente por su R^2_{adj} alto y valores bajos de SCE , CME y $REMC$. Sin embargo, presenta demasiadas transformaciones de la variable independiente (D) y por ello una mayor complejidad, aunado a esto, los parámetros β_0 , β_1 , y β_3 para $Vfcc$ y $Vfsc$ no tienen una aportación significativa en el modelo de acuerdo con la prueba de t Student. A pesar de que la mayoría de los modelos presentaron un buen ajuste, el principio de parsimonia llevó a elegir el modelo de Berkhout, este modelo explicó el 97% de la variabilidad de volumen fustal con y sin corteza, además presentó valores de sesgo ($\bar{E}$) relativamente pequeños que van de 0.011 m³ a 0.013 m³, para $Vfcc$ y $Vfsc$, siendo β_0 y β_1 estadísticamente significativos ($p < 0.0001$) en todos los casos.

Cuadro 5. Estadísticos de ajuste y parámetros estimados de los modelos de volumen fustal de una entrada.

<i>Modelo</i> <i>V_{fcc}</i>	<i>R</i> ² _{<i>adj</i>}	<i>SCE</i>	<i>CME</i>	<i>REMC</i>	<i>E</i>	<i>AIC</i>	Parámetro	Estimador	Error estándar	Pr > t
M1	0.9779	1.41517	0.02670	0.1634	1x10 ⁻⁶	-197.304	β ₀	-1x10 ⁻²	0.4010	0.3480
							β ₁	9x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁶	<0.0001
M2	0.9775	1.4390	0.0272	0.1648	-1x10 ⁻²	-196.384	β ₀	9x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	<0.0001
							β ₁	1.9979	0.0487	<0.0001
M3	0.9776	1.4340	0.0271	0.1645	-5x10 ⁻³	-196.574	β ₁	-9x10 ⁻⁴	0.0021	0.6668
							β ₂	9x10 ⁻⁴	4x10 ⁻⁵	<0.0001
M4	0.9786	1.3420	0.0258	0.1606	-7x10 ⁻⁴	-198.224	β ₀	-0.2613	0.1384	0.0645
							β ₁	0.0122	0.0072	0.0981
							β ₂	0.0008	9x10 ⁻⁵	<0.0001
M5	0.9793	1.2965	0.0249	0.1579	-4x10 ⁻⁴	-200.122	β ₀	-0.1555	0.0664	0.0229
							β ₁	0.0012	0.0001	<0.0001
							β ₂	-3x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	0.0336
M6	0.9796	1.2559	0.0246	0.1569	4x10 ⁻⁴	-199.869	β ₀	0.1879	0.2757	0.4986
							β ₁	-0.0311	0.0243	0.2053
							β ₂	0.0020	0.0006	0.0028
							β ₃	-9x10 ⁻⁹	5x10 ⁻⁵	0.0673
<i>V_{fsc}</i>										
M1	0.9733	1.4073	0.0265	0.1629	-5x10 ⁻⁶	-197.608	β ₀	-0.0530	0.0399	0.1907
							β ₁	8x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁵	<0.0001
M2	0.9725	1.4512	0.0274	0.1655	-0.0132	-195.921	β ₀	8x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	<0.0001
							β ₁	2.0173	0.0546	<0.0001
M3	0.9728	1.4349	0.0271	0.1645	-0.0067	-196.540	β ₁	-0.0017	0.0021	0.4050
							β ₂	9x10 ⁻⁹	4x10 ⁻⁵	<0.0001
M4	0.9739	1.3489	0.0259	0.1611	-3x10 ⁻⁴	-197.941	β ₀	-0.2526	0.1387	0.0743
							β ₁	0.0109	0.0072	0.1393
							β ₂	7x10 ⁻⁷	9x10 ⁻⁵	<0.0001
M5	0.9749	1.2984	0.0250	0.1580	9x10 ⁻⁴	-200.038	β ₀	-0.1656	0.0664	0.0158
							β ₁	0.0011	1x10 ⁻⁴	<0.0001
							β ₂	-3x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	0.0416
M6	0.9757	1.2346	0.0242	0.1556	-1x10 ⁻⁸	-200.811	β ₀	0.2651	0.2734	0.3366
							β ₁	-0.0390	0.0241	0.1107
							β ₂	0.0021	6x10 ⁻⁴	0.0016
							β ₃	-1x10 ⁻⁵	5x10 ⁻⁵	0.0345

Cuadro 7. Estadísticos de ajuste y parámetros estimados de los modelos de volumen fustal de dos entradas.

<i>Modelo V_{fcc}</i>	<i>R²_{adj}</i>	<i>SCE</i>	<i>CME</i>	<i>REMC</i>	<i>$\bar{E}$</i>	<i>AIC</i>	Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t
M1	0.9931	0.4315	0.0083	0.0911	-0.0055	-260.491	β_0	7×10^{-5}	2×10^{-50}	0.0006
							β_1	1.7808	0.0333	<0.0001
							β_2	1.0057	0.0943	<0.0001
M2	0.9931	0.4419	0.0083	0.0913	-0.0044	-261.317	β_0	9×10^{-5}	1×10^{-5}	<0.0001
							β_1	0.9025	0.1260	<0.0001
							β_0	-0.0265	0.0481	0.5840
M3	0.9930	0.4289	0.0084	0.0917	-0.0008	-258.957	β_1	9×10^{-5}	4×10^{-5}	0.0316
							β_2	1.7588	0.0516	<0.0001
							β_3	0.9747	0.1084	<0.0001
M4	0.9924	0.4878	0.0092	0.0959	0.0091	-255.877	β_1	3×10^{-5}	7×10^{-7}	<0.0001
							β_2	0.2372	0.0344	<0.0001
							β_1	6×10^{-5}	1×10^{-5}	0.0006
M5	0.9931	0.4339	0.0083	0.0913	0.0060	-259.602	β_2	1.8173	0.0341	<0.0001
							β_3	1.0152	0.0945	<0.0001
							β_1	0.1286	0.0242	<0.0001
M6	0.9906	0.6005	0.0113	0.1064	-0.0151	-242.699	β_2	3×10^{-5}	4×10^{-7}	<0.0001
							β_0	4×10^{-5}	1×10^{-5}	0.0009
							β_1	1.7697	0.0341	<0.0001
(V_{fsc}) M1	0.9930	0.3640	0.0070	0.0837	0.0142	-266.990	β_2	1.1719	0.0976	<0.0001
							β_0	7×10^{-5}	1×10^{-5}	<0.0001
							β_1	0.9144	0.0137	<0.0001
M2	0.9921	0.4148	0.0078	0.0885	-0.0064	-264.748	β_0	-0.0228	0.0431	0.5988
							β_1	5×10^{-5}	2×10^{-5}	0.0391
							β_2	1.7488	0.0518	<0.0001
M3	0.9929	0.3620	0.0071	0.0842	-0.0106	-266.916	β_3	1.1392	0.1138	<0.0001
							β_1	3×10^{-5}	6×10^{-7}	<0.0001
							β_2	0.2351	0.0332	<0.0001
M4	0.9930	0.3673	0.0069	0.0833	0.0113	-270.183	β_1	3×10^{-5}	9×10^{-6}	0.0009
							β_2	1.8058	0.0349	<0.0001
							β_3	1.1813	0.0978	<0.0001
M5	0.9929	0.3665	0.0070	0.0840	-0.0116	-268.522	β_1	0.0955	0.0229	<0.0001
							β_2	2×10^{-5}	3×10^{-7}	<0.0001
							β_2			
M6	0.9898	0.5371	0.0101	0.1007	-0.0065	-250.213	β_1			
							β_2			
							β_2			

Cuadro 6. Calificación para los modelos de volumen fustal de una entrada.

Modelo	Calificación total	
	Vfcc	Vfsc
Dissescu-Stanescu (M1)	22	24
Berkhout (M2)	33	38
Dissescu-Meyer (M3)	29	32
Hohenadl-Krenn (M4)	23	21
Polinómico de tercer grado incompleto (M5)	20	17
Polinómico de tercer grado completo (M6)	15	10

Modelos de volumen fustal con y sin corteza de dos entradas

Los estadísticos de bondad de ajuste y los parámetros estimados de los modelos de volumen fustal de dos entradas, se presentan en el Cuadro 7. Los valores para el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) van de 0.98 a 0.99. El modelo sobresaliente para estimar el Vfcc fue el de Schumacher-Hall (M1), al presentar los valores más bajos en CME, REMC y AIC, y los tres parámetros (β_0 , β_1 , y β_2) fueron significativos al 95% de confianza, esto se puede verificar en la calificación que alcanzó el modelo, que fue de 17 unidades (Cuadro 8), siendo esta la más baja. Para estimar el Vfsc, se eligió el modelo de Schumacher-Hall (M1), que de acuerdo con el sistema de calificación de escala relativa alcanzó 19 unidades, mismas unidades que obtuvo el modelo de Thornber (M4). Sin embargo, se eligió al primero porque además de presentar estadísticos de variabilidad con valores más bajos, sus tres parámetros (β_0 , β_1 , y β_2) fueron significativos al considerar un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Cuadro 8. Calificación para los modelos de volumen fustal (Vf) con corteza (cc) y sin corteza (sc) de dos entradas.

Modelo	Calificación total	
	Vfcc	Vfsc
Schumacher-Hall (M1)	16	19
Spurr potencial (M2)	19	23
Newnham (M3)	19	21
Thornber (M4)	27	19
Korsun (M5)	20	25
Variable combinada (M6)	31	27

Modelos de volumen seleccionados

Las ecuaciones de volumen fustal con y sin corteza de una y dos entradas que presentaron los mejores estadísticos de ajuste y significancia de sus parámetros se presentan en el Cuadro 9. Las representaciones gráficas de los modelos utilizados para estimar el volumen fustal con y sin corteza de *P. ayacahuite* Ehren se muestran en las Figuras 2 y 3, respectivamente.

Cuadro 9. Ecuaciones de volumen fustal de una y dos entradas para *Pinus ayacahuite* Ehren.

Modelo de Berkhout	$Vf_{cc} = 0.000982 \times D^{1.997399}$
	$Vf_{sc} = 0.000816 \times D^{2.01732}$
Modelo de Schumacher-Hall	$Vf_{cc} = 0.000076 \times D^{1.78081} \times H^{1.005776}$
	$Vf_{sc} = 0.00004 \times D^{1.769716} \times H^{1.171917}$

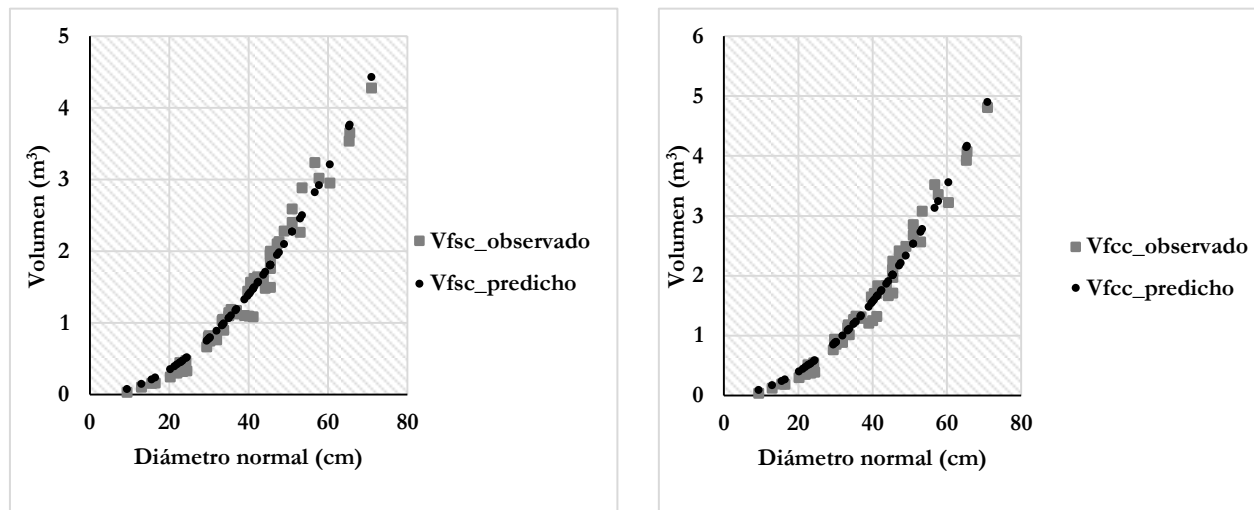


Figura 2. Representación gráfica del volumen del fuste estimado por el modelo de Berkhout de una entrada.

El modelo de Berkhout y el modelo de Schumacher-Hall han sido utilizados por diversos investigadores para la generación de tablas de volúmenes con resultados satisfactorios, esto gracias a la simplicidad de su estructura, por ejemplo, Pece *et al.* (2002) ajustaron una serie de modelos siendo el de Schumacher-Hall en su versión ponderada el elegido para la elaboración de una tabla de volumen de doble entrada para álamos, a partir de una muestra de 212 individuos. Romero (2005) utilizó el modelo de Schumacher-Hall en la generación de una tabla de volumen fustal con y sin corteza para *Pinus chiapensis* en el cual empleó datos de análisis troncal de una muestra de 17 árboles. Por su parte, Reyes (2006) ajustó y ponderó el modelo de Schumacher-Hall, para crear un sistema de cubicación de fuste total para *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla*, utilizando una muestra de 131 árboles. Ramos *et al.* (2014) emplearon el modelo de Schumacher-Hall para elaborar tablas de volumen para *Pinus lawsonii* y *Pinus oocarpa* en el estado de

Michoacán, mediante una muestra de 133 árboles. Tapia y Navar (2011) ajustaron y validaron ocho modelos de volumen y cinco funciones de ahusamiento para la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. de una fracción de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. En el ajuste emplearon 110 árboles, los resultados mostraron que los modelos que predicen mejor el volumen y el perfil diamétrico fueron los de Schumacher-Hall y de Kozak.

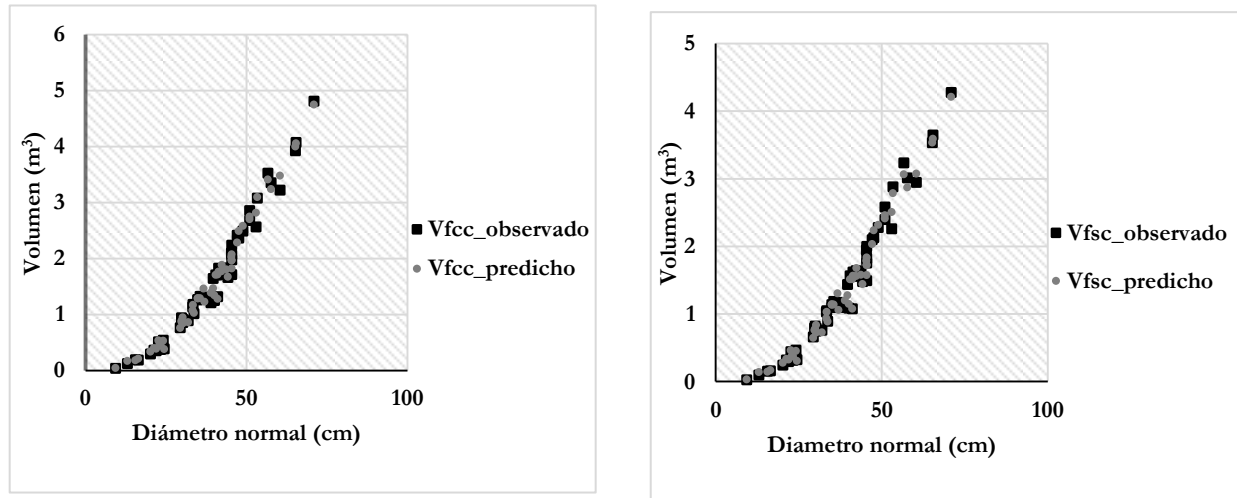


Figura 3. Representación gráfica del volumen del fuste estimado por el modelo de Schumacher-Hall.

CONCLUSIONES

Los modelos de volumen son herramientas importantes para la estimación de las existencias maderables de los bosques, y como un instrumento de ayuda para la conducción adecuada de los aprovechamientos forestales. El uso de las tablas de volumen de una entrada es recomendable cuando se desea ahorrar tiempo y dinero en las actividades de marcaeo forestal; sin embargo, la confiabilidad y precisión en la estimación es menor respecto a una tabla de doble entrada, dado que esta última considera una variable más en la estimación del volumen. En general los modelos de volumen ajustados para *Pinus ayacahuite* presentaron un buen ajuste al estimar el volumen. Sin embargo, se eligieron los modelos de Berkhout, y Schumacher-Hall, los cuales resultaron ser más confiables en la estimación del volumen fustal, al expresar el contenido volumétrico de los árboles en tablas de volumen con y sin corteza. Con la finalidad de evitar errores en las estimaciones de las existencias reales maderables, es deseable la elaboración de tablas de volumen para las demás especies bajo aprovechamiento en el predio de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

LITERATURA CITADA

- Avery, T. E., and H. E. Burkhardt. 2001. Forest measurements. Nueva York, NY. EUA: McGraw-Hill. 456 p.
- Castellanos-Bolaños, J.F., E.J. Treviño-Garza, O.A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez y A. Velázquez-Martínez. 2010. Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2):39-52.
- Clutter, J.L., J.C. Forston, L.V. Pienaar, G.H. Brister, and R.L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. USA. 333 p.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, L.A. Gonzalez, E.M. Tablada, M.P. Díaz, C.W. Robledo, y M.G. Balzarini. 2005. Estadística para las ciencias agropecuarias (6ta ed.). Córdoba, Argentina: Brujas. 378 p.
- Diéguez-Aranda, U., M. Barrio-Anta, F. Castedo-Dorado, A. D. Ruíz-Gonzalez, M.F. Alvaréz-Taboada, J.G. Alvaréz-Gonzalez, y A. Rojo-Alboreca. 2003. Dendrometría. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.
- García, O. (1995). Apuntes de mensura forestal I. Estática. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Chile 65 p.
- Hernández, P. D., H. M. De los Santos P., G. Ángeles P., J. R. Valdez L., y V. H. Volke H. 2013. Funciones de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (16): 34-45.
- Jiménez, P. J. 1988. Elaboración de tablas de tarifas de volúmenes para *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *P. teocote* Schltdl. et Cham., en una fracción de la Sierra Madre Oriental en el Noreste de México. Tesis Doctoral. Georg-August University, Gottingen. Alemania. 50 p.
- Lares, Z. M. A. 1994. Estimación del tamaño de muestra en regresión y modificación de los modelos de Schumacher y el logarítmico de la variable combinada. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 36 p.
- Loetsch, F., F. Zohrer, and K. E., Haller. 1973. Forest inventory. Munich. BLV Verlagsgesellschaft. 469 p.
- Pece, M., C. Gillard, M. Galindez, y N. Ríos. 2002. Tabla de volumen de doble entrada para álamos de la zona de riego de Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho* 9 (3):95-105.
- Pompa, G. M. 1997. Sistema de cubicación para el género *Pinus* en la UCODEFO N° 7 Norogachi-Guachochi. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Programa Forestal. México. 105 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Coxy, and P. Real. 1997. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica, 561 p.
- R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ramos, U. V. J., J. García-Magaña, J. Hernández-Ramos, X. García-Cuevas, J. C. Velarde-Ramírez, H. J. Muñoz-Flores, y G. G. García-Espinoza. 2014. Ecuaciones y tablas de volumen

- para dos especies de *Pinus* de la Sierra Purépecha, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (23): 92-109.
- Reyes, V. J. R. 2006. Sistema de cubicación *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla* en los límites de Veracruz y Oaxaca. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 80 p.
- Romahn-de la Vega, C. F., H. Ramírez-Maldonado, y J. Treviño. 2006. *Dendrometría*. Texcoco, Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo. 354 p.
- Romero, H. A. E. 2005. Tabla de volúmenes para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en su área de distribución natural en los estados de Puebla y Veracruz. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 92 p.
- STF (Servicios Técnicos Forestales de Ixtlán de Juárez). 2015. Programa de manejo forestal para el aprovechamiento y conservación de los recursos forestales maderables de Ixtlán de Juárez. Ciclo de corta 2015-2024. 423 p.
- Tapia, J., y J. Navar. 2011. Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. *Revista Forestal Veracruzana* 13(2):19-28.
- Torres, R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial. Limusa, México. 472 p.
- Uranga-Valencia, L. P., H. M. De los Santos-Posadas, J. R. Valdez-Lazalde, J. López-Upton, H. Navarro-Garza. 2015. Volumen total y ahusamiento para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en tres condiciones de bosque. *Agrociencia* 49(7): 787-801.

MANEJO DE GALLINAS DE TRASPATIO EN SEIS COMUNIDADES DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA¹

[BACKYARD CHICKENS MANAGING IN SIX COMMUNITIES FROM THE VALLES CENTRALES OF OAXACA]

Joaquín H. Viveros-Hernández¹, José L. Chávez-Servia^{1§}, Martha P. Jerez-Salas², Yuri Villegas-Aparicio

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, Hornos 1003, Col. Noche Buena, C.P. 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, C.P. Oaxaca, México. ²Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex-Hacienda de Nazareno, C.P. 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. [§]Autor para correspondencia: (jchavez@ipn.mx).

RESUMEN

Con el objetivo de documentar el manejo de gallinas de traspatio y proponer estrategias de mejoría del sistema, en seis comunidades de los Valles Centrales de Oaxaca, se aplicaron 253 entrevistas semiestructuradas a jefes de familias. Se hicieron pruebas de Ji-cuadrada para evaluar las diferencias entre comunidades en prácticas de manejo y un análisis de correspondencia múltiple. Entre los resultados se determinó que, la mujer jefa de familia desempeña un papel preponderante en estos sistemas de producción; el que provee de huevo y carne para familia, y ocasionalmente pequeñas ventas con vecinos y mercado local. Las aves son regularmente de pastoreo libre y se suplementa con grano triturado o nixtamalizado de maíz, frecuentemente en parvadas semi-confinadas. Las familias comentaron que crían gallinas, primordialmente desde cinco años o más, fueron adquiridas originalmente con vendedores ambulantes, no realizan prácticas de prevención de enfermedades por lo que recurren a métodos o productos locales y esporádicamente productos farmacéuticos-veterinarios. Entre los principales cuellos de botella de sistema de producción fue la prevención y control de enfermedades y parásitos, y poco acceso a suplementos alimenticios; por lo que, mostraron alto interés cuando se les preguntó si asistirían a talleres de capacitación en manejo de aves.

Palabras clave: *Gallus gallus domesticus*, producción de alimento, autoconsumo, contexto geográfico-cultural en manejo de gallinas.

ABSTRACT

In order to document the backyard chicken managing and to propose strategies to improve the production system at six communities from the Valles Centrales of Oaxaca, 253 semistructured interviews were applied to family heads. Chi-tests and multiple correspondence analysis were performed to evaluate the differences among communities on managing of the production system of chickens. In this study, head-family women play a crucial role to survive such production

¹ Recibido: 25 de octubre de 2016.
Aceptado: 15 de diciembre de 2016.

systems, which it generate chicken egg and meat to family, and occasionally surpluses to sell among neighbors and local market. The chickens regularly free grazing, which it was supplemented through maize grain semi-ground or lime cooked, but frequently the flock is semiconfined. The families commented that manage chickens since five year ago or more, which they buying to street vendors, not make prevention practices of diseases reason, which they use methods or domestic products and infrequently pharmaceutical-veterinary products. The bottlenecks from the selfconsumption system were absence of prevention and control of diseases and gastric parasite, and low access to food supplements for chickens. In this sense, all interviews showed high interest to participate in training workshops on chickens managing.

Index words: *Gallus gallus domesticus*, food production, geographic-cultural context in chickens managing.

INTRODUCCIÓN

Las gallinas de traspatio representan una aportación cercana al 70% del huevo y carne de la dieta de las familias rurales (Guevara *et al.*, 2011). El traspatio es un agroecosistema y espacio reproductivo de la familia donde se desarrolla un proceso de producción de alimentos mediante la siembra, cultivo y cosecha de especies vegetales, y crianza de animales para la producción de huevo, carne o leche, y favorece el ingreso o ahorro de capital en especie, entre otros beneficios (González *et al.*, 2014). Hoy en días es considerado un espacio que aporta servicios sociales y ecosistémicos como recreación, esparcimiento, socialización y captación de CO₂, entro otras aportaciones, y se recrea el conocimiento local (Vieyra *et al.*, 2004; González *et al.*, 2014).

Las aves del traspatio son una estrategia de producción no especializada o comercial, y consecuentemente sus prácticas de manejo son producto del autoaprendizaje o aprendizaje heredado o colectivo (Juárez-Caratachea *et al.*, 2001). La especie más común es *Gallus gallus domesticus* (pollos o gallinas), por bajo costo directo, alta capacidad de adaptarse a condiciones climáticas diversas, disponibilidad de alimento necesario y regularmente baja incidencia de enfermedades o parásitos (Gutiérrez-Tray *et al.*, 2007); prácticamente, es una crianza con pocos o ningún cuidado. En términos generales, se postula que una parvada de gallinas satisface los requerimientos alimenticios semanales de una familia pequeña, y los reemplazamientos de parvadas son sencillos de hacer (Centeno *et al.*, 2007). En décadas recientes la producción de gallinaza es un subproducto con gran potencial de venta para los sistemas de producción de huertos o alimentación de ganado mayor.

Diversos autores han remarcado la necesidad de conformar base de datos climáticos y analizar las variaciones u oscilaciones en parámetros térmicos, humedad y precipitaciones a través del tiempo con el propósito de planificar las prácticas de manejo de gallinas debido a que tienen particularidades en cada zona climática en relación a prevalencia de enfermedades y parásitos, y también determina la disponibilidad de alimento suplementario para las aves. Todas estos factores climáticos más la producción de cultivos y prácticas de manejo influyen en la

productividad de carne y huevo. Por tanto, es notoria la diferencia en manejo y producción de las gallinas en las zonas templadas de Puebla (Centeno *et al.*, 2007), en climas semicálidos húmedos de Veracruz (Sánchez-Sánchez y Torres-Rivera, 2014) y las de tropical subhúmedo de Yucatán (Gutiérrez-Triay *et al.*, 2007), entre otras. Por tanto, las problemáticas de las gallinas de traspatio son inherentes a la zona ecológica de localización de la comunidad, características de manejo y rasgos genéticos de origen del pie de cría (Gutiérrez-Tray *et al.*, 2007).

La alimentación de las gallinas de traspatio es uno de los factores de mayor influencia en la productividad de carne o huevo. En diversos casos se menciona el suministro de grano de maíz nixtamalizado o triturado, desperdicios de comida, alfalfa y diferentes plantas productos de desecho para alimentar las aves (Jerez-Salas *et al.*, 1994). No obstante, no satisfacen sus requerimientos básicos nutricionales ocasionando crecimiento lento y retraso en alcanzar la madurez sexual (Jerez-Salas *et al.*, 2009), deficiencias de calcio y fósforo que impiden la estructura mineral adecuada del cascarón, e influyen en el tamaño y peso del huevo (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). Adicionalmente se ha documentado que en el traspatio no cuentan con infraestructura adecuada (Ruiz *et al.*, 2014) ni programas de prevención y manejo sanitario, así como acceso limitado o nula asistencia técnica y capacitación (Camacho-Escobar *et al.*, 2006; Juárez-Caratachea *et al.*, 2008), y se genera alta mortalidades y producción inconsistente a lo largo del año. En este contexto, se planteó el objetivo de realizar un diagnóstico de las características de manejo de gallinas de traspatio en seis comunidades de los Valles Centrales de Oaxaca con el propósito de implementar estrategias técnicas de manejo práctico acordes con las características sociales, culturales y económicas de las familias y comunidades, y les permita tener acceso a alimento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La región de estudio se localiza de 16° 48' a 16° 53' LN, de 96° 41' a 96° 45' LO, en altitudes de 1470 a 1510 m con climas semi-cálidos, oscilaciones térmicas promedio de 18 a 22 °C y precipitaciones anuales promedio de 600 mm. Las comunidades objetivo fueron; Santa Ana Zegache, San Jerónimo Zegache, Santiago Apóstol, Santa Inés Yatzeche, Santa Catarina Quiané y San Martín Tilcajete de los Valles Centrales de Oaxaca. Entre las características comunes de las comunidades objeto son; alto grado de marginación y etnicidad, un número importante de familias con animales domésticos, entre ellas aves de traspatio, y con familias dispuestas a participar en este trabajo.

Con el propósito de captar la percepción de manejo de los jefes de familia en las comunidades objetivo, se aplicó un cuestionario con preguntas cerradas y abiertas orientadas a describir el manejo de gallinas en relación al confinamiento, persona responsable, tipo y origen de alimentos suplementario, prácticas de prevención de enfermedades, destino de la producción de huevo o carne, formas de renovación de pies de cría y problemáticas asociadas. De junio a agosto de

2016, se aplicaron 253 cuestionarios a cabezas de familia de las comunidades de Santa Ana Zegache, San Jerónimo Zegache, Santiago Apóstol, Santa Inés Yatzeche, Santa Catarina Quiané y San Martín Tilcajete, en función del total de hogares por comunidad, porcentaje de hogares con gallinas y disposición de las personas para ser entrevistadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tamaños de muestra por comunidad del número entrevistados que tenían gallinas en sus hogares.

Comunidad	Total de hogares ¹	Hogares visitados			Núm. hogares entrevistados ²
		Con gallinas	Sin gallinas	Hogares con gallinas (%)	
Santiago Apóstol	880	50	23	68.5	50
Santa Ana Zegache	650	50	29	63.3	50
San Jerónimo Zegache	140	25	10	71.4	25
San Catarina Quiané	510	51	19	72.9	51
San Martín Tilcajete	446	50	39	56.2	50
Santa Inés Yatzeche	213	27	3	90.0	27

¹INEGI (2015); ²hogares que representan del 8.3 al 25.0% de hogares con gallinas.

Se conformó una base de datos con todas las respuestas de cada pregunta por hogar y comunidad, y se hizo una prueba de homogeneidad de ji-cuadrada ($P < 0.05$) para evaluar las diferencias entre comunidades sobre manejo de gallinas entre comunidades. Posteriormente, se hizo un análisis de correspondencia múltiple para determinar las variables de mayor valor descriptivo sistema de producción en la región de estudio. Todos los análisis se hicieron en el paquete estadístico SAS (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función de los recorridos por los hogares de cada comunidad, se observó que no todas los hogares tenían gallinas en sus traspatios. Se estimó que del total de hogares visitados, entre 56.2 y 90.0% tenían gallinas en sus traspatios. Los bajos porcentajes (56.2 y 68.5%) correspondieron a hogares de San Martín Tilcajete, San Ana Zegache y Santiago Apóstol. Esto hace pensar en las dificultades que se tienen para la crianza de aves en el traspatio en esta región de los Valles Centrales de Oaxaca.

En las pruebas de Ji-cuadrada, en general, se determinó que las comunidades difieren en tamaño de parvadas, características de manejo, suplementos de alimentación y característica de producción de huevo o carne de gallinas en el traspatio (Cuadros 2, 3 y 4). Primero, el tamaño predominante de parvada fue mayor a cinco gallinas por hogar, semejante a lo reportado en otros trabajos (Camacho-Escobar, 2006; Orozco y Ramírez, 2011), solo el 50.3% de los casos posee un gallinero donde al menos pernoctan las gallinas, regularmente utilizan el estiércol como abono

(83.4%), usan recipientes para proporcionar alimento y agua (98.4%), no realizan prevención de enfermedades o bien la hacen a través de métodos y remedios caseros (73.1%), tampoco desparasitan (88.4%) y por todo esto se estimó que en el 54.0% de los casos se presentan enfermedades o problemas de parásitos.

En todas las comunidades, la señora jefa de familia es la principal responsable de la crianza de gallinas, en baja proporción los hijos o toda la familia, y en los casos de San Jerónimo Zegache y Santa Inés Yatzeche el hombre jefe de familia no participa en esta actividad, de acuerdo con los entrevistados (Cuadro 2). Esta patrón también se observó en otros de trabajos de Oaxaca (Camacho-Escobar *et al.*, 2006), Michoacán (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008), Chiapas (Ruiz *et al.*, 2014) y occidente de Colombia (Marín-Gómez y Benavides-Montaña, 2007). Esto obedece a un patrón cultural sobre asignación no establecida de actividades, la jefa de familiar es responsable de obtener y preparar los alimentos para la familia, principalmente en comunidades rurales.

El suministro de alimentos suplementario a las gallinas fue una práctica común en los hogares entrevistados. A las gallinas les proporcionan esencialmente maíz quebrado o entero a veces por temporada, pero frecuentemente se obtiene de siembras propias o en los centros de abasto de la misma comunidad (Cuadro 2). Este hecho es relevante para la reproducción de la parvada.

En cuanto al manejo zoonosanitario, los entrevistados señalaron que en los casos de uso de gallinero, regularmente realizan limpieza más de dos veces al año (90.9%). Cuando se enferman sus gallinas no usan prácticas de prevención o bien aplican remedios caseros. No obstante, un 26.9% manifestaron que si utilizan productos farmacéuticos para prevenir la enfermedades, y cuando se muere alguna gallina no necesariamente se entierra o tira al aire. Este manejo es diferente de comunidad a comunidad, en Santiago Apóstol y Santa Inés Yatzeche frecuentemente las tiran al aire libre pero en las otras comunidades las entierran (Cuadro 2).

Respecto a respuestas en productividad bajo manejo tradicional, los entrevistados remarcaron que la postura de huevo de sus gallinas se encuentra en un intervalo de 5 a 8 meses de edad (96.9%). Las situaciones de mayor precocidad se documentaron en Santa Catarina Quiané y Santiago Apóstol, allí vario de 5 a 6 meses. Es lógico pensar que el tiempo de inicio a la postura está relacionada con la alimentación; en estos sistemas hacen escasa suplementación porque regularmente es de ramoneo o pastoreo en el traspatio, recolecta de insectos, búsqueda de lombrices en suelos húmedos o van a los comedores habilitados de vacas y equinos, entre otras estrategias. Los sistemas no son estabulizados entonces pueden hacer nidos de postura en cualquier lugar (34.8%) o bien se les pone un nidos dentro o fuera del gallinero (65.2%). Durante las visitas se determinó que, en 71.9% del total de hogares entrevistados, las gallinas estaban produciendo huevo (Cuadro 3). Es oportuno señalar que estos sistemas no cumplen con los criterios establecidos de una granja de producción comercial y por tanto no se puede evaluar con los mismos parámetros de productividad como lo juzgan otros autores (Segura-Correa *et al.*, 2007; Jerez-Salas *et al.*, 2009; Albalat, 2011).

Cuadro 2. Descripción del manejo de gallinas de traspatio en seis comunidades de los Valles Centrales de Oaxaca (n = 253).

Descripción de manejo	SAZ ¹	SJZ	SCQ	SA	SMT	SIY	Total (%)
<i>Cuantos pollo/gallinas por hogar ($X^2 = 32.2, P < 0.01$)</i>							
Menos de 5 gallinas	1	6	0	6	4	1	18 (7.1)
5 a 10	8	9	17	12	22	9	77 (30.4)
Más de 10	41	10	34	32	24	17	158 (62.5)
<i>Persona responsable del manejo de gallinas ($X^2 = 11.8, P > 0.05$)</i>							
Señora cabeza de familia	44	21	41	43	43	26	218 (86.2)
Señor cabeza de familia	2	0	4	2	2	0	10 (4.0)
Hijos	0	1	2	2	0	1	6 (2.4)
Toda la familia	4	3	4	3	5	0	19 (7.5)
<i>Sistemas de confinamiento ($X^2 = 11.8, P < 0.01$)</i>							
Siempre encerrados con gallinero	22	5	18	24	13	5	87 (34.4)
Temporalmente encerrados (siembras)	6	5	3	1	3	1	19 (7.5)
Libres con gallinero para dormir	14	6	22	4	10	4	60 (23.7)
Libres sin gallinero	8	9	8	21	24	17	87 (34.4)
<i>Limpieza gallinero ($X^2 = 36.5, P < 0.01$)</i>							
No hace limpieza	0	3	4	4	0	2	13 (5.1)
Una vez al año	0	0	0	0	0	1	1 (0.4)
Dos veces por año	1	0	4	0	0	4	9 (3.6)
Más de dos veces por año	49	22	43	46	50	20	230 (90.9)
<i>Con que alimenta a las gallinas ($X^2 = 92.3, P < 0.01$)</i>							
No alimenta	0	0	1	1	1	0	3 (1.2)
Alfalfa de vez en vez	2	0	2	1	1	0	6 (2.4)
Alfalfa por épocas de corte	0	0	0	1	0	0	1 (0.4)
Maíz nixtamalizado por temporadas	0	0	0	1	1	0	2 (0.8)
Maíz nixtamalizado siempre	0	0	3	6	0	0	9 (3.6)
Maíz resquebrajado o entero/temporada	1	8	11	4	3	1	28 (11.1)
Maíz resquebrajado o entero	45	14	24	16	38	24	161 (63.6)
Otra recompensa	2	3	10	20	6	2	43 (17.0)
<i>De donde proviene el alimento para las gallinas ($X^2 = 62.3, P < 0.01$)</i>							
Siembras propias	42	14	38	17	33	20	164 (64.8)
Compra con vecinos	1	1	0	1	0	2	5 (2.0)
Compra en el mercado	0	0	5	2	5	3	15 (5.9)
Compra en tiendas de la comunidad	7	10	7	28	12	2	66 (26.1)
Otro	0	0	1	2	0	0	3 (1.2)
<i>Que remedios/medicamentos usa para curar o prevenir enfermedades ($X^2 = 24.3, P > 0.05$)</i>							
No	26	13	25	26	29	15	134 (53.2)
Si, productos veterinarios	20	3	15	17	15	8	78 (31.0)
Si, remedios caseros	4	9	11	7	6	4	41 (16.3)
<i>Qué hace con los pollos muertos ($X^2 = 61.1, P < 0.01$)</i>							
Los tira al aire libre	20	11	20	39	15	20	125 (49.4)
Los entierra	27	14	31	7	32	7	118 (46.6)
Los quema	0	0	0	0	3	0	3 (1.2)
Otro	3	0	0	4	0	0	7 (2.8)

¹SAZ = Santa Ana Zegache; SJZ = San Jerónimo Zegache; SCQ = Santa Catarina Quiané; SA = Santiago Apóstol; SMT = San Martín Tilcajete; SIY = Santa Inés Yatzeche.

En todos los sistemas de traspatio se documentó que la producción fu esencialmente para autoconsumo (79.4%) y venta con los vecinos (17.8%). Aunque en pocos casos si se registraron ventas a mercados vecinales y regionales. En la región Mixe de Oaxaca, Antonio *et al* (2011) reportaron que las familias comercializan la mayor parte de huevo y carne, y en Chiapas, Guevara *et al.* (2011) documentaron una combinación de autoconsumo y comercialización. En los caso de parvadas grandes (más de 10), los entrevistados mencionaron que por temporadas si podían sacrificar una o dos individuos al mes cuando se requería (Cuadro 3). Es decir, la producción sí cumple una función estratégica de acceso alimentario por la familia.

Cuadro 3. Variables descriptivas de la producción de huevo y carne de gallinas en seis comunidades de los Valles Centrales de Oaxaca (n = 253).

Aspectos de producción y uso de productos	SAZ ¹	SJZ	SCQ	SA	SMT	SIY	Total (%)
<i>Edad a inicio de postura ($X^2 = 43.3, P < 0.01$)</i>							
5-6 meses	17	10	39	40	22	13	141 (56.0)
7-8 meses	30	15	9	8	27	14	103 (40.9)
Más de 8	2	0	3	2	1	0	8 (3.2)
<i>Donde ponen las gallinas ($X^2 = 10.7, P > 0.05$)</i>							
Nido dentro/fuera del gallinero	38	14	40	29	28	16	165 (65.2)
Cualquier sitio	12	11	11	21	22	11	88 (34.8)
<i>Destino de la producción de huevo ($X^2 = 25.0, P > 0.05$)</i>							
Autoconsumo	43	23	33	39	44	19	201 (79.4)
A veces vendes con los vecinos	5	0	15	11	6	8	45 (17.8)
Vecino y mercado local	1	1	2	0	0	0	4 (1.6)
Mercado local	1	1	1	0	0	0	3 (1.2)
<i>Frecuencia de sacrificio de gallinas ($X^2 = 25.0, P > 0.05$)</i>							
Ocasionalmente	20	8	18	17	22	9	94 (37.2)
Una vez al mes	10	9	13	10	8	4	54 (21.3)
Cada dos o tres meses	11	5	10	10	13	11	60 (23.7)
Dos a veces tres veces al año	9	3	10	13	7	3	45 (17.8)
<i>Renovación por compra o auto-reproducción de pie de cría ($X^2 = 29.3, P < 0.05$)</i>							
Compra en mercados/tiendas /ambulantes	14	10	13	18	11	1	67 (26.5)
Programas de apoyo (subsidio)	1	1	3	1	1	0	7 (2.8)
Multiplan sus propios pollos	35	12	31	27	38	26	169 (66.8)
Combinaciones	0	2	4	4	0	0	10 (4.0)

¹SAZ = Santa Ana Zegache; SJZ = San Jerónimo Zegache; SCQ =Santa Catarina Quiané; SA = Santiago Apóstol; SMT = San Martín Tilcayote; SIY = Santa Inés Yatzeche.

Entre comunidades fue común documentar que la renovación del pie de cría la realizan a partir de sus gallinas (66.8%) que inicialmente compraron en tiendas veterinarias, mercados o distribuidores ambulantes (26.5%). En la región fue notoria que en escaso número de hogares se obtuvieron con los programas gubernamentales de apoyo a la producción (Cuadro 3). El patrón de automultiplicación de la parvada también fue documentada en Chiapas por Ruiz *et al.* (2014) y en Puebla por Centeno (2007).

Las familias entrevistadas se dedican principalmente a actividades primarias del campo (81.3%), comercio local (9.9%) y trabajo asalariado (6.3%). Es decir, canalizan todos su esfuerzos a la producción de alimentos mediante la siembra y cultivo de maíz, frijol, calabaza y chilacayote, entre otras especies o bien a producir carne mediante otros animales domésticos. Respecto al gasto económico, se estimó que 28.5% del total de hogares no compran alimento suplementario y cuando lo hacen, compran alimento balanceado (45.8%) o grano de maíz quebrado (24.5%). Aunque esto varía de comunidad a comunidad; por ejemplo, en San Martín Tilcajete un alta proporción (43.1%) no compra alimento, en San Jerónimo Zegache cuando compran es maíz y en Santa Ana Zegache es alimento balanceado (Cuadro 4).

Cuadro 4. Actividades socio-económicas de las familias con gallinas de traspatio, en seis comunidades de Valles Centrales de Oaxaca (n = 253).

Aspectos socio-económicos asociados a manejo	SAZ ¹	SJZ	SCQ	SA	SMT	SIY	Total (%)
<i>Principal actividad económica de la familia ($X^2 = 33.9, P < 0.05$)</i>							
Productivas del campo	42	17	43	38	42	23	205 (81.3)
Comercio	5	0	3	10	4	3	25 (9.9)
Trabajo asalariado	3	6	4	1	2	0	16 (6.3)
Otros/combinaciones	0	2	1	1	2	0	6 (2.4)
<i>Compra de alimentos suplementario a gallinas ($X^2 = 40.4, P < 0.01$)</i>							
No	7	6	19	12	22	6	72 (28.5)
Si, balanceado	33	9	18	29	16	11	116 (45.8)
Si, maíz grano/quebrado	10	10	14	6	12	10	62 (24.5)
Combinaciones	0	0	0	3	0	0	3 (1.2)
<i>Tiempo practicando la cría de gallinas y pollos ($X^2 = 28.6, P < 0.01$)</i>							
Menos de 5 años	3	7	8	14	1	4	37 (14.6)
Entre 5 y 10 años	12	3	7	6	12	0	40 (15.8)
Más de 10 años	35	15	36	30	37	23	176 (69.6)
<i>Principal problema para la crianza de gallinas ($X^2 = 27.9, P > 0.05$)</i>							
Disponibilidad de alimento	8	4	15	15	14	6	62 (24.5)
Presencia de enfermedades	28	11	18	16	17	16	106 (41.9)
Disponibilidad de espacio	5	8	12	8	13	4	50 (19.8)
Sin responsable para la crianza	3	0	5	5	2	1	16 (6.3)
Combinaciones	6	2	1	6	4	0	19 (7.5)
<i>Le gustaría recibir capacitación en manejo de gallinas ($X^2 = 13.8, P < 0.05$)</i>							
No	0	0	2	8	5	2	17 (6.7)
Si, con orientación a la prevención de enfermedades	50	25	49	42	45	25	236 (93.3)

¹SAZ = Santa Ana Zegache; SJZ = San Jerónimo Zegache; SCQ = Santa Catarina Quiané; SA = Santiago Apóstol; SMT = San Martín Tilcajete; SIY = Santa Inés Yatzeche.

En todas las comunidades se observó que la mayor parte de familias (69.6%) tienen más de 10 años con la crianza de gallinas. Esto indica cierto dominio en prácticas de manejo y el entusiasmo por continuar con esta actividad a pesar de las dificultades que enfrentan como escasa disponibilidad de alimento suplementario (24.5%), prevalencia de enfermedades (41.9%) y poco

espacio en el patio para albergar a la parvada (19.8%). Más del 90% de los hogares manifestaron su disponibilidad para recibir capacitación en manejo de gallinas y con especial énfasis en el manejo de enfermedades (Cuadro 4).

En el análisis de correspondencia múltiple se determinó que la diferenciación entre hogares con gallinas de traspatio se debe a la experiencia de la familia en la crianza, acceso a alimento suplementario, aspectos zoonosarios, actividad económica de la familia, destinos de la producción y las características de confinamiento de las parvadas y uso de gallinero, aunque solo sea para pernoctar. En la Figura 1, en orden del movimiento de las manecillas de reloj, se determinaron cuatro patrones de manejo pero esos patrones no correspondían a divergencias entre comunidades visitadas. Es decir, dentro de cada comunidad se distinguen diferentes formas de manejo y por tanto se requiere formular estrategias de mejoramiento de las prácticas de manera diferenciada. En otras palabras, el manejo depende de las personas a cargo y no exactamente del efecto comunitario ambiental. En consecuencia, deben diseñarse cursos de capacitación en manejo de gallinas de acuerdo a cada grupo de productores dentro de cada comunidad porque mantienen lógicas, creencias y aprendizajes diferenciales.

En cada comunidad se cuentan con grupos de hogares con manejo diferente en las gallinas y dependen de varios factores. Por ejemplo, el uso de gallinero o corral no necesariamente indica estabulización porque las gallinas se dispersan en el traspatio. Un cuello de botella entre hogares fue el manejo de enfermedades en aves desde las de tipo respiratorio, digestivo y la presencia de viruela aviar o *Newcastle*, principalmente. Esto como consecuencia de que los hogares no se hacen prácticas de prevención o bien utilizan remedios caseros semejante a lo reportado por Camacho-Escobar *et al.* (2008) y Portillo *et al.* (2015). Por tanto, en ciertos casos, cuando se presentan las enfermedades causan muerte total de la parvada, aspectos que también fueron documentados en otros trabajos (Albalat, 2011; Centeno *et al.*, 2007; Gutiérrez-Tray *et al.*, 2007)

Otro factor que es poco considerado por las familias en la prevención es el control de parásitos, debido a que rara vez ocasionan signos visibles en las gallinas y no ocasionan muertes pero si afectan el crecimiento y desarrollo. Por todo esto, se recomienda la desparasitación mediante productos farmacéuticos o extractos de plantas, con un enfoque de etnoveterinaria, debido a los recientes descubrimiento en plantas con propiedades desparasitantes en animales (Muñoz, 2004; Marín-Gómez y Benavides-Montaña, 2007). En forma complementaria a estos problemas bióticos, fueron notorias las deficiencias en balances nutricionales de las aves y como consecuencia retrasos en crecimiento y desarrollo para la obtención de huevo y carne. Aunque estas particularidades son propias del sistema.

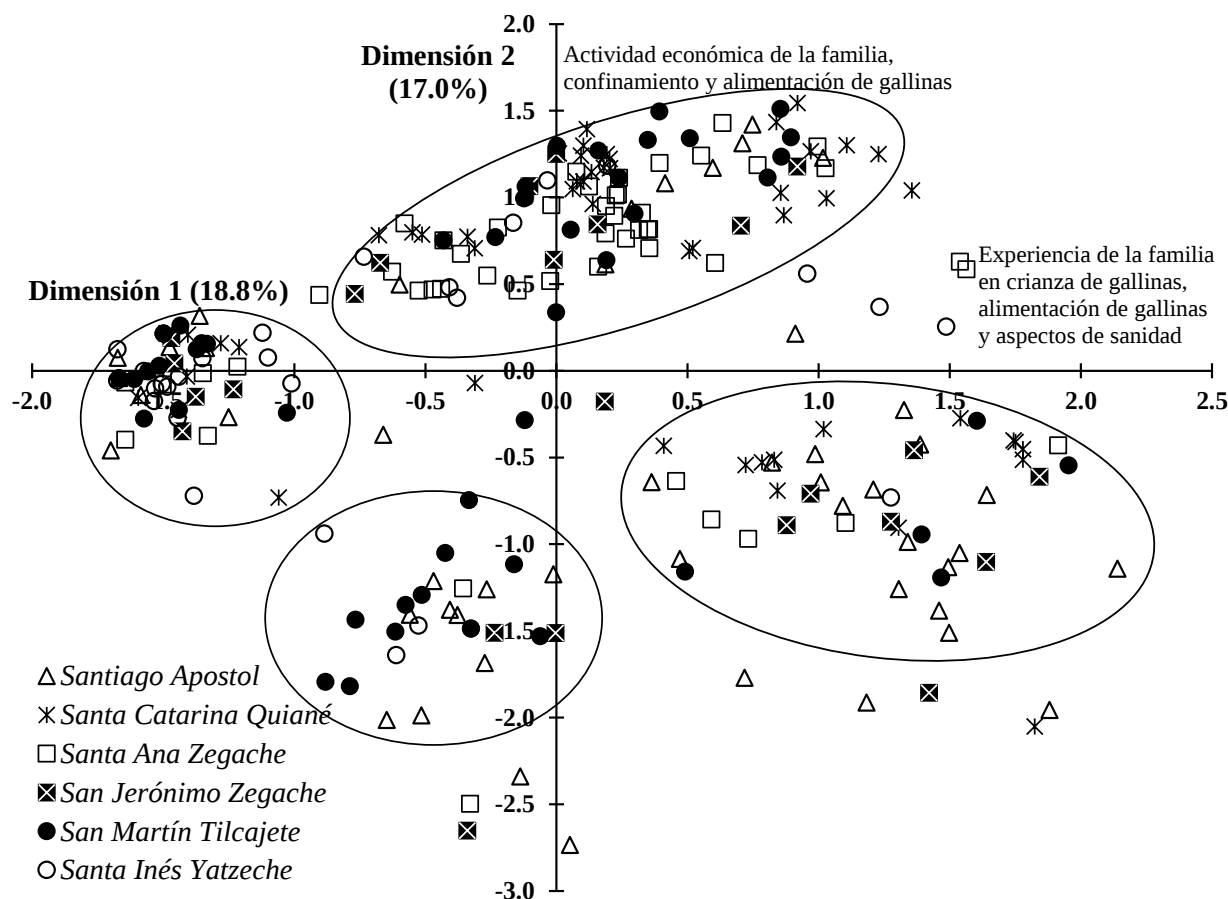


Figura 1. Dispersión de hogares con gallinas en función de las primeras dos dimensiones principales del análisis de correspondencia múltiple, con base en respuestas descriptivas de manejo en seis comunidades de los Valles Centrales de Oaxaca.

CONCLUSIONES

En este estudio se determinaron diferencias entre comunidades en relación al manejo de gallinas de traspatio pero aun dentro de cada comunidad fue diferencial el manejo entre vecinos e indican la presencia de grupos de productores a dentro de cada comunidad. La jefa de familia fue la principal responsable del manejo de gallinas y los principales problemas del sistema están asociados con la prevención o control de enfermedades o parásitos. Usan granos maíz quebrado como suplemento alimenticio, el que obtienen de sus parcelas de producción. Se produce huevo y carne principalmente para auto consumo, y por tanto se constituye como una fuente estratégica de acceso de alimento para la familia. Las principales características que diferencian a los hogares en el manejo de gallinas están relacionadas con su experiencia en la crianza de gallinas, actividad económica de la familia, fuentes de alimento para las gallinas y aspectos de zoonosarios.

LITERATURA CITADA

- Albalat, B. A. 2011. Factores que inciden en el manejo avícola familiar: el caso del hato de La Higuera, Puente Nacional, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Veracruz, México. 72 p.
- Antonio, J., S. Orozco y J. Ramírez. 2011. Contribución de la avicultura campesina en la disponibilidad alimentaria de familias indígenas del sureste mexicano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4: 69-78.
- Camacho-Escobar, M.A., I. Lira-Torres, L. Ramírez-Cancino, R. López-Pozos y L. Arcos-García. 2006. La avicultura de traspatio en la costa de Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* 28:3-11.
- Camacho-Escobar, M.A., J. Arroyo-Ledesma, Y. García-Bautista y E. Pérez-Lara. 2008. Medicina alternativa utilizada aplicada al guajolote nativo (*Meleagris gallipavo*) en la costa de Oaxaca. In: V Foro Interinstitucional Avances de la Investigación en Homeopatía Humana, Veterinaria y Agrohomeopatía, 26 de agosto de 2008, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Centeno B., S.B., C. A. López D. y M.A. Juárez E. 2007. Producción avícola familiar en una comunidad del municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla. *Técnica Pecuaria de México* 45:41-60.
- Guevara, H. F., C.A. Ramírez, N. Sanabria, A. Hernández, H. Gómez, R. Pinto, F.J. Medina. 2011. Gallinas de traspatio en la frailesca, Chiapas: ¿Una alternativa en tiempos de incertidumbre?. In: R. Perezgrovas, G. Rodríguez y L. Zaragoza (eds.), *El Traspatio Iberoamericano: Experiencias y reflexiones en Argentina, Bolivia, Brasil, España, México y Uruguay*. México. Instituto de Estudios Indígenas de la Universidad Autónoma de Chiapas y Red CONBIAND, San Cristóbal de las Casas, México. pp: 203-24.
- Gutiérrez-Tray, M. A., J. C. Segura-Correa, L. López-Burgos, J. Santos-Flores, R. H. Santos-Ricalde, L. Sarmiento-Franco, M. Carvajal-Hernández y G. Molina-Canul. 2007. Características de la avicultura de traspatio en el municipio de Tetiz, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 7: 217-224.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). 2015. Encuesta nacional de los hogares 2014: Oaxaca. Instituto Nacional de Geografía e Informática, Aguascalientes, México: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>.
- Jerez-Salas, M.P., M. Reyes-Sánchez, J.C. Carrillo-Rodríguez, Y. Villegas-Aparicio y J. Segura-Correa. 2009. Indicadores productivos de gallinas criollas en un sistema de producción avícola alternativo en Oaxaca, México. In: *Memorias del VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica: Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible*, 16-20 de septiembre, Murcia, España. pp:1-9.
- Juárez-Caratachea, A., R. Ortiz-Rodríguez, R.E. Pérez-Sánchez, E. Gutiérrez-Vázquez y D. Val-Arreola. 2008. Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*. 20: 21-26.
- Marín-Gómez, S.Y. y J. A. Benavides-Montaño. 2007. Parásitos en aves domésticas (*Gallus domesticus*) en el Noroccidente de Colombia. *Veterinaria y Zootecnia* 1:43-51.
- Muñoz, M. 2004. Evaluación del efecto de un desparasitante natural contra nemátodos de aves de

- traspatio, comparado con un desparasitante comercial, en la aldea el Paraíso, municipio de Palencia, Guatemala. Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 52 p.
- Portillo, S. R., I.Vázquez, F. Enríquez, F.A. Cigarroa y J.G. Herrera. 2015. Características del sistema de producción tradicional del guajolote local (*Meleagris gallopavo*) en comunidades rurales del norte de Puebla, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 6: 112-125.
- Ruiz, H., B. Ruiz y P. Mendoza. 2014. Caracterización del sistema de producción de aves de traspatio del municipio de Pantepec, Chiapas. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 4: 41-43.
- Sánchez-Sánchez, M. y J.A. Torres-Rivera. 2014. Diagnóstico y tipificación de unidades familiares con y sin gallinas de traspatio en una comunidad de Huatusco, Veracruz (México). *Avances en Investigación Pecuaria* 18:6-75.
- Segura-Correa, J. C., M.P. Jerez-Salas y L. Franco-Sarmiento. 2007. Indicadores de producción de huevo de gallinas criollas en el trópico de México. *Archivos de Zootecnia* 56: 309-317.
- SAS. 1999. *STAT Guide for Personal Computers*. 8th ed. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 1643.
- Vieyra, J., A. Castillo, H. Losada, J. Cortés, G. Alonso, T. Ruiz, P. Hernández, A. Zamudio y A. Acevedo. 2004. La participación de la mujer en la producción traspatio y sus beneficios tangibles e intangibles. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 53:9-23.

CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LAS GALLINAS CRIOLLAS EN COMUNIDADES DE OAXACA¹

[PHENOTYPIC AND PRODUCTION SYSTEM CHARACTERIZATION OF CREOLE HENS IN COMMUNITIES OF OAXACA]

Héctor Luis-Chincoya^{1§}, Martha Patricia Jerez-Salas², José Guadalupe Herrera-Haro³, Paula Mendoza-Nazar⁴

¹Maestría en ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados. ²Profesora-Investigadora del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca Ex-Hacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71230. ³Profesor-Investigador, Colegio de Postgraduados, RGP-Ganadería, Campus Montecillos. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México. ⁴Profesora-Investigadora de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNACH. [§]Autor para correspondencia: (hector_luis_16@hotmail.com).

RESUMEN

La conservación de gallinas criollas, es tradición en comunidades rurales de Oaxaca, debido a su importancia económica y social, además de formar parte de su cultura. Con el objeto de establecer una tipología de gallinas criollas, basada en rasgos zoométricos, incluyendo información del sistema de producción. Se tomó una muestra aleatoria de 80 gallinas adultas en los traspatios de comunidades de Oaxaca, en primera etapa de postura. La información fue analizada mediante análisis multivariado de Componentes Principales (CP) y análisis Cluster. Una alta correlación de peso con muslo y cresta. El análisis de Componentes principales, mostró tres componentes explicando el 70% de la variación total, el CP1 (47%) se relacionó con peso vivo y largo del muslo, el CP2 (15%) con altura y largo de cresta y el CP3 (9%) con ancho de orejuela y largo de cresta. El agrupamiento Cluster, mostró cuatro grupos tipológicos de gallinas criollas. El sistema de producción se presentó patrones de coloración negro, rojo, blanco, trigüeño y jaspeado, con plumaje normal y excepcionalmente con cuello desnudo. Con base en la información obtenida, servirán de base para una identificación molecular posterior.

Palabras clave: Componentes principales, rasgos zoométricos, tipología.

ABSTRACT

The conservation of native hen is tradition in rural communities in Oaxaca, because of its economic and social importance, besides being part of their culture. In order to establish a

¹ Recibido: 21 de mayo de 2016.
Aceptado: 13 de octubre de 2016.

typology of native hen, based on zoometric features, including information on the production system. A random sample of 80 adult hens in the backyards of communities of Oaxaca, in the first stage of stance was taken. The information was analyzed by multivariate Principal Component Analysis (CP) and cluster analysis. A high correlation of weight with thigh and crest. The principal component analysis showed three components explaining 70% of the total variation, the CP1 (47%) was associated with body weight and length of the thigh, CP2 (15%) with height and long crest and CP3 (9%) with width and length to orejuela crest. Cluster grouping, showed four typological groups of native chickens. The production system patterns of black, red, white, ruddy and mottled coloration, normal plumage with bare neck and exceptionally presented. Based on information obtained will serve as a basis for subsequent molecular identification.

Index words: Main components, biometric features, typology.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se manifiesta una gran preocupación por la conservación de los recursos genéticos, debido al transcurso de los años, éstos se han estado deteriorando al grado de desaparecer o estar en peligro de extinción. La FAO (2010) informa de las amenazas existentes en la pérdida de los recursos genéticos, volviéndose una preocupación mundial. Una de las razones de pérdida de diversidad, es la rápida expansión de la ganadería industrial (Leng, 2008), basada en un reducido número de razas y por otro lado, el aumento de la demanda mundial de leche, carne y huevos, además de las exigencias de obtener productos uniformes, ocasionando una gran dependencia de animales de alto rendimiento y explotados en forma intensiva, todo esto aunado al efecto que ejerce el calentamiento global en los recursos genéticos (FAO, 1995).

Las especie avícola de interés en la conservación son las gallinas (*Gallus gallus*), denominadas criollas, las cuales han evolucionado como resultado de la domesticación, selección y mejoramiento genético (Khobondo *et al.*, 2014), observándose una gran variación en características morfológicas y en sus parámetros productivos (Kingori *et al.*, 2007), y como resultado de su adaptación a las condiciones de rusticidad y ambientes difíciles (Flint y Woolliams, 2008; Apuno *et al.*, 2011).

La práctica de avicultura de traspatio es considerada una fuente de ingresos (Muchadeyi *et al.*, 2007), favorecida por un: ciclo reproductivo corto y bajo costo de los insumos usados en su alimentación, basado en conocimientos que los productores han adquirido a través de los años (Moreki, 2010) en comparación con otros animales de granja y gallinas de razas definidas (Haoua *et al.*, 2015), además de ser fuente de proteínas de alta calidad y proporcionar un ingreso adicional a las familias rurales (Guèye, 2009; Besbes *et al.*, 2012; Guni *et al.*, 2013).

Las gallinas criollas que se encuentran en los traspatios de las localidades rurales oaxaqueñas, poseen características como la cloquez, baja mortalidad y resistencia a los ambientes de las regiones, han sufrido una gran erosión genética debido a la importación de razas exóticas con una base genética muy estrecha, por medio de paquetes tecnológicos introducidos a las comunidades rurales (Juárez *et al.*, 2000; Segura Correa y Montes-Pérez, 2001). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue: Caracterizar el fenotipo y sistema de producción de gallinas criollas en poblaciones rurales de traspatio; en el ITVO y en la comunidad de Zompantle, Asunción Cacalotepec, Oaxaca, mediante la toma de información de las características cualitativas y caracteres zoométricos en cada gallina criolla.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante el periodo de Agosto a Diciembre de 2012, tomando medidas zoométricas en dos poblaciones de gallinas criollas: en el módulo de avicultura de traspatio del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO) y en la comunidad de Zompantle Asunción Cacalotepec Oaxaca.

Obtención del tamaño de muestra

El análisis del sistema de producción avícola, se realizó con un muestreo aleatorio irrestricto (MAI) (Sukhatme y Sukhatme, 1970) obteniendo una muestra aleatoria de 80 gallinas (70 hembras y 10 gallos), se consideraron como criterio a gallinas de primera etapa de postura, y gallos considerados como reproductores, por consiguiente; caracteres sexuales y ornamentos bien desarrollados.

Obtención de la información

La información del sistema de producción y zoometría de las aves colectada por medio de una encuesta directa para los responsables de las Unidades de Producción, incluyendo variables del sistema de producción familiar, tamaño de la parvada, manejo, reproducción, alimentación, alojamiento e instalaciones, además se midieron 19 características de tipo en cada gallina adulta.

Medición de caracteres morfométricos

Para la toma de las medidas morfométricas en cada gallina criolla se utilizó una báscula de reloj con capacidad de 10 kg (Marca torino), vernier digital (Stainless Steel) y cinta métrica. Las medidas fueron tomadas individualmente y anotadas en un formato, se consideraron variables para el sistema de producción, como cualitativas como tipo de cresta, color de plumaje y distribución de plumaje.

Variables cuantitativas

Considerando solo a los animales adultos, las medidas zoométricas consideradas fueron: Peso vivo (P) considerado en kilogramos, Altura dorsal (AD), Largo corporal (LC), Perímetro pectoral (PP), Largo del muslo (LM), Largo de la pierna (LP), Largo del tarso (LT), Largo de la ala (LA), Ancho de la ala (AA), Altura de la cresta (AC), Largo de la cresta (LCR), Largo de la orejuela (LO), Ancho de la orejuela (AO), Largo de la barbilla (LB), Ancho de la barbilla (AB), Largo del pico (LPI), Ancho del pico (API), Largo de la cabeza (LCA), Ancho de la cabeza (ACA) consideradas en centímetros.

Análisis estadístico

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos, correlación de Pearson. Realizando un análisis multivariado de Componentes Principales que permitió reducir el espacio multidimensional de variables morfométricas en un subconjunto de combinaciones lineales. Para lo anterior, se estandarizaron las variables para evitar los efectos de distintas escalas de cada variable. Únicamente los autovalores superiores a 0.4 fueron considerados. Posteriormente se desarrollaron agrupaciones jerárquicas basadas en el método del centroide más cercano. Todos los análisis fueron realizados usando el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del sistema de producción de las gallinas criollas

Instalaciones. Los gallineros en las comunidades, elaborados con malla metálica, techos comúnmente de lámina de zinc y percheros para descanso de las gallinas. El gallinero tiene un espacio de un metro cuadrado para un máximo de 2 a 6 gallinas, con la finalidad de evitar la competencia entre ellas, además de contar con percheros para el descanso de sus gallinas. El tipo de piso es de tierra (92%), permitiendo que sus gallinas tomen baños de tierra y solamente el 8% de las productoras tienen sus gallineros con pisos de concreto. Diversos recipientes de cocina, son utilizados como bebederos y recipientes de aluminio, cajones de madera, comederos especiales o pisos, como comederos.

Manejo. Las gallinas del ITVO se encuentran bajo un sistema semi-intensivo, que se tiene en el módulo de agricultura alternativa, el manejo es por pequeños grupos de gallinas, además de funcionar como centro de conservación, el apareamiento es natural no controlado y el método de incubación es artificial y natural. Mientras las gallinas de la comunidad de Zompante las gallinas tienen un manejo tradicional, el tipo de explotación es familiar, además de criar guajolotes en una menor proporción, no cuentan con asesoramiento técnico, el apareamiento es natural y la incubación es natural durante todo el año.

Alimentación. En las gallinas del ITVO su alimentación consiste básicamente en una dieta alternativa (balanceada) con 16% de proteína cruda, el cual contiene: 63% maíz, 21.5% de

cacahuete, 11.7% de alfalfa, 2.5% de carbonato de calcio y 1.3% son vitaminas y minerales, mientras a los pollitos se les ofrece alimento comercial de acuerdo a su etapa de crecimiento. En la comunidad de Zompantle las gallinas se alimentan básicamente de granos de maíz, así como de maíz nixtamalizado, y desperdicios de cocina, hierbas y pastos, por consecuencia no cubren sus necesidades nutricionales. A los pollitos antes de cumplir un mes de edad se les suministra alimento comercial. Los estudios con gallinas locales, realizados en Sudán (Khalafalla *et al.*, 2000), Botswana. (Badubi *et al.*, 2006), Etiopía (Letebrhan, 2015) y Kenia (Kingori *et al.*, 2007) utilizan sistemas de alimentación similares, complementados con productos de la región, cuyas dietas también presentan deficiencias nutricionales en su sistema de alimentación de la parvada.

Producción. En el ITVO la producción de huevos se destina en un 50:50 para venta e incubación, para venta son los que no cumplen con las normas de bioseguridad para incubación, obteniendo un 80% de eclosión, así como de instalaciones específicas y de acuerdo al número de individuos, las gallinas que ya terminan la postura se sacrifican y se vende la carne. La comunidad de Zompantle la principal finalidad es venta y cría de polluelos, considerando un factor importante el tamaño de los huevos, debido a que se obtienen polluelos más grandes, aunque la producción de pollitos de manera natural es baja debido a la presencia de depredadores.

Coincidiendo con el estudio realizado por Badubi *et al.*, (2006) en Bostwana, quienes mencionan que ellos observaron que la incubación de huevos más grandes produce polluelos más grandes, y el tamaño ayuda a soportar las duras condiciones impuestas por el sistema de producción y una mayor viabilidad del huevo. Sin embargo, resultados registrados en la India (Iqbal y Pampori, 2008) mostraron cifras de incubabilidad más bajas.

Sanidad. Las prácticas de prevención y programa de sanidad en la unidad de producción, son muy escasas. Con relación a la aplicación de vacunas, el ITVO solo mantiene un programa de vacunación, mientras la población de zompantle, la productora no aplican algún tipo de fármaco, debido a que no cuenta con un asesoramiento técnico relacionado al plan de vacunación, es común el usar plantas medicinales. Como consecuencia al deficiente plan de sanidad, presenta muerte de gallinas, estimando un número máximo de 5 gallinas/año, principalmente por diarrea y gripe, enfermedades que han sido reportado por otros investigadores (Letebrhan *et al.*, 2015, Haoua *et al.*, 2015).

Compra: La compra de animales se realiza de acuerdo a su etapa fenológica: el 80% prefiere comprar polluelos, considerando el proceso de adaptación al sistema de manejo, instalaciones, alimentación y ambiente prevaleciente en la unidad de explotación, lo cual coincide con lo informado por Ben Larbi *et al.*, (2013).

Tipo de cresta. El más común entre todos los individuos fue: la cresta de tipo simple, presentándose en menor proporción la cresta de tipo rosa de la población de gallinas del ITVO, y

de la población de Zompantle fue en su totalidad de cresta tipo simple, indicando que esta característica es de importancia visual en el sistema de producción.

Color del plumaje. En ambas poblaciones de gallinas criollas del ITVO y Zompantle; presentaron el color del plumaje muy variado. El más predominante en hembras son el negro, rojo, blanco, trigüeño, jaspeado y sus respectivas combinaciones.

Características cuantitativas de las gallinas criollas

Distribución de la población: En las dos poblaciones de gallinas criollas estudiadas, el género se presentó de la siguiente manera: en el ITVO con una predominancia de 67% hembras y 33% machos, mientras en la comunidad de Zompantle fue con una predominancia de 75% hembras y 25% machos.

Peso y medidas zoométricas: Para las hembras del ITVO, la media del peso fue de 1.93 kg y para los gallos una media de 2.72 kg. Los coeficientes de variación para el peso y largo del muslo, altura de la cresta, largo de la cresta, largo de la orejuela, ancho de la orejuela, largo de la barbilla y ancho de la barbilla, indican alta variabilidad entre gallinas del ITVO (Cuadro 1).

Las características cuantitativas de los gallos y las gallinas. En la población de gallinas criollas de la comunidad de Zompantle, se registró de acuerdo a los estadísticos descriptivos, el peso medio de 1.8 kg para hembras y para los gallos fue de 1.77 kg. Mientras que los coeficientes de variación para el peso y medidas de altura de la cresta, largo de la cresta, largo de la orejuela, ancho de la orejuela, largo de la barbilla y ancho del pico; indicando una alta variabilidad entre gallinas.

Estos resultados de los coeficientes de variación coinciden con los reportados por Zaragoza (2012), en un estudio de caracterización fenotípica de gallinas, realizado en la región de los altos de Chiapas, México. Los coeficientes de variación para el peso y las medidas de ancho y largo de cresta, longitud dorsal, así como ancho de pierna y longitud de tarso, indican alta variabilidad en la población.

El análisis de correlación de Pearson de las variables zoométricas, se presentan valores significativos ($p < 0.01$) se encontró que el peso tiene una alta correlación con largo de la cresta, largo de muslo y largo de barbilla. En el caso de largo de cresta tiene una alta correlación con largo de muslo y con largo de barbilla, y altura de la cresta tiene la más alta correlación con largo de la cresta (Cuadro 2).

Cuadro 1. Peso y medidas zoométricas de las gallinas del ITVO y Zompantle

Variable	Hembras (ITVO)		Machos (ITVO)		Hembras (Zompantle)		Machos Zompantle)	
	$\bar{y}$	C.V.	$\bar{y}$	C.V.	$\bar{y}$	C.V.	$\bar{y}$	C.V.
Peso (kg)	1.93	26.39	2.72	19.31	1.8	30.98	1.77	30.2
Altura Dorsal (cm)	26.5	11.67	31.2	13.1	27.6	6.75	28.5	7.61
Largo Corporal (cm)	41.7	8.12	49	9.13	44.4	3.6	45.92	8.94
Perímetro Pectoral (cm)	42.07	8.08	48.7	8.94	41	9.04	38.5	13.5
Largo del Muslo (cm)	11.95	18.05	15.1	9.48	12.3	12.13	12.08	11.8
Largo de la Pierna (cm)	14.21	8.44	17	9.3	14.6	8.71	14.83	13.1
Largo de Tarso (cm)	10.58	12.1	13.5	13.35	10.6	9.52	11.35	10.5
Largo del Ala (cm)	18.47	6.67	19.4	24.34	20	7.02	20.58	16.3
Ancho del Ala (cm)	9.49	14.63	13.42	22.39	10.5	9.39	10.83	9.08
Altura de la Cresta (cm)	2.27	40.67	4.54	35.02	2.24	31.71	4.17	26.8
Largo de la Cresta (cm)	4.94	24.7	8.4	34.74	4.71	25.51	8.67	28.5
Largo de la Orejuela (cm)	2.36	19.4	3.62	8.82	2.34	20.12	3.6	29.3
Ancho de la Orejuela (cm)	1.89	23.58	2.88	17.6	1.89	19.71	1.98	36.6
Largo de la Barbilla (cm)	2.17	29.33	6.72	24.98	2.08	27.81	3.93	41.3
Ancho de la Barbilla (cm)	2.58	20.42	5	29.43	2.85	15.98	4.07	21.3
Largo del Pico (cm)	3.37	11.38	4.2	15.52	3.56	6.31	4.02	7.46
Ancho del Pico (cm)	2.21	8.3	2.56	17.38	2.41	19.72	2.62	17
Largo de la Cabeza (cm)	4.21	6.87	4.54	27.84	4.29	11.96	4.8	9.77
Ancho de la Cabeza (cm)	3	9.51	3.38	9.21	3.24	8.45	3.32	6.15

Cuadro 2. Análisis de correlación de Pearson con caracteres zoométricos de gallinas criollas.

	P	LC	LM	LT	AC	LCR	LO	LB	AB
P ¹	1	0.63	0.81	0.72	0.35	0.45	0.36	0.62	0.45
LC ²		1	0.69	0.62	0.33	0.52	0.65	0.65	0.70
LM ³			1	0.77	0.24	0.39	0.34	0.60	0.48
LT ⁴				1	0.30	0.37	0.38	0.68	0.60
AC ⁵					1	0.92	0.63	0.67	0.51
LCR ⁶						1	0.75	0.70	0.58
LO ⁷							1	0.71	0.68
LB ⁸								1	0.86
AB ⁹									1

P¹=Peso, LC²=Largo de Cresta, LM³= Largo de Muslo, LT⁴= Largo de Tarso, AC⁵=Ancho de Cresta, LCr⁶= Largo de cresta, LO⁷= Largo de Orejuela, LB⁸=Largo de Barbilla, AB⁹=Ancho de Barbilla.

El análisis multivariado de componentes principales, se encontraron tres primeros componentes, donde estos explican el 70% de la variación total que hay entre las gallinas criollas: En el CP1 lo conforman las variables de peso, largo corporal, largo del muslo, largo de tarso, largo y ancho de la barbilla, es decir, estas características nos definen a las gallinas de acuerdo al tamaño y peso. El CP2 lo conforman las variables altura y largo de cresta, que nos indica el desarrollo normal de la cabeza del animal, en el CP3 lo conforman las variables: ancho de la orejuela y largo de la cabeza, indicando la conformación de la cabeza (Cuadro 3).

Cuadro 3. Autovectores correspondientes a los factores seleccionados.

Variablen	CP1	CP2	CP3
Peso (kg)	0.26	-0.21	-0.10
Largo Corporal (cm)	0.28	-0.03	0.13
Largo del Muslo (cm)	0.25	-0.27	-0.06
Largo de Tarso (cm)	0.27	-0.27	0.00
Altura de la Cresta (cm)	0.21	0.32	-0.17
Largo de la Cresta (cm)	0.24	0.30	-0.10
Ancho de la Orejuela (cm)	0.18	0.24	-0.29
Largo de la Barbilla (cm)	0.30	0.24	-0.16
Ancho de la Barbilla (cm)	0.27	0.24	-0.08
Largo de la Cabeza (cm)	0.19	0.24	0.36

CP1= Componente principal 1, CP2= Componente principal 2, CP3= Componente principal 3

El plano de la dimensionalidad de rasgos de las gallinas criollas se identificaron a dos grupos principales de acuerdo a los componentes principales de las variables zoométricas (Figura 1), el primer grupo se identificó como superior, el cual estuvo comprendido por animales con características de: mayor peso, extremidades más grandes (tarsos, largo de pierna, accesorios bien desarrollados), respecto a la media poblacional.

El segundo grupo estuvo conformado por gallinas, con un desarrollo corporal normal y un peso adecuado, respecto a sus magnitudes de las características zoométricas. Además, se identificaron animales con un peso bajo, esto se le atribuye a que no cumplen sus requerimientos nutricionales, esto por consecuencia influye en una pobre ganancia de peso, que ha condicionado su desarrollo.

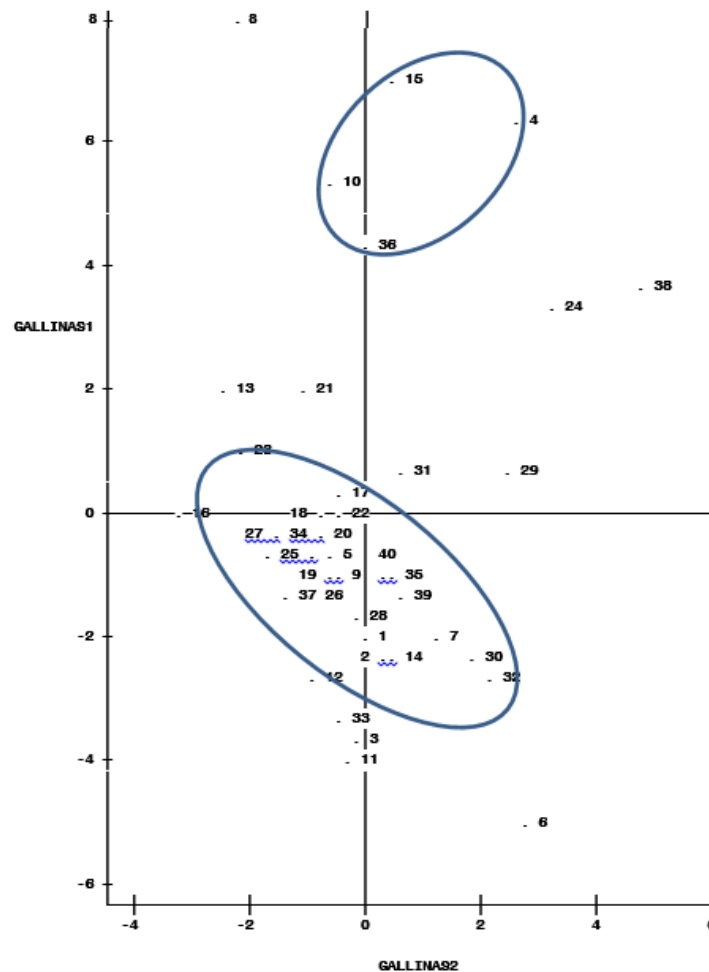


Figura 1. Dimensionalidad de las variables zoométricas de CP1 Y CP2.

En el análisis de agrupamiento de las gallinas criollas de acuerdo a las características zoométricas, se formaron cuatro grupos de acuerdo a una distancia euclidiana de 1.0 (Figura 2). El grupo más numeroso fue el uno, donde se concentró la mayor parte de los individuos, esto debido a que las variables tienen un rango de normalidad, es decir poseen un cuerpo más simétrico de acuerdo a la media poblacional. El grupo dos, está conformado por un individuo se diferencié, por poseer un largo del ala, largo de la cresta, y con un peso bajo con respecto al tamaño, es decir las extremidades son más grandes respecto al tamaño del cuerpo. El grupo tres se diferenciaron por tener un pico más largo y ancho, y ancho de la cabeza a las demás gallinas criollas, es decir la conformación de estas gallinas se debe a que fisiológicamente, cuando hay deficiencias de minerales, presenta un mayor crecimiento del pico.

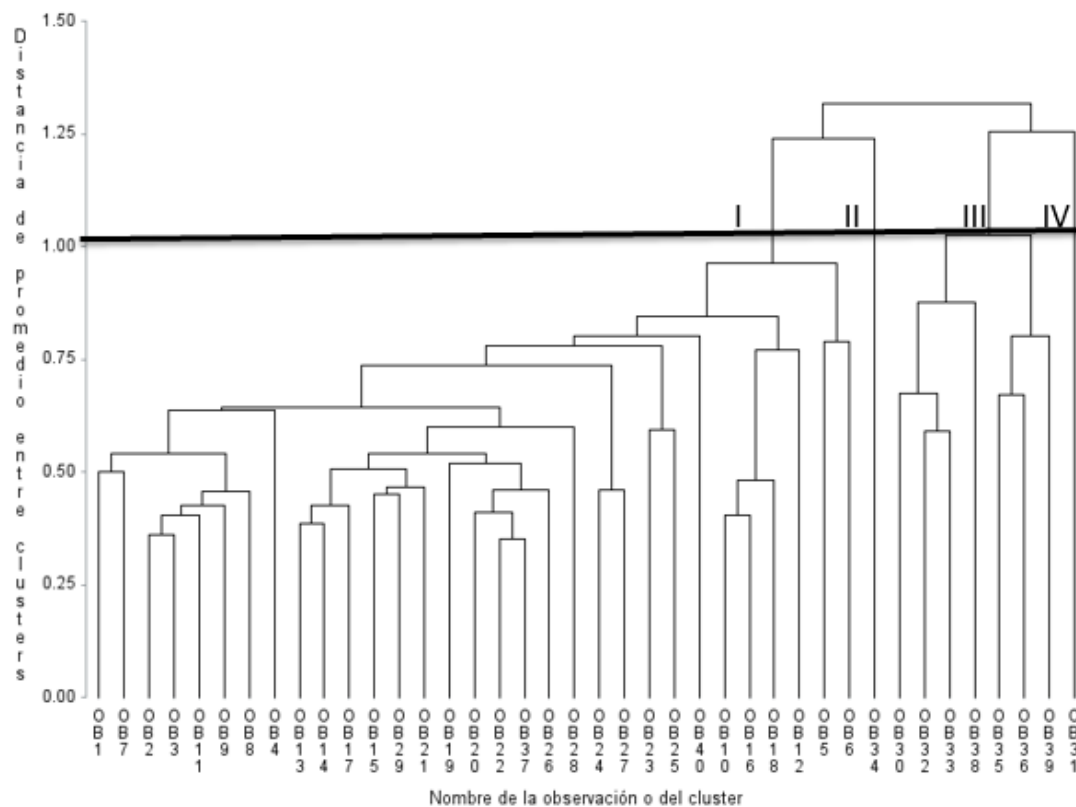


Figura 2. Agrupamiento cluster de las poblaciones de gallinas criollas.

En el cuarto grupo conformado por una gallina criolla, se caracterizó de acuerdo a su peso, registró el mayor peso del estudio, además de poseer orejuelas más grandes con respecto al promedio de las gallinas de este estudio.

CONCLUSIONES

El sistema de producción de gallinas criollas a pequeña escala, es enfocada al autoconsumo, las instalaciones, llamados gallineros presentan los requerimientos para su desarrollo en un ambiente adecuado para el alojamiento de las gallinas criollas, contando en su mayoría con techo y perchero, para el descanso de las gallinas. Las gallinas de ambas poblaciones presentan diferencias en características cuantitativas como son el peso vivo, largo y ancho de la cresta, largo y ancho de la orejuela, largo y ancho de la barbilla, indican una alta variabilidad entre los individuos. En el análisis multivariado, mostró que el tamaño, explicado por el peso, altura del animal, y la conformación de la cabeza, pueden ser los criterios para futuros estudios de tipología de gallinas criollas.

LITERATURA CITADA

- Apuno, A. A., S.T. Mbap and T. Ibrahim. 2011. Characterization of local chickens (*Gallus gallus domesticus*) in shelleng and song local government areas of Adamawa State, Nigeria. *Agriculture and Biology Journal of North America* 2(1): 6-14.
- Badubi, S. S., M. Rakereng and M. Marumo. 2006. Morphological characteristics and feed resources available for indigenous chickens in Botswana. *Livestock Research for Rural Development* 18: Article #3 <http://www.lrrd.org/lrrd18/1/badu18003.htm> (consultado 04/11/2015).
- Ben Larbi, M., N. M'hamdi and B. Haddad. 2013. Indigenous chicken production systems in villages in the south of Tunisia. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 25, Article #99. <http://www.lrrd.org/lrrd25/6/larb2506cit.htm> (consultado 04/11/2015).
- Besbes, B., O. Thieme, A. Rota, R. G. Alders, E. F. Guèye, V. Sandilands and P. Hocking. 2012. Technology and programmes for sustainable improvement of village poultry production. *In: Proceedings of the 30th Poultry Science Symposium, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, 2011*. CABI. pp. 110-127.
- FAO. 1995. Conservación de los recursos genéticos en la ordenación de los bosques tropicales. Serie Montes. Monografía No. 107. Roma: FAO. 37 p..
- FAO. 2010. Estrategias de mejora genética para la gestión sostenible de las Directrices de animales resources. FAO genética Producción y Sanidad Animal No. 3. Roma. (<http://www.fao.org/docrep/012/i1103e/i1103e00.htm>) (Consultado 10/11/15).
- Flint, A. P. F. and J. A. Woolliams. 2008. Precision animal breeding, *Phil. Trans. R. Soc. B*. 363: 573–590 doi:10.1098/rstb.2007.2171.
- Guèye, E. F. 2009. The role of networks in information dissemination to family poultry farmers. *World's Poult. Sci. J.* 65: 115-123
- Guni, F. S., A. M. Katule and P. A. A. Mwakilembe. 2013. Characterization of local chickens in selected districts of the Southern Highlands of Tanzania: II. Production and Morphometric traits. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 25, Article #190 <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/guni25190.htm> (Consultado 04/11/15).
- Haoua, M. T., C. T. Keambou, M. Y. Poutougnigni and Y. Manjeli. 2015. Characterisation of indigenous chicken production systems in the Sudano-sahelian zone of Cameroon. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 27, Article #30. <http://www.lrrd.org/lrrd27/2/haou27030.html> (Consultado 04/11/15)
- Iqbal, S. and Z. A. Pampori. 2008. Production potential and qualitative traits of indigenous chicken of Kashmir. Volume 20, Article #182. <http://www.lrrd.org/lrrd20/11/iqba20182.htm> (Consultado 04/11/15)
- Juárez, C. A., A. J. A. Manríquez y C. J. C. Segura. 2000. Rasgos de apariencia fenotipica en la avicultura rural de los municipios de la Ribera del Lago de Patzcuaro, Michoacan, Mexico. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 12, Article #5. <http://www.lrrd.org/lrrd12/1/jua121.htm> (Consultado 04/11/15)

- Khalafalla, A. I., S. Awad and W. Hass. 2000. Village Poultry Production in Sudan: Department of Microbiology, Faculty of Veterinary Science, University of Khartoum North, Sudan. <http://www-naweb.iaea.org/nafa/aph/public/9-village-khalafalla.pdf>. (Consultado 08/09/15).
- Khobondo, J. O., T. O. Okeno, G. O. Lihare, C. B. Wasike and A. K. Kahi. 2014. The past, present and future genetic improvement of indigenous chicken of Kenya. *Animal Genetic Resources*, p.125.
- Kingori, A. M., J. K. Tuitoek, H. K. Muiruri, A. M. Wachira and E. K. Birech. 2007. Protein intake of growing indigenous chicken on free-range and their response to supplementation. *International Journal of Poultry Science* 6: 617-621.
- Leng, R. A. 2008. Decline in available world resources; implications for livestock production systems in Asia. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 20, Article #8 <http://www.lrrd.org/lrrd20/1/leng20008.htm> (Consultado 07/03/2016)
- Letebrhan, G., M. Abera, B. Sandip, and B. Gebremedhn. 2015. Characterization of village chicken production system under traditional management in Gantaafeshum district of Eastern Tigray, Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 27, Article #179. <http://www.lrrd.org/lrrd27/9/gebr27179.html> (Consultado 07/03/2016)
- Moreki, J. C. 2010. Village poultry production in Serowe-Palapye sub-district of Botswana. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 22, Article #46. <http://www.lrrd.org/lrrd22/3/more22046.htm> (Consultado 07/03/2016).
- Muchadeyi, F.C., H. Eding, C. B. A. Wollny, E. Groeneveld, S.M.Makuza, R. Shamseldin, H. Simianer, and S. Weigend. 2007. Absence of population sub structuring in Zimbabwe chicken ecotypes inferred using microsatellite analysis. *Anim. Genet.* 38: 332-339
- SAS Institute. 2002. SAS/TAT User's Guide: Software version 9.0. Statistical Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA, 4424 p.
- Segura-Correa, J. C. y R. Montes-Pérez., 2001. Razones y estrategias para la conservación de los recursos genéticos animales. *Revista Biomédica* 2001 12:196-206.
- Soto, H. I. M., P. G. Zavala, C. H. Cano, y M. J. E. López. 2002. Análisis de dos poblaciones de gallinas criollas (*Gallus domesticus*) Utilizando RAPD's como marcadores moleculares. *Tec Pecu Méx* . 40(3): 275-283.
- Sukhatme, P. V. y B. V. Sukhatme. 1970. Sampling theory of surveys with application. ISU Press. Ames, Iowa. 452 p.
- Zaragoza, M. M. L. 2012. Caracterización fenotípica, producción y uso tradicional de gallinas locales en los altos de Chiapas. Tesis. Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. 155 p.

ACEITES ESENCIALES PARA CONTROLAR *Acanthoscelides obtectus* (SAY) Y *Sitophilus zeamais* (MOTSCHULSKY) PLAGAS DE GRANOS ALMACENADOS¹

[ESSENTIAL OILS FOR CONTROL OF *Acanthoscelides obtectus* (SAY) AND *Sitophilus zeamais* (MOTSCHULSKY) PEST OF STORED GRAINS]

Germán Chávez-Díaz¹, Ma. Elena Valdés-Estrada², María Candelaria Hernández-Reyes², Mirna Gutiérrez-Ochoa², María Guadalupe Valladares-Cisneros^{3§}

¹Estudiante de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa. Cuernavaca, Morelos. México. C.P. 62209. ²Laboratorio de Entomología. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI). Instituto Politécnico Nacional. Km 6, carretera Yautepec-Jojutla calle Ceprobi 8 Col. San Isidro Yautepec, Morelos. México. ³Laboratorio de Productos Fitoquímicos Activos. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa. Cuernavaca, Morelos. México. C.P. 62209. [§]Autor para correspondencia: (mg.valladares@uaem.mx).

RESUMEN

Se evaluaron los aceites esenciales (AE) de *Thymus vulgaris* (tomillo), *Origanum vulgare* (orégano) y *Mentha spicata* (menta), empleados individualmente a 5 y 10 $\mu\text{L g}^{-1}$ en su efecto repelente y la toxicidad por contacto sobre *Acanthoscelides obtectus* (plaga de frijol) y *Sitophilus zeamais* (plaga de maíz). El mayor efecto de repelencia (o índice de repelencia, IR) sobre *S. zeamais* fue con 5 $\mu\text{L g}^{-1}$ del AE de orégano (IR = 0.30), mientras que con el AE de tomillo a 10 $\mu\text{L g}^{-1}$ se alcanzó un IR = 0.77. Todos los AE empleados a las mismas concentraciones sobre adultos de *A. obtectus* mostraron IR más bajos. El 100% de toxicidad por contacto en contra de *S. zeamais* se obtuvo con el AE de orégano, produciendo una mínima emergencia de insectos adultos. La toxicidad por contacto en contra de *A. obtectus*, se logró con los AE de tomillo y orégano (100% de mortalidad). Mientras que el AE de menta a 5 $\mu\text{L g}^{-1}$ se obtuvo un 65% de mortalidad. Se concluye que los AE de tomillo, orégano y menta, presentaron actividad biológica como insecticidas con efectos de contacto y repelente para controlar adultos de plagas de granos almacenados *S. zeamais* y *A. obtectus*.

Palabras clave: *Acanthoscelides obtectus*, insecticidas naturales, plagas de granos almacenados, *Sitophilus zeamais*.

¹ Recibido: 25 de julio de 2016.
Aceptado: 21 de septiembre de 2016.

ABSTRACT

Essential oils (EO) of *Thymus vulgaris* (thyme), *Origanum vulgare* (oregano) y *Mentha spicata* (spearmint) were evaluated in individual form as repellent effect and toxicity at 5 and 10 $\mu\text{L g}^{-1}$ against *Acanthoscelides obtectus* () and *Sitophilus zeamais* (pest of corn). The best repellence effect (or repellence index, RI) against *S. zeamais* was oregano EO at 5 $\mu\text{L g}^{-1}$ with a RI = 0.30, meanwhile thyme EO produces a RI = 0.77 with 10 $\mu\text{L g}^{-1}$. All EO showed repellence activity against *A. obtectus*. The 100% of toxicity by contact against *S. zeamais* was with oregano EO and the emergencies of adult insects were minimum. The 100% of toxicity by contact against *A. obtectus* was obtained with thyme and oregano. Meanwhile, the spearmint EO at 5 $\mu\text{L g}^{-1}$ showed 65% of mortality. In conclusion, the three EO showed biological activity as insecticides with contact and repellent effects against adults of stored grain pests *S. zeamais* y *A. obtectus*.

Index words: *Acanthoscelides obtectus*, natural insecticides, pest of stored grain, *Sitophilus zeamais*.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los factores que interfieren en la calidad final de los granos almacenados, el ataque de plagas se destaca por ocasionar la mayor pérdida del producto. En América Latina, entre el 30 y 40 % de la producción de maíz se pierde durante su almacenamiento (Lagunes, 1994). En México los gorgojos causan del 30 a 40% de las pérdidas de frijol negro almacenado (García-Oviedo, 2007).

Sitophilus zeamais Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), mejor conocido como “gorgojo del maíz” es una de las plagas más importantes que atacan los granos almacenados en regiones tropicales (Airenilmir *et al.*, 2005; de Souza *et al.*, 2006). Es considerado una plaga primaria por atacar granos tanto en campo como en bodegas y su acción es más intensa es granos de maíz, pero también puede afectar sorgo, trigo, arroz y algunos productos industrializados secos (Rees, 1996).

El ciclo de vida de *Acanthoscelides obtectus* (Say), se completa en las semillas almacenadas, esta plaga se caracteriza por una alta capacidad reproductiva, lo que conduce a altos niveles de población en un periodo relativamente corto (Balachowsky, 1962). El daño económico causado por las larvas en desarrollo es muy importante, porque es cuando se alimenta intensamente del grano, perjudicando la viabilidad de la semilla y ocasionando el ingreso de patógenos (Ospina, 1981).

El frijol junto con el maíz, son los productos agrícolas que más se producen en el norte de Sinaloa, siendo los principales alimentos para los habitantes de esa región y de buena parte de nuestro país (Hernández-Guzmán y Carballo-Carballo, s. f.). El aumento de la demanda de alimentos, en función del crecimiento poblacional, exige el desarrollo y el perfeccionamiento de

nuevas técnicas de manejo de granos durante el almacenamiento. El control de *S. zeamais* en granos de maíz almacenado, ha sido comúnmente realizado a gran escala mediante la utilización de insecticidas sintéticos protectores y fumigantes en silos y bodegas de almacenamiento, principalmente con la aplicación de fosfato de aluminio, cuyo ingrediente activo es la fosfina. Otro tipo de control es a través de limpieza de paredes, pisos y techos de los sitios de almacenamiento con malatión o fenotritión en dosis de 1-2 mL L⁻¹ de agua (Franco, 1986). El control de *A. obtectus* se basa principalmente en la aplicación de insecticidas sintéticos en granos almacenados. Estos insecticidas son principalmente compuestos organofosforados y piretroides, y los residuos de una sola aplicación a menudo pueden evitar que los insectos se establezcan en el grano almacenado.

A pesar de ser eficiente y económico el uso de insecticidas sintéticos, esta medida de control puede provocar efectos indeseables, como intoxicaciones a los aplicadores, presencia de residuos tóxicos en los granos, aumento en los costos de almacenamiento y desarrollo de poblaciones resistentes (Guedes *et al.*, 1995; Silva, 2001; Tapondjou *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2003; Obeng-Ofori y Amiteye, 2005). Por lo que el uso de insecticidas de acción residual es cada vez menos deseable debido a la resistencia en los principales insectos (Pimentel *et al.*, 2007).

El deseo de los consumidores de un país libre de plaguicidas-producto ha conducido al resurgimiento del estudio y aplicación de los productos naturales de origen vegetal en el manejo de plagas en campo y en almacenamiento (Lorini y Galley, 1999; Ayvaz *et al.*, 2010), debido a que el uso de compuestos para la protección de cultivos, ha sido una de las técnicas más antiguas de la agricultura (Isman, 2006).

Se ha reportado que los aceites esenciales (AE) de especies vegetales pertenecientes a las familias: Meliaceae, Rutaceae, Verbenaceae, Asteraceae, Lamiaceae, y Piperaceae, presentan propiedades insecticidas en contra de plagas de importancia económica, como los Coleoptera (Aboua *et al.*, 2010, Ayvaz *et al.*, 2010, Saroukolai *et al.*, 2010). El empleo individual de los AE de *Origanum basilicum* L. y *Origanum gratissimum* L. (Lamiaceae) provocó la mortalidad del gorgojo *Callosobruchus maculatus* F., en granos almacenados. El efecto letal de los AE fue atribuido al contenido de carvacrol y timol (Sékou-Moussa *et al.*, 2001).

Los aceites esenciales de *Piper aduncum* y *Piper hispidinervum* (Piperaceae) fueron tóxicos por contacto, aplicación tópica y fumigación para adultos de *S. zeamais* (Estrella, 2006). Bittner *et al.* (2008) reportaron que el AE de *Origanum vulgare* en contra de *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) y *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae), mostró efecto insecticida que fue atribuido al contenido de eugenol. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad volátil, repelente y por contacto a nivel laboratorio de los AE de tomillo (*T. vulgaris*), orégano (*O. vulgare*) y menta (*M.*) en contra de *S. zeamais* y *A. obtectus*, plagas de granos almacenados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aceites esenciales

Los aceites esenciales utilizados fueron de tomillo, menta y orégano. Estos AE se adquirieron comercialmente en grado analítico de REASOL®.

Cría de insectos

Para la cría del insecto *Acanthoscelides obtectus* se utilizó como sustrato grano de frijol *Phaseolus vulgaris*, variedad flor de mayo. Para *Sitophilus zeamais* se empleó maíz pozolero *Zea mais* L., raza ancho, los granos fueron adquiridos en el Centro Comercial “Centenario” de Yautepec, Morelos. Los granos fueron limpiados y almacenados a -4°C por 48 h para inhibir la posible contaminación del grano por huevos y larvas (para la realización de los bioensayos). La identificación de los insectos fue realizada por el Dr. Luis Jorge Gutiérrez-Díaz, especialista independiente en insectos de granos almacenados.

Se depositaron individualmente 1,000 g de frijol y de maíz en recipientes de plástico de 2 L (17 cm de altura y 10 cm de diámetro). Se introdujeron 50 hembras y 50 machos de la generación F1, de cada una de las especies de insecto, obtenidos de grano de frijol y maíz contaminado, esto con la finalidad de iniciar la cría en laboratorio. El grano y los insectos se mantuvieron a temperatura ambiente de 27°C, 50 % de humedad relativa (HR) y fotoperiodo de 13:11.

Bioensayo de actividad volátil (toxicidad)

Discos de papel filtro de 2 cm de diámetro impregnados con AE en dosis de 5 y 10 µL, fueron colocaron en el interior de un vaso de precipitado de 10 ml. Este vaso fue colocado dentro de un frasco de vidrio más grande (250 mL) aproximadamente de 10 cm de altura por 5 cm de ancho, con tapón de rosca, el cual contenía 10 insectos de la especie a ensayar (Figura 1). Las evaluaciones de cada AE por dosis para cada insecto se realizaron tres repeticiones para cada una de las plagas y del AE. El control se preparó bajo las mismas condiciones pero libre de AE. Los experimentos se realizaron a temperatura ambiente $27 \pm 2^\circ\text{C}$, 50 % HR.



Figura 1. Dispositivo para el bioensayo de actividad volátil.

El porcentaje de mortalidad de los adultos por tiempo y acumulada se registró a las 2, 4, 6, 24, 48 y 72 h, los individuos inmóviles se consideraron muertos hasta después de haber sido estimulados con un pincel y si éstos continuaron inamovibles fueron retirados del contenedor.

Bioensayo de repelencia

La actividad repelente de los AE de tomillo, menta y orégano se realizó a través de la metodología de Mazzonetto y Vendramim (2003). Se elaboró el dispositivo ‘arena de libre elección’, formado por 5 cajas de plástico de 5.5 cm de diámetro, conectadas en forma diagonal a una placa central por mangueras plásticas de 10 cm de longitud formando una “X” (Figura 2).



Figura 2. Dispositivo arena de libre elección (Mazzonetto y Vendramim, 2003).

En la caja central, se depositaron 20 adultos de cada especie, en las cuatro cajas laterales se colocaron 10 g de maíz (o frijol), en dos placas diagonales se colocaron los AE a evaluar en concentraciones de 5 y 10 μ L, las otras dos placas estuvieron libres de AE (testigo). A las 24 h de establecido el bioensayo se contabilizó el número de insectos presentes por caja. Con los valores obtenidos se calculó el índice de repelencia (IR, Ec. 1) de acuerdo con Mazzonetto y Vendramim (2003) quienes clasifican a los tratamientos con actividad repelente si el IR es menor a 1, con actividad atrayente si el valor del IR es mayor a 1 y como neutro si el valor de IR es igual a 1.

$$IR = \frac{2G}{G+P} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde IR = índice de repelencia, G es el % de insectos en el tratamiento y P corresponde al % porcentaje de insectos en el testigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 1 y 2, se muestran los porcentajes de insectos de *A. obtectus* y *S. zeamaíz* muertos debido al efecto de cada AE, respectivamente, con respecto al tiempo. Con 10 μ L de AE

de se alcanzaron actividades tóxicas volátiles en contra del gorgojo del frijol (Cuadro 1). El AE de tomillo causó un porcentaje de mortalidad acumulada del 83% a las 2 h. El AE de menta causó la muerte del 99.3% de insectos murieran a las 24 h. El AE de orégano provocó a las 48 h que un 46.5% de insectos murieran.

Cuadro 1. Toxicidad volátil de aceites esenciales contra *Acanthoscelides obtectus*.

Aceite esencial	Dosis (μL)	Mortalidad de insectos (%)						Acumulada
		2 h	4 h	6 h	24 h	48 h	72 h	
Tomillo	5	6.6	16.6	16.0	23.0	10.0	23.0	95.8
	10	83.0	0	0	3.3	13.0	---	99.6
Menta	5	0	30.0	3.3	20.0	23.0	3.3	79.6
	10	0	3.3	3.3	93.0	0	---	99.6
Orégano	5	3.3	6.6	0	0	0	0	9.9
	10	0	3.3	0	16.6	26.6	0	46.5
Testigo	---	0	0	0	0	0	0	0

Para *S. zeamais* (Cuadro 2) 10 μL el AE de menta mostro toxicidad volátil, provocando que un 53.3 % de insectos murieran a las 24 h. El experimento del AE de tomillo produjo mortalidad acumulada para *S. zeamais* del 95.8 % cuando se emplearon 10 μL del AE.

Cuadro 2. Toxicidad volátil de aceites esenciales contra *Sitophilus zeamais*.

Aceite esencial	Dosis (μL)	Mortalidad de insectos (%)						Acumulada
		2 h	4 h	6 h	24 h	48 h	72 h	
Menta	5	10	ND	ND	66.6	6.6	10.0	93.2
	10	36.6	ND	ND	53.3	3.3	---	93.2
Tomillo	5	3.3	ND	ND	26.6	23.0	16.6	69.5
	10	16.6	ND	ND	36.0	26.6	16.6	95.8
Testigo	---	0	0	0	0	0	0	0

ND = No determinado.

Los resultados obtenidos son concordantes con reportes de la literatura, Shaaya *et al.* (2007) lograron controlar varias especies de gorgojos, tales como: *Rhyzoperta dominica* (pequeño barrenador de los granos); *Oryzaephylus surinamensis* (gorgojo dientes de sierra), *Tribolium castaneum* (gorgojo castaño de la harina) y *Sitophilus oryzae* (gorgojo del arroz), empleando AE de orégano (*Origanum* sp.), tomillo (*Thymus vulgaris*), laurel (*Laurus nobilis*), menta (*Mentha* sp.), romero (*Rosmarinus officinalis*), lavanda (*Lavandula* sp.), albahaca (*Ocimum basilicum*), mejorana (*Mejorana hortensis*), salvia (*Salvia officinalis*), y anís (*Pimpinella anisum*). En el mismo sentido se han observado que los aceites esenciales de romero, tomillo, albahaca y canela (*Cinnamomum* sp.) inhibían la reproducción de *Acanthoscelides obtectus* (gorgojo de las judías).

Efecto repelente

Los AE de tomillo (*T. vulgaris*), orégano (*O. vulgare*) y menta (*M. spicata*), presentaron efecto de repelencia en contra de *S. zeamais* y sobre adultos de *A. obtectus* (Cuadro 1). *S. zeamais* fue repelido con 5 µL/g de *O. vulgare* (IR = 0.30), mientras que con 10 µL/g del AE de *T. vulgaris* el índice de repelencia sobre *S. zeamais* fue de 0.77. Pizarro *et al.*, (2013) mencionan que *Peumus boldus* en polvo a baja concentración tiene efecto repelente sobre adultos de *S. zeamais*, argumentando que los adultos de *S. zeamais* son capaces de detectar AE a través del olfato, evitándolos cuando tiene oportunidad de escoger.

Cuadro 3. Índice de repelencia de Aceites Esenciales sobre adultos de *Sitophilus zeamais* y *Acanthoscelides obtectus*.

Tratamiento	<i>Sitophilus zeamais</i>		<i>Acanthoscelides obtectus</i>	
	Concentración (µL)	Índice de repelencia (IR)	Concentración (µL)	Índice de repelencia (IR)
<i>Thymus vulgaris</i> (Tomillo)	5	0.61	5	0.16
	10	0.77	10	0.13
<i>Origanum vulgare</i> (Orégano)	5	0.30	5	0.13
	10	0.60	10	0.10
<i>Mentha spicata</i> (Menta)	5	0.43	5	0.16
	10	0.48	10	0.35

IR=1 neutro, IR>1 atrayente, IR<1 repelente.

El AE de menta mostro un índice de repelencia de 0.16 cuando se empleó a una concentración de 5 µL/g. Sin embargo el AE de tomillo a una concentración de 10 µL/g ejerció efecto repelente sobre *A. obtectus* (IR = 0.13) y a la misma concentración el AE de orégano mostro un IR = 0.10. De acuerdo a Mazzonetto y Vendramim (2003); los valores de IR menores de 1, evidencian a las sustancias con mayor efecto repelente. Estos resultados concuerdan con los valores reportados en la literatura para otros AE, tal es el ejemplo de *Ricinus communis* el cual causo efecto repelente sobre adultos de *A. obtectus* (Mateeva *et al.*, 1997).

Los resultados sugieren realizar la identificación química, al menos, de los componentes mayoritarios de los AE Bioactivos para estos insectos plaga y de ser posible realizar la evaluación biológica en forma individual.

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*), orégano (*Origanum vulgare*) y menta (*Mentha spicata*) ejercieron un efecto repelente y efecto tóxico. Es notable considerar estos

efectos sobre insectos de granos almacenados como maíz y frijol, porque estos aceites esenciales (AE) podrán ser considerados como una alternativa de control sustentable sobre insectos plaga de granos almacenados, amigable con el medio ambiente.

LITERATURA CITADA

- Aboua, L. R., N. B. Seri-Kouassi, and H. K. Koua. 2010. Insecticidal activity of essential oils from three aromatic plants on *Callosobruchus maculatus* F., Eur J. Sci. Res. 39: 243-250.
- Airenilmair, A. L., L. R. da Silva, L. R. D'A. Faroni, R. N. C. Guedes, , J. H. Martins, and A. G. Pimentel. 2005. Modelos analíticos do crescimento populacional de *Sitophilus zeamais* em trigo armazenado. Engenharia Agrícola e Ambiental 10: 55-65.
- Ayvaz, A., O. Sagdic, S. Karaborklu, and I. Ozturk. 2010. Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. J. Insec. Sci. 10: 1-13.
- Balachowsky, A. S. 1962. Entomologie Appliquée à l'Agriculture. Tome I, Coléoptères. Masson, Paris, France. pp. 148-151.
- Bittner, M., M. Casanueva, C. Albert, M. Aguilera, V. Hernández and J. Becerra. 2008. Effects of essential oil from five plant species against the granary weevils *Sitophilus zeamais* and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera). J. Chil. Chem. Soc. 53: 1455-1459.
- De Souza, A. H., P. Borges, A. Da Costa, A. Soto and T. F. Consta. 2006. Desempenho de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) en diferentes variedades de maíz y condiciones atmosféricas. Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável 1(1): 20-25.
- Estrella, J. L. V. 2006. Toxicidade de óleos essenciais de *Piper aduncum* e *Piper hispidinervum* em *Sitophilus zeamais*. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41(2): 217-222.
- Franco, T. L. 1986. Insectos del frijol almacenado y su control. Disponible en línea, <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/70588>. Consultado, 22 Julio, 2017.
- García-Oviedo, J. A. 2007. Elabora IPN frijol instantáneo altamente nutritivo. El Universal, Nota periodística. Disponible, <http://archivo.eluniversal.com.mx/articulos/39081.html>, Consultado: 22 Julio, 2017.
- Guedes, R. N. C., J. O. L. Lima, J. P. Santos, and C. D. Cruz. 1995. Resistance to DDP and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae). Journal Stored Products Research 31: 145-150.
- Hernández-Guzmán, J. A. y A. Carballo-Carballo (s.f.) Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Ficha Técnica, Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural Pesca y aimentación (AGARPA). México, pp. 1-8.
- Isman, M. B. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology 51: 45-66.

- Lagunes, T.A. 1994. Extractos, polvos vegetales y polvos minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia. Memoria. Colegio de Postgraduados-USAID-CONACYT-BORUCONSA. Montecillo. Texcoco. México. p. 32.
- Lorini, I. and D. J. Galley. 1999. Deltametrin resistance in *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) a pest of stored grain in Brazil. *Journal of Stored Product Research* 35: 37-46.
- Mateeva, A., S. Stratieva and D. Andonov. 1997. The effect of some plant extracts on *Acanthoscelides obtectus* Say. *Med. Fac. Landb. Toeg. Biol. Wetensch.* 62:513-515.
- Mazzonetto, F. y J. D. Vendramim. 2003. Efeito de pós de origem vegetal sobre *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) em feijão armazenado. *Neotropical Entomology* 32: 145-149
- Obeng-Ofori, D. and S. Amiteye. 2005. Efficacy of mixing vegetable oils with pirimiphos-methyl against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky in stored maize. *Journal Stored Products Research* 41: 57-66.
- Ospina O, H. 1981. Principales insectos que atacan el grano de frijol almacenado. Cali, Colombia, CIAT. p. 29.
- Pimentel, M. A. G., L. R. D. Faroni, M. R. Tótolaand R. N. C. Guedes. 2007. Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. *Pest Management Science* 63(9): 876-881.
- Rees, D.P. 1996. Coleoptera. In *Integrated Management of Insects in Stored Products*. By Subramanyan, B. & Hagstrum, D.W. Volume 1. Marcel Dekker, New York. 426 p.
- Ribeiro, B. M., R. N. C. Guedes, E. E.Oliveira and J. P. Santos. 2003. Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 39: 21-31.
- Saroukolai, A., S. Moharramipour and M. H. Meshkatsadat. 2010. Insecticidal properties of *Thymus persicus* essential oil against *Tribolium castaneum*. *J. Pest Sci.* 83: 3-8.
- Sékou-Moussa, K., S. Jean-Pierre, A. John-Thorand A. Bélanger. 2001. Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab). (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.* 37: 339-349.
- Shaaya, E., A. Rafaeli. 2007. Essential oils as biorational insecticides potency and mode of action. In: *Insecticides design using advanced technologies*. By Ishaaya, I., R. Nauen, and A. R. Horowitz. Springer Berlin Heidelberg. pp. 249-261.
- Silva, G. A. 2001. Evaluación de polvos vegetales solos y en mezcla con inertes minerales para el combate de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en maíz almacenado: Tesis (Magíster en Ciencias), Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Texcoco. 75 p.
- Tapondjou, L. A., C. Alder, H. Bouda and D. A. Fontem. 2002. Efficacy of powder and essentials oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectant against six-stored product beetles. *Journal of Stored Products Research* 38: 395-402.

EXPOSICIÓN A MATERIA PARTICULADA Y DIÓXIDO DE CARBONO EN UN AMBIENTE UNIVERSITARIO EN VILLAHERMOSA, TABASCO¹

[EXPOSURE TO PARTICULATE MATTER AND CARBON DIOXIDE IN A UNIVERSITY CAMPUS IN VILLAHERMOSA, TABASCO]

Aurora Azharel Matías Velázquez¹, Paola De Jesús Torrez Cortés¹, Elizabeth Magaña Villegas^{2§}, Sergio Ramos Herrera², Jesús Manuel Carrera Velueta²

¹Tesista de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Carretera Villahermosa - Cárdenas Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya. CP. 86150. ²Profesor e Investigador – Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, Tabasco, México. azharelmat92@hotmail.com, cortes_pao@outlook.com, sergio.ramos@ujat.mx, jesus.carrera@ujat.mx, [§]Autor por correspondencia: (elizabeth.magana@ujat.mx).

RESUMEN

Los espacios interiores son lugares donde la población pasa en promedio más del 90% de su tiempo y donde pueden presentarse concentraciones de contaminantes mayores que en el ambiente exterior. La investigación se realizó en una institución educativa de Villahermosa, Tabasco. El objetivo fue medir las concentraciones de PM₁₀ y CO₂ en espacios interiores representativos (laboratorio, cubículo, oficina y aula) y analizar su relación con la humedad relativa y la temperatura. El muestreo se realizó de lunes a viernes de 10:00 h a 14:00 h durante una semana para cada espacio y de forma secuencial. Para determinar diferencias significativas entre los espacios muestreados y los días de muestreo se realizó un análisis de comparación múltiple con un nivel de confiabilidad del 95%. Como resultado, se observó que las concentraciones promedio horarias máximas se presentaron en el aula con 4203 ppm de CO₂ y 109 µg m⁻³ de PM₁₀, las concentraciones difieren con el día de la semana, el CO₂ se distribuyó diferente entre los espacios y los niveles de PM₁₀ en la oficina y el cubículo fueron similares, no así con el aula y el laboratorio. Las PM₁₀ en el aula se correlacionaron fuertemente con la temperatura interior, se ajustó un modelo cuadrático en la temperatura con un R² de 0.91. Se concluye que la calidad del aire con base en PM₁₀ fue buena y las concentraciones de CO₂, pudieran estar ocasionando disnea, dolores de cabeza, mareos, fatiga, entre otros a la comunidad académica. Es necesario establecer medidas preventivas de mejoramiento de la ventilación.

Palabras clave: Calidad del aire, contaminación en interiores, PM₁₀, CO₂.

¹ Recibido: 27 de septiembre de 2016.
Aceptado: 13 de octubre de 2016.

ABSTRACT

The interior spaces are places where the population remain about 90% of time. In these indoor spaces pollutant concentrations accumulate even higher than concentrations in outdoor environment. The aim of this research is to characterize the indoor air quality, based on measuring PM₁₀ and CO₂, in a representative space (laboratory, cubicle, office and classroom) in an educational institution at Villahermosa, Tabasco and analyze its relationship with the relative humidity and temperature inside. The measurements were performed on continuous sampling of 4 consecutive hours, Monday to Friday from 10:00 am to 2:00 pm for one week for each space and sequentially. To assess significant differences between sample spaces and sampling days multiple comparison analysis with a confidence level of 95% was performed. The results showed that the maximum hourly average concentrations are presented in the classroom with 4203 ppm CO₂ and 109 µg m⁻³ of PM₁₀ and concentrations vary with the day of the week. Spatial analysis concludes that CO₂ is distributed among different spaces and levels of PM₁₀ in the office and cubicle were similar, but not with the classroom and laboratory. In addition, PM₁₀ strongly correlated with the temperature inside but only in the classroom and a quadratic model in temperature was obtained with an R² of 0.91. It is concluded that concentrations of CO₂, mainly, may be causing affectations to the health of the academic community of the DACBiol. It is necessary to establish preventive measures to improve ventilation.

Index words: Indoor air quality, PM₁₀, CO₂.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha observado un gran avance industrial, aunado al crecimiento acelerado de la población y por consiguiente al aumento en la demanda de bienes y servicios; por ejemplo, el incremento en la cantidad de vehículos movidos por motores de combustión. Situación que genera exceso de contaminantes que provocan el deterioro de la calidad del aire (Sastre *et al.*, 2012) relacionado a problemas severos de salud en la población, tales como enfermedades respiratorias, cardiovasculares e inclusive cáncer. La exposición continua a moderados o altos niveles de contaminante por largos periodos de tiempo es un fenómeno cada vez más cotidiano. Se ha demostrado que la presencia de éstos contaminantes al interior de un edificio puede ser mayor que las concentraciones del aire exterior (Chen *et al.*, 2013; Vukovic *et al.*, 2014) y considerando que la vida actual favorece que las personas pasen la mayor parte del tiempo dentro de espacios interiores (Katsoyiannis & Bogdal, 2012; Branco *et al.*, 2014; Silva-Almeida *et al.*, 2014), la sociedad se ha vuelto más vulnerable. Por eso es importante evaluar la calidad de estos espacios.

Diversos estudios coinciden en que la contaminación del aire es más alta en interiores que en exteriores debido a factores como una ventilación inadecuada, el diseño de interiores, el material

del mobiliario y algunas actividades como limpiar y cocinar (Chen *et al.*, 2013; Vukovic *et al.*, 2014). La población más vulnerable son niños y adultos mayores. Para ésta población se han realizado estudios en guarderías, escuelas y asilos, donde se han encontrado concentraciones altas de material particulado en sus interiores e incluso con concentraciones por encima de los límites recomendados por la OMS (Branco *et al.*, 2014; Jovanović *et al.*, 2014; Silva-Almeida *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos en las investigaciones muestran que el aislamiento, el aumento de la hermeticidad de los edificios residenciales, el uso de materiales sintéticos para la decoración de paredes y muebles, el cierre de las puertas y ventanas durante la noche, conduce a un aumento global de la media de la exposición de la población y en consecuencia efectos negativos de salud (Katsoyiannis & Bogdal, 2012; Gao *et al.*, 2014; Gens *et al.*, 2014).

Los factores principales que afectan a la calidad del aire en ambientes cerrados son: 1) una ventilación inadecuada, debida generalmente por un suministro insuficiente de aire limpio, un alto nivel de recirculación, una ubicación incorrecta de los puntos de ventilación, una distribución deficiente que deja zonas no ventiladas y una falta de mantenimiento o diseño incorrecto de los sistemas de filtrado y condiciones meteorológicas extremas o fluctuantes; 2) la contaminación interior, la cual puede tener como origen: a las personas y las actividades que ahí se realicen, como la utilización inadecuada de productos (pesticidas, desinfectantes, limpieza, abrillantado), a los gases de combustión (fumar, cafeterías, laboratorios); y 3) la contaminación exterior debida a la entrada en el edificio del humo de escape de vehículos, gases de combustión en procesos industriales, productos utilizados en trabajos de construcción y mantenimiento (asfalto, por ejemplo) entre otros.

El aire interior de una vivienda o edificio no debe contener contaminantes en concentraciones superiores a aquellas que puedan perjudicar la salud y deberá mantener una armonía de factores térmicos, acústicos, luminosos y del aire que se respira, que no ha de suponer peligro para la salud o que pueda causar malestar a sus ocupantes (Carazo *et al.*, 2013). En ese sentido, el CO₂ se ha establecido como un parámetro fundamental para establecer la calidad del aire interior. Cuando los niveles de CO₂ exceden de 800 a 1200 ppm en áreas interiores, muchas personas comienzan a experimentar incomodidad, dolores de cabeza, cansancio y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición, estos síntomas se agravan en el caso de los niños y se producen quejas de “ambiente cargado” (Marta *et al.*, 2010). Los efectos más graves se producen a partir de 5000 ppm, donde pueden producirse incluso desvanecimientos. El CO₂ en concentraciones muy elevadas conduce a la asfixia por desplazamiento del oxígeno. Una excesiva exposición (concentración superior a 30000 ppm) puede afectar al cerebro y causar dolor de cabeza, falta de concentración, mareos, problemas respiratorios. La sociedad estadounidense de ingenieros en calefacción, refrigeración y aire acondicionado (ASHRAE), en su estándar 62-200, recomienda una concentración de dióxido de carbono máxima de 1000 ppm para lograr un mínimo confort, en el bien entendido de que esta concentración no representa ningún peligro para la salud. De igual forma, la normatividad

Europea, EN-15251:2012, establece para un tiempo de exposición de 1 hora un valor máximo de 1000 ppm.

Con respecto a los contaminantes presentes en el aire interior, el material particulado se consideran entre las que tienen mayor impacto sobre la salud. Para evaluar la calidad del aire interior con relación a las partículas cuyo diámetro aerodinámico es menores o iguales a 10 micras (PM_{10}), se recomienda como referencia el valor especificado en el Estándar de Calidad de Aire Ambiental Nacional (NAAQS, por sus siglas en inglés) de la EPA (2014) que establece un límite máximo permisible de PM_{10} en el interior no mayor a $50 \mu g m^{-3}$ en una hora. Aunque en México no existen normas para la calidad del aire interior se puede usar como valor de comparación el límite máximo permisible de $75 \mu g m^{-3}$ en un promedio de 24 horas especificado en la NOM-025-SSA1-2014 ya que la OMS recomienda aplicar en los espacios interiores las mismas normas de material particulado para el aire ambiente (Branco *et al.*, 2014).

Existe preocupación por la calidad del aire interior en los edificios de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Prueba de ello es el estudio conducido por González-Sánchez (2014) en el que determinó la concentración en el aire interior de aeropartículas fúngicas (constituidos por esporas y segmentos de hifas) en ocho salones de clases, un auditorio, la biblioteca y pasillo de los laboratorios de docencia de la DACBIOL. La importancia de estas aeropartículas radica en que dependiendo de su densidad en el aire y tiempo de exposición causan una amplia gama de enfermedades respiratorias como asma, bronquitis crónica, y rinitis alérgica entre otras. Dos salones de clases obtuvieron la mayor concentración de Unidades Formadoras de Colonia (UFC), 828 y 770 UFC m^{-3} . Como estos niveles no rebasaron los 1000 FC m^{-3} , el estudio concluyó que en todos los salones muestreados el aire estaba en un nivel saludable. Gamboa *et al.* (2005) evaluaron los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ y CO_2 en el interior de edificios de la DACBIOL con la finalidad de caracterizar el grado de exposición en ambientes cerrados de la comunidad académica.

Los muestreos se realizaron durante una hora en cada sitio. Como resultados importantes determinaron que el 50% de los sitios muestreados, presentaron niveles de CO_2 superiores a los 1000 ppm, alcanzando los 4495 ppm en la cafetería, mientras que en el caso de $PM_{2.5}$, los niveles fueron bajos (de entre 0.002 a 0.033 $\mu g m^{-3}$). Debido a que la escuela se ubica en la intersección de dos carreteras, la primera de ellas, la carretera Villahermosa-Coatzacoalcos tiene un alto flujo vehicular. La segunda carretera, Bosques de Saloya, tiene menos flujo vehicular que la anterior. Ambas vías constituyen una fuente generadora de contaminantes de aire, PM_{10} entre otros, y debido a la dispersión de los vientos pudieran contribuir a altas concentraciones de dichos contaminantes en los espacios interiores de la institución. Además, geográficamente la DACBIOL se ubica frente a un estacionamiento particular de vehículos pesados, principalmente, para carga y descarga. Por lo anterior, se requiere una evaluación de la calidad del aire que considere periodos de tiempo más prolongados y un estudio de su relación con las variables ya que muchos de los

salones, a la fecha, solo se ventilan de manera natural, otros solo tienen clima para enfriar el aire del interior y no un sistema de ventilación que movilice el aire de interior.

El objetivo de este trabajo fue medir las concentraciones de PM_{10} y CO_2 en cuatro espacios interiores representativos (laboratorio, cubículo, oficina y aula) de la DACBIol que pertenece a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, comparar las mediciones con los criterios existentes y analizar su relación con la humedad relativa y la temperatura del interior.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la DACBIol que se localiza a 17°59'26" latitud Norte y 92°58'37" longitud Oeste. El clima en esta zona es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano, con una temperatura media anual de 33.6 °C, la temperatura máxima promedio es de 40 °C en el mes de mayo y la mínima promedio mensual de 21.7 °C en los meses de diciembre y enero. Tiene una precipitación pluvial anual de 2.237 mm y vientos dominantes en dirección del noreste, acompañados de lluvias continuas en los meses de octubre y marzo. Se ubica en la carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5 s/n, entronque con carretera Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco (Figura 1). La carretera Villahermosa-Cárdenas es una autopista federal de cuatro carriles y dos sentidos de circulación, con un flujo de autos mayor a 5 000 vehículos por día que se clasifican entre vehículos ligeros, medianos y pesados. La carretera Bosques de Saloya es de tipo arterial de dos carriles, un carril por sentido de circulación, con un flujo de autos menor a 1 000 vehículos por día y transitan principalmente motocicletas y vehículos con características de ligeros y medianos. Además, al inicio de la carretera se ubica una unidad de verificación donde arriban vehículos pesados.



Figura 1. Localización de la División Académica de Ciencias Biológicas.

Toma de datos y análisis estadístico

Se midió la concentración de PM₁₀ y CO₂ en cuatro ambientes interiores representativos de las actividades que se llevan a cabo en la DACBiol: 1) laboratorio de remediación de suelos (LR), 2) cubículo de profesores (CUB), 3) oficina de servicios escolares (SE) y 4) un aula de clases (F08). El periodo de monitoreo abarcó del 9 de junio al 2 de julio de 2015 y cada espacio se monitoreo durante una semana, de lunes a viernes de 10:00 h a 14:00 h, pero no de modo simultáneo debido a que solo se contó con un equipo de monitoreo. El muestreo se realizó con un equipo portátil modelo EVM-07 de muestreo continuo a intervalos de cinco minutos.

Simultáneamente se llevó un registro de las actividades realizadas durante el periodo de muestreo (entrada y salida de estudiantes, cantidad de estudiantes presentes, hora y duración de la limpieza) con el propósito de describir su efecto en la variación de la concentración. También se calcularon las concentraciones horarias de PM₁₀ y CO₂ y se evaluó la calidad del aire tomando como referencias el estándar establecido por la EPA en los NAAQS, la NOM-025-SSA1-2014 y los criterios de la ASHRAE.

A partir de los promedio horarios, se analizó la correlación entre la concentración (la variable de respuesta) y las variables regresoras: temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Se ajustaron inicialmente modelos de regresión lineal múltiple de la forma (1) considerando solo las variables regresoras que se correlacionaron significativamente con la concentración. La adecuación general del modelo se evaluó mediante la prueba de la significancia de la regresión (2 a, b, c), donde F_o es el estadístico de prueba, SS_R es la suma de cuadrados debido a la regresión, SS_{Res} es la suma de cuadrados de residuales, n es el tamaño de la muestra y k es el número de regresoras que aparecen en el modelo. Otros criterios fueron el coeficiente de determinación múltiple ajustado, R^2 y la prueba sobre los coeficientes individuales de la regresión (Montgomery *et al.*, 2001). Finalmente, mediante un análisis de comparación múltiple y por pares (las pruebas de Kruskal-Wallis y Wilcoxon), con un nivel de confiabilidad del 95%, se comprobó si las concentraciones medidas difieren entre espacios (Hollander *et al.*, 2014).

$$C_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k (\beta_j x_{ij} + \alpha_j x_{ij}^2) + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j>i}^k \gamma_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$H_o: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \alpha_k = 0 \quad (2a)$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ al menos para una } j \quad (2b)$$

$$F_o = \frac{SS_R/k}{SS_{Res}/(n-k-1)} \quad (2c)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación de niveles de CO₂ y PM₁₀ en la DACBiol

Para el análisis del comportamiento de CO₂ y PM₁₀ se identificaron patrones. En la Figura 2 solo se muestran el comportamiento de la concentración promedio de cinco minutos de CO₂ observado un día de la semana en cada espacio de estudio que representa dicho patrón. En el LR la concentración inicial el 12 de junio fue de 727 ppm y fue incrementando gradualmente con la llegada de más ocupantes del laboratorio, finalizando en 1309 ppm. Este comportamiento de aumento gradual fue típico los otros días de monitoreo, donde el nivel más bajo registrado de CO₂ fue de 680 ppm. En CUB la concentración inicial el 16 de junio fue de 1271 ppm y la final de 916 ppm. Los otros días observaron un comportamiento semejante registrándose un mínimo de 613 ppm. En SE la concentración inicial el 23 de junio fue de 727 ppm y la final de 976 y durante los otros días de monitoreo se registró un mínimo de 547 ppm. En el aula F08 la concentración inicial el 2 de julio fue de 729 ppm y la final de 459 ppm; sin embargo a las 11:45 h de la mañana alcanzó un máximo de 4975 ppm. El comportamiento se debió a que de 10:00 h a 12:00 h el aula fue utilizada en una clase y posteriormente el grupo fue disminuyendo hasta las 12:30 h donde se retiraron por completo.

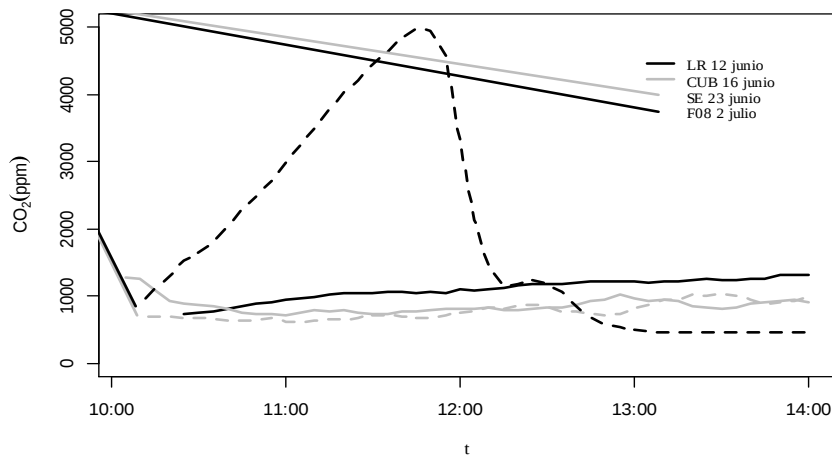


Figura 2. Comportamiento de la concentración promedio de 5 minutos de CO₂.

La Figura 3 muestra el comportamiento típico de la concentración promedio de cinco minutos de PM₁₀ un día representativo de la semana en cada espacio de estudio. En el LR la concentración inicial medida el 12 de junio fue de 3 $\mu\text{g m}^{-3}$ y la final de 2 $\mu\text{g m}^{-3}$. En general las concentraciones medidas los otros días fueron bajas, llegando a un máximo de 15 $\mu\text{g m}^{-3}$. En el CUB la concentración inicial medida el 16 de junio fue de 35 $\mu\text{g m}^{-3}$, que aumentó rápidamente a 98 $\mu\text{g m}^{-3}$, que fue el máximo observado y finalizó en 15 $\mu\text{g m}^{-3}$. El máximo observado coincidió con la actividad de limpieza que se llevó a cabo. Incluso este efecto se observó en los registros el día 18 de junio con un máximo de 192 $\mu\text{g m}^{-3}$. Estos picos se esperaban ya que la actividad de

sacudir y caminar, genera corrientes de aire que eleva los niveles de partículas (Ferro *et. al.*, 2004). Fuera de esos picos las concentraciones de 5 minutos oscilaron alrededor de $18 \mu\text{g m}^{-3}$. Una vez terminadas las actividades de limpieza, en ambos casos, se observó que los niveles de PM_{10} tardaban aproximadamente una hora en bajar a su valor de fondo, unos $18 \mu\text{g m}^{-3}$ que es el valor promedio exceptuando estos picos. En SE la concentración inicial el 23 de junio fue de $27 \mu\text{g m}^{-3}$ y la final de $32 \mu\text{g m}^{-3}$. Este día fue un comportamiento extraordinario, los otros días la concentración osciló alrededor de $20 \mu\text{g m}^{-3}$. En el aula F08 la concentración inicial el día 2 de julio fue de $33 \mu\text{g m}^{-3}$ y la final de $25 \mu\text{g m}^{-3}$; sin embargo los datos recopilados indicaron que el día 29 de junio se registró un comportamiento extraordinario de estas concentraciones con un máximo de $137 \mu\text{g m}^{-3}$ alrededor de las 10:30 de la mañana, justamente al inicio de la clase del día. R. Goyal y M. Khare en 2010 corroboraron en un estudio realizado en un edificio escolar en la India, que las concentraciones más altas en el interior se debieron principalmente a las actividades de sus ocupantes.

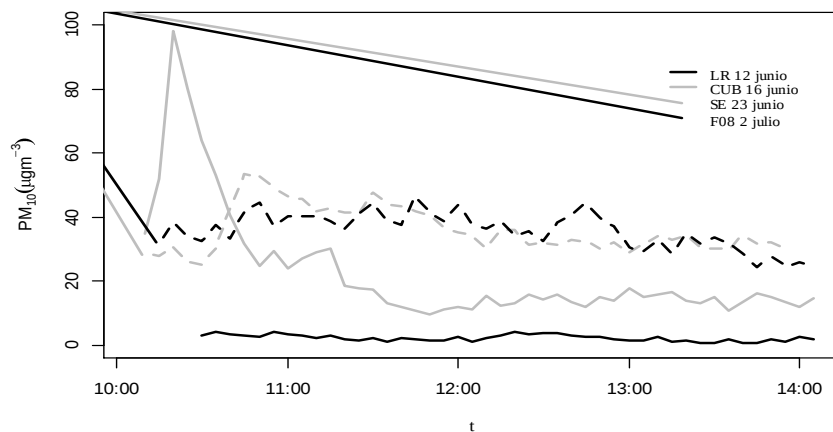


Figura 3. Comportamiento de la concentración promedio de 5 minutos de PM_{10} .

El Cuadro 1 muestra el resumen de estadísticos por contaminante y por espacio de muestreo, donde las concentraciones de CO_2 y PM_{10} están en ppm y $\mu\text{g m}^{-3}$ respectivamente. En general las medidas de tendencia central de las PM_{10} (media y mediana) están por debajo de los $50 \mu\text{g m}^{-3}$ que establece la EPA en los NAAQS. Con relación a los máximos observados, CUB y F08 están por arriba de los que establece la EPA y en el caso de F08 aun por arriba de lo que establece la NOM-025-SSA1-2014, $75 \mu\text{g m}^{-3}$. Hay que señalar que estos máximos se presentaron durante la hora de la limpieza, donde la cantidad de personas es mínima. Los niveles de CO_2 en CUB y SE están por debajo de lo recomienda la ASHRAE, 1000 ppm; pero en LR el máximo si excedió este valor en algún momento. El caso crítico fue el aula F08 porque sus niveles de CO_2 si excedieron este criterio de referencia, indicando que no se dan las condiciones mínimas de confort, aunque este espacio esta climatizado. Otros autores han reportado niveles de CO_2 mayores a 1000 ppm en salones de clase ventilados naturalmente indicando una tasa de ventilación inadecuada

(Santamouris, *et al.*, 2008; Almeida *et al.*, 2011). En el ASHRAE Standard 62-2001 se recomienda una aportación de aire fresco mínima de $25.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ por persona para aulas de clase y $34 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para oficinas. Este estándar recomienda también aumentar dichos volúmenes cuando hay problemas de mezcla del aire en la zona de respiración o fuentes inhabituales de contaminación

Cuadro 1. Resumen de estadísticos de la concentración horaria de CO_2 y PM_{10} .

Sitio	Parámetros	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación
LR	CO_2	734	1249	981	970	155
	PM_{10}	1	13	4	3	3
CUB	CO_2	647	984	802	811	109
	PM_{10}	12	65	24	19	16
SE	CO_2	585	954	717	682	105
	PM_{10}	1	42	20	20	15
F08	CO_2	462	4203	1889	1682	1083
	PM_{10}	19	109	43	36	25

Los resultados del análisis de correlación (Cuadro 2) muestran que la concentración de CO_2 en LR se asoció negativamente con la humedad relativa del interior y positivamente con la radiación solar; mientras que en F08 se asoció positivamente solo con la temperatura interior. Sin embargo los modelos propuestos para explicar la concentración de CO_2 no pasaron la prueba de la adecuación general del modelo. En SE las PM_{10} se asociaron negativamente con la humedad relativa interior, la temperatura interior y la velocidad del viento; sin embargo solo el modelo (3) con la humedad relativa como variable regresora pasó las pruebas de adecuación general con $F_o=22.7$ y $R^2=0.69$. En la figura 4 se muestra el modelo ajustado, los límites de confianza (LC) superior e inferior y los valores observados (Obs) de las PM_{10} en SE. En F08 las PM_{10} se correlacionaron positivamente con la temperatura interior. En este caso el modelo más adecuado fue un polinomio de segundo orden en la temperatura (4) con un $R^2=0.91$ y $F_o=87.3$ (Figura 5).

Se han ajustado modelos de regresión lineal para explicar la concentración en el aire interior en función solo de la concentración del aire exterior y para diferentes rangos de tamaño de partícula (Kang *et al.*, 2006) y aunque es cierto que la concentración del aire exterior tiene efecto sobre el aire interior, en este estudio no fue posible medir de manera directa la concentración de partículas PM_{10} del exterior, por lo que se optó por obtener modelos en función de la temperatura y humedad relativa del interior, ya que son variables fáciles de determinar. También se analizó la correlación con la temperatura y humedad del exterior (Cuadro 2) pero no se encontró ninguna correlación en el periodo de estudio.

$$C_{SE} = 161.9836 - 2.8331 * HR_{SE} \quad (3)$$

$$C_{F08} = 14200.989 - 1129.519 * T_{F08} + 22.499 * T_{F08}^2 \quad (4)$$

Cuadro 2. Resumen de coeficientes de correlación de Spearman.

Sitio	Parámetros	HRi	Ti	HRe	Te	VV	DV	RS
LR	CO ₂	-0.69*	0.48	-0.45	0.45	0.29	0.28	0.54*
	PM ₁₀	0.42	-0.18	-0.05	0.06	0.34	0.03	0.07
CUB	CO ₂	0.34	0.34	-0.05	0.05	-0.48	-0.53	0.01
	PM ₁₀	-0.03	-0.35	-0.25	0.15	0.34	-0.16	-0.17
SE	CO ₂	-0.19	-0.23	-0.39	0.37	-0.49	-0.48	0.19
	PM ₁₀	-0.87*	-0.67*	-0.26	0.23	-0.81*	0.56	-0.10
	HRi	-	0.82			0.87*		-
	Ti	-	-			0.60*		-
F08	CO ₂	0.33	0.59*	-0.12	0.18	-0.05	0.21	-0.31
	PM ₁₀	0.25	0.87*	0.08	-0.04	-0.43	0.17	-0.45

*significativo al nivel 5%

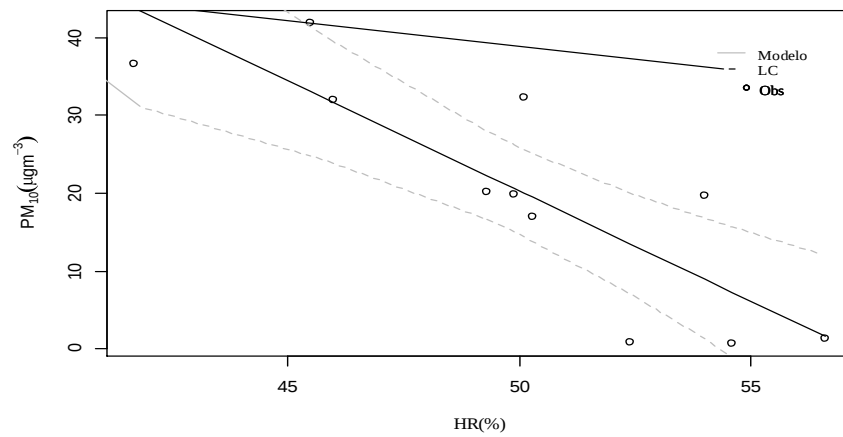


Figura 4. Comportamiento de las PM₁₀ con la HR en SE.

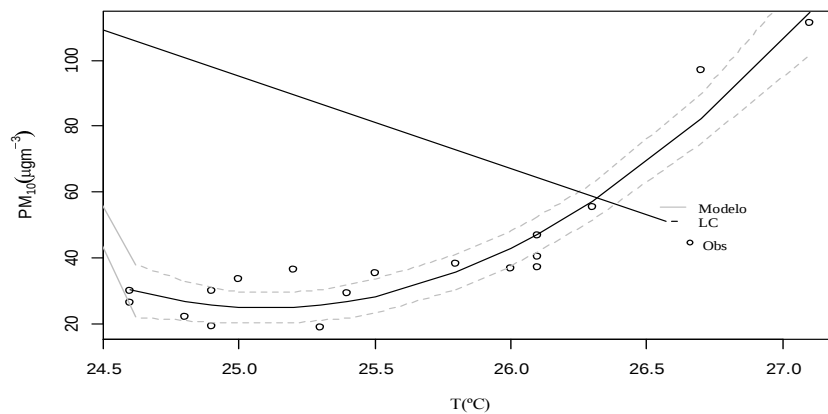


Figura 5. Comportamiento de las PM₁₀ con la temperatura en el aula F08.

En las Figuras 6 y 7 se compara la concentración de CO_2 y PM_{10} en los cuatro espacios estudiados, dónde los puntos en gris indican los valores observados. La prueba de Kruskal-Wallis concluyó que uno o más de los espacios interiores presentó una distribución en la concentración que difiere de las otras y de la prueba de Wilcoxon se concluyó que las mediciones en F08 y LR difieren entre sí, mientras que las mediciones de CUB y SE son parecidas. En el caso de las PM_{10} la concentración si fue diferente para cada espacio interior.

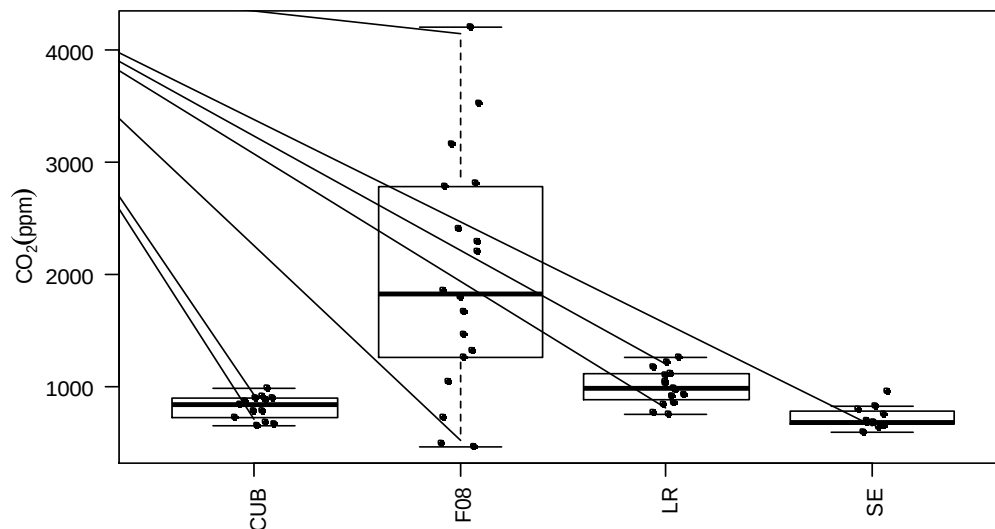


Figura 6. Concentración de CO_2 entre espacios.

Como el espacio F08 es un aula de clases que estuvo en uso durante la campaña de monitoreo, la cantidad de personas presentes en algún momento dado fue mucho mayor que en los otros espacios y por esta razón tanto la mediana como la media de la concentración de CO_2 y PM_{10} fue mayor que para los otros espacios (Cuadro 1). Esta diferencia en las medidas de tendencia central es más marcada en el caso del CO_2 y no tanto en el caso de las PM_{10} . Esto último puede explicarse si se considera la limpieza de los espacios, que consiste en el barrido manual del espacio y no el aspirado. En F08 la limpieza se hace antes o después de las clases, pero no durante. Sin embargo, en el caso de los otros espacios, es común que esta se relize aún cuando el espacio está ocupado por el personal. Esta resuspensión de material particulado fue medida por el equipo de monitoreo en estos casos (Figuras 2 y 3). Las concentraciones de CO_2 pueden desplazar oxígeno en el aire resultando en concentraciones de oxígeno menores para la respiración generando disnea, dolores de cabeza, mareos, fatiga, distorsión visual, entre otros, aunque en las personas estos síntomas no se evaluaron.

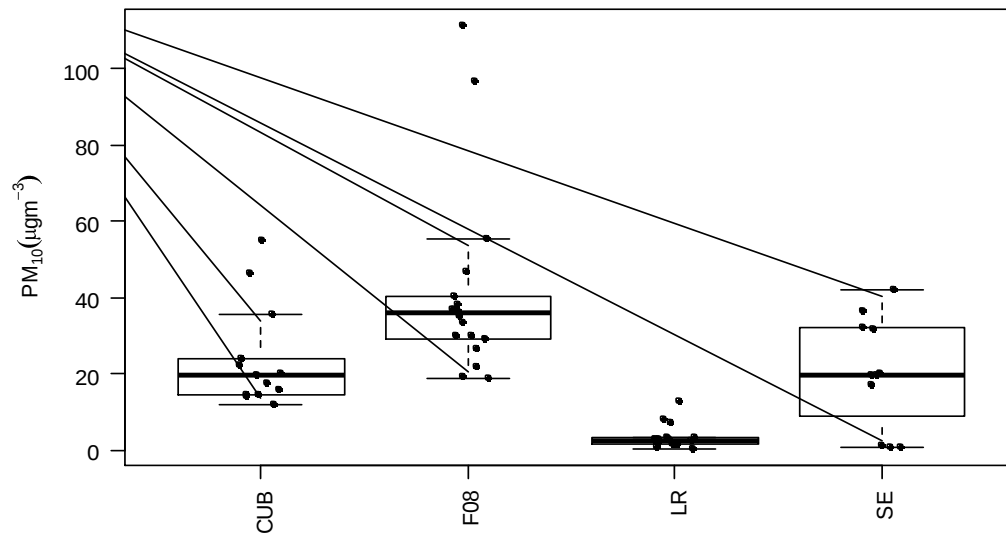


Figura 7. Concentración de PM₁₀ en los diferentes espacios.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de PM₁₀ cuantificadas en el laboratorio, el cubículo y la oficina, no excedieron los criterios de referencia por lo que la calidad del aire fue buena. El aula presentó en algunos momentos condiciones de calidad del aire regular debido a las actividades de limpieza. Por su parte, los niveles de CO₂ estuvieron por arriba de los valores recomendados por la ASHRAE en el laboratorio y el aula de modo que puede considerarse ambos espacios no tienen la ventilación adecuada. La humedad relativa y la temperatura del interior son las variables más adecuadas en DACBiol para describir la concentración horaria de PM₁₀ por lo menos en dos espacios interiores, el salón de clases (F08) y la oficina de servicios escolares (SE). Con base a los resultados obtenidos en este estudio, se demuestra que las concentraciones de CO₂, principalmente, son relevantes y pueden estar ocasionando afectaciones en la salud de las personas que ocupan esos espacios, dificultando así, el proceso de aprendizaje, por lo cual es necesario establecer medidas preventivas para mejorar su ventilación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco quien financió el proyecto mediante el Programa de Fomento a la Investigación (PFI) a través del proyecto de investigación “Estimación de

parámetros característicos y simulación de la calidad del aire intramuros de la División Académica de Ciencias Biológicas”.

LITERATURA CITADA

- Almeida, S., N. Canha, A. Silva, M. Freitas, P. Pegas, C. Alves, M. Evtyugina and C. A. Pio. 2011. Children exposure to atmospheric particles indoor of Lisbon primary schools. *Atmospheric Environment* 45: 7594-7599.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating, Air-conditioning Engineers, Inc. 2002. Standard 62-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta.
- Branco, P.T.B.S., M.C.M. Alvim-Ferraz, F.G. Martins and S.I.V. Sousa. 2014. Indoor air quality in urban nurseries at Porto city: Particulate matter. *Atmospheric Environment* 84: 133-143.
- Carazo, F.L., R.A. Fernández, B. FJ. González y P. JA. Rodríguez, 2013. Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. *Archivos de Bronconeumonía* 49(1): 22-27.
- Chen, R., B. Zhou, H. Kan and B. Zhao. 2013. Associations of particulate air pollution and daily mortality in 16 Chinese cities: An improved effect estimate after accounting for the indoor exposure to particles of outdoor origin. *Environmental Pollution* 182: 278-282.
- Ferro, A., R. Kopperud, and L. Hildmann, 2004. Elevated personal exposure to particulate matter from human activities in a residence. *Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 14: 534-540.
- Gao, Y., Y. Zhang, M. Kamijima, K. Sakai, M. Khalequzzaman, T. Nakajima, R. Shi, X. Wang, D. Chen, X. Ji, K. Han and Y. Tian. 2014. Quantitative assessments of indoor air pollution and the risk of childhood acute leukemia in Shanghai. *Environmental Pollution* 187: 81-89.
- Gens, A., J. F. Hurley, J. T. Tuomisto and R. Friederich. 2014. Health impacts due to personal exposure to fine particles caused by insulation of residential buildings in Europe. *Atmospheric Environment* 84: 213-221.
- González, I., M.A. Cid, A.K. Martínez y V. I. Domínguez. 2014. Concentraciones de Aeropartículas Fúngicas en Interiores. *Perspectiva científica desde la UJAT*. Tomo 3, 246:252.
- Goyal, R., M. Khare, 2010. Indoor air quality modeling for PM₁₀, PM_{2.5}, and PM_{1.0} in naturally ventilated classrooms of an urban Indian school building 176:501–516.
- Hollander, M., D.A. Wolfe and E. Chicken. 2014. 3^a edition. *Nonparametric statistical methods*. Willey. <http://doi.org/M-48.739-2010>.
- Jovanović, M., B. Vučićević, V. Turanjanin, M. Živković, & V. Spasojević. 2014. Investigation of indoor and outdoor air quality of the classrooms at a school in Serbia. *Energy* 77: 1-7.
- Kang, Y., K. Zhong and S.C. Lee. 2006. Relative levels of indoor and outdoor particle number concentrations in a residential building in Xia'n. *China Particuology* 4(6): 342-345.
- Katsoyiannis, A., and C. Bogdal. 2012. Interactions between indoor and outdoor air pollution. *Environmental Pollution* 169: 150-151.
- Marta, I., V. Blanco y A. García. 2010. Calidad del aire interior en edificios de uso público.

Conserjería de Sanidad de La Comunidad de Madrid. Madrid.

Montgomery, C.D., A.E. Peck y G.G. Vinning. 2006. 3ª edición. Introducción al análisis de regresión lineal. CECSA. 588 p.

Santamouris, M., A. Synnefa, M. Assimakopoulos, I. Livada, K. Pavlou, M. Papaglastra, N. Gaitani, D. Kolokotsa, V. Assimakopoulos. 2008. Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Building* 40: 1833-1843.

Sastre, G., Y. López, A. Ramírez, C. Aguilar, L. Martínez, E. Magaña. 2012. Áreas de oportunidad para mejorar el plan de monitoreo y gestión de la calidad de aire en Tabasco. *KUXULKA'B* 18: 53-60.

Silva-Almeida, M., H.T. Wolterbeek and S.M. Almeida. 2014. Elderly exposure to indoor air pollutants. *Atmospheric Environment* 85: 54-63.

Vukovic, G., M. A. Urosevic, I. Razumenic, M. Kuzmanoski, M. Pergal, S. Skrivanj and A. Popovic. 2014. Air quality in urban parking garages (PM₁₀, major and trace elements, PAHs): Instrumental measurements vs. active moss biomonitoring. *Atmospheric Environment* 85: 31-40.

EFFECTO DE NANOPARTÍCULAS SOBRE LA SIMBIOSIS RHIZOBIA-LEGUMINOSA Y MORFOLOGÍA DE *Phaseolus vulgaris* L.¹

[EFFECT OF NANOPARTICLES ON RHIZOBIA-LEGUME SYMBIOSIS AND MORPHOLOGY OF *Phaseolus vulgaris* L.]

César Roberto Sarabia-Castillo^{1,§}, Fabián Fernández-Luqueño²

¹Estudiante de la Maestría en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Saltillo (Cinvestav-Salttillo). ²Profesor-Investigador Cinvestav-Salttillo. Av. Industria Metalúrgica 1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coahuila. C.P. 25900. Tel. 01 (844) 438 9625. [§]Autor para correspondencia: (ing.cesarsarabia@gmail.com), (cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com).

RESUMEN

Actualmente se producen nuevos materiales con características particulares denominados nanopartículas (NPs), estas se liberan al medio ambiente sin que sea evaluado su potencial toxicológico sobre los sistemas ecológicos. En esta investigación se determinó el efecto de NPs de TiO₂, ZnO y Fe₂O₃, a concentraciones de 3 o 6 g L⁻¹, sobre la simbiosis *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium etli*. Se cultivó frijol común y se inoculó con *R. etli* 5 días después de la siembra (DDS). A los 20 y 35 DDS se realizaron muestreos destructivos y se determinó el número de nódulos, longitud de raíz y tallo, y peso fresco y seco de los mismos. Las NPs-ZnO disminuyeron significativamente la longitud del tallo 20 DDS, comparado con el tratamiento control (CTC); mientras que las NPs-TiO₂ (6 g L⁻¹), NPs-ZnO y NPs-Fe₂O₃ redujeron significativamente la longitud del tallo 35 DDS, CTC y las NP-Fe₂O₃ (3 g L⁻¹) incrementaron significativamente el número de nódulos, CTC. Los resultados mostraron que el efecto de las NPs es dependiente del tipo y concentración de NPs, así como del tiempo de exposición, lo que implica que las NPs liberadas al ambiente podrían afectar el proceso de fijación biológica de nitrógeno y al medio ambiente.

Palabras clave: Contaminación, fijación biológica de nitrógeno, medio ambiente, nanomaterial, nanotoxicología.

ABSTRACT

Currently new materials are produced with particular characteristics called nanoparticles (NPs), which are released into the environment but their toxicological potential is not evaluated on ecological systems. In this paper the effect of TiO₂, ZnO and Fe₂O₃ NPs, at concentrations of 3 or

¹ Recibido: 11 de julio de 2016.

Aceptado: 21 de septiembre de 2016.

6 gL⁻¹ on the symbiosis *Phaseolus vulgaris-Rhizobium etli* was determined. Common bean was grown and inoculated with *R. etli* 5 days after sowing (DAS). At 20 and 35 DAS destructive samplings were carried out and it was determined the number of nodules, root length and stem and fresh weight and dry thereof. The ZnO-NPs significantly decreased stem length 20 DAS, compared with control treatment (CCT); while TiO₂-NPs (6 g L⁻¹), ZnO-NPs and Fe₂O₃-NPs significantly reduced stem length 35 DAS, CCT and Fe₂O₃-NP (3 g L⁻¹) significantly increased the number of nodules, CCT. The results showed that the effect of NPs is dependent on the type and concentration of NPs and exposure time, implying that the NPs released to the environment may affect the process of biological nitrogen fixation and the environment.

Index words: Pollution, biological nitrogen fixation, environment, nanomaterial, nanotoxicology.

INTRODUCCIÓN

Las nanoparticulas (NPs) consisten en conjuntos atómicos y moleculares que tienen dimensiones de escala nanométrica (*i.e.* 1 a 100 nm) cuya producción ha ido en aumento de manera constante en los últimos años; hoy en día se utilizan en diversos nanoproductos con aplicaciones específicas en todo el mundo (Keller *et al.*, 2013). Sin embargo, a pesar de las ventajas que implica el uso de NPs en diversas aplicaciones, actualmente existe preocupación debido a que sus impactos ambientales no son entendidos completamente (Keller *et al.*, 2013). Adicionalmente, el manejo de NPs entre su producción, uso y disposición está conduciendo a su liberación inevitable hacia el medio ambiente (Xu *et al.*, 2015).

Las plantas son particularmente relevantes en los estudios de econanotoxicidad, debido a sus interacciones con el aire, suelo y agua. Adicionalmente, las plantas podrían mover NPs entre varias especies en la red alimenticia dado que son consumidas por los organismos de niveles tróficos bajos, así como por animales y personas (Maurer-Jones *et al.*, 2013). Además, evidencia sobre la absorción y toxicidad de NP en plantas, o ausencia de ellas, es escasa debido a: i) la nanotoxicología de plantas es un campo relativamente nuevo y ii) la mayoría de las investigaciones se enfocan solo en la exposición a NPs durante la germinación o en cultivos celulares (Maurer-Jones *et al.*, 2013).

Las paredes celulares de muchas plantas poseen tamaños de poro de 5 nm o menos, por lo que la probabilidad de ingreso y translocación de NPs es baja, a menos de que las NPs sean muy pequeñas o que las células estén dañadas previo a la exposición. Sin embargo, se ha demostrado que las NPs de un amplio rango de tamaños (10-, 30-, 50-nm) y con diferente química superficial están biodisponibles para las plantas (Leon-Silva *et al.*, 2016). No obstante, se ha demostrado que las NPs pueden estar más biodisponibles para algunas plantas, aún bajo las mismas condiciones que aquellas (Judy *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2008). El efecto de las NPs manufacturadas se ha

evaluado en una gran cantidad de plantas (Tablas 1 y 2), entre las que destacan arroz (*Oryza sativa* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), entre otras (Fernández-Luqueño *et al.*, 2015; Miralles *et al.*, 2012). Las NPs más empleadas en estos experimentos son aquellas que se producen en mayor cantidad a escala mundial, como los nanotubos de C y las NPs de ZnO, Al₂O₃ y TiO₂ (Leon-Silva *et al.*, 2016).

La simbiosis rhizobia-leguminosa es una interacción entre dos especies para realizar la fijación biológica de nitrógeno (FBN), esta asociación es mutuamente beneficiosa (Musarrat *et al.*, 2010), *i.e.* las plantas obtiene nutrientes y los microorganismos aprovechan los exudados de las raíces de las plantas hospederas.

Se han reportado estudios que evidencian los efectos positivos y negativos de las NPs en las plantas superiores, los cuales se basan en su mayoría, en pruebas como porcentaje de germinación de semillas y de elongación de raíz, donde se evalúan los efectos en la morfología de plantas cultivadas expuestas a diferentes concentraciones de NPs (Parveen y Rao, 2015), pero no hay estudios que reporten el efecto de las NP sobre la simbiosis.

La liberación de NPs a causa de las actividades antropogénicas, se ha convertido en una seria amenaza para el medio ambiente, por lo tanto, esta investigación determina los efectos toxicológicos de NPs de TiO₂, ZnO y Fe₂O₃, a concentraciones de 0, 3 ó 6 g L⁻¹, sobre la simbiosis *Phaseolus vulgaris* L.-*Rhizobium etli* y sobre el crecimiento de *P. vulgaris*. El objetivo fue determinar el efecto de NPs de TiO₂, ZnO y Fe₂O₃, a concentraciones de 3 o 6 g L⁻¹, sobre la simbiosis *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium etli*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico y nanopartículas

Las semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad pinto saltillo fueron proporcionadas por el “INIFAP-Salttillo”. La cepa bacteriana *Rizobium etli* se obtuvo de la “Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares del Cinvestav-Zacatenco” y se mantuvo en medio de cultivo TY (Tryptona 5 gL⁻¹, extracto de levadura 3 gL⁻¹, cloruro de calcio dihidratado 1.3 gL⁻¹) hasta su uso. Las nanopartículas de TiO₂, ZnO y Fe₂O₃ que se emplearon para la realización de esta investigación se adquirieron en “ID-nano (Investigación y Desarrollo de Nanomateriales, S.A. de C.V., San Luis Potosí, México)”.

Cultivo e inoculación de plántulas de frijol

Ochenta y cuatro macetas de plástico tipo vivero de 10.1 × 9.3 × 7.1 cm (Ø superior × altura × Ø inferior, respectivamente), se llenaron con 60 g de vermiculita y se saturaron con agua común.

Tres días después, en cada maceta se sembraron tres semillas de frijol de la variedad pinto saltillo. Las semillas se colocaron a 1.5 cm de profundidad en cada maceta y se regaron con suspensiones de NPs de TiO_2 , ZnO u Fe_2O_3 , a concentraciones de 0, 3 o 6 g L^{-1} . Diez días después de la siembra (DDS) se realizó un raleo para dejar una plántula en cada maceta, las cuales se inocularon con 10 mL de la suspensión bacteriana de *R. etli* en la base del tallo de cada plántula y se mantuvieron en invernadero durante 35 DDS. Los riegos posteriores se realizaron con las suspensiones de NPs previamente indicadas a los 5 y 15 DDS, a las concentraciones de 0, 3 o 6 g L^{-1} . Además, se realizaron riegos adicionales con la solución nutritiva propuesta por Fernández-Luqueño *et al.* (2008).

Toma de muestras

Se realizaron muestreos destructivos a los 20 y 35 DDS, en los cuales se seleccionaron aleatoriamente seis macetas de cada tratamiento, para cada muestreo. Posteriormente, la planta se extrajo de su respectiva maceta y se le retiró el sustrato (vermiculita) cuidadosamente para no dañar el sistema radicular. La caracterización de la raíz, tallo y nódulos de cada planta, así como el análisis estadístico se realizó con base en Fernández-Luqueño *et al.* (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las NPs- ZnO (6 g L^{-1}) y Fe_2O_3 (3 g L^{-1}) disminuyeron significativamente la longitud de la raíz a los 20 DDS, CTC (Figura 1). Así mismo las NPs- ZnO (6 g L^{-1}) disminuyeron significativamente la longitud de la parte aérea a los 20 y 35 DDS, CTC. De igual forma, las NPs- ZnO (3 g L^{-1}) y Fe_2O_3 (6 g L^{-1}) disminuyeron significativamente la longitud de la parte aérea a los 35 DDS, CTC (Figura 1). Por otro lado, las NPs- ZnO (6 g L^{-1}) y Fe_2O_3 (6 g L^{-1}) disminuyeron de manera significativa el peso fresco de la raíz a los 20 DDS, así mismo las NPs- ZnO (6 g L^{-1}) disminuyeron el peso fresco de la parte aérea a los 35 DDS, CTC. Sin embargo, las NPs- Fe_2O_3 aumentaron significativamente la colonización de las raíces de frijol común por *R. etli* al observarse mayor cantidad de nódulos a los 20 DDS, CTC (Figura 2).

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Dimkpa *et al.* (2015), en donde observaron que con la presencia de NPs- ZnO de hasta 1 g L^{-1} , disminuyeron significativamente la longitud de la raíz y la parte aérea de plantas de *Phaseolus vulgaris* L., CTC, lo que evidencia que la presencia de NPs en el suelo tienen potencial tóxico al estar en contacto con plantas. Por otro lado, Fan *et al.* (2014), reportan que las NPs- TiO_2 tienen efectos tóxicos sobre la simbiosis de chícharo-*R. leguminosarum*, ya que la interacción entre estos dos organismos fue interrumpida, de manera que el desarrollo de nódulos de la raíz se retrasó al igual que en lo observado en esta investigación; del mismo modo Huang *et al.* (2014), reportan que la presencia de NPs- ZnO afectan la nodulación de la raíz de plantas de chícharo inoculadas con *R. leguminosarum*, lo que tiene como consecuencia el retraso de la fijación biológica de nitrógeno (FBN), además de que causó la senescencia temprana de los nódulos.

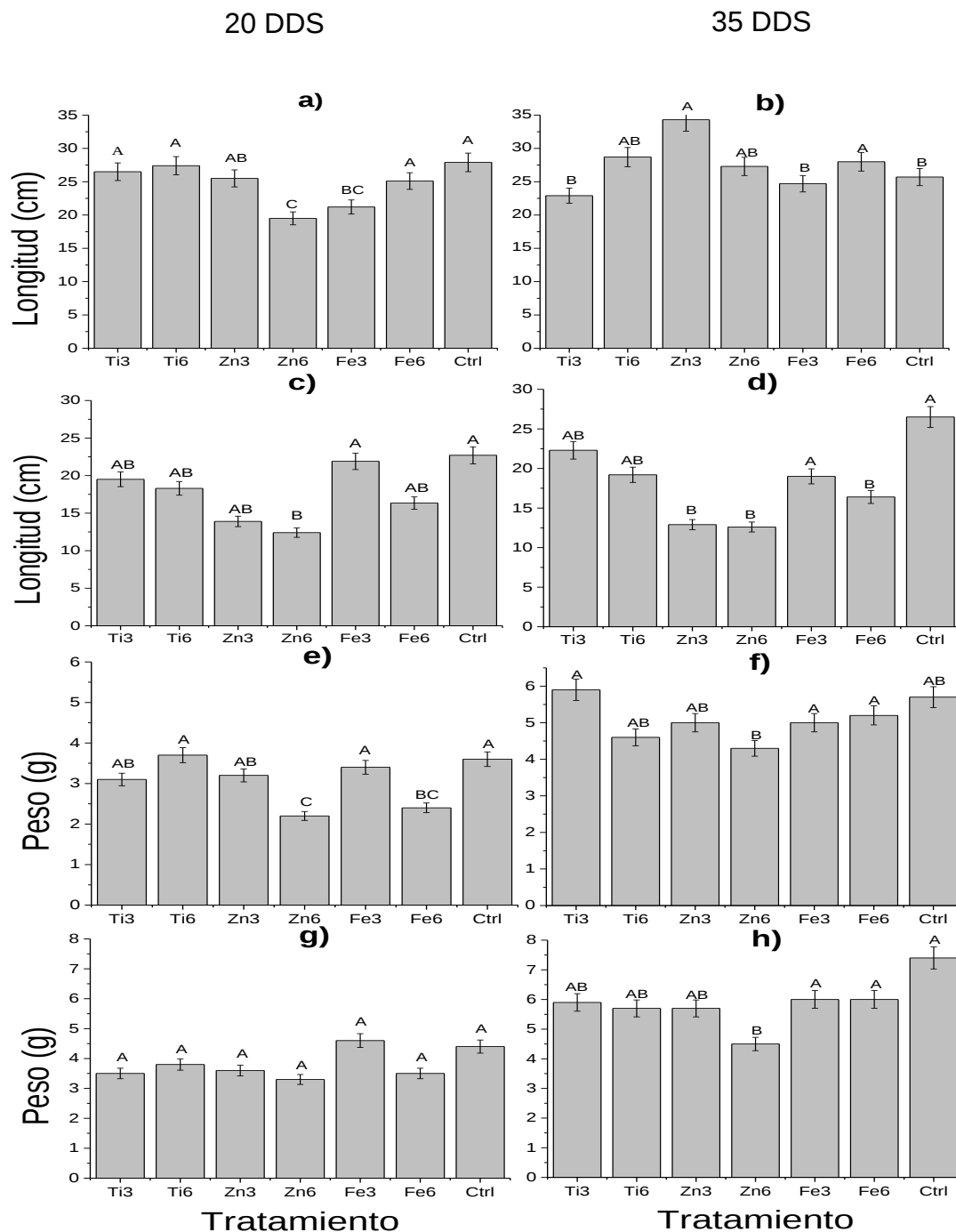


Figura 1. Características de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en condiciones de invernadero e irrigadas con solución nutritiva y 500 mL de suspensiones a concentraciones crecientes de nanopartículas de TiO_2 , ZnO o Fe_2O_3 . a) y b) Longitud de raíz los 20 y 35 días después de la siembra (DDS), c) y d) Longitud de parte aérea, e) y f) Peso fresco de la raíz, g) y h) Peso fresco de la parte aérea. A los 20 DDS $n=6$, a los 35 DDS $n=6$.¹ Ti3= TiO_2 a 3gL^{-1} , Ti6= TiO_2 a 6gL^{-1} , Zn3= ZnO a 3gL^{-1} , Zn6= ZnO a 6gL^{-1} , Fe3= Fe_2O_3 a 3gL^{-1} , Fe6= Fe_2O_3 a 6gL^{-1} . Diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (Tukey $\alpha = 0.05$).

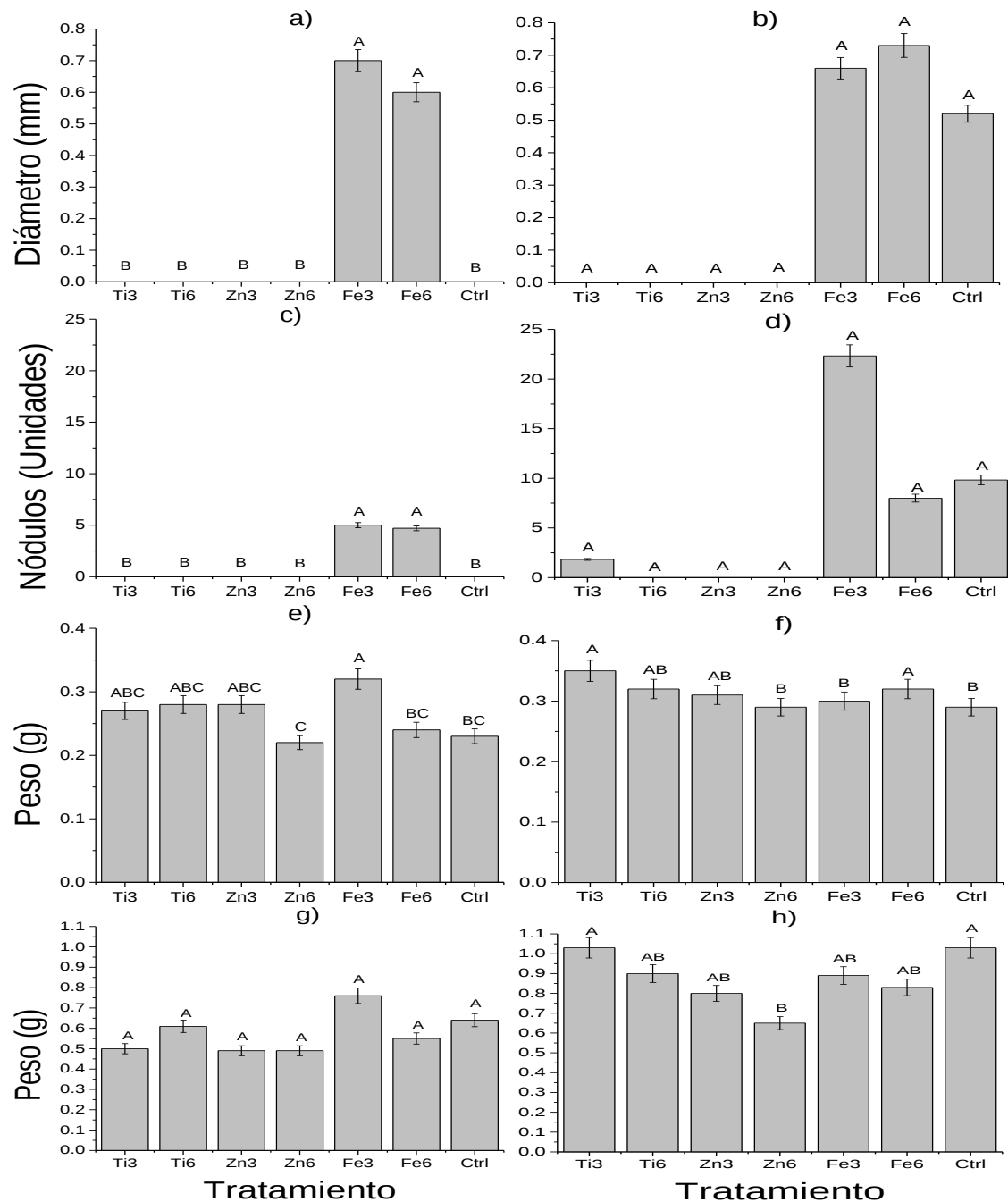


Figura 2. Nódulos y pesos secos de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en condiciones de invernadero e irrigadas con solución nutritiva y 500 mL de suspensiones a concentraciones crecientes de nanopartículas de TiO_2 , ZnO o Fe_2O_3 . a) y b) Diámetro de nódulos formados a los 20 y 35 DDS, c) y d) Número de nódulos formados, e) y f) Peso de la raíz, g) y h) Peso seco de la parte aérea. A los 20 DDS $n=6$, a los 35 DDS $n=6$.¹¹ Ti3= TiO_2 a 3gL^{-1} , Ti6= TiO_2 a 6gL^{-1} , Zn3= ZnO a 3gL^{-1} , Zn6= ZnO a 6gL^{-1} , Fe3= Fe_2O_3 a 3gL^{-1} , Fe6= Fe_2O_3 a 6gL^{-1} . Diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (Tukey $\alpha=0.05$).

Cuadro 1. Efectos favorables de NPs sobre la germinación, crecimiento, desarrollo o rendimiento de cultivos agrícolas.

Cultivo	NPs	Efecto y referencia
Arabidopsis (<i>Arabidopsis thaliana</i> L.)	Nano-Au	Aumenta rendimiento de semilla y mejora la producción de biomasa (Kumar <i>et al.</i> , 2013).
Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	Nano-C	Mejora la absorción y translocación del fertilizante nitrogenado (Fan <i>et al.</i> , 2012)
Borraja (<i>Borago officinalis</i> L.)	Nano-Ag	Favorece la producción de metabolitos (Seifsahandi y Sorooshzadeh, 2013)
Cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	Nano-ZnO	Incrementa el porcentaje de germinación y el vigor de las plántulas (Prasad <i>et al.</i> , 2012)
Maíz forrajero (<i>Zea mays</i> L.)	Nano-Ag	Aumento de biomasa y rendimiento en grano (Berahmand <i>et al.</i> , 2012).
Melón amargo (<i>Momordica charantia</i> L.)	Fullerol	Mejora el rendimiento (Kole <i>et al.</i> , 2013).
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	Nano-Ag	Aumento en el diámetro, peso y rendimiento de tubérculos (Arora <i>et al.</i> , 2012)
Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	Caucho	Aumento del tamaño del tallo y el rendimiento (Moghaddasi <i>et al.</i> , 2013)
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Nano-CeO ₂	Mejora en la elongación del tallo y el rendimiento (Wang <i>et al.</i> , 2012).
Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Nano-TiO ₂	Favorece el rendimiento y el contenido de gluten y almidón (Jaberzadeh <i>et al.</i> , 2013).

Cuadro 2. Efectos negativos de NPs sobre la germinación, crecimiento, desarrollo o rendimiento de cultivos agrícolas.

Cultivo	NPs	Efecto y referencia
Ajo (<i>Allium sativum</i> L.)	Nano-ZnO	Reducción del índice mitótico (Shaymurat <i>et al.</i> , 2012).
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	Nano-CeO ₂	Inhibición de la germinación y disminución de biomasa (López-Moreno <i>et al.</i> , 2010)
Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	Nano-Ag	Disminución del índice mitótico (Kumari <i>et al.</i> , 2009)
Centeno (<i>Secale cereale</i> L.)	Nano-Zn y Nano-ZnO	Inhibición de la germinación y elongación de la raíz (Lin y Xin, 2007).
Col (<i>Brassica oleracea</i> L.)	Nano-Ag y Nano-ZnO	Toxicidad en plántulas (Lin y Xin, 2007; Pokhrel y Dubey, 2013).
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Nano-La ₂ O ₃ , Nano-Gd ₂ O ₃	Inhibe la elongación de raíz y la elongación de raíz (Ma <i>et al.</i> , 2010)
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Nano-ZnO	Toxicidad en plántulas (Pokhrel y Dubey, 2013).
Rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.)	Nano-La ₂ O ₃ , Nano-Gd ₂ O ₃	Afecta de la elongación de la raíz (Ma <i>et al.</i> , 2010).
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Grafeno	Inhibición en el crecimiento y afecta la biomasa (Begum <i>et al.</i> , 2011).

En contraste, en esta investigación se observó que las NPs-Fe₂O₃ favorecieron dicha interacción simbiótica, sin embargo, no existen reportes que confirmen que estas NPs sean beneficiosas para el desarrollo de la planta y sus interacciones con la rizósfera. Sin embargo, otros investigadores como Lin y Xing (2007) reportaron efectos nulos de NPs de plata sobre la tasa de crecimiento de plantas de frijol. En el Cuadro 1 se reportan evidencias que sugieren el incremento en rendimiento o la mejora de algunas características de los cultivos, como efecto de la adición de NPs, mientras que en el Cuadro 2 se presentan evidencias sobre la toxicidad o daño de las NPs sobre los cultivos.

CONCLUSIONES

La presencia de NPs en el ambiente tiene efectos negativos en los sistemas agrícolas, ya que se registraron cambios morfológicos en el desarrollo de las plantas de frijol *i.e.*, disminución en la longitud de raíz y tallo, lo que se relaciona con efectos fitotóxicos en el desarrollo de las plantas. Por otro lado, la exposición de *R. etli* a NPs de óxidos metálicos se vio desfavorecida debido a que estas afectaron las primeras interacciones entre la bacteria y las plantas de frijol, lo que ocasionó el retraso de la formación de los nódulos y por consiguiente el inicio de la FBN; sin embargo, se pudo observar que las NPs de Fe₂O₃ aceleraron y aumentaron la producción de nódulos de *R. etli*. Por lo anterior, el impacto de las NPs en un sistema tan importante como la simbiosis rhizobia-leguminosa, no se puede pasar por alto, ya que como se demostró, el frijol es vulnerable a la presencia de estas NPs, lo que traería como consecuencia un bajo rendimiento de este cultivo de alto valor social, económico y ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por la beca de maestría otorgada a César Roberto Sarabia Castillo (396927) y al CINVESTAV-Salttillo por facilitar la infraestructura necesaria para realizar esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Arora, S., P. Sharma, S. Kumar, R. Nayan, P. K. Khanna y M. G. H. Zaidi. 2012. Gold-nanoparticle induced enhancement in growth and seed yield of *Brassica juncea*. *Plant Growth Regulation*. 66:303-310.
- Berahmand, A. A., A. Ghafariyan Panahi, H. Sahabi, H. Feizi, P. Rezvani Moghaddam, N. Shahatahmasebi, A. Fotovat, H. Karimpour y O. Gallehgir. 2012. Effects silver nanoparticles and magnetic field on growth of fodder maize (*Zea mays* L.). *Biology Trace Element Research*. 149:419-424.

- Dimkpa, C. O., T. Hansen, J. Stewart, J. E. McLean, D. W. Britt and A. J. Anderson. 2015. ZnO nanoparticles and root colonization by a beneficial pseudomonad influence essential metal responses in bean (*Phaseolus vulgaris*). *Nanotoxicology*. 9:271-278.
- Fan, L., Y. Wang, X. Shao, Y. Geng, Z. Wang, Y. Ma y J. Liu. 2012. Effects of combined nitrogen fertilizer and nano-carbon application on yield and nitrogen use of rice grown on saline-alkali soil. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 10:558-562.
- Fan, R., Y. C. Huang, M. A. Grusak, C. P. Huang and D. J. Sherrier. 2014. Effects of nano-TiO₂ on the agronomically-relevant Rhizobium-legume symbiosis. *Science of the Total Environment*. 466: 503-512.
- Fernández-Luqueño, F., F. López-Valdez, M. F. Valerio-Rodríguez, N. Pariona, J. L. Hernández-López, I. García-Ortíz, J. López-Baltazar, M. C. Vega-Sánchez, R. Espinoza-Zapata y J. A. Acosta-Gallegos. 2014. Effect of nanofertilizers on plant growth and development, and their interrelationship with the environment. In: López-Valdez F. y F. Fernández Luqueño (Eds.) *Fertilizers: Components, uses in agriculture and environmental impacts*. Nova Science Publishers. New York. 211-224.
- Fernández-Luqueño, F., L. Dendooven, A. Munive, L. Corlay-Chee, L. M. Serrano-Covarruvias y D. Espinoza-Victoria. 2008. Micro-morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodules undergoing senescence. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 545-552.
- Huang, Y. C., R. Fan, M. A. Grusak, J. D. Sherrier y C. P. Huang. 2014. Effects of nano-ZnO on the agronomically relevant Rhizobium-legume symbiosis. *Science of the Total Environment*. 497: 78-90.
- Jabierzadeh, A., P. Moaveni, H. R. Tohidi Moghadam y H. Zahedi. 2013. Influence of bulk and nanoparticles titanium foliar application on some agronomic traits, seed gluten and starch contents of wheat subjected to water deficit stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*. 41:201-207.
- Judy, J.D., J. M. Unrine, W. Rao, S. Wirick y P. M. Bertsch. 2012. Bioavailability of gold nanomaterials to plants: importance of particle size and surface coating. *Environmental Science and Technology*. 46:8467-8474.
- Keller, A.A., S. McFerran, A. Lazareva y S. Suh. 2013. Global life cycle releases of engineered nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research* 15:1-17.
- Kole, C., P. Kole, K. M. Randunu, P. Choudhary, R. Podila, P. C. Ke, A. M. Rao y R. K. Marcus. Nanobiotechnology can boost crop production and quality - first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnology*. 13:Artículo número 37.
- Kumar, V., P. Guleria, V. Kumar y K. Yadav. 2013. Gold nanoparticle exposure induces growth and yield enhancement in *Arabidopsis thaliana*. *Science of the Total Environment*. 461:462468.
- Kumari, M., A. Mukherjee y N. Chandrasekaran. 2009. Genotoxicity of silver nanoparticles in *Allium cepa*. *Science of the Total Environment*. 407:5243-5246.

- Leon-Silva, S., F. Fernández-Luqueño, y F. López-Valdez. 2016. Silver nanoparticles (AgNP) in the environment: A review of potential risks on human and environmental health. *Water Air and Soil Pollution* 227:Artículo número 306.
- Lin, D y B. Xing. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*. 150:243-250.
- López-Moreno, M. L., G. de la Rosa, J. A. Hernández-Viezcas y J. L. Gardea-Torresdey. 2010. X-ray absorption spectroscopy (XAS) corroboration of the uptake and storage of CeO(2) nanoparticles and assessment of their differential toxicity in four edible plant species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58:3689-3693.
- Ma, Y., L. Kuang, X. He, W. Bai, Y. Ding, Z. Zhang, Y. Zhao y Z. Chai. 2010. Effects of rare earth oxide nanoparticles on root elongation of plants. *Chemosphere*. 78:273-279.
- Maurer-Jones, M.A., I. L. Gunsolus, C. J. Murphy y C. L. Baynes. 2013. Toxicity of engineered nanoparticles in the environment. *Annals of Chemistry* 85:3036-3049
- Miralles, P., T. L. Church y A. T. Harris. 2012. Toxicity, uptake, and translocation of engineered nanomaterials in vascular plants. *Environmental Science and Technollogy*. 46:9224-9239.
- Moghaddasi, S., A. H. Khoshgoftarmanesh, F. Karimzadeh y R. L. Chaney. 2013. Preparation of nano-particles from waste tire rubber and evaluation of their effectiveness as zinc source for cucumber in nutrient solution culture. *Science Horticulture (Amsterdam)*. 160:398-403.
- Musarrat, J., A. Zaidi y M. S. Kham. 2010. Recent advances in rhizobium–legume interactions: a proteomic approach. In: M. S. Khan, J. Musarrat y A. Zaidi (Eds.). *Microbes for legume improvement*. Springer, Verlag/Wien. pp. 81-101.
- Parveen, A. y S. Rao. 2015. Effect of nanosilver on seed germination and seedling growth in *Pennisetum glaucum*. *Journal of Cluster Science* 26:693–701.
- Pokhrel, L. R., y B. Dubey. 2013. Evaluation of developmental responses of two crop plants exposed to silver and zinc oxide nanoparticles. *Science of the Total Environment*. 453:321-332.
- Prasad, T. N. V. K. V., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. R. Reddy, T. S. Sreepasad, P. R. Sajanlal y T. Pradeep. 2012. Effect of Nanoscale Zinc Oxide Particles on the Germination, Growth and Yield of Peanut. *Journal of Plant Nutrition*. 35:905-927.
- Seifsaandi, M. y A. Sorooshzadeh. 2013. Comparison between the influences of silver nanoparticles and silver nitrate on the growth and phytochemical properties of borage (*Borago officinalis* L.). *Current Nanosciences*. 9:241-247.
- Shaymurat, T., J. Gu, C. Xu, Z. Yang, Q. Zhao y Y. Liu, «Phytotoxic and genotoxic effects of ZNO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): a morphological study. *Nanotoxicology*. 6:241-248.
- Wang, Q., X. Ma, W. Zhang, H. Pei y Y. Chen. 2012. The impact of cerium oxide nanoparticles on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and its implications for food safety. *Metallomics*. 4:1105-1112.
- Xu, C., C. Peng, L. Sun, S. Zhang, H. Huang, Y. Chen y J. Shi. 2015. Distinctive effects of TiO₂ and CuO nanoparticles on soil microbes and their community structures in flooded paddy soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 86:24–33.

Zhu, H., J. Han, J. Q. Xiao y Y. Jin. 2008. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Journal of Environmental Monitoring*. 10:713-717.

EFFECTO DE LOS IONES Na^+ SOBRE LA BIOMASA MICROBIANA EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL BAJIO¹

[EFFECT OF Na^+ ON MICROBIAL BIOMASS IN AGRICULTURAL SOILS OF BAJIO]

Miriam del Rocío Medina Herrera¹, María de la Luz Xochilt Negrete Rodríguez³, Jesús Becerra Cervera², Francisco Paúl Gámez Vázquez⁴, Nadia Renata Osornio Rubio³, Eloy Conde Barajas^{3§}

¹Estudiante de Posgrado, Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Celaya (TNM-ITCelaya), Antonio García Cubas Pte #600 esq. Av. Tecnológico, C. P. 38010, Celaya, Guanajuato, México. ²Estudiante de Ingeniería, TNM-ITCelaya, ³Profesor – Investigador, TNM-ITCelaya, ⁴Investigador, Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío, Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende s/N, Col. Roque, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. [§]Autor para correspondencia: (eloy.conde@itcelaya.edu.mx).

RESUMEN

Suelos agrícolas del Bajío han presentado elevado contenido de Na^+ intercambiable debido al riego con aguas salobres. El efecto de este ion se evaluó sobre propiedades fisicoquímicas y biológicas en seis suelos agrícolas: porcentaje de carbón orgánico total (% COT), pH, carbono de la biomasa microbiana (C-BM) y la actividad microbiana (FDA). El Na^+ intercambiable varió entre 250 – 1395 mg kg^{-1} suelo seco, COT 0.98 – 1.41 %, pH 7.8 – 8.9, C-BM 71.62 – 358.05 mg C_{mic} kg^{-1} suelo seco y la actividad microbiana 9.02 - 19.41 mg Fluoresceína kg^{-1} suelo seco h^{-1} . Se realizó un análisis de correlación de Pearson ($p = 0.05$) entre las variables y el Na^+ intercambiable, obteniéndose correlación positiva con la actividad microbiana y % COT ($r = 0.95$ y $r = 0.88$, respectivamente), considerándose factores de importancia para suelos con elevado contenido de este ion. Además, se analizó la asociación del cociente microbiano $\text{C}_{\text{mic}}/\text{COT}$ con el Na^+ intercambiable demostrando que, en los suelos analizados, una disminución de este ion aumenta la disponibilidad de fuentes de carbono. Sin embargo, se requiere de más estudios para profundizar los potenciales efectos del Na^+ intercambiable en procesos biológicos y fisicoquímicos con relación a la fertilidad y funcionalidad de los suelos evaluados.

Palabras claves: Actividad biológica del suelo, correlación de Pearson, sodicidad del suelo.

ABSTRACT

Bajío agricultural soils presented high content of exchangeable Na^+ due to irrigation with brackish water. The effect of exchangeable Na^+ was evaluated on physicochemical and biological properties in six agricultural soils: percentage of total organic carbon (% TOC), pH, microbial

¹ Recibido: 27 de septiembre de 2016.
Aceptado: 03 de noviembre de 2016.

biomass (C-MB) and microbial activity (FDA). The exchangeable Na^+ ranged from 250 - 1395 mg kg^{-1} dry soil, TOC of 0.98 - 1.41 %, pH of 7.8 - 8.9, C-MB of 71.62 - 358.05 $\text{mg C}_{\text{mic}} \text{kg}^{-1}$ dry soil and microbial activity of 9.02 - 19.41 $\text{mg Fluorescein kg}^{-1} \text{dry soil h}^{-1}$. It has been made an analysis of Pearson correlation between the variables analyzed and exchangeable Na^+ ($p = 0.05$), were obtained positive correlation with microbial activity and % TOC ($r = 0.95$ and $r = 0.88$, respectively), considered important factors for soils with high content this ion. In addition, the association of microbial quotient $\text{C}_{\text{mic}}/\text{TOC}$ with exchangeable Na^+ was analyzed, showing that, in the analyzed soils, a decreases this ion increases the availability of carbon sources. However, it requires further study to deepen the potential effects of exchangeable Na^+ on biological and physicochemical processes in relation to soil fertility and functionality evaluated.

Index words: Microbial activity, Pearson correlations, sodicity soil.

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo por el aumento en el contenido del ion Na^+ intercambiable ha aumentado a nivel mundial, según un informe presentado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Centro de Información y Referencia Internacional del Suelo (ISRIC), donde se encuentran datos de un período de 20 años, con más del 20% de las tierras agrícolas afectadas, el 30% de los bosques y el 10% de los pastizales (FAO, 2008; Wong *et al.*, 2010; Paulraj, 2016). El Bajío guanajuatense no es la excepción a esta problemática, el incremento del ion Na^+ intercambiable en los suelos agrícolas de esta región se atribuye a prácticas inadecuadas de irrigación con aguas salobres afectando su fertilidad y productividad (Castellanos *et al.*, 2000; Mandujano *et al.*, 2013).

Los suelos con alto contenido de Na^+ intercambiable presentan pH alcalino, densidad aparente alta, empobrecimiento de la estructura del suelo (hinchazón y dispersión de los minerales arcillosos), disminución de la permeabilidad del agua y deficiencia de nutrientes en el suelo (Shukla *et al.*, 2011; Barrett-Lennard *et al.*, 2016). Además, los procesos biológicos se ven afectados por la disminución en la velocidad de respiración y bajo contenido de la biomasa microbiana (BM) del suelo, así como también un crecimiento limitado de los cultivos, debido tanto al estrés osmótico como a la toxicidad del ion sodio en las células vegetales (Yuan *et al.*, 2007; Shah y Shah, 2011).

En los últimos años, las propiedades biológicas de los suelos han sido reconocidas como excelentes indicadores de recuperación o riesgo de degradación de un suelo, incluso antes de que las propiedades físicas o químicas puedan ser estimadas (Ruzek *et al.*, 2004; Ricotta, 2005; Muhammad *et al.*, 2008; Ferreras *et al.*, 2015). La descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes en los suelos son controlados por el tamaño y la actividad de la BM

(Lakhdar *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2012; Srivastava *et al.*, 2014). En contexto a lo anterior, tanto el tamaño como la actividad de la BM también se han utilizado como factores sensibles a los cambios que ocurren en el suelo, y proveen información rápida y precisa sobre el estado actual de este (Kujur y Pate, 2012). La hipótesis del presente trabajo abordó que, un elevado contenido del ion Na^+ intercambiable impacta negativamente sobre las propiedades fisicoquímicas, BM y su actividad microbiana (FDA) en seis suelos agrícolas diferentes de la región Bajío.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del contenido de Na^+ intercambiable sobre parámetros fisicoquímicos (pH y % de COT) y biológicos (BM y FDA), en suelos agrícolas del Bajío que presentan un elevado contenido de Na^+ intercambiable, debido al riego con aguas salobres. La evaluación del efecto de este ion Na^+ , podría ser utilizado como un aporte significativo más de diagnóstico, nivel de funcionalidad y calidad edáfica, con miras a establecer más argumentos o indicadores de la sostenibilidad de los suelos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios de estudio se ubican en la región Bajío del Estado de Guanajuato, que se caracteriza por tener una llanura de 1700 a 2000 m.s.n.m, los suelos de esta región son de tipo chernozem de color negro y chesnut, predominando los primeros. La precipitación pluvial anual es de 700 mm y con temperatura media anual entre 18 – 22 °C (Acosta, 1999; INAFED, 2010). Se seleccionaron 6 suelos agrícolas bajo un historial de cultivo de granos y forrajes (sorgo, cebada, trigo y alfalfa) y todos bajo labranza convencional. Las parcelas seleccionadas son regadas por inundación. Se eligieron cinco suelos con antecedentes de poseer un contenido de Na^+ intercambiable alto (APG, CTH, CTJ, JRM, CRC) y un sexto con contenido bajo de este ion como suelo de referencia (CYI). La ubicación e información geográfica específica de cada sitio se muestra en el Cuadro 1.

El muestreo de los suelos se realizó a una profundidad de 0 – 20 cm correspondiente a la zona tradicional de laboreo y por división en 3 subparcelas. En cada una de estas subparcelas, se muestreo en zigzag obteniéndose muestras compuestas de 10 kg. Las muestras obtenidas se trasladaron al laboratorio para sus análisis. Las muestras compuestas se dejaron secar al aire, se tamizaron con una malla de 3 mm de diámetro y se conservaron a 4 °C hasta sus análisis.

Los parámetros fisicoquímicos analizados fueron los siguientes: Na^+ intercambiable, carbón orgánico total (% COT) y pH. Para la valoración del contenido del Na^+ intercambiable se utilizó el método espectrofotométrico de absorción atómica con acetato de amonio 1M (Rietz y Haynes, 2003). El porcentaje del COT por el método de Walkley y Black (1934), modificado por reducción de escala y determinado colorimétricamente como se describe en Alef y Nannipieri (1995). El pH se determinó mediante el método potenciométrico, en una suspensión de suelo:agua con una relación 1:2.5 m/m (Thomas, 1996).

Cuadro 1. Ubicación e información geográfica de los sitios evaluados.

Clave Suelo	Municipio	Coordenadas geográficas	Información
AGQ	Apaseo el Grande “La Quesería”	20° 33′ N 100° 41′ O	Altitud a 2100 m. Temperatura media anual 17.5 °C Precipitación pluvial promedio 650 mm
CTH	Cortazar “Huizache”	20° 40′ N 100° 96′ O	Altitud a 1750 m. Temperatura media anual 19.3 °C Precipitación pluvial promedio 630 mm
CTJ	Cortazar “El Jore”	20° 42′ N 100° 97′ O	Altitud a 1730 m. Temperatura media anual 19.3 °C Precipitación pluvial promedio 630 mm
JRM	Santa Cruz de Juventino Rosas “Merino”	20° 35′ N 101° 01′ O	Altitud a 1760 m. Temperatura media anual 18.8°C Precipitación pluvial promedio 628 mm
CRC	Cuerámaro “Cuarto Blanco”	20° 37′ N 101° 39′ O	Altitud a 1711 m. Temperatura media anual 18.9°C Precipitación pluvial promedio 724 mm
CYI	Celaya “Inifap”	20° 34′ N 100° 49′ O	Altitud a 1765 m. Temperatura media anual 19.1°C Precipitación pluvial promedio 617 mm

Los parámetros biológicos analizados fueron el carbono de la biomasa microbiana (C-BM) y su actividad (FDA). Además, se calculó el cociente microbiano que asocia el C de la biomasa microbiana con el contenido de carbono orgánico total (C_{mic}/COT), para evaluar el estado fisiológico de la BM y la dinámica de la materia orgánica del suelo. Para los experimentos, el suelo se ajustó al 40 % de su capacidad de retención de agua (C.R.A.) y se incubó aeróbicamente por 7 días en la oscuridad (Conde *et al.*, 2005).

La cuantificación del C-BM se determinó por el método de respiración inducida por sustrato (SIR, por sus siglas en inglés). El método SIR se basa en la captación en medio alcalino y posterior cuantificación del CO_2 producido de la biomasa microbiana en un suelo, después de la adición de un sustrato fácilmente asimilable (como glucosa, aminoácidos, etc.). El método refleja la cantidad de la biomasa microbiana presente en un suelo, en términos de masa de C- CO_2 producido por la asimilación del sustrato adicionado en un periodo de tiempo y temperatura determinada. El resultado obtenido es reportado como masa de C de la biomasa microbiana por masa de suelo ($C_{mic} \text{ kg}^{-1}$ suelo seco) (Loeppmann *et al.*, 2016). Se pesaron 10 g de suelo y se le adicionaron 25 mL de NaOH a 0.25 M, se incubaron por 6 h a 25 °C. El NaOH 0.25 M se valoró con HCl al 0.25 M. La respuesta máxima de la BM se determinó en términos de su respiración (producción de C- CO_2), y está fue evaluada a diferentes concentraciones de glucosa como

sustrato (0, 250, 1000, 1750, 2500, 3250 y 4000 mg de glucosa kg^{-1} suelo seco) (Anderson y Domsch, 1978; Alef y Nannipieri, 1995).

La actividad microbiana se evaluó mediante la hidrólisis de la fluoresceína diacetato (FDA). Es un método indirecto, basado en la hidrólisis del sustrato (FDA) por enzimas extracelulares e intracelulares como esterases, proteasas y lipasas no específicas del suelo liberando fluoresceína como producto, reportándose la masa de fluoresceína producida por masa de suelo y tiempo (Adam y Duncan, 2001). Se pesó 1 g de suelo seco, agregándose 15 mL de buffer de fosfato (60 mM, pH 7.6 ajustado con HCl) y 0.15 mL de una solución de FDA (1 mg mL^{-1}) con una concentración final de $10 \mu\text{g mL}^{-1}$. Las muestras se incubaron a 35°C con agitación a 50 rpm por 1 h, se agregaron 2 mL de acetona para detener la reacción y se centrifugaron a 4000 rpm a 4°C por 10 min. Por último, para la cuantificación de la fluoresceína producida, se realizó una filtración para eliminar impurezas y se tomaron lecturas de absorbancia a 490 nm (Schnürer y Rosswall, 1982; Adam y Duncan, 2001; Jiang *et al.*, 2016).

El cociente microbiano $C_{\text{mic}}/\text{COT}$ se determinó mediante una relación de los datos obtenidos para el C-BM (mg de $C_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ suelo seco) y el contenido de COT (mg COT kg^{-1} suelo seco) expresado en porcentaje (Anderson y Domsch, 2010; Srinivasarao *et al.*, 2014).

Se determinó el coeficiente de variación (% CV) y se realizó un, ANOVA en un factor para determinar la diferencia significativa entre cada uno de los parámetros evaluados con un nivel de significancia del 95 %. Después se realizó un análisis de comparación de medias para determinar las diferencias mínimas significativas (LSD, por sus siglas en inglés) de los parámetros evaluados con un nivel de significancia del 95 % ($p = 0.05$). Así mismo, se realizó un análisis de correlación entre factores, utilizando regresión simple. La intensidad de las relaciones se obtuvo mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r) con apoyo del paquete estadístico StatistiXL™ (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La problemática por el inadecuado manejo de los suelos agrícolas de la región Bajío guanajuatense se ve reflejada en los elevados contenidos del ion Na^+ intercambiable (Figura 1). El valor obtenido para este parámetro en los 6 suelos fue de 250 a 1395 mg kg^{-1} suelo seco, con un valor promedio de 912 mg kg^{-1} suelo seco y una variabilidad entre los suelos del 46 %. Castellanos *et al.* (2000), reportó un valor promedio de Na^+ intercambiable para suelos agrícolas de esta región de 470 mg kg^{-1} suelo seco, confirmándose que en los últimos 15 años el contenido de Na^+ intercambiable se ha incrementado al doble inexorablemente en los suelos de la región.

Los resultados mostraron diferencias significativas ($p = 0.05$) en el contenido de este ion entre los diferentes suelos, por lo que se estudió de manera independiente el estado actual de los

factores fisicoquímicos (pH y COT) y biológicos (C-BM y FDA) de los suelos. También se analizó la relación entre los parámetros anteriores para determinar el grado de efecto positivo o negativo en el que se encuentran a causa del contenido de Na^+ intercambiable.

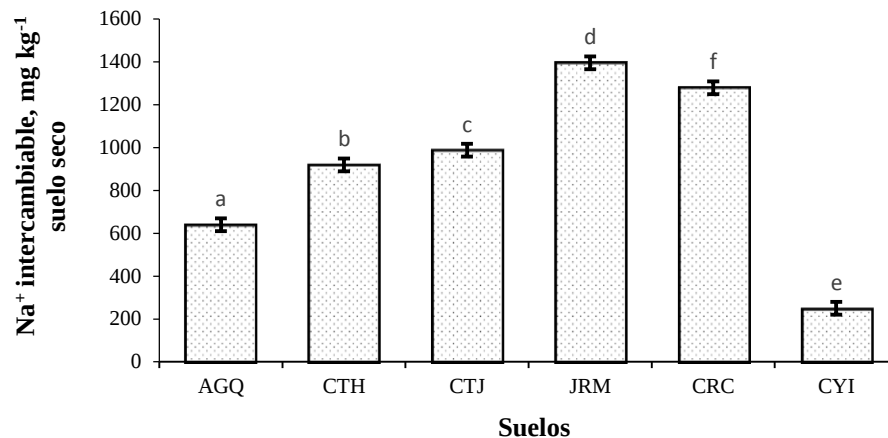


Figura 1. Contenido de Na^+ intercambiable (mg kg^{-1} suelo seco) en los suelos del Bajío guanajuatense. Las líneas verticales en la barra representan las diferencias mínimas significativas y letra distinta son estadísticamente diferentes ($LSD, 0.05$).

El contenido de % COT en los suelos varió entre 0.98-1.41, los cuales son valores bajos para suelos agrícolas según datos reportados en estudios previos donde se establece que el contenido de % COT para suelos agrícolas se encuentra entre 2.0 – 3.0 % (Celis *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2012). El suelo CYI, presentó menor valor en el % COT con respecto a los suelos con presencia de valores altos de Na^+ intercambiable (Figura 2). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p = 0.05$) en el % COT entre los diferentes suelos, presentando un 14 % de variabilidad. Singh *et al.* (2012), evaluaron un suelo sódico degradado y encontraron 0.132 % COT, y después de rehabilitar el suelo con diferentes tratamientos el % COT osciló entre 0.312 a 1.077. Los valores aún se encuentran por debajo de los obtenidos en los suelos del Bajío de estudio, indicando que un elevado contenido de iones Na^+ intercambiable no tiene una relación lineal directa sobre el % COT. Sin embargo, los valores obtenidos de este parámetro para los suelos del Bajío, aún se encuentran por debajo de los establecidos como idóneos para suelos agrícolas (Celis *et al.*, 2011).

Con respecto a los valores de pH obtenidos los suelos se consideran medianamente alcalinos con un intervalo de pH entre 7.80 – 8.9 (Cuadro 2), siendo estos valores característicos en suelos sódicos (Shukla *et al.*, 2011), vinculándose también con valores altos en el contenido del ion Na^+ intercambiable. Los valores de pH presentaron una variabilidad del 5 % entre los diferentes suelos analizados. Se observó que el suelo con mayor pH fue JRM, presentando también el mayor contenido del ion Na^+ intercambiable, lo cual concuerda con otros autores sobre el vínculo de ambos parámetros fisicoquímicos (Singh *et al.*, 2012; Tavakkoli *et al.*, 2015).

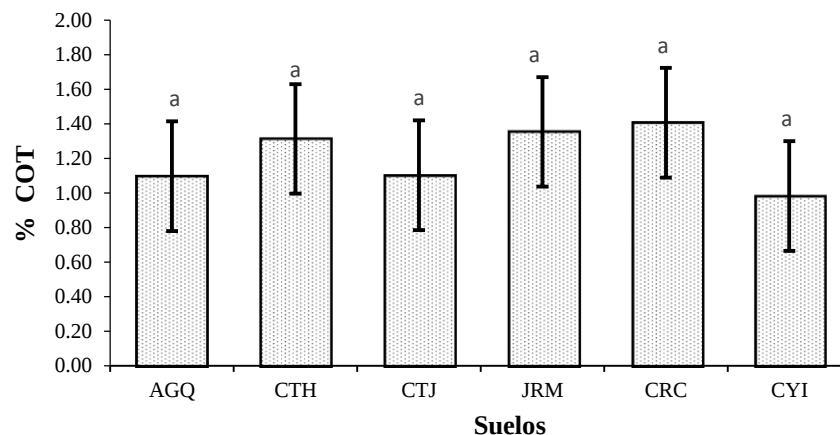


Figura 2. Porcentaje del contenido de Carbón Orgánico Total (COT) en los suelos del Bajío guanajuatense. Las líneas verticales en la barra representan las diferencias mínimas significativas y letra distinta son estadísticamente diferentes (*LSD*, 0.05).

Sin embargo, el suelo CYI, que se caracterizó por su bajo contenido de Na^+ intercambiable también presentó un valor de pH alcalino, siendo importante entonces, el análisis de otras variables fisicoquímicas como son el contenido de CO_3^{2-} y HCO_3^- , los cuales han sido reportados que en valores de $\text{pH} > 8$, estos iones pueden convertirse en la forma dominante de alcalinidad en los suelos (Paulraj, 2016).

Por otro lado, la actividad de los iones de carbonatos y bicarbonatos en presencia de un elevado contenido de iones Ca^{++} y Mg^{++} en los suelos podrían dar como resultado la precipitación de sales como CaCO_3 y MgCO_3 aumentando la alcalinidad (Gupta *et al.*, 1981; Rengasamy y Olsson, 1991; Bloom, 2000) Además, la precipitación de estas sales puede producir un incremento del pH con una disminución del carbón orgánico en el suelo (Wong *et al.*, 2010). Con los resultados obtenidos en este trabajo no es posible establecer una relación directa entre el pH y el contenido del ion Na^+ intercambiable y es necesario evaluar otros parámetros como el contenido de CO_3^{2-} y HCO_3^- y conductividad eléctrica en estos suelos, para tener una mejor comprensión de este fenómeno.

Cuadro 2. Valores de pH de los suelos agrícolas de la región Bajío guanajuatense.

Suelos						CV (%)
AGQ*	CTH*	CTJ*	JRM*	CRC*	CYI*	
8.40 ± 0.06	8.07 ± 0.02	7.81 ± 0.04	8.85 ± 0.07	7.80 ± 0.09	8.57 ± 0.01	5.22

Los valores son la media ± desviación estándar de tres replicas; CV = coeficiente de variación entre los diferentes suelos. *Las letras en mayúsculas del encabezado se refieren a la clave de los suelos según se estableció en el Cuadro 1.

En suelos agrícolas se han reportado contenidos de C-BM entre 200 – 1000 mg C_{mic} kg⁻¹ suelo seco (Vásquez, 2005), coincidiendo con los valores obtenidos en cinco de los seis suelos evaluados (213.80 – 358.05 mg C_{mic} kg⁻¹ suelo seco). En el suelo de CTH se obtuvo un valor menor al reportado (71.62 mg C_{mic} kg⁻¹ suelo seco). Por otro lado, al realizar el análisis estadístico entre los suelos no se encontró diferencia significativa en el contenido de C-BM (Figura 3), no obstante, presentó una variabilidad del 41 % entre los suelos. La variación del C-BM puede deberse a otros factores que no se consideraron en el presente trabajo como el manejo de cada suelo (McDaniel *et al.*, 2014) y la variabilidad “*per se*” del C-BM a través del tiempo (Berthrong *et al.*, 2013). Concluyendo que en miras de profundizar aún más y vincular los resultados obtenidos de C-BM con el historial de manejo y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos se proponen a futuro, estudios de estructura o composición de la biomasa microbiana a través del tiempo mediante estudios moleculares de cada suelo.

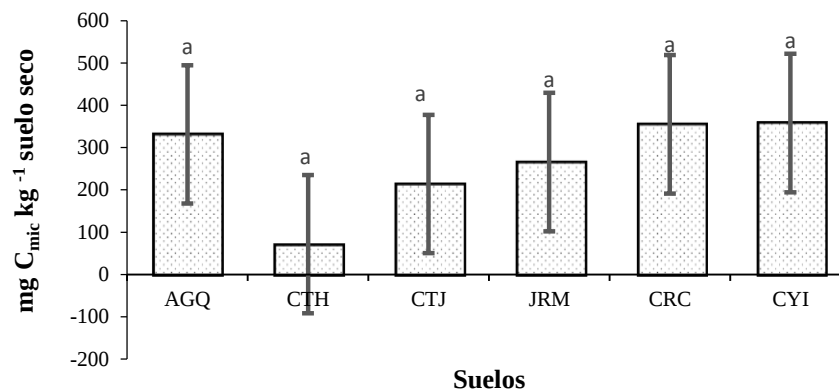


Figura 3. Carbono de la biomasa microbiana (mg C_{mic} kg⁻¹ suelo seco) en los suelos del Bajío guanajuatense. Las líneas verticales en la barra representan las diferencias mínimas significativas y letra distinta son estadísticamente diferentes (LSD, 0.05).

Los suelos presentaron actividades microbianas (FDA) entre 9.02 – 19.42 mg Fluoresceína kg⁻¹ suelo seco h⁻¹, estos valores concuerdan con los reportados por Sydorenko *et al.* (2013) para suelos agrícolas tanto para labranza convencional como labranza cero, siendo de 18 y 11 mg Fluoresceína kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Sin embargo, en otro estudio se reportó que la actividad microbiana medida como hidrólisis de FDA en 19 suelos agrícolas con diferente sistema de manejo cada uno varió en un rango de 39.87 a 172.80 mg Fluoresceína kg⁻¹ suelo seco h⁻¹, concluyéndose que el tipo de manejo que se les dio a los suelos puede verse reflejado sobre indicadores biológicos, como puede ser la actividad microbiana (Burket y Dick, 1998).

El suelo que presentó menor actividad de hidrólisis de FDA fue el de CYI, con menor contenido de Na⁺ intercambiable (250 mg kg⁻¹ suelo seco), y el de mayor actividad de FDA fue el de JRM, con mayor contenido de Na⁺ intercambiable (1395 mg kg⁻¹ suelo seco). Adam y Duncan (2001), mencionaron que la hidrólisis del FDA a fluoresceína es llevado a cabo por

enzimas tanto extracelulares como intracelulares, estos últimos ligados a membrana celular, por lo que el contenido de Na^+ en ambos suelos ligado a sus FDA's podría estar asociados al tipo o composición de microorganismo presentes en los dos suelos, más que su cantidad de C de biomasa microbiana. Rietz y Haynes (2003), mencionaron que en diferentes suelos inducidos a salinidad y sodicidad, existió una relación lineal negativa entre el contenido de C-BM y porcentaje de Na^+ intercambiable (siglas en ingles EPS). Sin embargo, los suelos CY1 y JRM de este estudio presentaron contenidos de C-BM estadísticamente no diferentes entre ellos por lo que se descartaría la influencia del contenido de C-BM en el fenómeno observado. El FDA en diferentes suelos también puede ser influido por pH, y contenido de carbono, teniendo valores de pH óptimos para el hidrólisis del FDA de igual intervalo a los pH's de los CY1 y JRM (Adam y Duncan, 2001).

Por otro lado, los contenidos de %COT de estos dos suelos también fueron similares y en base a los resultados analizados, es poco presumible que estos dos parámetros de pH y %COT estén directamente ligados al fenómeno o relación FDA- Na^+ de ambos suelos. Por otro lado, Pathak y Rao (1998), reportaron que la actividad enzimática microbiana en los suelos puede ocurrir en condiciones de salinidad y alcalinidad, sin embargo Rietz y Haynes (2003) e Yuan *et al.* (2007), mencionaron que el FDA es afectado negativamente por la conductividad eléctrica. Aunado a esto, el análisis estadístico evidencio que solamente existió una diferencia significativa de la actividad microbiana FDA entre los suelos de JRM y CYI (Figura 4). Sin embargo, como se hizo mención anteriormente, el fenómeno FDA- Na^+ podría ser mejor elucidado en posteriores investigaciones, mediante un análisis de la variabilidad de la composición o estructura microbiana, como resultado quizás, a un cambio de las condiciones microambientales, contenido de Na^+ y sodicidad de los microorganismos presentes en los suelos.

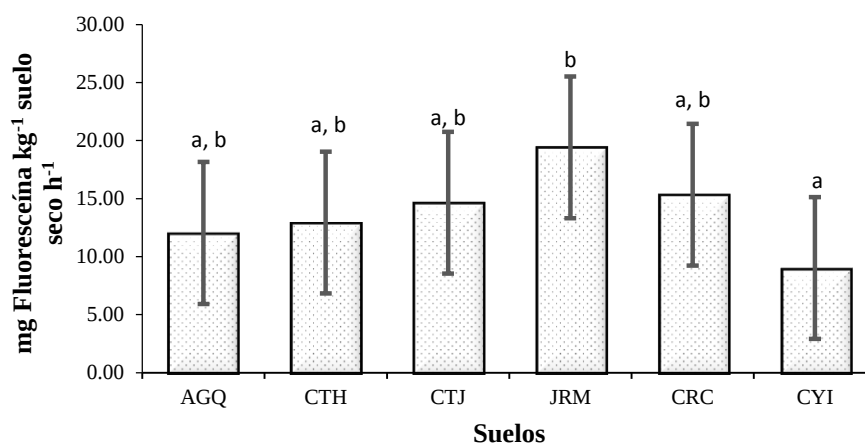


Figura 4. Actividad microbiana por hidrólisis de FDA (mg Fluoresceína kg^{-1} suelo seco h^{-1}) en los suelos del Bajío guanajuatense. Las líneas verticales en la barra representan las

diferencias mínimas significativas y letra distinta son estadísticamente diferentes (*LSD*, 0.05).

Con respecto a un posible vínculo entre el contenido de Na^+ y % COT de los suelos estudiados, estos parámetros presentaron, una correlación positiva ($r = 0.88$ y $R^2 = 0.771$) a pesar de que los valores de % COT en todos los suelos se encuentran por abajo de los reportados en suelos agrícolas (2.0 – 3.0 %) (Vásquez, 2005). Esta correlación positiva indicó que es posible encontrar valores altos de Na^+ intercambiable vinculados o con efecto en la disponibilidad del carbono orgánico en estos suelos (Figura 5A). El aumento de la saturación de Na^+ en los sitios de intercambio da lugar a la dispersión de partículas de materia orgánica y arcilla, por lo tanto, la destrucción de los agregados y la estructura del suelo liberando el carbono que se encontraba secuestrado en los microagregados (Isbell, 2002; Mavi *et al.*, 2012). Este fenómeno podría explicar el incremento de % COT en los suelos con mayor contenido de Na^+ intercambiable.

Sin embargo, para profundizar en el comportamiento anterior sería importante el análisis de otros parámetros como los iones intercambiables Ca^{++} y Mg^{++} , CO_3^{--} y HCO_3^- asociados con el Na^+ intercambiable, así como también el estudio de la estructura, permeabilidad, formación de microagregados y textura de los suelos. El contenido de Na^+ intercambiable de los suelos estudiados mostró una correlación negativa baja ($r = -0.18$) con respecto al pH (Figura 5B), coincidiendo con los resultados obtenidos por Muhammad *et al.* (2008), donde establecieron que el pH del suelo no se vio afectado ni por el contenido de sales ni por la textura.

Sin embargo, encontraron que el pH tuvo efectos negativos significativos con respecto al carbón orgánico del suelo ($r = -0.32$, $p < 0.001$), confirmando lo establecido anteriormente sobre la necesidad de profundizar en el estudio de otros parámetros (textura, Ca^{++} y Mg^{++} y HCO_3^- y CO_3^{--} intercambiables) y como estos, se correlacionan con los diferentes suelos (Wong *et al.*, 2010). Con respecto a una posible correlación entre el C-BM y el contenido de Na^+ , se encontró una correlación negativa ($r = -0.22$) similar a la del pH (Figura 5C), con lo cual se puede establecer que el contenido de Na^+ intercambiable no interaccionaría muy estrechamente con el tamaño de la población microbiana (C-BM) presente en los suelos de estudio.

Por último, la actividad microbiana (hidrólisis de FDA) y el contenido de Na^+ intercambiablemente mostraron una correlación lineal ($r = 0.95$ y $R^2 = 0.897$), indicando que las actividades enzimáticas tales como proteasas, lipasas y esterases no se ven afectadas por el contenido del ion Na^+ intercambiable en los diferentes suelos evaluados. En base a los resultados obtenidos hasta el momento es importante reiterar que es esencial establecer estudios a nivel de actividades enzimáticas y composición microbiana de los suelos estudiados, así como, su variabilidad por el manejo de los suelos y dinámicas de C y N a través del tiempo.

Para evaluar el estado fisiológico de los microorganismos del suelo se determinó el cociente microbiano C_{mic}/COT , parámetro ecofisiológico que establece que no todo el carbono que ingresa al suelo es utilizado para el crecimiento de la población microbiana, ya que una porción de este es requerido para el mantenimiento de la viabilidad e integridad celular de la población ya existente. Esta relación también podría verse afectada por diferentes condiciones climáticas, cambios en la humedad y temperatura del suelo y en función de las rotaciones de cultivos (Anderson y Domsch, 2010).

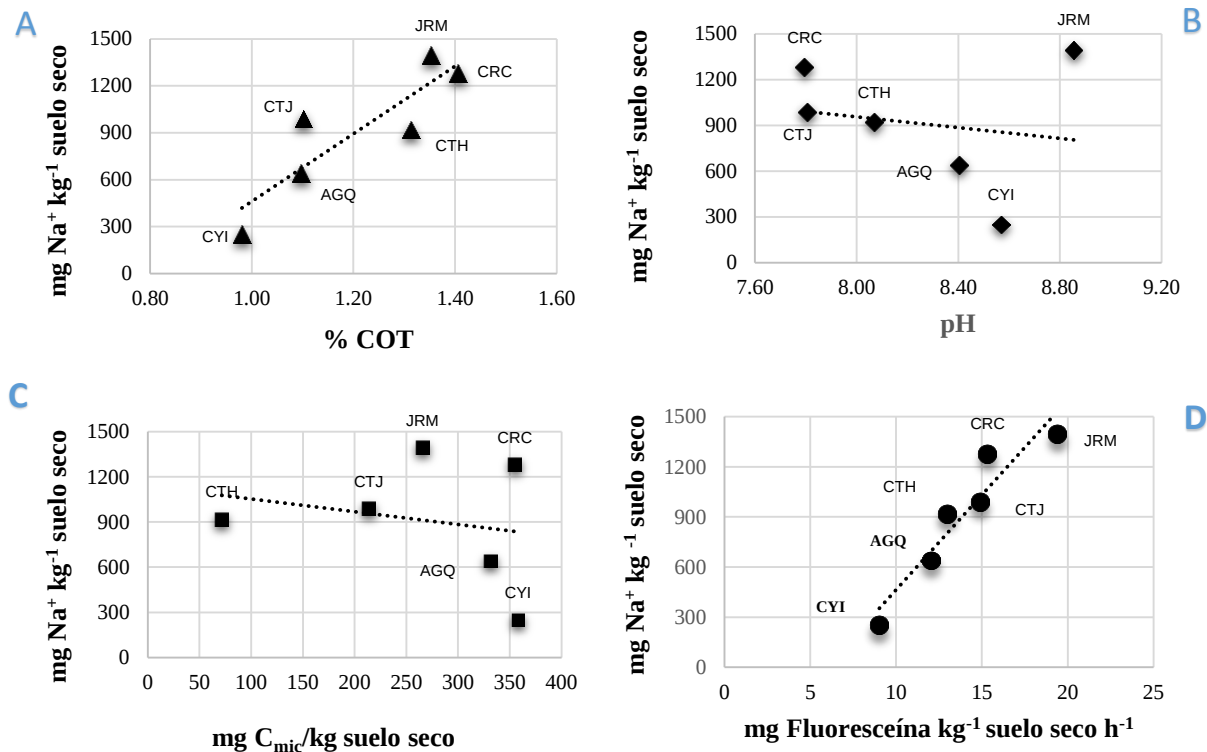


Figura 5. Relación lineal entre los diferentes parámetros evaluados con respecto al contenido de Na^+ ; **A)** Relación entre Na^+ y % COT: $y = 2159.5 x - 1698$, $R^2 = 0.771$; **B)** Relación entre Na^+ y pH; **C)** Relación entre Na^+ y C_{mic} ($mg C_{mic} kg^{-1}$ suelo seco); **D)** Relación entre Na^+ y la hidrólisis del FDA (mg Fluoresceína kg^{-1} suelo seco h^{-1}): $y = 0.0079 x + 6.7154$, $R^2 = 0.897$.

Los valores obtenidos para este parámetro en los seis suelos evaluados se muestran en el Cuadro 3, los cuales oscilaron entre 0.55 a 3.65 % y tuvieron una variabilidad de 47 %, lo cual se puede deber a que los microorganismos presentes en cada uno de los suelos se encuentran en etapas de desarrollo o composición diferentes debido al manejo del suelo o condiciones climáticas de cada zona (Wong *et al.*, 2008; Ferreras *et al.*, 2015).

El valor más alto para el cociente microbiano C_{mic}/COT fue el de CYI (3.65 %), indicando que este suelo tiene una mayor biomasa microbiana soportada por unidad de fuente energética

(carbono orgánico), esto puede atribuirse a dos hipótesis: 1) la fuente de carbono disponible en este suelo ha sido de fácil descomposición o disponibilidad, y 2) la población microbiana es estable y puede soportar los cambios de las condiciones de su medio. Por otro lado, el suelo con el valor más bajo de esta relación fue el de CTH (0.55 %) indicando que su población microbiana no es estable o la fuente de carbono no se encuentra disponible para los microorganismos, estas se pueden comprobar mediante un estudio de la composición de los grupos funcionales de la materia orgánica en el suelo o por otro lado un estudio molecular de la composición microbiana de los mismos suelos.

Cuadro 3. Cociente microbiano C_{mic}/COT expresado en porcentaje de suelos agrícolas de la región Bajío guanajuatense

Suelos						CV (%)
AGQ*	CTH*	CTJ*	JRM*	CRC*	CYI*	
3.01 ± 0.06	0.55 ± 0.02	1.94 ± 0.13	1.97 ± 0.09	2.52 ± 0.05	3.65 ± 0.04	46.94

Los valores son la media $\pm$ desviación estándar de tres replicas; CV = coeficiente de variación entre los diferentes suelos. *Las letras en mayúsculas del encabezado se refieren a la clave de los suelos según se estableció en el Cuadro 1.

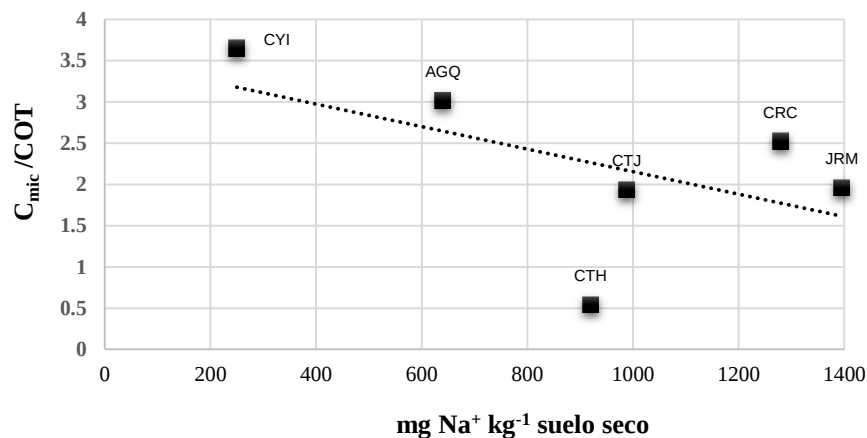


Figura 6. Correlación entre el cociente microbiano C_{mic}/COT con el contenido de Na^+ intercambiable, $y=3.5204-0.0014x$, $R^2=0.289$

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación entre el cociente microbiano C_{mic}/COT con el contenido de Na^+ intercambiable (Figura 6), con la finalidad de evaluar si las poblaciones microbianas de estos suelos son afectadas por el contenido del ion Na^+ intercambiable, obteniéndose una correlación negativa ($r = -0.54$ y $R^2 = 0.289$). Esto indicó, en función de sus valores obtenidos, que a mayor contenido de Na^+ intercambiable menor es el cociente microbiano C_{mic}/COT , es decir, que las fuentes de carbono disponibles para los microorganismos disminuyen en suelos con elevado contenido de Na^+ intercambiable (Wong *et al.*, 2008; Wong *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

El efecto del contenido de Na^+ intercambiable sobre los parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados en los diferentes suelos del Bajío guanajuatense evidencia que la actividad microbiana (hidrólisis de FDA) y el contenido de carbón orgánico total (% COT) son factores importantes para suelos con esta problemática. Se concluye también que a mayor contenido del Na^+ existe una relación lineal o directa con la actividad microbiana (FDA). Sin embargo, no ocurre lo mismo con el C-BM indicando que no necesariamente se relaciona el tamaño de la comunidad microbiana con su actividad, y que es necesario determinar ambos parámetros en suelos con elevado contenido de Na^+ intercambiable. Por último, se concluyó que, el pH y el contenido de C-BM no están influenciados directamente por el contenido del Na^+ intercambiable presente en los suelos. En estos suelos una disminución en el contenido de Na^+ , aumenta la disponibilidad del carbón orgánico para la comunidad microbiana como se observó en la evaluación de la relación de C-BM/COT. No obstante, es necesario realizar análisis morfológicos de los suelos, enzimáticos (enzimas relacionadas con los ciclos de C y N) y moleculares (composición y estructura microbiana temporo-espacial) y dinámicas de C y N a través del tiempo, más detallados para determinar aún más los potenciales efectos del ion Na^+ intercambiable sobre los procesos biológicos, fisicoquímicos, y estos en relación a la fertilidad y funcionalidad de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

A los ciudadanos Verónica Espinosa V.; Diego F. Noria B.; José P. Ortiz L.; TSU Daniel S. Ramírez J.; TSU Christian A. Guevara Z. por su apoyo técnico en los análisis fisicoquímicos y biológicos. Especialmente al CONACYT por la beca otorgada 212522 y proyecto financiado: CB-2014-01 (SEP-CONACyT; convenio no. 236674), y al Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío.

LITERATURA CITADA

- Acosta, O. G. E. 1999. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Centro Regional del Bajío. Trabajo 24: 164 – 182.
- Adam, G. y H. Duncan. 2001. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 943 – 951.
- Alef, K. y P. Nanniperi. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. Londres, Reino Unido 60 – 61.
- Anderson, J. P. E. y K. H. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10: 215 – 221.

- Anderson, T. H. y K. H. Domsch. 2010. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. *Soil Biology and Biochemistry* 42(12): 2039 – 2043.
- Barrett-Lennard, E. G., Anderson, G. C., Holmes, K. W., y A. Sinnott. 2016. High soil sodicity and alkalinity cause transient salinity in south-western Australia. *Soil Research* 54: 407 – 417.
- Berthrong, S. T., Buckley, D. H. y L. E. Drinkwater. 2013. Agricultural management and labile carbon additions affect soil microbial community structure and interact with carbon and nitrogen cycling. *Microbial ecology* 66(1): 158 – 170.
- Bloom, P. R. 2000. Soil pH and pH buffering. In: M. E. Sumner (ed.) *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. B333 – B352.
- Burket, J. Z. y R. P. Dick. 1998. Microbial and soil parameters in relation to N mineralization in soils of diverse genesis under differing management systems. *Biology and Fertility Soils* 27: 430 – 438.
- Castellanos, R. J. Z., Hurtado, G. B., Villalobos, R. S., Badillo, T. V., Vargas, T. P. y R. S. A. Enríquez. 2000. Características Físicas y Químicas de los Suelos del Estado de Guanajuato, a partir de los análisis de laboratorio del Campo Experimental Bajío. In: Reporte Técnico del Proyecto 47/99 de la Fundación Guanajuato Produce, A. C. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Centro Campo Experimental Bajío. pp. 19 – 21.
- Celis, J., Machuca, A., Sandoval, M. y P. Morales. 2011. Biological activity in a degraded alfisol amended with sewage sludge and cropped with yellow serradela (*Ornithopus compressus* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research* 71: 164 – 171.
- Conde, E., Cárdenas, M., Ponce, M. A., Luna, G. M. L., Cruz, M. C. y L. Dendooven. 2005. The Impacts of inorganic application on mineralization de ¹⁴C-Labelled maize and glucose, and on priming effect in saline alkaline soil. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 681-691.
- FAO. 2008. Aumenta la degradación del suelo: Un cuarto de la población mundial está afectada, según un nuevo estudio. Recuperado el 25 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2008/1000874/index.html>
- Ferreras, L. A., Toresani, S. M. I., Faggioli, V. S., y C. M. Galarza. 2015. Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. *Spanish Journal of Soil Science* 5(3): 227 – 242.
- Gupta, R. K., Chhabra, R. y I. P. Abrol. 1981. The relationship between pH and exchangeable sodium in a sodic soil. *Soil Science* 131(4): 215 – 219.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2010. Guanajuato. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM11guanajuato/mediofisico.html>.
- Jian, S., Jing, H., Haoliang, L., Chun, L.J. e Y. Changlin. 2016. Optimization for assay of fluorescein diacetate hydrolytic activity as a sensitive tool to evaluate impacts of pollutants and nutrients on microbial activity in coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin* 110(1): 424 – 431.

- Kujur, M. y A. K. Patel. 2012. Comparative Assessment of Microbial Biomass and Soil Enzyme Activities as Potential Indicators of Soil Quality in Different Mine Spoil, Odisha. *Journal of Environment* 1(2): 64 – 74.
- Lakhdar, A., Scelza, R., Scotti, R., Rao, M. A., Jedidi, N., Gianfreda, L. y C. Abdelly. 2010. The effect of compost and sewage sludge on soil biologic activities in salt affected soil. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 10(1): 40 – 47.
- Loeppmann, S., Semenov, M., Blagodatskaya, E. e Y. Kuzyakov. 2016. Substrate quality affects microbial-and enzyme activities in rooted soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 179: 39 – 47.
- Mandujano, B. A., Paredes, M. R., Alamilla, M. M. P. y R. F. F. Buenrostro. 2013. Guía para la producción de maíz, frijol, trigo y sorgo en Guanajuato. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de investigación regional del centro y Campo experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. 26 p.
- Mavi, M. S., Marschner, P., Chittleborough, D. J., Cox, J. W. y J. Sanderman. 2012. Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology and Biochemistry* 45: 8 – 13.
- McDaniel, M. D., Tiemann, L. K. y A. S. Grandy. 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications* 24(3): 560 – 570.
- Muhammad, S., Müller, T. y R. G. Joergensen. 2008. Relationships between soil biological and other soil properties in saline and alkaline arable soils from the Pakistani Punjab. *Journal of Arid Environments* 72(4): 448 – 457.
- Pathak, H. y D. L. N. Rao. 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 695 – 702.
- Paulraj, R. 2016. Sodicity Status of Salt-Affected Soils of Israna, Haryana, India. In: N. Janardhana Raju (ed.). *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment: Part II*. School of Environmental Sciences, Jawaharlal Nehru University, Delhi, India. pp. 391 – 396.
- Rengasamy, P. y K. A. Olsson. 1991. Sodicity and soil structure. *Soil Research* 29(6): 935 – 952.
- Ricotta, C. 2005. Through the jungle of biological diversity. *Acta Biotheoretica* 53: 29 – 38.
- Rietz, D. N. y R. J. Haynes. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 35(6): 845-854.
- Ruzek, L., Vorisek, K., Strnadova, S., Novakova, M. y W. Barabasz. 2004. Microbial characteristics, carbon and nitrogen content in Cambisols and Luvisols. *Plant Soil Environmental* 50: 196 – 204.
- Schnürer, J. y T. Rosswall. 1982. Fluorescein Diacetate Hydrolysis as a Measure of Total Microbial Activity in Soil and Litter. *Applied and Environmental Microbiology* 43(6): 1256 – 1261.
- Shah, S. A. y Shah, Z. 2011. Changes in soil microbial characteristics with elevated salinity. *Sarhad Journal of Agriculture (Pakistan)* 27(2): 233 – 244.

- Shukla, S.K., Singh, K., Singh, B., Gautam, N.N. 2011. Biomass productivity and nutrient availability of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. growing on soils of different sodicity stress. *Biomass and Bioenergy* 35: 3440 – 3447.
- Singh, K., Singh, B. y R. R. Singh. 2012. Changes in physico-chemical, microbial and enzymatic activities during restoration of degraded sodic land: Ecological suitability of mixed forest over monoculture plantation. *Catena* 96: 57 – 67.
- Srinivasarao, C. H., Venkateswarlu, B., Lal, R., Singh, A. K., Kundu, S., Vittal, K. P. R. y M. M. Patel. 2014. Long-term manuring and fertilizer effects on depletion of soil organic carbon stocks under pearl millet-cluster bean-castor rotation in Western India. *Land Degradation and Development* 25(2): 173 – 183.
- Srivastava, P. K., Gupta, M., Pandey, A., Pandey, V., Singh, N., y S. K. Tewari. 2014. Plant Soil Environ. Effects of sodicity induced changes in soil physical properties on paddy root growth. *Plant soil and environment* 60(4): 165 – 169.
- StatistiXL. 2008. Windows™ versions of Microsoft's sophisticated Excel™.
- Sydorenko, O., Tosi, M., Torrez, D. V., Montecchia, M. S., Correa, O. S., Berti, M. F. y M. A. Soria. 2013. Efecto del manejo agronómico sobre la microbiota de los suelos del oeste de la provincia de buenos aires. *Jornada del Instituto de Investigación en Biociencias Agrícolas y Ambientales*, Buenos Aires, Argentina. pp. 1 – 7.
- Tavakkoli, E., Rengasamy, P., Smith, E. y G. K. McDonald. 2015. The effect of cation–anion interactions on soil pH and solubility of organic carbon. *European Journal of Soil Science* 66(6): 1054 – 1062.
- Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks DL. (ed.). *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America, USA. pp. 475 – 490.
- Vásquez, M. 2005. Evaluación de métodos para cuantificar biomasa microbiana en suelos y su posterior aplicación en el estudio de dinámicas de carbono y nitrógeno en suelos de México. *Centro de investigación y de estudios avanzados del IPN*. 98 p.
- Walkley, A. y C. A. Black. 1934. An examination of different methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29 – 38.
- Wong, V. N., Dalal, R. C. y R. S. Greene. 2008. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and fertility of soils* 44(7): 943 – 953.
- Wong, V. N., Greene, R. S. B., Dalal, R. C., y B. W. Murphy. 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use and Management* 26(1): 2 – 11.
- Yuan, B. C., Li, Z. Z., Liu, H., Gao, M. e Y. Y. Zhang. 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology* 35: 319 – 328.

APROVECHAMIENTO DE HUERTOS FAMILIARES EN EL ALTIPLANO CENTRAL MEXICANO¹

[USE OF FAMILY ORCHARDS IN MEXICAN CENTRAL HIGHLANDS]

José Carmen García Flores^{1§}, Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo², Miguel Ángel Balderas Plata², Maria Raimunda Araújo Santana³

¹Estudiante de posgrado, Facultad de Química, UAEM, Toluca, México. ²Profesor Investigador, Facultad de Geografía, UAEM, Toluca, México. Doctora en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. [§]Autor para correspondencia: (josec.gf@outlook.com, jggc1321@yahoo.com.mx, mabalderas@uaemex.mx, raybr23@gmail.com).

RESUMEN

El objetivo principal fue analizar agroecosistemas con huertos familiares como estrategia que provee productos para la subsistencia familiar, contribuyendo a su seguridad alimentaria. Se ubican cerca de la casa, conservan germoplasma *in situ* y su aprovechamiento varía según circunstancias de vida y necesidades familiares. Sin embargo, debido a causas como el crecimiento urbano, migración, desinterés de los jóvenes o abandono, están desapareciendo. Se estudiaron doce localidades del Estado de México, de enero a abril de 2015. La metodología incluyó caracterización del área de estudio, análisis de los componentes, productos y beneficios obtenidos, y el diagnóstico de la problemática. Los componentes principales son: casa (99%), patio (75%), pileta (74%), cerco (53%), corral para cría de animales (42%), hortaliza (12%) y zona de composta (10%). Se identificaron 134 especies arbóreas, 54 herbáceas y 13 especies animales. En estos agroecosistemas se cultiva una diversidad de especies de árboles, arbustos, herbáceas, hortalizas y se crían animales de corral. Las familias destinan para autoconsumo frutos, hojas, flores, carne, leche y huevos; utilizados para alimentación, condimento, uso medicinal y ritual. Los excedentes son intercambiados o vendidos para complementar la dieta. El aprovechamiento de los productos les garantiza disponibilidad, ahorrar dinero y la venta proporciona ingresos.

Palabras clave: Agroecosistemas, autoconsumo, biodiversidad, Estado de México, seguridad alimentaria.

¹ Recibido: 04 de mayo de 2016.
Aceptado: 11 de octubre de 2016.

ABSTRACT

The main objective was to analyze agroecosystems with family orchards as a strategy that provide products for family subsistence, contributing to their food security. Are located near to home, conserve germplasm *in situ* and their use depend to life circumstances and family needs. However, due to causes as the urban growing, migration, disinterest to the younger or abandonment, are disappearing. There were studied twelve localities of the State of Mexico, from January to April 2015. Methodology included characterization of study area, analysis to components, products and benefits, and diagnosis of problematic. Main components are: home (99%), yard (75%), water sink (74%), fence (53%), animals breeding corral (42%), vegetables area (12%) and composting area (10%). Were identified 134 arboreal species, 54 herbaceous and 13 animal species. In these agroecosystems are grown a high diversity species of trees, shrub, herbaceous, vegetables and animals. Families' obtain for self-consumption fruits, leaves, flowers, meat, milk and eggs; used by alimentation, condiment, medicinal and ritual purposes. Surpluses are exchanged or sold to supplement family diet. Use of products ensures availability, saves money and the products sale brings incomes.

Index words: Agroecosystems, self-consumption, biodiversity, Mexico State, food security.

INTRODUCCIÓN

Los huertos familiares son espacios con importancia ecológica en los que se conserva germoplasma *in situ* (Colín *et al.*, 2012), funcionan como refugio de especies vegetales silvestres que han desaparecido de su hábitat natural; se convierten en áreas importantes para la conservación de la agrobiodiversidad regional (White *et al.*, 2013). Son ecosistemas agrícolas situados cerca de la casa (Santana *et al.*, 2015). La composición y el aprovechamiento de cultivos varía según las circunstancias de vida y necesidades de las familias en zonas rurales (Chablé *et al.*, 2015). Se han desarrollado por generaciones, y en ellos ocurren procesos ecológicos, agronómicos, culturales, sociales y físicos (Rivas, 2014).

Esta investigación considera al huerto familiar, la vivienda, el patio, la pileta, la zona de compostaje, el corral para la cría de animales y la hortaliza como un Agroecosistema con Huerto Familiar (AEHF); son manejados en áreas rurales por familias campesinas para satisfacer necesidades de alimentación (Colín *et al.*, 2012; Chablé *et al.*, 2015). Donde se lleva a cabo un manejo integral de los componentes del agroecosistema para convertirlo en un sistema multifuncional ecológica y económicamente viable.

Los AEHF son una tradición agroecológica, utilizados para distintos fines ambientales, sociales, culturales y económicos (Gutiérrez *et al.*, 2015). Están en un proceso paulatino de desaparición por factores como la urbanización, el crecimiento de la familia, la división del

terreno para construir nuevas casas habitación y el abandono de los huertos por causa de la migración (Guerrero, 2007; White *et al.*, 2013); otros efectos negativos son la pérdida de conocimientos sobre el manejo del agroecosistema, la disminución de prácticas agroecológicas y el escaso mantenimiento que se les da (Juan y Madrigal, 2005; Chávez, 2012). Se estudiaron doce localidades, cuatro por cada uno de los municipios de Malinalco, Tenancingo y Villa Guerrero, Estado de México. Mediante entrevistas semiestructuradas, observación en campo, recorridos sistemáticos fueron identificados los componentes, productos que se obtienen, estructuras vegetales utilizadas y se determinó la problemática que presentan en esta zona.

El objetivo de la investigación es identificar los productos y estructuras vegetales que aprovechan de los agroecosistemas con huertos familiares en tres municipios del Sur del Estado de México, para su análisis como estrategia que provee productos para la alimentación de la familia, aporta a la seguridad alimentaria familiar y conserva especies vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El soporte metodológico se retomó de la Planeación Geográfica Integral (Gutiérrez, 2013), que permitió identificar y delimitar las fases del estudio. Esta investigación integra los métodos cuantitativo para el análisis socioeconómico de las localidades, distribución y frecuencia de los AEHF; y cualitativo, que describe las características del área de estudio, análisis agroecológico para determinar las relaciones entre los componentes de los AEHF, prácticas y manejo de agroecosistemas. El trabajo de campo se realizó de enero a abril de 2015.

Las etapas metodológicas son:

1. Caracterización del área de estudio, se analizaron, de manera sistémica e integral, los aspectos ambientales, sociales, económicos y culturales que favorecen la presencia de los agroecosistema; así como las características de las localidades y de las familias. A partir de la localización se describieron los siguientes factores: relieve, tipos de roca, tipos de suelo, clima, vegetación y población. Mediante interpretación cartográfica se identificaron los AEHF, el número total por localidad, la superficie de los huertos y su tendencia de distribución espacial.

Los municipios en los que se ubican las comunidades analizadas son Malinalco, Tenancingo y Villa Guerrero, Estado de México; localizados a los 18° 48' 58" y 19° 57' 07" de latitud norte y a los 99° 38' 37" y 98° 35' 45" de longitud oeste. El área de estudio está constituida por doce localidades, tres corresponden a cabeceras municipales y nueve son comunidades rurales.

2. Análisis de los componentes, productos y beneficios obtenidos, por medio de una entrevista semiestructurada y observación directa en campo se realizó el análisis agroecológico de 180 AEHF en doce localidades, 15 en cada localidad, con el fin de identificar las interacciones entre los diversos componentes del agroecosistema, las prácticas, técnicas y conocimientos que aplican

las familias para el manejo de los agroecosistemas. Como una estrategia que les permite aprovechar los productos, conservar biodiversidad y que contribuye a la seguridad alimentaria de las familias.

Para el análisis de los datos obtenidos de las entrevistas se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 22.0)® que facilitó la organización y procesamiento de la información, de esta manera se procedió a la interpretación de los resultados.

3. Diagnóstico de la problemática de los AEHF, a través de recorridos sistemáticos y observación en campo se detectaron problemas, y se complementó con el Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del área de estudio

El área de estudio se ubica en la Zona de Transición Ecológica (*ecotono*), creada por la confluencia entre los imperios biogeográficos Neártico y Neotropical, comprende 24 municipios del Estado de México. Derivada de gradientes latitudinal y altitudinal, representa una región de importancia geográfica, ecológica y socioeconómica, donde coexiste vegetación y fauna representativa de ambos imperios (Juan, 2013). Debido a la asociación de especies que las familias propician y al conocimiento tradicional que ponen en práctica, poseen una amplia diversidad de árboles y animales dentro del AEHF (White, 2013). Estas características favorecen la presencia de agroecosistemas con benéficos impactos ambientales, sociales y agroecológicos.

Los tipos de rocas predominantes son ígneas y sedimentarias, los suelos más frecuentes son Andosol, Vertisol, Luvisol y Feozem háplico. El clima predominante es (A) Ca (w1) (w) (i') semicálido, subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 18.5°C, con precipitación promedio de 1,305 mm al año (García, 1982). La vegetación representativa del área son bosque mixto de pino-encino, bosque de pino y selva baja caducifolia (López *et al.*, 2012). El suelos y clima coadyuvan a los pobladores para desarrollar diversas actividades agrícolas; como resultado en los AEHF han logrado adaptación y experimentación sociocultural de una vasta agrobiodiversidad de herbáceas, arbustos, árboles y animales.

Las características sociales de las localidades se distribuyen de la siguiente manera: población total de 45,812 habitantes, su distribución por género es 52% mujeres y 48% hombres. La Población Económicamente Activa son 18,792 personas y la Población Económicamente Inactiva 14,868. En lo que respecta a escolaridad, 31% asiste a la escuela, 26% no asiste a la escuela, 20% cuenta con educación básica, 18% posee educación pos-básica y 5% es analfabeta. Aproximadamente 62% de la población tiene acceso a atención médica y 38% no cuenta con este

derecho (INEGI, 2010). Son características de localidades rurales, a pesar de considerar a las cabeceras municipales como urbanas; estas condiciones resaltan la importancia de los AEHF.

El total de las personas entrevistadas fueron 77% mujeres y 23% hombres, una razón de la prevalencia femenina fue la hora que se aplicaron las entrevistas; los hombres salieron al trabajo y las mujeres permanecían en la vivienda. El rango de edad fue de 20 a 85 años, la mayor proporción de edades se concentró entre 41 a 50 años con 22%. La religión que profesan las familias en su mayoría es católica con 83%, el resto de los entrevistados practican diferentes creencias. Las características de edad, género y educación concordaron con lo que Garnatje *et al.* (2011) reportan para los poseedores de huertos en el Pirineo, en donde son mujeres y hombres, principalmente adultos mayores con educación primaria.

El número de ocupantes de los hogares con huertos familiares oscila de 1 a 19 personas por vivienda; sin embargo en 85% de los casos hay de 2 a 7 personas. En lo que respecta al nivel escolar, 78% posee nivel escolar básico, distribuido de la siguiente manera: 32% primaria incompleta, 23% primaria y 23% secundaria. La ocupación principal es ama de casa, seguido por campesino, en su sus investigaciones Colín *et al.* (2012) y Santana *et al.* (2015) reportan condiciones similares de educación y ocupación.

La tendencia espacial de los AEHF (cuadro 1), muestra que el municipio con más huertos es Malinalco, seguido por Villa Guerrero y finalmente Tenancingo; sin embargo el tamaño promedio, donde están incluidos los diversos componentes del agroecosistema es más alto en Villa Guerrero. La superficie proporcional ocupada por los AEHF es mayor en Malinalco comparado con los otros dos municipios.

Cuadro 1. Interpretación cartográfica de los AEHF por municipio analizado.

Municipio	No. de huertos	Superficie promedio de los huertos	Superficie total de las localidades estudiadas (m ²)	Superficie total ocupada por huertos (m ²)	Porcentaje
Malinalco	140	626	2 431 859	90 080	3.70
Tenancingo	81	454	1 906 805	37 645	1.97
Villa Guerrero	113	642	7 083 289	61 577	0.86
Total/Promedio	334	574	11 421 953	189 302	

Fuente: Jiménez, 2015.

Componentes e interacciones en los AEHF

Los componentes que integran a los agroecosistemas de estos municipios son (Figura 1): casa (99%), patio (75%), pileta (74%), cerco (53%), corral para cría de animales (42%), hortaliza (12%) y zona de composta (10%). Van der Wal *et al.* (2011), Cahuich *et al.* (2014) y Chablé *et al.* (2015) describen a estos componentes; sin embargo, su arreglo espacial y organización depende

de las condiciones del predio, ubicación de la casa, antigüedad del predio y la edad del jefe de familia.

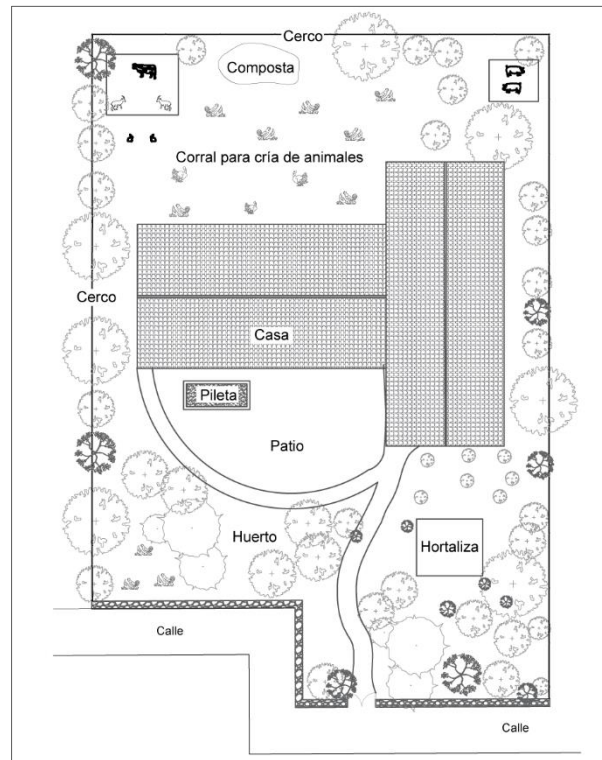


Figura 1. Distribución espacial promedio de los componentes de los AEHF en los municipios de Malinalco, Tenancingo y Villa Guerrero, Estado de México.

En cuanto a la extensión de los huertos, 41% posee hasta 1000 m² y 38% tienen superficie menor a 560 m². En los huertos familiares de los estados de Tabasco y Campeche, Mariaca (2012) y Cahuich *et al.* (2014) consideran que normalmente poseen 500 m², en Hidalgo Santana *et al.* (2015) reportan 400 m², en Morelos Colín *et al.* (2012) informan que poseen 1,825 m² y en el Estado de México Juan (2013) señala que tiene 406 m². Su área es muy variada, pero estos autores consideran que el espacio que se requiere para establecer el huerto son 500 m². La superficie destinada a este componente depende del tamaño de la familia, subdivisión del predio para herencia, construcciones nuevas al interior del terreno o venta de una parte del terreno por necesidad económica de la familia.

En el área de huerto suele estar presente un espacio para el cultivo de verduras, en estos componentes se identificaron 134 especies de árboles y arbustos y 54 herbáceas y hortalizas; los productos que generan son aprovechados en la cocina de la vivienda. Cuando realizan la poda o deshierbe de estas zonas, se utilizan hojas, ramas y hierbas para alimentar a animales como cerdos, conejos o borregos, en otros casos también pueden ser destinadas al compostaje. Las

ramas en algunos casos son usadas para delimitar la propiedad, colocadas como cerca provisional.

El corral para cría de animales es otro de los componentes que forman parte del AEHF, fueron registradas 13 especies, lo más común son: 76% pollos y gallinas, 17% cerdos, 11% caballos, 10% conejos, 6% borregos, 4% guajolotes y 3% vacas. Dentro del agroecosistema suelen coexistir varias especies, alimentados con desperdicios de cocina, frutas demasiado maduras, tortillas duras y pan. Para Juan y Madrigal (2005) la crianza de estas especies representa un ahorro para las familias, Mariaca (2012) señala que el estiércol es utilizado como abono en el huerto y Juan (2013) dice que puede ser incorporado a la composta.

Para el reciclaje de los restos orgánicos, 40% elabora composta que posteriormente reintegran al huerto, plantas en macetas u hortaliza, mientras que 60% coloca hojas, ramas y cáscaras de fruta directamente en la base de los árboles para su descomposición; esta actividad también es mencionada por Juan (2013) y White (2013). En estos agroecosistemas las hojas de los árboles son aprovechadas para tres usos: el primero, es dejar que se queden en el lugar donde caen, como cobertura del suelo para mantener la humedad; el segundo, es emplearlas para dar de comer a animales pequeños como conejos; y el tercero para elaboración de composta.

El almacenamiento de agua es en una construcción conocida localmente como pileta, normalmente contiene agua potable. Es importante para las familias porque aquí lavan la ropa y trastos. El agua jabonosa que se produce en ocasiones se esparce en el patio, o se conduce hacia el huerto. Se recurre a la pileta para dar de beber a los animales con cubetas y también para regar el huerto o la hortaliza.

Aprovechamiento de los AEHF

Las razones por tener el agroecosistema, 69% obtención de alimentos y 26% lo disfrutan. Palacios y Barrientos (2011) y Rivas y Rodríguez (2013) atribuyen al huerto la cualidad de contribuir a la seguridad alimentaria. En el área de estudio los AEHF contribuyen a la alimentación de sus poseedores (52%), además perciben que beneficia a su salud (38%) porque consumen alimentos que no contienen agroquímicos y aporta a su economía (10%) derivado de vender o intercambiar productos que complementan la dieta familiar.

Los productos alimenticios que consumen del AEHF son frutas (98%), plantas medicinales (38%), condimentos para la preparación de los alimentos (38%) y, con menor frecuencia, aprovechan hojas, huevo, leche, verduras y tallos. Para Rigat *et al.* (2009) constituye un sistema del que se obtiene una variedad de productos; Rosado (2012) lo asocia a la alta agrobiodiversidad que contienen estos agroecosistemas.

La cantidad de ocasiones que son aprovechadas por los propietarios las distintas estructuras de las diferentes especies arbustivas y arbóreas se observan en el Cuadro 2. Van der Wal *et al.*

(2011), Mariaca (2012) y Chablé *et al.* (2015) afirman que el aporte de productos vegetales del huerto, se complementa con productos de los animales para mejorar la seguridad alimentaria de las familias.

Las formas de aprovechamiento que los poseedores realizan de las diversas estructuras de las plantas herbáceas y hortalizas se muestran en el Cuadro 3. Algunas especies utilizadas para condimentar la comida o con fines medicinales, en ocasiones se encuentran a la orilla del cerco. De acuerdo con White *et al.* (2013) algunas especies ruderales empleadas por las familias son epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.), lentejilla (*Lepidium virginicum* L.), verbena (*Verbena carolina* L.), vinagrillo (*Oxalis corniculata* L.), entre otras.

Cuadro 2. Estructuras vegetales utilizadas de las especies arbóreas y arbustivas del huerto.

Estructura vegetal	Número de ocasiones	Porcentaje
Frutos	1419	74.5
Hojas	296	15.5
Flores	142	1.7
Tallos	32	7.5
Savia	16	0.8
Total	1905	100

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Estructuras vegetales utilizadas de las especies herbáceas y hortalizas del AEHF.

Estructura vegetal	Número de ocasiones	Porcentaje
Hojas	436	80.0
Fruta	101	18.5
Tallo	7	1.3
Flor	1	0.2
Total	545	100

Fuente: Elaboración propia.

Los dueños perciben que tener plantas puede ser útil para repeler plagas (17%), para ello emplean especies aromáticas, como el caso de la ruda (*Ruta graveolens* L.) que evita se acerquen insectos; de acuerdo con Chávez (2012), Calvet *et al.* (2014) y Jiménez (2015) es parte del conocimiento que poseen las familias para el manejo del agroecosistema. Otra ventaja es que a partir de la acumulación de hojas, la presencia de árboles y arbustos se evita el crecimiento de hierba y previene la erosión del suelo.

Los productos de los animales que son aprovechados por las familias se observan en el Cuadro 4, los animales al igual que las plantas cumplen la función de alimentación, ya que la carne es el producto de mayor consumo familiar de este componente del AEHF. Para Jiménez *et al.* (2011) los animales representan una forma con la que las familias pueden ahorrar, ya que cuando son vendidos ellos obtienen dinero.

El destino principal de los productos del agroecosistema es el autoconsumo, señalado también por Van der Wal *et al.* (2011), Rosado (2012) y Santana *et al.* (2015). De acuerdo con Rivas (2014) y Juan (2013) la alimentación de las familias es reforzada con los productos que ellas mismas cultivan en estos agroecosistemas.

Cuadro 4. Productos de los animales del AEHF utilizadas por las familias

Producto animal	Propietarios que las aprovechan	Porcentaje
Carne	104	41.3
Huevo	76	30.2
Animal vivo	67	26.6
Leche	5	2.0
Total	252	100

Fuente: Elaboración propia.

Beneficios que las familias rurales obtienen de los agroecosistemas

Las familias perciben que el agroecosistema les brinda diferentes beneficios. Beneficios ambientales, 74% destaca que el huerto les proporciona un clima agradable, al permanecer bajo la sombra de los árboles pueden refugiarse del calor, mantienen una temperatura más homogénea durante el día y una humedad que favorece el confort de su vivienda. García *et al.* (2016) consideran que se propician servicios ambientales como regulación microclimática, fertilidad del suelo y refugio de animales silvestres.

Beneficios sociales identificados tienen que ver con la interacción familiar (85%) y la relación con otras personas (15%). En el mantenimiento del agroecosistema participa toda la familia, es el momento donde los hijos aprenden las labores de riego, deshierbe, poda, recolección de productos y control de plagas, de esta manera permite integrar y reforzar los lazos familiares. Las formas de relacionarse con otras personas, 58% se da a partir del intercambio de productos y 32% mediante el intercambio de conocimientos. Para García *et al.* (2016) ayuda a evitar la exclusión, favorece la cohesión social e integración comunitaria.

Beneficios culturales se debe porque es una tradición que forma parte de su cultura, ha pasado de generación en generación. En este sentido las familias lo consideran como una actividad lúdica (34%), se utiliza como distracción (24%), les produce alimentos (18%) y es útil para compartir tiempo y conocimientos (11%). Garnatje *et al.* (2011) y Calvet *et al.* (2014) consideran que son reservorios de conocimiento ecológico tradicional, a través del que se contribuye, indirecta o directamente, en la conservación de la diversidad biológica.

Beneficios económicos debido a que es una estrategia que les genera dinero cuando hay excedentes de productos y animales. Con la venta de casi treinta especies de árboles y arbustos

les permite generar ingresos a la familia (70%), y con el intercambio complementan la dieta familiar con productos que no tiene en el AEHF (30%). Guerrero (2007) dice que el huerto junto con la milpa, son fuente importante para la economía familiar en áreas rurales. Es un sistema que es atendido con mano de obra familiar, a 74% no les genera costos de mantenimiento y 17% compra algún material que se requiera; por lo que se considera un sistema económicamente viable.

Los agroecosistemas con huertos familiares constituyen una estrategia familiar campesina que se ha desarrollado a través del tiempo, forma parte del conocimiento tradicional, y ha sido transmitido de generación en generación (Juan y Madrigal, 2005). A partir del manejo del huerto se desarrolla la cultura, porque en ellos se reflejan costumbres, tradiciones y creencias, como el uso de objetos para la protección de plantas, la utilización de estas para tratar padecimientos respiratorios, digestivos y de filiación cultural (Magaña, 2012; White, 2013; Calvet *et al.*, 2014).

Diagnóstico de la problemática

Entre los problemas más frecuentes identificados para el mantenimiento y la permanencia de los AEHF, 57% se debe a la falta de espacio al dividir sus terrenos para la construcción de viviendas de los hijos casados, y 34% el escaso conocimiento y tiempo son problemas limitantes para continuar con esta tradición. Guerrero (2009) menciona que la migración reduce el trabajo dedicado a los huertos provocando su abandono. White *et al.* (2013) y Juan (2013) señalan al proceso de urbanización, desinterés de los jóvenes y escasez de agua como factores de su desaparición.

Las familias que cuenta con un AEHF normalmente no tiene conflictos con otras personas (88%), es reducido el número de problemas suscitados con vecinos (12%). Los principales están relacionados la invasión de animales ajenos al agroecosistema (37%), porque un árbol o ramas han caído al terreno contiguo (33%) y por otras causas como el uso de agua potable para regar el huerto, no recoger hojas, ramas o fruta que cae a la calle (17%).

A partir del análisis FODA (Cuadro 5), se proponen las estrategias para contribuir a mejorar los AEHF. Para maximizar las fortalezas y las oportunidades se consideran las Estrategias Adaptativas (FO), la más importante, promover en la región la relación comunitaria. Las Estrategias Defensivas que pretenden maximizar las fortalezas y minimizar las amenazas (FA), destaca la propuesta de hacer una estratificación vertical del huerto familiar, es decir, colocar árboles, arbustos y herbáceas intercalados como una manera de proteger las especies presentes.

De las Estrategias Adaptativas que plantean minimizar las debilidades y maximizar las oportunidades (DO), sobresale el uso de técnicas eficientes para el riego del AEHF; y para las Estrategias de Supervivencia (DA) dirigidas a minimizar las debilidades y las amenazas, la que

generaría mayor impacto propone eliminar especies exóticas para evitar desequilibrio ecológico, y que, además, consumen una cantidad significativa de agua.

CONCLUSIONES

Los huertos familiares en Malinalco, Tenancingo y Villa Guerrero, Estado de México, constituyen una práctica tradicional: mediante su manejo, los habitantes locales han creado agroecosistemas adaptados a las condiciones locales de suelo, clima y ambiente; y propician la conservación *in situ*, ya que contienen alta diversidad de especies arbóreas, arbustivas, herbáceas, hortalizas. Los AEHF cumplen funciones importantes a nivel familiar y comunitario; desde el punto de vista social permite la integración, refuerza los nexos y la participación familiar en las labores de mantenimiento, además favorece la cohesión social por el intercambio de productos y conocimientos. Al aprovechar los productos contribuyen a la seguridad alimentaria familiar. En el aspecto económico, la familia ahorra al no comprar alimentos producidos en el huerto y obtienen ingresos por la venta de excedentes. Son económicamente viables debido al bajo costo de su mantenimiento. Desde un enfoque ambiental son reservorios de biodiversidad local, que generan bienes y servicios ambientales que proveen confort a la vivienda, funcionan como refugio de animales, previene erosión del suelo y reciclaje de nutrientes. Se consideran una estrategia de vida campesina en las doce localidades estudiadas; con algunos problemas detectados debido al limitado espacio para los componentes, escasez de agua, desinterés por esta práctica y falta de transmisión generacional del conocimiento.

Cuadro 5. Matriz FODA.

Fortalezas	Oportunidades
F1. Producen alimento para autoconsumo	O1. Intercambio de productos
F2. Poseen amplia biodiversidad	O2. Intercambio de conocimientos entre las personas
F3. Establecimiento de plantas, arbustos y árboles de acuerdo con los gustos e intereses de la familia	O3. Venta de excedentes del huerto
F4. Conservación de germoplasma <i>in situ</i>	O4. Requiere poco tiempo para su cuidado
F5. Requieren de pocos insumos para su mantenimiento	O5. Interrelación de los componentes del AEHF
F6. Crean clima agradable	O6. Integración familiar para las actividades de mantenimiento
F7. Reciclaje de nutrientes	O7. Conservación de vegetación local
F8. Generan servicios ambientales	O8. Estrategia de seguridad alimentaria
F9. Protege el suelo de la erosión	O9. Económicamente viables
F10. Utilizar el espacio para recreación o esparcimiento de las personas	O10. Terapia ocupacional para personas que lo requieran
Debilidades	Amenazas
D1. Escasez de agua	A1. Introducción de especies exóticas
D2. División del terreno por el crecimiento de la familia	A2. Presión por el cambio de uso de suelo
D3. No se transmite el conocimiento a las nuevas generaciones	A3. Políticas públicas para crear invernaderos o huertos comerciales
D4. Plagas en el agroecosistema	A4. Cambios en los ciclos de lluvia y sequía
D5. Falta de sucesión ecológica	A5. Aumento o disminución de la temperatura
D6. Desconocimiento de la importancia del huerto	A6. Resistencia o aparición de plagas
	A7. Uso de agroquímicos fuera del AEHF que afecte al

familiar	huerto
D7. Escasas prácticas para el mantenimiento del huerto	A8. Problemas económicos familiares que provoque
D8. El mantenimiento es realizado por personas mayores y mujeres	vender su terreno
D9. Desinterés por continuar con el huerto	A9. Crecimiento de la zona urbana
D10. Falta de asesoría para el mantenimiento	A10. Migración de las familias por problemas económicos

Fuente: Elaboración propia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que colaboraron y transmitieron sus conocimientos. Esta investigación se ha llevado a cabo gracias a la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

LITERATURA CITADA

- Cahuich, D., L. Huicochea y R. Mariaca. 2014. El huerto familiar, la milpa y el monte Maya en las prácticas rituales y ceremoniales de las familias de X-Mejía, Hopelchén, Campeche. *Relaciones* 35 (140): 157-184.
- Calvet, L., T. Garnatje, M. Parada, J. Vallés y V. Reyes. 2014. Más allá de la producción de alimentos: los huertos familiares como reservorios de diversidad biocultural. *Ambiente* 107: 1-15
- Chablé, R., D. Palma, C. Vázquez, O. Ruiz, R. Mariaca y J. Ascencio. 2015. Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(4): 23-39.
- Chávez, E. 2012. Desarrollo modernizador y manejo tradicional del huerto familiar: dos paradigmas diferentes. *In*: R. Mariaca (ed.). 2012. El huerto familiar del sureste de México. Secretaría de Recursos naturales y protección Ambiental del estado de Tabasco. Colegio de la Frontera Sur. México. pp. 391-419.
- Colín, H., A. Hernández y R. Monroy. 2012. El manejo tradicional y agroecológico en un huerto familiar de México, como ejemplo de sostenibilidad. *Etnobiología* 10(2): 12-28.
- García, E. 1982. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 252 p.
- García, J. C., J. G. Gutiérrez, M. A. Balderas y M. R. Araújo. 2016. Sociocultural and environmental benefits from family orchards in the Central Highlands of Mexico. *Bois et Forêts des Tropiques* 329(3): 29-42.
- Garnatje, T., L. Calvet, M. Parada, M. Rigat, J. Vallés y V. Reyes. 2011. Los huertos familiares del pirineo. *Aproximaciones Etnobotánicas y Etnoecológicas del Pirineo Catalán. Méthode* 72: 73-76.

- Guerrero, A. 2007. El impacto de la migración en el manejo de solares campesinos, caso de estudio La Purísima Concepción Mayorazgo, San Felipe del Progreso, Estado de México. *Investigaciones Geográficas* 63: 105-124.
- Guerrero, A. 2009. Manejo de solares campesinos en La Purísima Concepción, Mayorazgo, San Felipe del Progreso, Estado de México. *In: J. Tapia (coord.). Dinámicas ambientales y territoriales en México.* UAEM. pp. 42-61.
- Gutiérrez, J. 2013. *La Investigación Geográfica. Fundamentos, Métodos e Instrumentos.* Dunken. Buenos Aires, Argentina. 149 p.
- Gutiérrez, J. G., L. White, J. Juan y C. Chávez. 2015. Agro ecosistemas de huertos familiares en el subtrópico del Altiplano Mexicano. Una visión sistémica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 18: 237-250.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. XIII Censo Nacional de Población y Vivienda. México.
- Jiménez, A. 2015. Análisis espacial de la composición florística de huertos familiares en Malinalco, Tenancingo y Villa Guerrero, Estado de México. Tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 152 p.
- Jiménez, N., U. Albuquerque y O. Rangel. 2011. Huertos familiares en la bahía de Cispatá, Córdoba, Colombia. *Bonplandia* 20(2): 309-328.
- Juan, J. 2013. Los huertos familiares en una provincia del subtrópico mexicano. Análisis espacial, económico y sociocultural. *Eumed.* México. 136 p.
- Juan, J. y D. Madrigal. 2005. Huertos, diversidad y alimentación en una zona de transición ecológica del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum* 12(001): 54-63.
- López, E., J. A. López, A. Beltrán y L. Aguilera. 2012. Composición de la flora arbórea en el Área Natural Protegida Tenancingo-Malinalco-Zumpahuacán, Estado de México, México. *Polibotánica* 34: 51-98.
- Magaña, M. 2012. Etnobotánica de las plantas medicinales en los huertos familiares de Tabasco. *In: R. Mariaca (ed.). El huerto familiar del sureste de México.* Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco. Colegio de la Frontera Sur. México. pp. 176-196.
- Mariaca, R. 2012. El huerto familiar del sureste de México. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco. Colegio de la Frontera Sur. México. 551 p.
- Palacios, V. y J. C. Barrientos. 2011. Importancia del huerto casero en la seguridad alimentaria. Caso de la comunidad indígena de Camēntsá del valle de Sibundoy, Colombia. *CienciAgro* 2(2): 313-318.
- Rigat, M., T. Garnatje y J. Vallés. 2009. Estudio etnobotánico del alto valle del río Ter (Pirineo catalán): resultados preliminares sobre la biodiversidad de los huertos familiares. Ed. Botánica pirenaico-cantábrica en el siglo XXI, Universidad de Leon, Barcelona, España. pp. 399-408.
- Rivas, G. 2014. Huertos familiares para la conservación de la agrobiodiversidad, la promoción de la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático. *Ambientico* 243: 4-9.

- Rivas, G. y A. Rodríguez. 2013. El huerto familiar: algunas consideraciones para su establecimiento y manejo. Una forma de contribuir a la seguridad alimentaria. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 31 p.
- Rosado, F. 2012. Los huertos familiares, un sistema indispensable para la soberanía y suficiencia alimentaria en el sureste de México. *In*: R. Mariaca (ed.). El huerto familiar del sureste de México. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del estado de Tabasco. Colegio de la Frontera Sur. México. pp. 350-360.
- Santana, M. R., D. Navarrete y J. Mateo. 2015. Riqueza de especies en huertos caseros de tres municipios de la región Otomí Tepehua, Hidalgo, México. *In*: F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola y B. Eibl (coord.). Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. CATIE, Costa Rica, pp. 405-422.
- Van der Wal, H., E. Huerta y A. Torres. 2011. Huertos familiares en Tabasco: Elementos para una política integral en materia de ambiente, biodiversidad, alimentación, salud, producción y economía. Secretaria de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Gobierno del Estado de Tabasco y El Colegio de la Frontera Sur. México. 149 p.
- White, L. 2013. Conocimiento tradicional de los recursos vegetales: plantas medicinales y huertos familiares una aproximación teórico metodológica. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 298 p.
- White, L., J. Juan, C. Chávez, y J. Gutiérrez. 2013. Flora medicinal en San Nicolás, municipio de Malinalco, Estado de México. *Polibótanica* 35: 173-206.

AFECCIÓN DEL MANGLAR POR ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS EN LA SUBCUENCA DE NUXCO, GUERRERO, MÉXICO¹

[AFFECTATION OF MANGROVE BY ANTHROPOGENIC ACTIVITIES AT SUB-BASIN NUXCO, GUERRERO, MÉXICO]

José Angel Vences Martínez^{§1}, María Laura Sampedro Rosas², Benjamín Castillo Elías³, Elizabeth Olmos Martínez⁴, Ana Laura Juárez López², Maximino Reyes Umaña², Itzel Amaya Gama⁵, José Domingo Cipriano Espino¹

¹Profesor-Investigador de la Unidad Académica en Desarrollo Sustentable, Campus Costa Grande de la Universidad Autónoma de Guerrero (chemino21@hotmail.com). ²Profesor-Investigador del Doctorado en Ciencias Ambientales de la Unidad de Ciencias del Desarrollo Regional de la Universidad Autónoma de Guerrero (laura_1953@live.com.mx, analaura43@hotmail.com, maxis_99@hotmail.com). ³Profesor-Investigador de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 3, Campus Costa Grande de la Universidad Autónoma de Guerrero (bcastilloe@hotmail.com). ⁴Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (eliolmos@gmail.com). ⁵Profesor-Investigador de la Unidad Académica Preparatoria No. 6 de la Universidad Autónoma de Guerrero (amayagama.itzel@gmail.com). [§]Autor para correspondencia: (vences_angel@hotmail.com).

RESUMEN

No existen datos precisos sobre la extensión de manglar en las zonas costeras de México, debido a que se ha visto afectada por la tala irracional y clandestina, por desarrollos urbanos y por los habitantes asentados alrededor del ecosistema, causando una disminución importante de los servicios ambientales brindados por estos bosques. En este estudio se estimó la pérdida de la cobertura de bosque de manglar en diferentes años, asociándola al incremento en la superficie ocupada por actividades antropogénicas, a través de la generación de mapas temáticos utilizando los Sistemas de Información Geográfica, que permitieron observar los cambios de manera cuantitativa y cualitativa. Se estimó una pérdida de la superficie de más del 50 % de cobertura de manglar para la Subcuenca de Nuxco en 34 años, debido al incremento de actividades agropecuarias y desarrollo antrópico. Esto ha generado afectación y pérdida de la superficie, por lo que se deben implementar estrategias que permitan la conservación y reforestación de manglar.

Palabras clave: Ecosistemas costeros, pérdida de manglar, sistemas de información geográfica (SIG).

¹ Recibido: 23 de septiembre de 2016.
Aceptado: 20 de octubre de 2016.

ABSTRACT

There are no precise data on the extent of mangroves in the coastal areas of Mexico, because it has been affected by the irrational and illegal logging, by urban developments and the inhabitants settled around the ecosystem, causing a significant reduction provided environmental services these woods. In this study estimated loss of coverage of mangrove forest in different years, associating it the increase in the area occupied by anthropogenic activities, through the generation of mapping using Geographic Information Systems, which allowed to observe changes in estimated qualitative and quantitative manner. Stimated loss of the surface of more tan 50% of mangrove cover for sub-basin Nuxco in 34 years, due to increased agricultural activities and anthropic development. This has generated affectation and loss of the Surface, so that should be implemented strategies for the conservation and reforestation of mangrove.

Index words: Coastal ecosystems, loss mangrove, geographic information systems (GIS).

INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras tienen una dinámica determinada por la interface del continente, el océano y la atmósfera, en la que se encuentran humedales y específicamente extensiones importantes de manglar. Estos, se caracterizan por ser un ecosistema que provee muchos servicios, ser dinámicos, con procesos ecológicos acelerados y muy sensibles a cualquier perturbación, por esta razón y por las diversas actividades antropogénicas como extracción de madera, desarrollo agropecuario y turístico se encuentran en grave riesgo en todo el mundo (Lara-Lara *et al.*, 2008; McGowan *et al.*, 2010; Hamilton y Collins, 2013; Konnerup, 2014).

México está entre los países con mayor grado de deforestación en América, sin embargo, faltan datos precisos de la cobertura nacional, haciendo imposible estimar con exactitud la tasa de pérdida en el paso del tiempo (Hirales-Cota *et al.*, 2010).

Landgrave y Moreno-Casasola (2012) señalan que el estado de Guerrero ha perdido a causa de la tala prácticamente el 31% de humedales, lo que ha impactado en la pérdida de importantes servicios ambientales.

La parte de la zona costera donde se ubica la subcuenca de Nuxco se ha visto afectada por diversas actividades antropogénicas, principalmente actividades que sirven de sustento para las familias asentadas en esta área, esto los ha hecho tomar los recursos naturales que se encuentran a su alcance para cubrir sus necesidades. Sin embargo, en algunos casos el uso de los recursos ha sido de manera irracional de tal manera que ha impactado en estos ecosistemas, poniéndolos en peligro. Si a lo anterior le agregamos, el consumismo y la falta de sistemas de drenaje, hacen que tanto residuos generados en los hogares como las aguas residuales terminen dispersos o vertidos

en los dos cuerpos de agua que se ubican en la Subcuenca, la Laguna de Nuxco, cuya característica principal es tener agua salobre y el Estero el Plan o Michigan, de agua dulce.

En este sentido, el objetivo del presente estudio fue estimar la superficie actual y pérdida de la cobertura de bosque de manglar en la subcuenca de Nuxco, así como la superficie destinada a actividades antropogénicas en los años 1981; 2005; 2010 y 2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la zona costera de la Subcuenca de Nuxco, ubicada en el Municipio de Tecpan de Galeana, región de la Costa Grande del Estado de Guerrero y se ubica en las coordenadas 17° 12' N y 100° 38' O (Fig. 1), con un clima cálido subhúmedo, temperatura que oscila entre 14-28 °C, con lluvias en verano y un rango de precipitación de 800 a 2500 mm (INEGI, 2010).

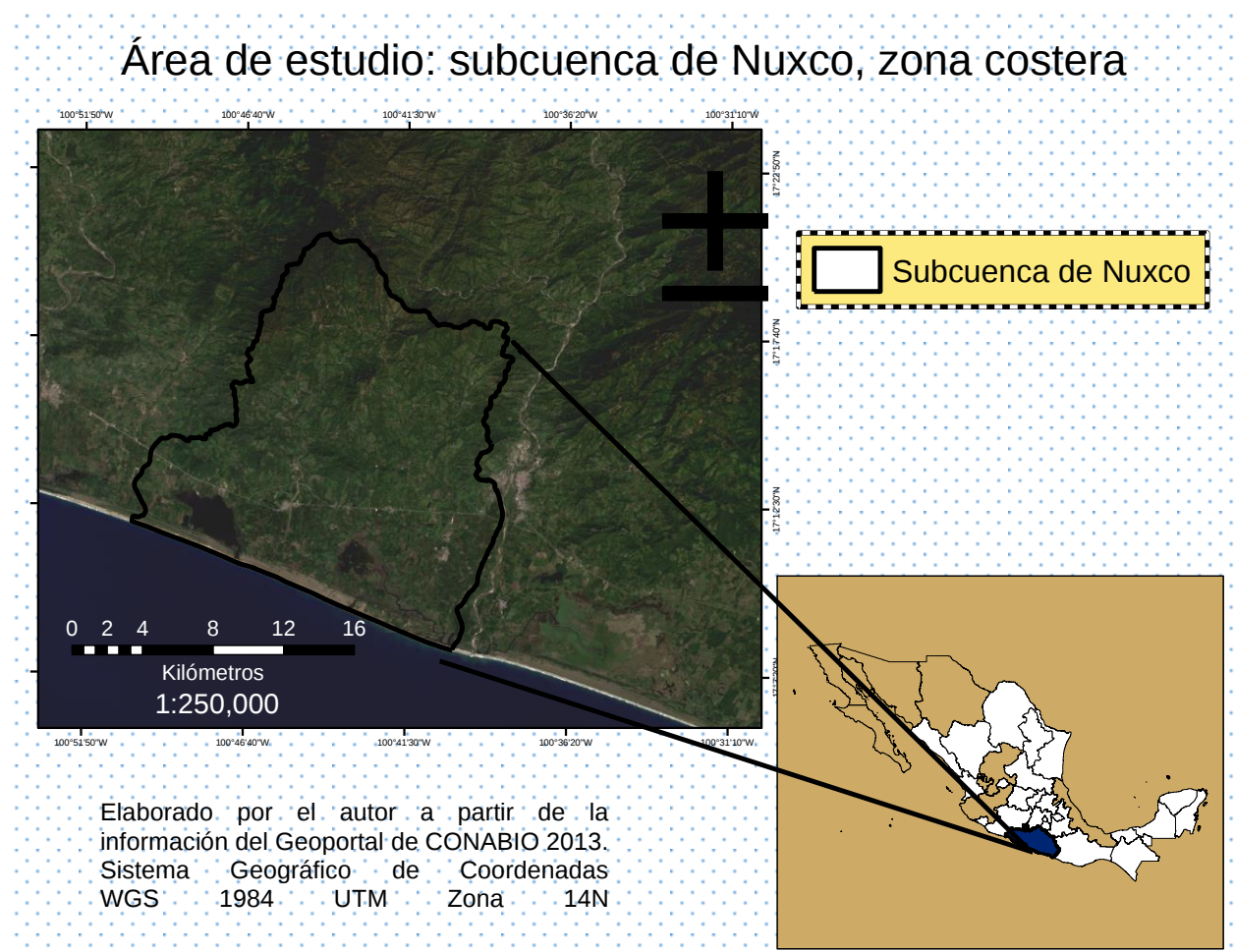


Figura 1. Área de estudio subcuenca de Nuxco.

Superficie y cobertura de manglar

Se realizó una consulta en los acervos de datos geográficos que se encuentran disponibles en el Geoportal de la CONABIO, en donde se procedió a descargar la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación de la Zona Costera asociada a Manglar de México escala 1:50,000 de los años 1981; 2005; 2010 y 2015, que es la única información disponible en formato *shapefile* y en dos sistemas de referencia: a) coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos) y b) coordenadas métricas (*Cónica Conforme de Lambert* o *Universal Transversa de Mercator*) con los parámetros de *DATUM WGS84*, por lo que para conocer la superficie destinada a actividades antropogénicas y de la cobertura de bosque de manglar se realizó la proyección al sistema de referencia NAD 1927 UTM Zona 14N (CONABIO, 2016).

Una vez descargadas las cartas topográficas se trabajó como herramienta de los Sistema de Información Geográfica (SIG) el software ArcGIS 10.2, con el que se elaboraron y analizaron los mapas temáticos, apoyándose en el trabajo realizado por Monzalvo (2006). Se realizaron los cortes necesarios para conocer de manera seccional, tanto a nivel de Subcuenca, Municipio, Estado y Región del Pacífico Sur datos cuantitativos sobre la superficie ocupada por manglar y por las diversas actividades antropogénicas.

Con los mapas temáticos elaborados para cada una de las secciones, se construyeron cuadros que representan de manera cuantitativa la superficie ocupada por actividades antropogénicas y cobertura de bosque de manglar en las zonas costeras para la Región Sur Pacífico que integra a los Estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas; así como, para la zona costera del Estado de Guerrero; el Municipio de Tecpan y finalmente en el área de estudio la Subcuenca de Nuxco.

Solo se presentan los mapas temáticos del área de estudio, la Subcuenca de Nuxco, con el objeto de observar de manera cualitativa los cambios que han ocurrido en cada una de las superficies ocupadas tanto para actividades antropogénicas y la cobertura de bosque de manglar durante el período en estudio de 1981; 2005; 2010 y 2015.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la zona costera de la Región Sur Pacífico, que se encuentra integrada por los Estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas se observó que durante el periodo comprendido de 1981 a 2015 la superficie de manglar disminuyó y la superficie donde se llevan a cabo las actividades antropogénicas (actividad agrícola-pecuaria y desarrollo antrópico) se incrementó a lo largo de 34 años. Referente a la actividad agrícola-pecuaria la superficie en 1981 era de 312,364.79 ha y en 2015 de 427,398.39 ha, lo que significa un aumento de 115,033.6 ha, observándose el mayor incremento en el período de 1981 a 2005 en 94,961.5 ha; respecto al desarrollo antrópico en 1981 ocupaba una superficie de 11,349.14 ha y en 2015 fue de 30,549.46 ha, esto es, un aumento de

19,200.32 ha, donde el mayor incremento en la superficie se dio en el período de 1981 a 2005 con 12,520.77 ha; lo que se traduce en pérdidas de bosque de manglar, ya que en 1981 ocupaba una superficie de 98,749.98 ha y disminuyó para el año 2015 a 72,187.59 ha, con una pérdida de 26,562.39 ha, por lo que entre el periodo de 1981 a 2005 es cuando se observa la mayor pérdida de manglar, con una estimación de 24,195.1 ha (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie utilizada para actividades antropogénicas y cobertura de manglar en la Región Pacífico Sur.

Región Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas)			
Año	Actividades Antropogénicas (superficie ha)		Manglar (superficie ha)
	Agrícola-Pecuaria	Desarrollo antrópico	
1981	312, 364.79	11, 349.14	98, 749.98
2005	407, 326.29	23, 869.91	74, 554.88
2010	417, 155.69	26, 246.66	73, 013.64
2015	427, 398.39	30, 549.46	72, 187.59

Comparando los resultados obtenidos en la Región Sur Pacífico (Cuadro 1), la zona costera en el estado de Guerrero (Cuadro 2), el Municipio de Tecpan de Galeana (Cuadro 3) y el área de estudio (Cuadro 4), se observó la misma tendencia en cuanto al incremento de la superficie ocupada por actividades antropogénicas y pérdida de la superficie de bosque de manglar con el paso del tiempo. Con estos resultados, se puede evidenciar una pérdida de más del 50 por ciento de la cobertura de manglar en los últimos 34 años, en comparación con lo señalado por Parra y Restrepo-Ángel (2014) quienes observaron que en el delta del río Patía en Medellín Colombia hubo una disminución en la cobertura de manglar de hasta un 31 % en un período de 15 años debido a presiones antrópicas.

Se estimó que en el estado de Guerrero (Cuadro 2) el periodo de mayor incremento de la superficie para actividades agropecuarias fue de 1981 a 2005, donde se observa un incremento de 28,496.93 ha; con relación al desarrollo antrópico es en el mismo periodo de 1981 a 2005 donde se da el mayor incremento en la superficie con 5526.23 ha, al igual que en la Región Pacífico Sur y con respecto a la superficie ocupada por bosque de manglar la mayor pérdida se da en el periodo de 1981 a 2005, con una pérdida de 7,908.36 ha.

Cuadro 2. Superficie utilizada para actividades antropogénicas y cobertura de manglar en el Estado de Guerrero.

Estado de Guerrero			
Año	Actividades Antropogénicas (Superficie ha)		Manglar (Superficie ha)
	Agrícola-Pecuaria	Desarrollo antrópico	
1981	105, 700.70	4, 795.20	16, 342.80
2005	134, 197.63	10, 321.43	8, 434.44
2010	135, 107.86	11, 141.51	8, 117.32
2015	137, 495.23	13, 999.39	6, 668.91

En el municipio de Tecpan de Galeana (Cuadro 3) perteneciente al estado de Guerrero, el mayor incremento en las actividades agropecuarias se dio durante el periodo de 2005 a 2010 con 2365.46 ha; a diferencia del desarrollo antrópico donde el mayor incremento se da en el periodo de 2010 a 2015 con 133.78 ha; sin embargo la mayor pérdida de la superficie en cuanto a manglar se da en el periodo de 1981 a 2005 con 373.98 ha. Es importante señalar que con respecto al Municipio de Tecpan se observa que en el periodo de 2010 a 2015 existe una disminución en la superficie ocupada para actividades agropecuarias, lo que muy probablemente se haya debido a que durante el año 2013, hubo dos fenómenos naturales Ingrid y Manuel, los cuales devastaron grandes extensiones de áreas destinadas a actividades agropecuarias.

Cuadro 3. Superficie utilizada para actividades antropogénicas y cobertura de manglar en el Municipio de Tecpan.

Municipio de Tecpan de Galeana			
Año	Actividades Antropogénicas		Manglar
	Agrícola-Pecuaria	Desarrollo antrópico	
1981	24, 535.54	703.83	836.18
2005	25, 670.69	792.20	462.20
2010	28, 036.15	831.27	327.31
2015	26, 376.34	965.05	301.32

Con respecto al área de estudio la subcuenca de Nuxco (Cuadro 4) se estimó una pérdida de la cobertura de manglar de 296.49 ha durante el periodo de 1981 a 2015, al igual que lo observado por Ibharim *et al.* (2015) en la costa de la península de Malasia donde en un periodo de 18 años hubo una pérdida de 8017.3 ha, debido al cambio de uso de suelo que fue destinado a actividades antropogénicas. También con Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna (2007) quienes encontraron una reducción de manglar de 1990 a 2005 de más de 1500 ha en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas, a pesar de que las actividades antropogénicas tienen bajo impacto.

Cabe señalar que el mayor incremento en la superficie ocupada para actividades agropecuarias se dio en el periodo de 1981 a 2005 con 3,273.5 ha al igual que el desarrollo antrópico con 206.23 ha, no así para la superficie de bosque de manglar el cual tuvo la mayor pérdida en el periodo de 2005 a 2010 con 137.66 ha, se hace referencia en que la superficie ocupada para actividades agropecuarias sufre una disminución al igual que el municipio de Tecpan en el periodo 2010 a 2015 debido a lo ocurrido con los fenómenos naturales Ingrid y Manuel.

En la zona costera de la subcuenca de Nuxco se encuentran dos cuerpos de agua, la Laguna de Nuxco y el Estero el Plan, cada uno con características diferentes y con impactos antropogénicos debido a las diferentes actividades que realizan los pobladores asentados en su alrededor.

Cuadro 4. Superficie utilizada para actividades antropogénicas y cobertura de manglar en la Subcuenca de Nuxco.

Año	Subcuenca de Nuxco		Manglar (Superficie ha)
	Actividades Antropogénicas (Superficie ha)		
	Agrícola-Pecuaria	Desarrollo Antrópico	
1981	10, 240.08	156.09	421.23
2005	13, 513.58	362.32	287.23
2010	15, 707.59	560.81	149.57
2015	11, 815.89	637.74	124.74

La Figura 2 hace referencia al uso de suelo y vegetación asociada a manglar en 1981 en la subcuenca de Nuxco, en color café se observa la superficie ocupada para actividades agropecuarias notándose que prácticamente toda la zona costera de la subcuenca está destinada a estas actividades, en color rojo podemos observar todo lo que conlleva a desarrollo antrópico, desde asentamientos humanos hasta infraestructura destinada a actividades económicas propias de la región, en color verde y blanco se observa la superficie ocupada de la cobertura de bosque de manglar.

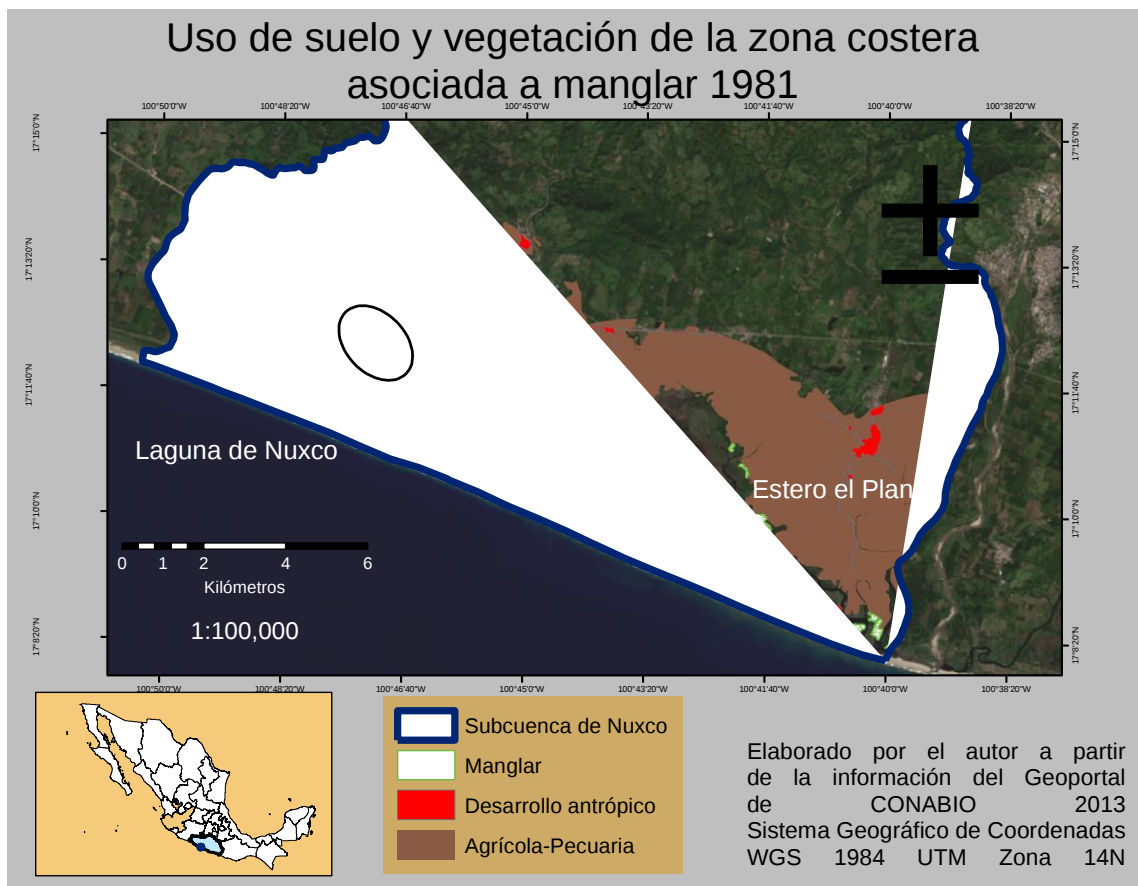


Figura 2. Uso de suelo y vegetación de la zona costera asociada a manglar de México en la subcuenca de Nuxco en el año 1981.

En la Figura 3 se hace la comparación con los cambios sufridos de 1981 a 2005, se nota el incremento en la superficie de actividades agropecuarias en color café, así como el desarrollo antrópico, se observa además un cambio radical en la superficie de bosque de manglar en el Estero el Plan, por lo que en los óvalos podemos comparar lo que quedó de manglar para el año 2005, sin embargo en el óvalo ubicado en la Laguna de Nuxco es notorio que de 1981 a 2005 se produjo un incremento en la superficie de manglar, pero también se observa en ese mismo lugar, el espacio de color rojo se desarrolló un estanque para la cría de camarón.

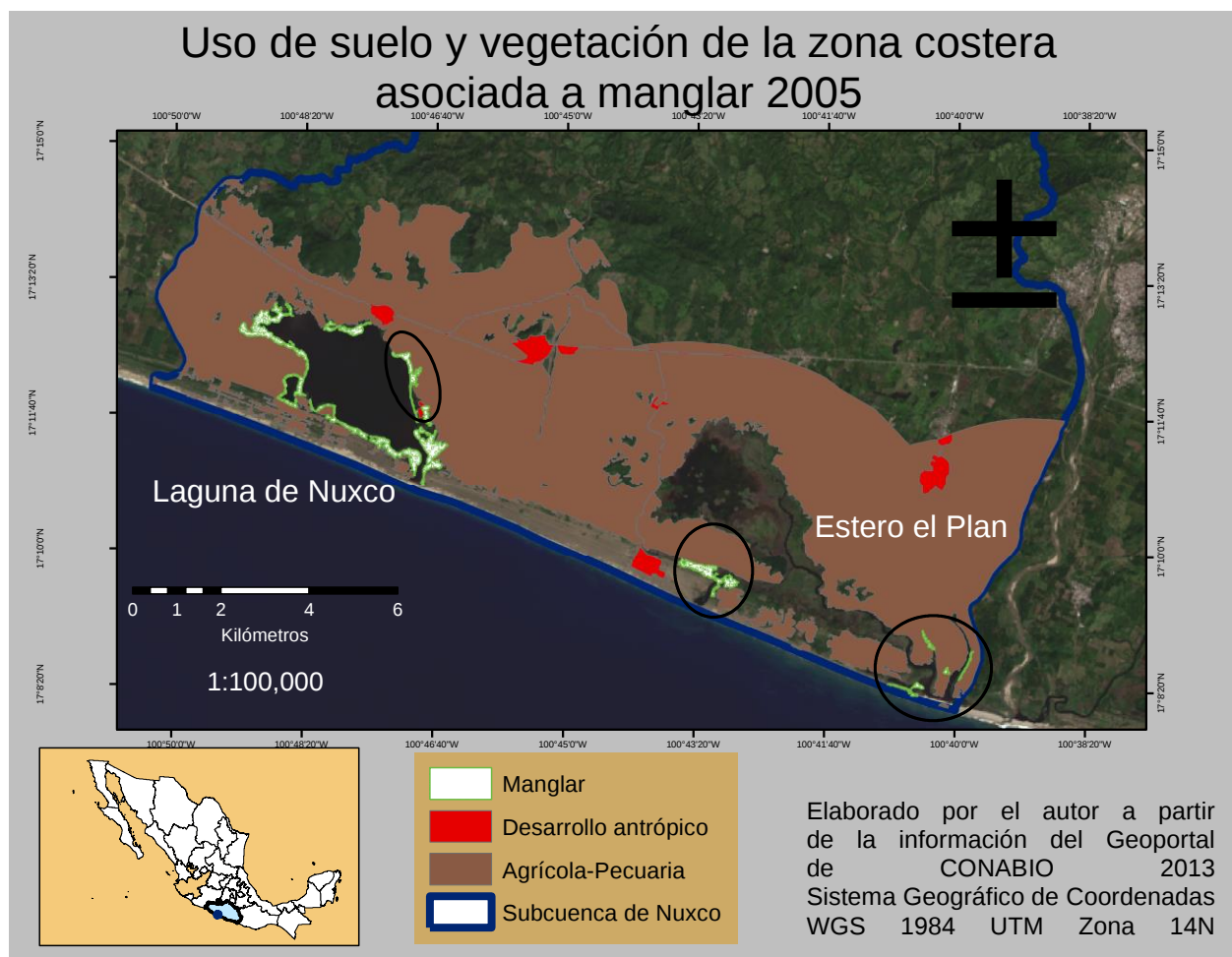


Figura 3. Uso de suelo y vegetación de la zona costera asociada a manglar de México en la subcuenca de Nuxco en el año 2005.

En la Figura 4 se observa en el Estero el Plan, como prácticamente de 1981 a 2010 se ha perdido gran extensión en la superficie cubierta por manglar, lo que queda de manglar se encuentra en el óvalo marcado en el mapa, a diferencia de lo que sucede con las actividades agropecuarias en color café que se siguen incrementando y las cuestiones antrópicas que se siguen desarrollando.

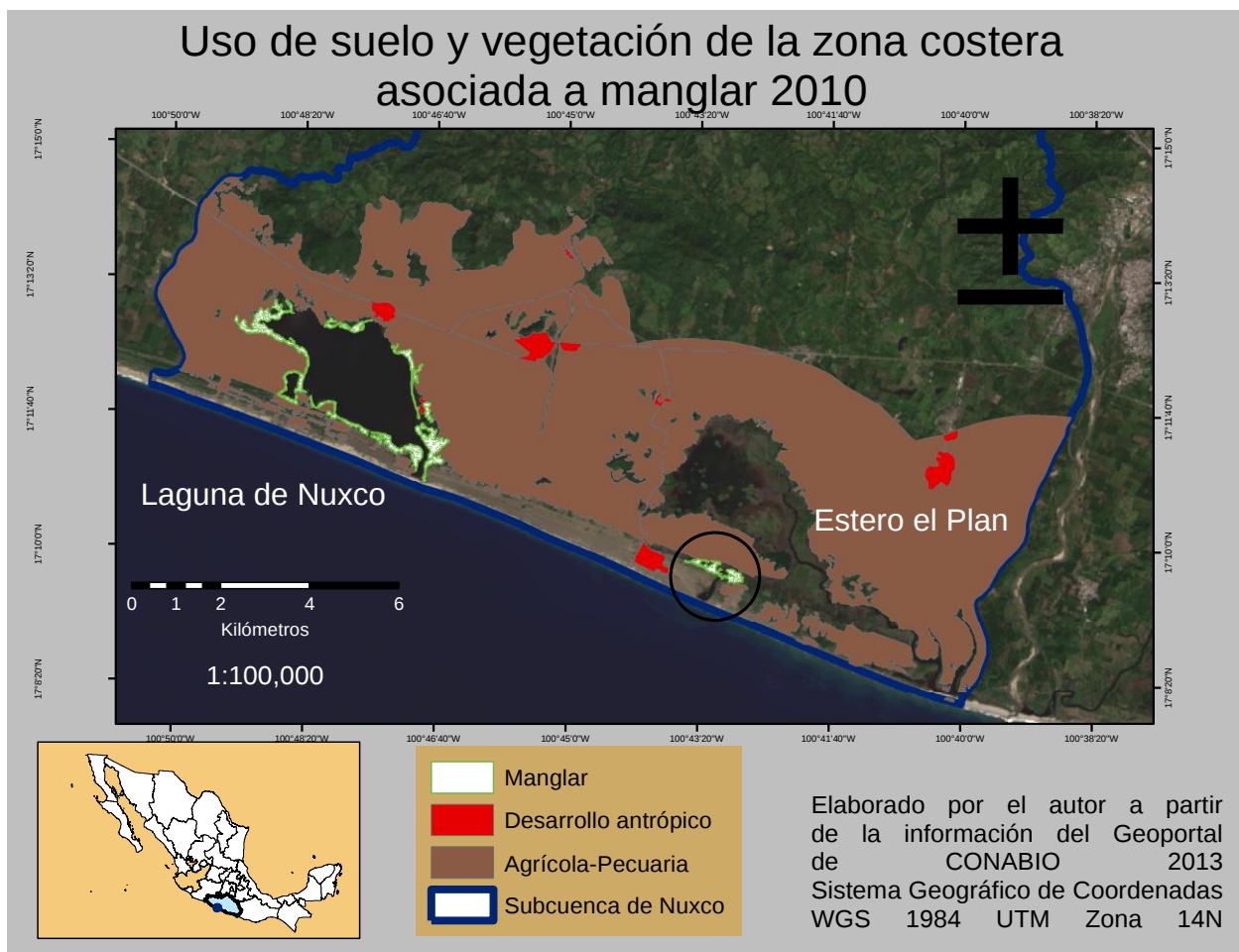


Figura 4. Uso de suelo y vegetación de la zona costera asociada a manglar de México en la subcuenca de Nuxco en el año 2010.

En la Figura 5 no se observan cambios significativos en relación a los periodos anteriores, pero no quiere decir que no haya habido pérdidas en la cobertura de manglar, simplemente ha habido cambios pero no tan drásticos como en periodos anteriores. A esto, hay que agregarle que en la Laguna de Nuxco los pobladores poco a poco han tomado conciencia acerca de la importancia de conservar el ecosistema de manglar, sin embargo, los cambios que han ocurrido en el bosque de manglar además de las actividades antropogénicas, se han visto afectados por otros problemas, como los que mencionan Vences *et al.* (2015) como la tala irracional, una actividad cotidiana para los usos y costumbres de los pobladores, que utilizan para cercado, cabañas y leña. Otros problemas que se han presentado, son las plagas como el gusano defoliador, que fueron resultados de fenómenos naturales que se suscitaron en 2013 en esta zona costera (Castillo *et al.* 2015), de aquí la necesidad de establecer un observatorio que monitoree de manera permanente a través de SIG's y percepción remota lo que ocurre en las áreas de manglar, así como en el cambio de uso de suelo y plagas (Guerra y Ochoa, 2006).

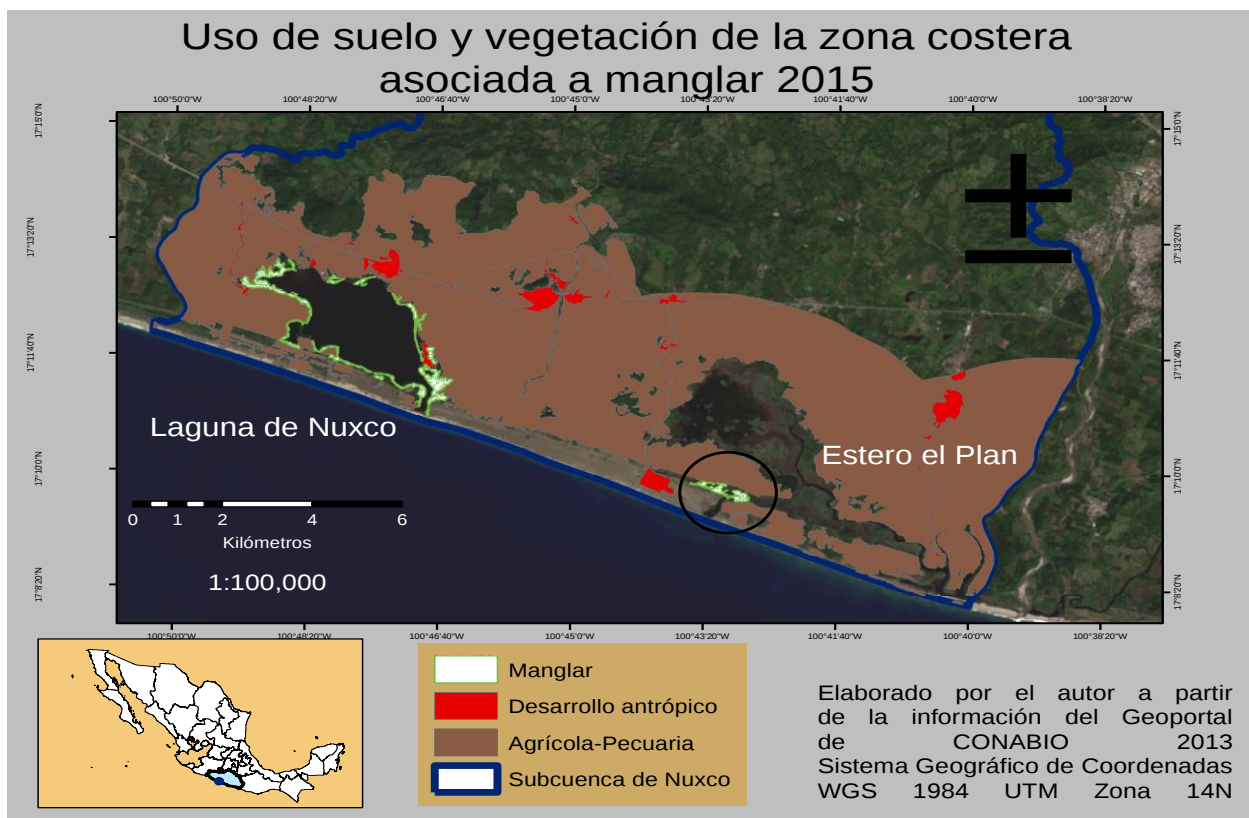


Figura 5. Uso de suelo y vegetación de la zona costera asociada a manglar de México en la subcuenca de Nuxco en el año 2015.

CONCLUSIÓN

Para el periodo comprendido de 1981 a 2015, aproximadamente en 34 años existe una pérdida de la cobertura de manglar en el Estado de Guerrero y en especial en la Subcuenca de Nuxco de más del 50 por ciento de bosque. Es importante señalar que a partir de los datos analizados en el periodo en estudio, se observó un incremento en la superficie destinadas a diversas actividades antropogénicas que están ocasionando afectaciones al ecosistema, principalmente las actividades agropecuarias, implementación de acuacultura, apertura de caminos, áreas turísticas, sobreexplotación pesquera y asentamientos humanos cercanos a los cuerpos de agua, ocasionando disposición inadecuada de residuos y vertimiento de aguas residuales a los cuerpos de agua. Por otro lado se observa la necesidad de implementar estrategias de educación ambiental para la conservación de los bosques de manglar, en cada uno de los cuerpos de agua de la Subcuenca, como herramienta de apoyo para la concientización de los pobladores con dos objetivos, por un lado la conservación y por otro lado para implementar estrategias de reforestación. Finalmente los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta útil y rápida, para obtener información cualitativa y cuantitativa, sin embargo deben enriquecerse con otras metodologías y trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Acosta–Velázquez, J. y A. Ruíz–Luna. 2007. Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005). *In*: R. Funes-Rodríguez, J. Gómez-Gutiérrez y R. Palomares-García (eds.). Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur. México. pp. 127-141
- Castillo, E. B., H. Gervacio, J. y F. Torres A. 2015. Evaluación preliminar de la presencia de plaga de palomilla *Automeris* spp (*Saturniidae: Hemileucinae*), en una zona de manglar en la Laguna de Nuxco, Guerrero. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 6(12):2004-2006.
- CONABIO. 2016. Carta topográfica de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares de México, 1981, 2005, 2010 y 2015. Portal de Geoinformación, Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (Consultado: 08/02/2019).
- Guerra, M. V. y S. Ochoa-Gaona. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la reserva de la biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones Geográficas* 59: 7-25.
- Hamilton, S. E. and S. Collins. 2013. Livelihood responses to mangrove deforestation in the northern provinces of Ecuador. *Bosque* 34(2):143-153.
- Hirales-Cota, M., Espinoza-Avalos, J., Schmook1, B., Ruiz-Luna, A. y R. Ramos-Reyes. 2010. Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México. *Ciencias Marinas* 36(2):147–159.
- Ibharim, N. A., M. A. Mustapha, T. Lihan and A. G. Mazlan. 2015. Mapping mangrove changes in the Matang Mangrove Forest using multi temporal satellite imageries. *Ocean and Coastal Management* 114: 64-76.
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 de Tecpan de Galeana Guerrero.
- Konnerup D., J. M. Betancourt-Portela, C. Villamil and J. P. Parra. 2014. Nitrous oxide and methane emissions from the restored mangrove ecosystem of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 140: 43-51.
- Landgrave, R. y P. Moreno-Casasola. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación Ambiental* 4(1):19-35.
- Lara-Lara, J.R., J. A. Arreola-Lizarraga, L. E. Calderón-Aguilera, V. F. Camacho-Ibar, G. de la Lanza-Espino, A. Escofet-Giansone, M. I. Espejel-Carbajal, M. Guzmán-Arroyo, L. B. Ladah, M. López-Hernández, E. A. Meling-López, P. Moreno Casasola-Barceló, H. Reyes-Bonilla, E. Ríos-Jara y J. A. Zertuche-González. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. *In*: Capital natural de México, vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México.
- McGowan T., S. L. Cunningham, H. M. Guzman, J. M. Mair, J. M. Guevara and T. Betts. 2010. Mangrove forest composition and structure in Las Perlas Archipelago, Pacific Panama. *Revista de Biología Tropical* 58(3):857-869.

- Monzalvo, S. I. K. 2006. Estimación de la cobertura espacial y análisis de la estructura forestal del manglar en Sinaloa, México, aplicando técnicas de percepción remota. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 84 p.
- Parra, S. A. y J. D. Restrepo-Ángel. 2014. El colapso ambiental en el río Patía, Colombia: variaciones morfológicas y alteraciones en los ecosistemas de manglar. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42(1):40-60.
- Vences, M. J. A., M. L. Sampedro, R., I. Amaya, G. y C. Méndez O. 2015. Actividades antropogénicas y el impacto ambiental en la Laguna de Nuxco, Guerrero. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 6(12):1459-1463.

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS Y EVALUACIÓN DE SU PELIGROSIDAD¹

[PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF MINING WASTE AND EVALUATION OF DANGER]

Berenice Noriega Luna^{1§}, Eduardo Lara Yopez², Alma Hortensia Serafín Muñoz², Norma Leticia Gutiérrez Ortega², Mario Ávila Rodríguez²

²Alumno de la Universidad de Guanajuato (UG), Guanajuato, Gto. México. ²Profesor- Investigador, Universidad de Guanajuato (UG), Guanajuato, Gto. México. [§]Autor para correspondencia: (berenice.noriega@ugto.mx, berenol@hotmail.com).

RESUMEN

Los residuos mineros, conocidos también como colas (tailings), relaves o jales mineros, son el producto de la trituración y molienda del mineral una vez que se han recuperado los metales comerciales mediante procesos físicos y químicos. Los elementos potencialmente tóxicos (EPT) presentes en presas de jales mineros, representan un riesgo ambiental por la posibilidad de lixiviación e incorporación a cuerpos de agua, así como la movilización a otros ecosistemas por dispersión eólica o hídrica. El objetivo de este trabajo fue evaluar la presencia de metales en residuos mineros del terrero San Ignacio, ubicado en la zona de la Veta de la localidad de Santa Rosa dentro del Municipio de Guanajuato. Se colectaron muestras compuestas en un perfil de 1 metro de profundidad. Se determinaron evidencias morfológicas en campo como color, textura al tacto y contenido de carbonatos. Características fisicoquímicas como pH, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad y contenido de materia orgánica fueron determinadas en laboratorio. Se encontraron valores de pH ácidos, bajo porcentaje de humedad y baja conductividad eléctrica. El análisis por SEM-EDX mostró que los horizontes están constituidos mayoritariamente por hierro, aluminio, potasio, silicio y, en menor proporción titanio. Los análisis por espectroscopia de absorción atómica (EAA) mostraron cantidades importantes de metales presentes en el siguiente orden de concentración: 9045 mg kg⁻¹ de Fe, 116 mg kg⁻¹ de Cu, 99 mg kg⁻¹ de Zn y 54 mg kg⁻¹ de Pb. Las características fisicoquímicas de pH y conductividad eléctrica son factores importantes a considerar en el sitio, ya que podrían favorecer la disponibilidad y movilidad de estos metales.

Palabras clave: Elementos potencialmente tóxicos, horizontes, muestras compuestas, perfil representativo.

¹ Recibido: 01 de julio de 2016.

Aceptado: 19 de octubre de 2016.

ABSTRACT

Mining waste also known as tailings (tailings), tailings or tailings, are the products of the crushing and grinding, once commercial metals are recovered by physical and chemical processes. Potentially Toxic Elements (EPT) present in mine tailings dams, pose an environmental risk because of the possibility of leaching and incorporation into water bodies and other ecosystems mobilized by wind or water dispersion. The aim of this study was to evaluate the presence of metals in mining waste in terrero San Ignacio, located in the area of the Veta of the town of Santa Rosa in the municipality of Guanajuato. Composite samples were collected in a profile depth of 1 meter. Morphological evidence in the field as color, texture to the touch and carbonate content were determined. Physicochemical characteristics such as pH, electrical conductivity, moisture and organic matter content were determined in the laboratory. Acidic pH values were found, low humidity and low electrical conductivity. SEM analysis showed that-EDX horizons consist mainly of iron, aluminum, potassium, silicon and titanium lesser proportion. Analysis by atomic absorption spectroscopy (AAS) showed significant amounts of metals present in the following order of concentration: 9045 mg kg⁻¹ of Fe and 116 mg kg⁻¹ Cu 99 mg kg⁻¹ of Zn and 54 mg kg⁻¹ of Pb. The physicochemical characteristics of pH and electrical conductivity are important factors to consider in the site because it could encourage the availability and mobility of these metals.

Index words: Potentially toxic elements, horizons, composite samples, representative profile.

INTRODUCCIÓN

La extracción de minerales y metales es una actividad importante en los países industrializados y en vías de desarrollo. En el siglo pasado, gran parte de la minería se concentró en la extracción de metales tales como oro, plata, hierro, cobre, plomo, zinc, cromo, mercurio y otros necesarios para el desarrollo económico o industrial de la sociedad. No obstante, la disposición de los desechos generados en la actividad minera implica un riesgo significativo para el ambiente. El manejo inadecuado de estos desechos ha dado lugar a la migración de metales pesados al medio circundante, lo que contribuye a la contaminación del suelo, a la pérdida de nutrientes, a la destrucción del paisaje ecológico, a la contaminación de aguas subterráneas y a la disminución de la diversidad biológica (Rashed, 2010).

México particularmente es un país con abundantes recursos minerales. Entre los principales tipos de yacimientos que se han explotado se encuentran los epitermales, que incluyen los de metasomatismo de contacto o skarn, los sulfuros masivos vulcano genéticos y yacimientos del tipo pórfido cuprífero. Los procesos de recuperación de los minerales económicos se realizaron

mediante procesos metalúrgicos como la flotación y la cianuración, lo que propició la explotación de mayores volúmenes y la generación de residuos. Los residuos que se generan en el proceso de concentración de minerales de plomo (Pb), plata (Ag), zinc (Zn), cobre (Cu), generalmente contienen sulfuros metálicos residuales como la pirita (FeS_2), galena (PbS), esfalerita (ZnS), calcopirita (CuFeS_2), y arsenopirita (FeAsS), que son la fuente de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) (Romero y Gutiérrez, 2010).

Los minerales presentes en los residuos pueden ser afectados por diferentes procesos como reacciones de óxido-reducción, ácido-base, hidrólisis, adsorción-desorción, etc., que pueden modificar la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad de los metales contenidos, derivando en su liberación y subsecuente acumulación e infiltración. Los factores que controlan la liberación de EPT al ambiente son principalmente pH, salinidad, textura, capacidad de intercambio catiónico, potencial redox, y composición mineralógica, así como factores ambientales tales como la humedad, la lluvia y la velocidad del viento (Ramos *et al.*, 2012). Entre los mecanismos que promueven la movilidad de los EPT, se encuentra el drenaje ácido de minas (DAM). El DAM se presenta en zonas lluviosas en donde se produce la dispersión hacia el entorno a través de los escurrimientos superficiales (dispersión hídrica).

En las zonas áridas, la movilidad se relaciona con la dispersión provocada por el viento (dispersión eólica). El DAM, se genera por la oxidación de los sulfuros metálicos y son soluciones que se caracterizan por tener valores bajos de pH y altas concentraciones de EPT disueltos, y promueven la movilización de los ETP contenidos hacia los suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo el DAM se produce sólo cuando el equilibrio entre los minerales productores de ácidos (sulfuros metálicos) y los minerales con capacidad de neutralización (carbonatos, hidróxidos y aluminosilicatos) favorece a los primeros. Otro mecanismo implicado es la adsorción a oxihidróxidos de Fe, ya que estos poseen gran capacidad para la adsorción y coprecipitación de As y metales pesados. Así mismo la precipitación de minerales secundarios como la anglesita (PbSO_4), beudantita ($\text{PbFe}_3(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$) y escorodita ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), es un control importante en la movilidad de EPT (Romero *et al.* 2008).

El objetivo de esta investigación fue realizar una caracterización fisicoquímica del Terrero San Ignacio, ubicado en la zona de la Veta de la localidad de Santa Rosa dentro del Municipio de Guanajuato. Este sitio es actualmente un depósito de residuos mineros y colinda con cauces de ríos, lo que hace pensar que es un sitio con problemas ambientales y posible movilidad de EPT. En este trabajo se estudiaron los principales factores relacionados con la movilidad de metales tales como pH, conductividad eléctrica, humedad y contenido de materia orgánica. Además se determinó la concentración total de cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn) y hierro (Fe). La caracterización de este sitio permitirá conocer del riesgo ambiental de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de muestreo

El lugar se encuentra a 2470 m sobre el nivel del mar. En el sitio se puede observar el impacto antropogénico de una mina de sulfuros masivos abandonada. Además es posible contrastar los efectos de los dos tipos de mineralización en Guanajuato: epitermal (alcalinos con bajas cantidades de arsénico) y sulfuros masivos (ácidos que drenan cobre, aluminio, cadmio y hierro).

Levantamiento de muestras

El muestreo se realizó en la proximidad de una escorrentía de agua, en un perfil de un metro de profundidad. En los puntos ubicados en los jales se tomaron muestras de aproximadamente 2 kg. En cada horizonte se determinó grosor, color (tablas estándar de Munsell), textura al tacto y contenido de carbonatos de acuerdo a la metodología propuesta por Siebe *et al.* (1996).

Preparación y conservación de muestras

Las muestras se secaron en horno a 50°C durante 24 h. Las muestras secas se homogeneizaron de acuerdo al método de cono y cuarteo (Gerlach y Nocerino, 2003). La fracción representativa de la muestra se tamizó a un tamaño partícula de 0.85 mm (malla #20). Las muestras resultantes se etiquetaron y guardaron a temperatura ambiente hasta su análisis.

Métodos de laboratorio

De manera inicial se identificaron los metales presentes mediante microscopio electrónico de barrido con análisis por dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX) con el Microscopio Carl Zeiss EVO HD-15. Se determinaron los principales factores relacionados con la movilidad de metales: pH y conductividad eléctrica medidos en extractos de pastas de saturación con el electrodo HACH 5014 calibrando con estándares comerciales de pH 4, 7 y 10 y con la celda HACH 5070 calibrada con solución estándar comercial de KCl 0.01N con conductividad de 1,413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C respectivamente, en el equipo HACH sensION MM374; humedad por el método gravimétrico-secado en estufa (Robledo y Maldonado, 1997); contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black (García y Ballesteros, 2005).

Análisis elemental por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA)

Las muestras de jales se procesaron mediante digestión ácida en caliente de acuerdo al método 3050b de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (USEPA, 1996). Se pesó por triplicado 1 g de muestra. Se adicionaron 5 mL de HNO_3 y la solución se mantuvo en condiciones de reflujo durante 1 h. Al término de este proceso la solución se dejó enfriar y se le adicionaron 3 mL de H_2O_2 , se sometió nuevamente a condiciones de reflujo durante 1 h. El sobrenadante se filtró y se aforó. La digestión resultante se refrigeró a 4°C hasta su análisis. Para determinar el contenido de

Cu, Zn, Fe y Pb en las muestras ambientales se empleó el método de espectroscopia de absorción atómica en flama (EAAF), con el equipo Perkin Elmer AAnalyst 200 con lámparas de cátodo hueco. El método de análisis empleado fue por área de pico, tiempo de integración de 5 segundos y una llama aire/acetileno con una presión 13.5/2 mL min⁻¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los horizontes del perfil estudiado presentaron carácter ácido (pH inferior a 4.4), valores de conductividad entre los 233 a 367 $\mu\text{S cm}^{-1}$, contenido de humedad inferior al 2% con presencia de materia orgánica (Cuadro 1). En términos generales, estas condiciones fisicoquímicas favorecen la movilidad de los metales. La propiedad ácida del suelo es resultado de la presencia de sulfuros y ausencia de carbonatos. En el sitio estudiado se identificaron jales inalterados de color gris y jales oxidados de color café. En el caso de los jales grises inalterados, los EPT están asociados a sulfuros metálicos y en el caso de los jales oxidados, a partículas de oxihidróxidos de hierro debido, probablemente, a procesos de sorción. Los colores rojizo y amarillento de los horizontes 1 y 3 hacen evidente la presencia de óxidos de hierro.

Cuadro 1. Propiedades de los horizontes del perfil muestreado en el terrero San Ignacio del distrito minero de Guanajuato.

Horizonte	Prof. (cm)	Color en húmedo	CaCO ₃ (% en peso)	Clase textural	pH	C.E. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Humedad (% en peso)	M. O. (% en peso)
1	0.5-10	Café rojizo oscuro	Negativo	Franco arenosa*	4.4	285	0.5	60
2	10-18	Gris azul oscuro	Negativo	NA	3.7	233	0.3	12
3	18-37	Café amarillento	Negativo	NA	4.1	367	1.3	8.0
4	37-100	Café fuerte	Negativo	Franco arcillo arenosa*	3.9	280	2.0	10

Prof. = Profundidad, C.E. = Conductividad eléctrica, M.O. = Materia orgánica, NA = No aplica. * Designación de acuerdo al procedimiento del manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo, 1996.

El pH es el factor más influyente en la movilización de metales debido a las reacciones de hidrólisis de los cationes, provocando un aumento de la solubilidad y por tanto de la movilidad de los metales de forma inversamente proporcional al pH del jale; de tal manera que a pH ácidos se encuentran minerales solubles. Los valores bajos de conductividad no favorecen la acomplejación de los metales, dado que implican poco contenido salino y por tanto bajo contenido de aniones acomplejantes (Pérez, 2005).

El análisis elemental por la técnica SEM-EDX muestra que los metales aluminio (Al), potasio (K), hierro (Fe) y magnesio (Mg) se encuentran presentes en los diferentes horizontes (Figura 1).

No obstante, en el espectro del horizonte 3 (Figura 1c), se hace evidente la presencia de azufre (S) lo que explica la acidez del terrero. En los horizontes 1 y 2 (Figura 1 a y b) se observa la presencia de titanio (Ti), lo cual puede asociarse a la presencia de minerales como rutilo TiO_2 , ilmenita FeTiO_3 y titanita $[\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)]$ (Moreno *et al.*, 2009). Mediante el análisis de los EDS se obtuvieron relaciones en proporción como $\text{Si} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Ti}$ para horizonte 1 (Figura 1a), $\text{Si} > \text{Al} > \text{K} > \text{Fe} > \text{Ti} > \text{Mg}$ para horizonte 2 (Figura 1b), $\text{Fe} > \text{Si} > \text{Al} > \text{K} > \text{Mg}$ para horizonte 4 (figura 1d), lo que puede indicar la presencia de minerales primarios de ganga. El grano representado en la figura 1c es de aproximadamente de 130 μm , con un brillo que contrasta con el resto haciendo suponer un alto contenido de metales. Al analizar el espectro de dispersión de rayos X se observa una proporción relativa de $\text{Fe} > \text{S}$ que podría representar un grano de piritita (mineral de ganga presente en el yacimiento).

Los resultados de las determinaciones totales de metales presentes en las muestras analizadas (Cuadro 2) indican que los sitios evaluados contienen EPT, lo cual muestra, el grado de contaminación en el sitio de estudio. Las muestras del horizonte 2 son las que tienen las menores concentraciones de plomo, cobre y hierro (13, 19 y 257 mg kg^{-1} respectivamente), una razón de las bajas concentraciones puede ser que la zona del yacimiento de donde provienen estos jales es un stockwork con bajos contenidos de sulfuros metálicos (Mango, 1992). Las concentraciones mayores para Pb y Fe se encontraron en la muestra del horizonte 1, (54 y 9045 mg kg^{-1} respectivamente). Los cuatro elementos muestran una tendencia a concentrarse mayormente en la capa superficial del suelo debido a que el depósito se da mayormente por efecto del viento, extendiéndose a distancias que pueden sobrepasar los 3 km de distancia de los jales. Esto coincide con Kabata-Pendias y Kabata-Pendias (1989), Simón *et al.* (1999) y Seoáñez (1998) quienes mencionan que existe una tendencia de los metales pesados a acumularse en las capas superiores del suelo. Los metales pueden tardar de varias decenas a miles de años en reducir su volumen, ya que no pueden ser degradados; sólo se transforman a otros estados de oxidación en el suelo reduciendo su movilidad y toxicidad (McLean y Bledsoe, 1992). No obstante, son un riesgo latente, ya que en este estrato edáfico crecen gramíneas y hierbas las cuales son consumidas por animales y algunos de estos a su vez por el humano, entrando los metales a la cadena trófica.

Cuadro 2. Propiedades de los horizontes del perfil muestreado en el terrero San Ignacio del distrito minero de Guanajuato.

Horizonte	Concentración (mg kg^{-1})			
	Cu	Zn	Pb	Fe
1	116	99	54	9045
2	13	101	19	257
3	133	9	29	7865
4	90	111	18	7566

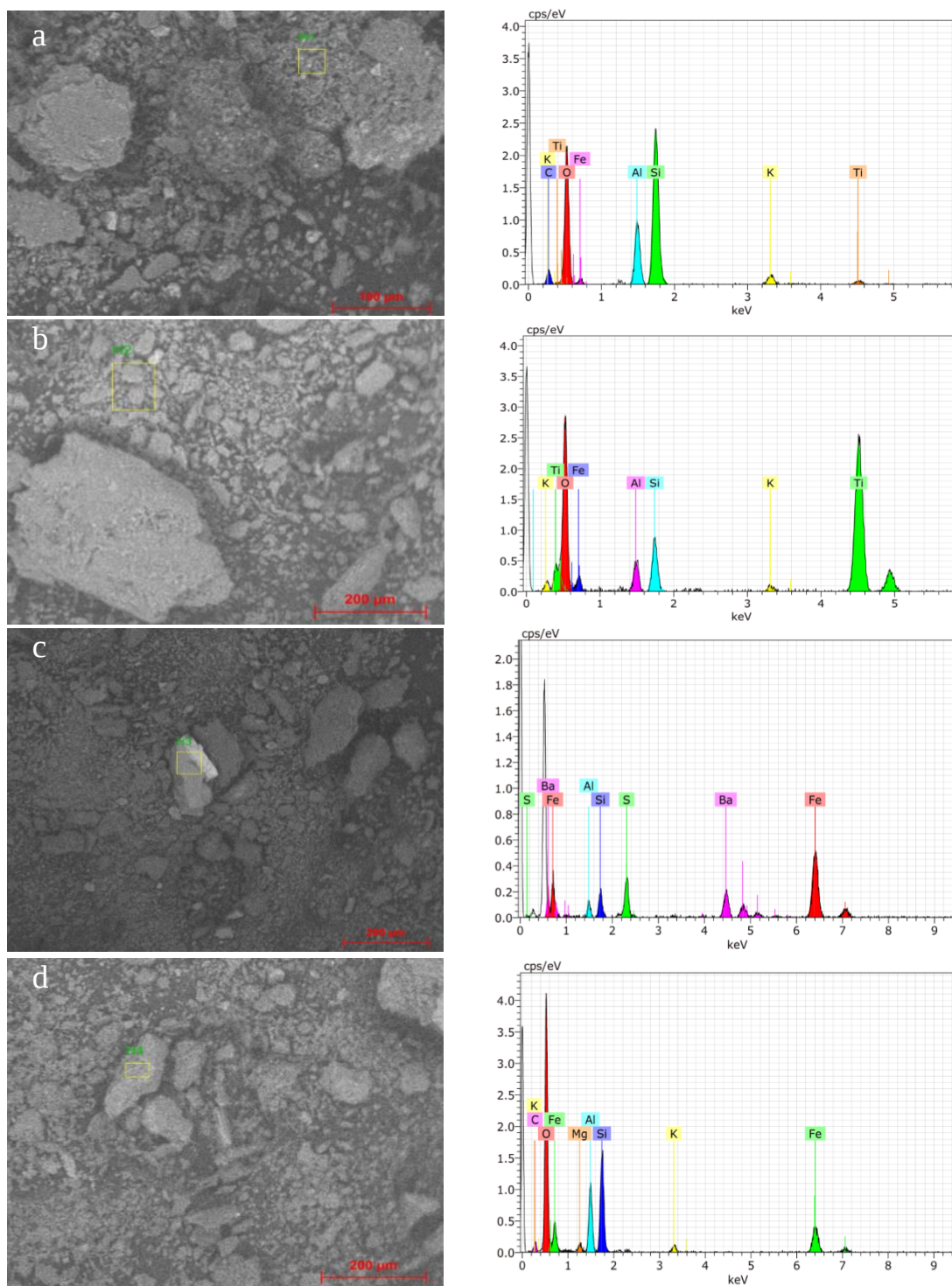


Figura 1. Micrografías y análisis químico de los horizontes del perfil muestreado en el terrero San Ignacio del distrito minero de Guanajuato.

CONCLUSIONES

En el sitio estudiado se identificaron jales inalterados de color gris y jales oxidados de color café. Estos jales se caracterizan por tener concentraciones totales altas de elementos potencialmente tóxicos como plomo, cobre, zinc y hierro. En los diferentes horizontes la concentración de hierro fue mayor, lo que puede asociarse con el alto contenido de pirita en el sitio. Por otra parte, las concentraciones de cobre y zinc son significativas lo que podría desencadenar en un riesgo potencial para la microbiota del suelo. Asimismo, los valores de pH ácido indican que existe mayor disponibilidad de iones metálicos en la fase acuosa y los bajos valores de conductividad eléctrica indican disminución de la capacidad de los metales para formar complejos por lo tanto, los metales son susceptibles a ser drenados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio Nacional de Caracterización de Propiedades Fisicoquímicas y Estructura Molecular (LACAPFEM) de la Universidad de Guanajuato por el apoyo brindado para realizar los análisis de SEM-EDX.

LITERATURA CITADA

- García, G.J. y G.M.I. Ballesteros. 2005. Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. *Revista Colombiana de Química* 34(2): 201-209.
- Gerlach, R.W. y J.M. Nocerino. 2003. Guidance for obtaining representative laboratory analytical subsamples from particulate laboratory samples, in: United States Environmental Protection Agency, U. (Ed.). EPA, USA, p. 156.
- Kabata-Pendias, A. y Kh. Kabata-Pendias. 1989. *Macroelements in the soil and plants*. Myr., Moskva (in Russian).
- Mango, H.N. 1992, *Origin of Epithermal Ag-Au-Cu-Pb-Zn Mineralization on the Veta Madre*, Guanajuato, México: Hanover, New Hampshire, Dartmouth College, tesis de doctorado, 138 p.
- McLean E.J. y B.E. Bledsoe. 1992. Behavior of metals. Ground water issue. EPA/540/S-92/018.
- Moreno, R., M.G. Monroy y E.P. Castañeda. 2009. Evaluación geoquímica de residuos mineros (jales o colas) de mineralización de tipo epitermal, Hidalgo, México. *Revista Geológica de América Central* 41: 79-98.
- Pérez, G.G. 2005. Disponibilidad de metales tóxicos en sitios contaminados. Aplicaciones y limitaciones de la fraccionación en la determinación de gradientes de polución. Tesis de

- Doctorado. Departamento de Química. Unitat de Química Analítica. Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Ramos, G.M., J. Avelar, R.A. Medel-Reyes, L. Yamamoto, L. Godínez, M. Ramírez, R. Guerra, F. Rodríguez. 2012. Movilidad de metales en jales procedentes del distrito minero de Guanajuato, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(1), 49-59.
- Rashed, M.N., 2010. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials* 178 (1-3): 739-746.
- Robledo, S.E., y T.R. Maldonado. 1997. Manual de procedimientos para el análisis del suelo. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. pp. 88-110.
- Romero, F.M. y R.M. Gutiérrez. 2010. Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62, 4353.
- Romero, F.M., M.A. Armienta, M.E. Gutiérrez y G. Villaseñor. 2008. Factores Geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 24(2): 43-54.
- Seoánez, C.M. 1998. Contaminación de suelos: estudios, tratamiento y gestión. Ediciones mundi prensa.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996, Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo: Chapingo, México, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Publicación Especial 4. 57 p.
- Simón, M., I. Ortiz, I. García, E. Fernández, J. Fernández, C. Dorronsoro y J. Aguilar. 1999. Pollution of soil by the toxic spill of a pyrite mine (Aznalcóllar, Spain). *Sci Total Environ.* 242: 105-115.
- USEPA, 1996. Acid digestion of sediments, sludges and soils. *In: EPA (Ed.), USA*, p. 12.

DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES NODRIZA DE *Ferocactus pilosus* (GALEOTTI) WERDERM. (Cactaceae) EN MIQUIHUANA, TAMAULIPAS, MÉXICO¹

[DETERMINATION OF NURSE SPECIES OF *Ferocactus pilosus* (GALEOTTI) WERDERM. (Cactaceae) IN MIQUIHUANA, TAMAULIPAS, MEXICO]

Edna Ivonne Lara Juárez¹, Jacinto Treviño-Carreón^{2§}, Benigno Estrada Drouaillet², Wilberth Alfredo Poot Poot², Virginia Vargas-Tristán², Claudia Ballesteros-Barrera³

¹Estudiante de posgrado Facultad de Ingeniería y Ciencias Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

²Investigador- Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), Cd. Victoria, Tamaulipas, México. ³Profesor Titular C de TC, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Iztapalapa, México. llara_tam@hotmail.com, benestrada@uat.edu.mx, waflaco@yahoo.com.mx, vvargas15@hotmail.com, bbc0711@gmail.com, [§]Autor para correspondencia: jatrevino@docentes.uat.edu.mx.

RESUMEN

Las zonas áridas presentan temperaturas extremas así como déficit de humedad; algunas especies vegetales necesitan de una planta nodriza durante las primeras etapas de desarrollo. Estas especies representan un papel importante en el ciclo de vida de las cactáceas; generan un microambiente con la copa, favorable para la germinación y establecimiento de diferentes especies. El objetivo de este trabajo fue determinar las principales especies nodriza de *Ferocactus pilosus*, en una población del ejido Estanque de los Walle del municipio de Miquihuana, Tamaulipas perteneciente al Desierto Chihuahuense. El estudio se realizó en un matorral desértico rosetófilo, en el que predomina el clima seco y extremoso. Se muestrearon cuatro cuadrantes de 50x50 m, en los cuales se registró el total de individuos de *F. pilosus* y se identificaron las especies nodriza. Se realizó un análisis cluster con los datos de volumen y se agruparon en cinco categorías de tamaño. En cuanto a las especies nodriza a las que se asocia *F. pilosus*, se encontró un total de 16 de las cuales la dominante es *Agave lechuguilla* asociándose a 61 individuos de 100 asociaciones. *Agave lechuguilla* es la única especie que presenta individuos asociados en las cinco categorías de tamaño de *F. pilosus*.

Palabras clave: *Ferocactus pilosus*, cactáceas, matorral desértico rosetófilo, nodricismo.

¹ Recibido: 26 de agosto de 2016.

Aceptado: 12 de octubre de 2016.

ABSTRACT

The arid lands have extreme temperatures and moisture deficit; some plant species need a nurse plant during the early stages of development. These species have an important role in the life cycle of cacti; generate a microenvironment with foliage, beneficial to germination and establishment of plants species. The objective of this study was to determine the main nursing plants to *Ferocactus pilosus* in one population of the Ejido Estanque de los Walle, Tamaulipas in the Chihuahuan Desert. The study was conducted in a rosetophilous desert scrub, where the dry and extreme climate prevails. Four quadrants of sampling 50x50 m, in which the total of *F. pilosus* individuals were recorded and nurse plant were identified. One cluster analysis with volume data was performed and grouped into five categories size. There were 16 perennial species associated to *F. pilosus* of which *Agave lechuguilla* was the predominant species which was in 61 between 100 associations. *Agave lechuguilla* was the only species that had individuals associated in the five categories of size.

Index words: *Ferocactus pilosus*, cacti, rosetophilous desert scrub, nursing.

INTRODUCCIÓN

Los cactus son plantas adaptadas a condiciones de aridez extrema, de tal manera que se desarrollan principalmente en las zonas áridas y semiáridas de América. En México el tipo de vegetación en donde predominan es el matorral desértico rosetófilo (Treviño y Valiente, 2005). Presentan diversas adaptaciones de tipo anatómicas, morfológicas y fisiológicas enfocadas en la economía del agua; presentan tallos suculentos, raíces contráctiles y superficiales, espinas que cubren casi totalmente su cuerpo y generalmente las flores abren en las horas menos cálidas del día (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Hernández, 2007).

Uno de los representantes de esta familia de plantas es *Ferocactus pilosus*, especie que se encuentra dentro de la categoría de riesgo sujeta a protección especial y ha sido reconocido como endémico por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT 2010 (DOF, 2010). Su establecimiento depende de la calidad del ambiente y la capacidad de la especie para colonizar y sobrevivir, ya que se ha documentado que numerosas especies requieren, al menos en alguna fase del ciclo de vida, de un microhábitat generado por las especies arbustivas perennes (Jiménez-Sierra y Jiménez-González, 2003; López-Gómez *et al.*, 2012).

Las variaciones fisiográficas, climáticas y edáficas establecen en gran medida la distribución y abundancia de las comunidades vegetales (Villavicencio *et al.*, 2010; García *et al.*, 2012). Sin embargo, a escala local, son las interacciones bióticas las que a menudo determinan la abundancia y distribución de las especies. La asociación de los cactus con plantas nodriza, es un factor que puede explicar su distribución, ya que la mayoría, crecen en asociación con estas

plantas nodrizas, especialmente durante las fases tempranas del ciclo de vida. Castro *et al.*, (2006) mencionan que las plantas nodriza incrementan la cantidad de nitrógeno del suelo modificando las tasas de crecimiento y germinación, dando como consecuencia el aumento en la supervivencia de las plántulas. Una vez que éstas han alcanzado un tamaño considerable, pueden competir con su nodriza por el recurso hídrico disponible en el suelo, mostrando que la relación entre ambas especies no permanece constante a lo largo del tiempo e involucra diferentes procesos e interacciones ecológicas (Larrea-Alcázar, 2007).

Los trabajos al respecto, sugieren que la selección de nodrizas puede deberse a una o a varias de las siguientes causas; mayores depósitos de semillas bajo la copa de los arbustos, sitios de mayor humedad, sitios seguros contra herbívoros, sitios con alta disponibilidad de nutrientes y soporte físico (Muro, 2011). Con base en lo anterior, en el presente trabajo se determinaron las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* en una población natural en el ejido Estanque de los Walle, Municipio de Miquihuana, Tamaulipas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suroeste del estado de Tamaulipas se conforma casi en su totalidad por la zona árida, incluida en el Altiplano Mexicano que forma parte del Desierto Chihuahuense. Comprende los municipios de Miquihuana, Bustamante, Jaumave, Palmillas y Tula, con un gradiente altitudinal de 715 a 3 265 m (INEGI, 2010). La vegetación está conformada por una gran diversidad de especies características del matorral rosetófilo. Predominan los climas secos extremos y la temperatura media anual es de 18°C con una precipitación media anual que fluctúa entre 350 y 500 mm (Treviño y Valiente, 2005).

El área de estudio se encuentra localizada en la parte oeste de la Gran Sierra Plegada que forma parte de la Sierra Madre Oriental, orientándose de norte a sur y el ejido Estanque de los Walle se localiza en las coordenadas, 23° 34' 1.41" N y 99° 51' 28.66" O, del municipio de Miquihuana (Figura 1). La altitud promedio del área es de 1 560 m snm con clima seco (B), rodeado por vegetación de tipo matorral desértico (INEGI, 2010).

Para el diseño experimental se establecieron cuatro puntos de muestreo seleccionados al azar, con dirección suroeste partiendo del ejido Estanque de los Walle y siguiendo la distribución de la población del *F. pilosus*. En cada punto se trazó un cuadrante de 50x50 m, se contaron todos los individuos presentes, y con esta información se determinó la abundancia usando como criterio la biomasa estimada de las poblaciones. Con base en la forma de vida de las plantas, se consideró la forma geométrica de la biznaga roja como un cilindro; a partir de esta información se obtuvieron las variables morfológicas (altura y diámetro) de cada una de las ramas de cada individuo.

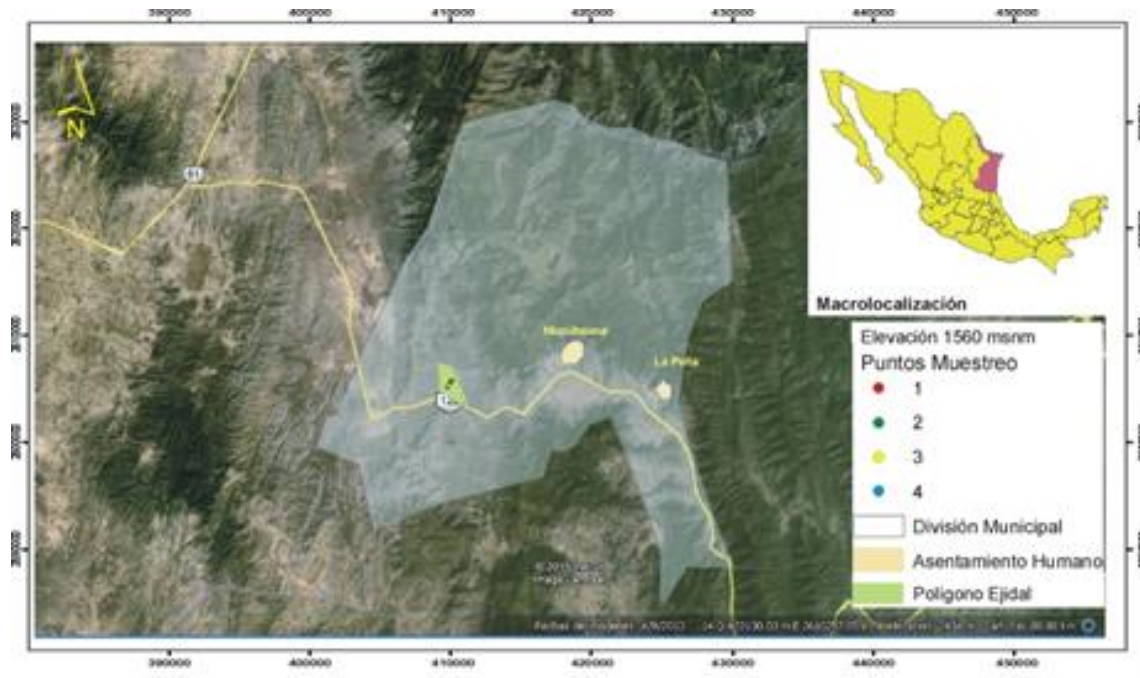


Figura 1. Área de estudio, en el ejido Estanque de los Walle municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

El volumen se calculó utilizando la ecuación $V = \pi r^2 h$ (donde V = volumen; π = pi, r = radio y h = altura). El volumen total por individuo corresponde a la sumatoria de los volúmenes de todas las ramas que lo conforman. Las unidades se tomaron en centímetros cúbicos los cuales fueron transformados a litros (L). Los datos de volumen que se registraron para los individuos, se utilizaron para realizar el análisis clúster (Rencher, 2002) y determinar las categorías de tamaño. Las especies vegetales perennes se identificaron taxonómicamente mediante observaciones directas en campo, se consideran nodrizas a aquellas que se encuentran cubriendo con la copa de las ramas a los individuos de *F. pilosus*. Los materiales utilizados para obtener los datos fueron: un poste graduado marca LUFT Niveles S.A. para la altura y las pinzas tipo fórceps marca HAGLÖF Sweden AB marca Mantax para el diámetro de las ramas.

RESULTADOS

Categorías de tamaño con base en el volumen

La población de *F. pilosus* estudiada en este trabajo, incluye un total de 110 individuos (Figura 2), el análisis clúster que se realizó para los datos de volumen agrupa a los individuos en cinco categorías de tamaño (Figura 3).

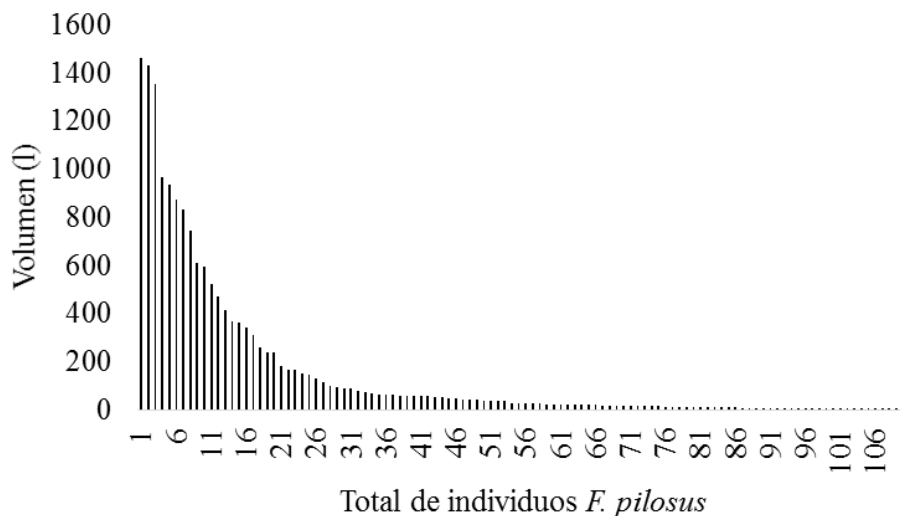


Figura 2. Volumen de los 110 individuos estudiados, de *Ferocactus pilosus*, en el ejido Estanque de los Walle municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

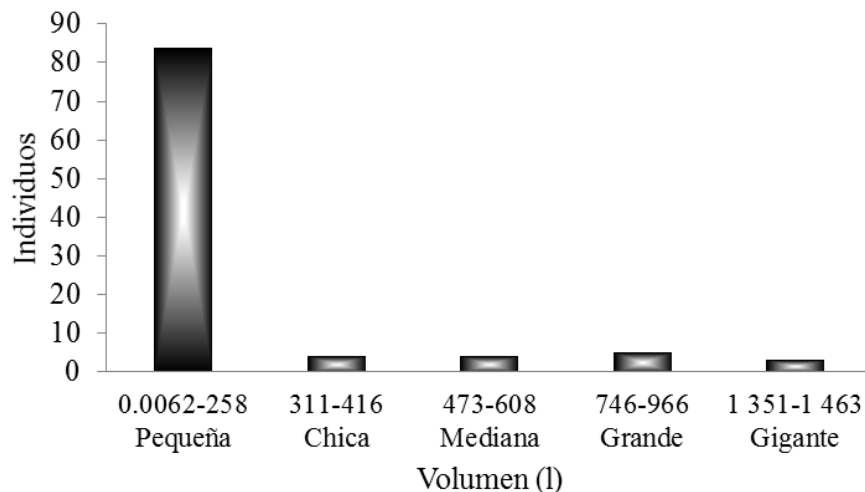


Figura 3. Frecuencia de individuos asociados por categoría de tamaño, en el ejido Estanque de los Walle municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

El grado de asociación de *F. pilosus* a un arbusto perenne es del 90.9%, es decir del total de individuos muestreados (110), 100 de ellos se asocian a una especie perenne, mientras que el 9.09% corresponde a individuos encontrados en espacio abierto (10). Del total de los individuos estudiados asociados a algún arbusto el 84% corresponde a la categoría *pequeña* mientras que el número de individuos de las categorías restantes, desciende drásticamente (Cuadro 1), se presentan cuatro individuos para las categorías *chicas* y *mediana*; y cinco y tres para las categorías *grande* y *gigante* respectivamente. En lo que se refiere a los individuos no asociados,

se encontró que solamente dos de las cinco categorías presentan individuos, estas son nueve y un individuo para las categorías *pequeña* y *chica* respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías de tamaños con base en el volumen, en el ejido Estanque de los Walle municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

Categoría	Volumen (L)	Asociada	No asociada	Total
Pequeña	0.0062 – 258.08	84	9	93
Chica	311.20 – 416.02	4	1	5
Mediana	473.30 – 608.48	4	0	4
Grande	746.51 – 966.56	5	0	5
Gigante	1 351.72 – 1 463.53	3	0	3
Total		100	10	110

Especies vegetales perennes a las cuales se asocia *F. pilosus*

Se encontró un total de 16 especies nodriza, *Agave lechuguilla* es la especie que presenta la mayor cantidad de individuos asociados (61), posteriormente el grado de asociación a las especies restantes disminuye drásticamente, *Hechtia hernandez-sandovalii* presenta un total de 22 individuos, mientras que *Prosopis glandulosa* y *Euphorbia antisyphilitica* presentan 21 individuos, *Larrea tridentata* se asoció a 16 individuos, mientras que *Flourensia cernua* se asoció a 11 individuos, el resto de las especies estuvieron asociadas a menos de siete individuos (Cuadro 2, Figura 4).

Cuadro 2. Especies vegetales perennes (nodriza) a las que se asocia *F. pilosus*, en el ejido Estanque de los Walle municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

Sigla	Especies Asociadas	Frecuencia de asociación
Al	<i>Agave lechuguilla</i>	61
Hh	<i>Hechtia hernandez-sandovalii</i>	22
Pg	<i>Prosopis glandulosa</i>	21
Ea	<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	21
Lt	<i>Larrea tridentata</i>	16
Fc	<i>Flourensia cernua</i>	11
As	<i>Artemia</i> sp.	7
Mb	<i>Mimosa biuncifera</i>	5
Cl	<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	4
Pl	<i>Pistacia lentiscus</i>	2
As	<i>Aristida</i> sp.	2
Yc	<i>Yucca carnerosana</i>	1
Os	<i>Opuntia stenopetala</i>	1
Cm	<i>Caesalpinia mexicana</i>	1
Ci	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1
Om	<i>Opuntia microdasys</i>	1

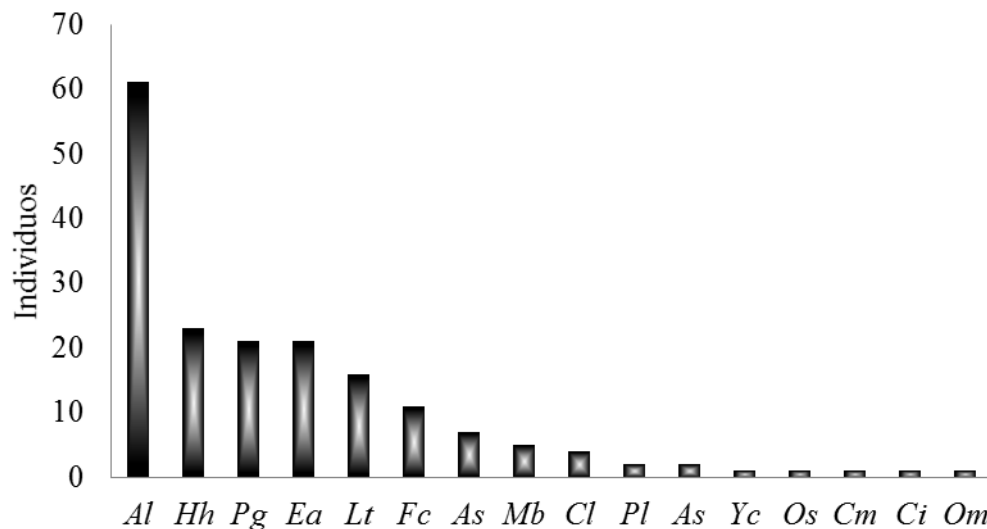


Figura 4. Frecuencia de las especies perennes a las que se asocia *Ferocactus pilosus*, en el ejido Estanque de los Walle municipio de Miquihuana, Tamaulipas. Al= *Agave lechuguilla*, Hh= *Hechtia hernandez-sandovalii*, Pg= *Prosopis glandulosa*, Ea= *Euphorbia antisyphilitica*, Lt= *Larrea tridentata*, Fc= *Flourensia cernua*, As= *Artemia* sp., Mb= *Mimosa biuncifera*, Cl= *Cylindropuntia leptocaulis*, Pl= *Pistacia lentiscus*, As= *Aristida* sp., Yc= *Yucca carnerosana*, Os= *Opuntia stenopetala*, Cm= *Caesalpinia mexicana*, Ci= *Cylindropuntia imbricata*, Om= *Opuntia microdasys*.

Asociación de *Ferocactus pilosus* por categorías de tamaño con base en el volumen a las especies vegetales perennes

Agave lechuguilla es la especie que cuenta con un mayor grado de asociación, ya que de los 100 individuos asociados, en 61 ocasiones ésta fue la especie presente, además es la única que presenta individuos asociados de las cinco categorías de tamaño. Es importante señalar que la categoría *pequeña* cuenta con 52 individuos asociados a ella (85.24%), en el resto de las categorías el número de individuos asociados se reduce notablemente; las categorías *chica* y *grande* cuentan con tres individuos (4.9%) mientras que las categorías *mediana* y *gigante* solamente cuentan con uno y dos individuos respectivamente.

El segundo lugar en asociación lo ocupa *Hechtia hernandez-sandovalii* con un total de 22 individuos, sin embargo, se presenta asociada a tres de las cinco categorías; en la categoría *chica* incluye un total de 18 individuos (81.81%) mientras que para las categorías *mediana* y *grande* cuenta con tres y un individuo respectivamente. En tercer lugar se encuentra *Prosopis glandulosa* con un total de 21 individuos, el mayor número de individuos asociados a la categoría *pequeña*, es de 19 individuos (90.47%), mientras que solo presenta un individuo en las categorías *mediana* y *grande*. La siguiente especie que continúa en la lista con mayor asociación, es *Euphorbia antisyphilitica* con un total de 21 individuos, sin embargo solo cuenta con 17 individuos (80.95%) y cuatro individuos (19.04%) en las categorías *pequeña* y *grande* respectivamente.

Es importante remarcar que *Larrea tridentata*, a pesar de poseer solamente 16 individuos asociados, estos incluyen a cuatro de las cinco categorías; nueve individuos (56.25%) para la categoría *pequeña*, tres individuos (18.75%) para las categorías *chica* y *gigante* y un individuo para la categoría *mediana*. Por último, *Florensia cernua* contiene un total de 11 individuos asociados, de los cuales seis (54.54%) pertenecen a la categoría *pequeña*, mientras que tres individuos (27.27%) para la categoría *chica* y dos individuos (18.18%) para la categoría *gigante*. El resto de las especies, además de contener menos de ocho individuos asociados, la mayoría corresponden a la categoría *pequeña*. En total se encuentran 177 asociaciones a una especie nodriza (Cuadro 3).

Cuadro 3. Especies vegetales perennes (nodriza) a las que se asocia *F. pilosus* por categoría de tamaño, en el ejido Estanque de los Walle municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

Especies nodriza	Categorías de tamaño con base en el volumen (l)					Total
	<i>Pequeña</i> 0.0062- 258.08	<i>Chica</i> 311.20- 416.02	<i>Mediana</i> 473.30- 608.48	<i>Grande</i> 746.51- 966.56	<i>Gigante</i> 1351.72- 1463.53	
<i>Agave lechuguilla</i>	52	3	1	3	2	61
<i>Hechtia hernandez-sandovalii</i>	18	0	3	1	0	22
<i>Prosopis glandulosa</i>	19	0	1	1	0	21
<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	17	0	0	4	0	21
<i>Larrea tridentata</i>	9	3	1	0	3	16
<i>Flourensia cernua</i>	6	3	0	0	2	11
<i>Artemia</i> sp.	7	0	0	0	0	7
<i>Mimosa biuncifera</i>	4	0	0	1	0	5
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	4	0	0	0	0	4
<i>Pistacia lentiscus</i>	2	0	0	0	0	2
<i>Aristida</i> sp.	2	0	0	0	0	2
<i>Yucca carnerosana</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Opuntia stenopetala</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Caesalpinia mexicana</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Opuntia microdasys</i>	1	0	0	0	0	1
Total	143	9	6	11	7	177

DISCUSIÓN

La vegetación de tipo matorral rosetófilo, suele presentar gran cantidad de espacios abiertos, de tal manera que las plantas arbustivas generan un micro-hábitat que permite una interacción biótica de tipo mutualista entre los arbustos y los cactus (Granados-Sánchez *et al.*, 2011; Ramírez, 2011). Lo mismo ocurre en el presente estudio con *F. pilosus*, el cual se establece bajo la protección de *Agave lechuguilla*. Muro *et al.* (2009) encontraron que existe una asociación positiva entre *Astrophytum myriostigma* y *Agave lechuguilla*, la cual es aprovechada como especie nodriza al crecer bajo su cobertura, de igual manera pero en menor proporción, otras

especies como *Jatropha dioica*, *Opuntia rufida* y *Thelocactus bicolor*, en la sierra El Sarnoso, Durango.

La importancia de la interacción entre una planta nodriza y una planta protegida es principalmente en las primeras etapas de desarrollo (Muro, 2011). Arriaga *et al.* (1993) concluyen que el fenómeno nodriza de plantas perennes ocurre en algunos cactus del bosque tropical seco, como *Stenocereus thurberii* y *Ferocactus peninsulare*, estos no se establecen de forma aleatoria ya que prefieren la sombra de los arbustos perennes como *Tecoma stans*, *Jatropha vernicosa* y *Haematoxylon brasiletto*. Suzán-Azpiri *et al.* (2005) señalan que hay una asociación significativa del “cardón gigante” *Pachycereus pringlei* con el palo fierro *Olneya tesota* en comparación con otras especies de árboles, pero no logró especificar por qué la preferencia, por lo que concluye que son relaciones bióticas intrincadas en lugar de diferencias simples en condiciones físicas.

Sánchez (2012) afirma que la totalidad de plantas de *Lophophora williamsii* se encontraron bajo el dosel de *A. lechuguilla* como planta nodriza. Ramírez (2011) concluyó que bajo condiciones de alto estrés ambiental, las interacciones de competencia son más importantes que las de protección, y la escasez de recursos como el agua, determinan que las plantas nodriza compitan contra las plantas protegidas. De Viana *et al.* (2000) observaron que la proporción asociada de *Trichocereus pasacana* a otras especies fue del 96%, el establecimiento no es aleatorio con respecto a la asociación con especies arbustivas, la mayoría de las asociaciones fueron con *Larrea divaricata* y en menos proporción con *Prosopis ferox* y *Aphyllocladus spartioides*.

En el presente estudio se encontró, que *F. pilosus* se establece bajo la protección de *Agave lechuguilla*, y que es principalmente una nodriza para el establecimiento de plantas en la categoría de tamaño *pequeña* (0.0062–258.08), lo que sugiere, la necesidad de una nodriza durante las primeras etapas de su desarrollo, al modificar de manera sustancial las condiciones de su micro ambiente.

CONCLUSIÓN

La población estudiadas de *Ferocactus pilosus* en Miquihuana, Tamaulipas, contempla la necesidad de una nodriza, mayormente en etapas tempranas de su desarrollo, es decir en la categoría de tamaño *pequeña*, por lo que se deduce que esta especie que se encuentran en lugares donde la radiación solar es alta y la precipitación baja, prefiere establecerse bajo la protección de una especie nodriza como *Agave lechuguilla*, las cuales proporcionan un microclima óptimo diferente al de los espacios abiertos ya que puede funcionar como una especie cosechadora de agua en estos sitios.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Tamaulipas que por medio de la Dirección de Investigación proporcionaron el financiamiento interno para el desarrollo del proyecto “Conservación de los Ecosistemas de Montaña del Altiplano de Tamaulipas: Flora, Vegetación y Ornitofauna” con clave PFI-2016-eb21.

LITERATURA CITADA

- Arriaga, L., Y. Maya, S. Díaz and J. Cancino. 1993. Association between cacti and nurse perennials in a heterogeneous tropical dry forest in northwestern Mexico. *Journal of Vegetation Science*. 4:349-356.
- Castro, C. V., R. Eyzaguirre P. y A. Ceroni S. 2006. Supervivencia de plántulas de *Melocactus peruvianus* Vaupel y *Haageocereus pseudomelanostele* subsp. *aureispinus* (Rauh & Backeberg) Ostolaza, en condiciones experimentales, Cerro Umarcata, Valle del Río Chillón, Lima. *Ecología Aplicada* 5(1-2):61-66.
- De Viana, M. L., S. Sühling and B. F. J. Manly. 2000. Application of randomization methods to study the association of *Trichocereus pasacana* (Cactaceae) with potential nurse plants. *Plant Ecology*. 00:1-5.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificaciones por su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. (Consultado 28 de junio de 2015).
- García, M. J., G. Vela C., Ma. De L. Rodríguez G. y O. A. Acevedo S. 2012. Características de los suelos asociados con la distribución y abundancia de *Ariocarpus bravoanus* en la estación Núñez Guadalcázar en San Luis Potosí, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 57(4):100-113.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde and P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the cactaceae. *The Botanical Review*. 69: 173-203.
- Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, R. L. Granados V. y A. Borja de la R. 2011. Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Edición especial. 17:111-130.
- Hernández, G. O. 2007. Estudio comparativo en la ecofisiología de cactáceas columnares (tribu: pachycereeae). Tesis doctoral. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. pp. 1-67.
- http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Miquihuana, Tamaulipas. Clave geoestadística. pp. 1-10.

- Jiménez-Sierra, C. y C. Jiménez-González. 2003. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas en una zona semiárida. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 48 (1):4-17.
- Larrea-Alcázar, D. M. 2007. Síndrome nodriza y ecología de la regeneración de cactus columnares en un enclave semiárido andino. Tesis doctoral. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Postgrado en Ecología Tropical, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Venezuela 2:1-188.
- López-Gómez, V., P. Zedillo-Avelleyra, S. Y. Anaya-Hong, E. González-Lozada y Z. Cano-Santana. 2012. Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences* 90(4):453-457.
- Muro, P. G. 2011. Asociaciones nodriza-protégida y germinación de cactáceas en Durango y Tamaulipas. Tesis doctoral en ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N.L. pp. 30-39.
- Muro, P. G., U. Romero-Méndez, J. D. Flores R. y J. Sánchez S. 2009. Algunos aspectos sobre el nodrizaje en *Astrophytum myriostigma* lem. (1839) (cactae: cactaceae) en la sierra El Sarnoso, Durango, México. *Boletín Nakari* 20(3):43-48.
- Ramírez, C. D. A. 2011. Los objetos nodriza como refugio y fuente de nutrientes: reflexiones sobre el establecimiento y restauración de cactáceas en zonas áridas de la vertiente occidental de los andes. *Ecología Aplicada*. Perú. pp. 83-86.
- Rencher, A. C. 2002. *Methods of multivariate analysis. Cluster Analysis* A Wiley- Interscience publication, John Wiley & Sons, Inc. N. Y. pp. 326-350.
- Sánchez, S. J. 2012. Cactoflora de la zona árida y semiárida de Durango, México. Tesis doctoral en ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N.L. pp. 5-25.
- Suzán-Azpiri, H. and V. J. Sosa. 2005. Comparative performance of the giant cardon cactus (*Pachycereus pringlei*) seedlings under two leguminous nurse plant species. *Journal of Arid Environments*. 65:351-362.
- Treviño-Carreón, J. y A. Valiente-Banuet. 2005. La vegetación de Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales. In: L. Barrientos, A. Correa, J. V. Horta y J. García (eds.). *Biodiversidad Tamaulipeca Vol I*. Dir. Gral de Educación Superior e Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. México. pp. 22-46.
- Villavicencio, G. E. E., A. Arredondo G., M. A. Carranza P., O. Mares A., S. Comparan S. y A. González C. 2010. Cactáceas ornamentales del desierto chihuahuense que se distribuyen en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, México. Libro técnico. Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. pp. 10-16.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PROPAGACIÓN DE CONIDIOS ENCAPSULADOS DE *Trichoderma harzianum* EN REACTOR AIRLIFT¹

[EVALUATION OF THE CAPACITY OF ENCAPSULATED *Trichoderma harzianum* CONIDIA FOR ITS PROPAGATION IN AN AIRLIFT REACTOR]

María E. Mancera-López, Wendy F. Izquierdo-Estévez, Elvira Ríos-Leal, Josefina Barrera-Cortés[§]

Investigadores. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. (Cinvestav-IPN), Departamento de Biotecnología and Bioingeniería, Ciudad de México, México. (elenamlopez@hotmail.com; fabiola_wdy@hotmail.com; erios@cinvestav.mx). [§]Autor para correspondencia: (jbarrera@cinvestav.mx).

RESUMEN

Trichoderma sp es un hongo antagonista de los más utilizados en el control biológico de enfermedades de plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto antagónico de un inóculo encapsulado de *Trichoderma harzianum* propagado en reactor Airlift; dos tamaños de cápsulas de alginato de calcio fueron estudiadas: medianas (1.48 ± 0.26 mm) y grandes (2.65 ± 0.30 mm). Los conidios encapsulados se inocularon en medio mineral contenido en reactor Airlift previo proceso de adaptación en caldo papa dextrosa. *Trichoderma harzianum* se propagó en biorreactor durante 12 días a temperatura ambiente, durante los cuales conidios libres fueron registrados diariamente. Al término del cultivo se determinó: cuenta de conidios libres e inmovilizados, resistencia a la irradiación ultravioleta (UV) de conidios libres y encapsulados y la capacidad antagónica de *Trichoderma harzianum* en contra de hongos fitopatógenos (*Penicillium citrinum*, *Aspergillus awamori*, *Aspergillus niger* y *Rhizoctonia solani*). Se encontró que el menor diámetro de cápsula liberó mayor cantidad de conidios, aunque mostró menor resistencia a la irradiación UV. Con relación a los bioensayos, *Trichoderma harzianum* presentó efectos antagónicos contra *P. citrinum*, *A. awamori*, y *R. solani*.

Palabras clave: Control biológico, encapsulado, hongo antagonista, hongos fitopatógenos.

ABSTRACT

Trichoderma sp. is an antagonistic fungus and one of the most used in the biological control of plant diseases. The aim of this study was to evaluate the antagonistic effect of an encapsulated

¹ Recibido: 18 de mayo de 2016.
Aceptado: 11 de octubre de 2016.

inoculum of *Trichoderma harzianum* propagated in an airlift reactor; two calcium alginate capsule sizes were tested: medium (1.48 ± 0.26 mm) and large (2.65 ± 0.30 mm). The encapsulated conidia were first propagated in potato dextrose broth, and then inoculated in an airlift reactor (mineral medium). Encapsulated *Trichoderma harzianum* was cultivated during 12 days at room temperature, during which free conidia count was daily recorded. At the end of the *Trichoderma harzianum* culture, the following analysis were carried out: free and immobilized conidia count, ultraviolet (UV) irradiation of the encapsulated and free conidia and evaluation of the antagonistic effect of *Trichoderma harzianum* against phytopathogenic fungi (*Penicillium citrinum*, *Aspergillus awamori*, *Aspergillus niger* and *Rhizoctonia solani*). It was found that medium capsules released more conidia than the larger, but were less resistant to the UV irradiation. Regarding bioassays, *Trichoderma harzianum* showed antagonistic effects against *P. citrinum*, *A. awamori* and *R. solani*.

Index words: Biological control, encapsulation, antagonistic fungus, phytopathogenic fungi.

INTRODUCCIÓN

La pérdida de cultivos de hortalizas, cereales y frutas, debido a enfermedades pre y post cosecha causadas por hongos fitopatógenos, es una de las principales causas de las pérdidas económicas en el sector agrícola (Agrios, 2005). No obstante que el uso de químicos resolvió inicialmente el problema, su uso prolongado pronto fue causa de serias alteraciones en el desarrollo de las plantas hospederas, así como del actual problema de contaminación ambiental (Elad, 2000).

El uso de microorganismos antagonistas para combatir enfermedades en plantas (Stefanova *et al.*, 1999) es uno de los métodos alternativos de gran interés, y de entre los cuales *Trichoderma harzianum* es uno de los antagonistas más usados. La preferencia por este hongo es debido a sus propiedades de hiperparásito competitivo, así como a su fácil aislamiento y cultivo in vitro. La desventaja de usar microorganismos, es su corta permanencia en el medio ambiente, debido a su alta sensibilidad a la irradiación ultravioleta, así como a las variantes condiciones ambientales (Boyetchko *et al.*, 1998).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto antagónico de un inóculo encapsulado de *Trichoderma harzianum* propagado en reactor Airlift y determinar su viabilidad con relación al diámetro del cápsula, tiempo de almacenamiento y resistencia a la irradiación ultravioleta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Trichoderma harzianum

El presente proyecto inició en 2015 con el interés de aplicar las tecnologías de encapsulado con alginato de sodio a la conservación de conidios de *Trichoderma harzianum* y estudiar su propagación en reactor de tipo Airlift. Se seleccionó este hongo antagonista porque es fácil de aislar y cultivar *in-vitro*. *Trichoderma harzianum* fue obtenido durante el primer trimestre de 2015 de la colección microbiana del Cinvestav-IPN [CDBB-H1-125] para la realización del presente estudio que culminó mediados de este año. Se propagó en agar papa dextrosa (PDA) Difco® a 28°C de 5-7 días para producción de stocks. Los conidios fueron cosechados, lavados, cuantificados al microscopio ($1.72 \times 10^9 \pm 3.54 \times 10^7$ conidios mL⁻¹) y guardados en viales a 4°C para su posterior uso.

Encapsulado de conidios de *Trichoderma harzianum*

El encapsulado de conidios se realizó bajo condiciones de esterilidad por el método de extrusión utilizando alginato de sodio como matriz encapsulante. La extrusión se realizó con dos agujas de diferente número (31G x 8 mm y 21G x 32 mm) para producir cápsulas de diámetros diferentes. Se utilizó una suspensión de 40 µL del inóculo de conidios mezclados con 50 mL de alginato de sodio al 2% y como solución gelificante cloruro de calcio 0.1 M. Las cápsulas fueron lavadas con solución salina y guardadas en viales a 4°C hasta su uso. Muestras de cápsulas (300 cápsulas) fueron utilizadas para determinar su diámetro medio y la cuenta de conidios por cápsula. La cuenta de conidios se realizó previa liberación de éstos con citrato de sodio al 1%.

Cultivo líquido en reactor Airlift

El encapsulado de *Trichoderma harzianum* fue inoculado por duplicado en 100 mL de caldo papa dextrosa (PDB) e incubado a 30 °C y 150 rpm por 48 h. El volumen total del cultivo fue inoculado en 1.3 L de medio mineral de la siguiente composición en g L⁻¹: sacarosa, 8; KNO₃, 10; KH₂PO₄, 5; MgSO₄, 1.3; FeCl₃, 20 mg L⁻¹ (Molla *et al.*, 2012), contenido en un reactor Airlift de 1.5 L (Vidrio Pyrex diámetro=0.9 m; altura= 0.35 m). El reactor fue operado a temperatura ambiente y alimentado con un flujo de aire esterilizado de 10 mL·min⁻¹ (2 kg cm⁻²).

Muestras de cultivo de 10 mL fueron extraídas cada 24 h durante 12 días para cuenta de conidios liberados al medio de cultivo. El efecto antagonista de *Trichoderma harzianum* contra *P. citrinum*, *A. awamori* y *A. niger*, así como su resistencia a irradiación UV (250 y 350 nm), fueron determinados al final del cultivo en cajas Petri con PDA. El encapsulado de *Trichoderma harzianum*, antes y después del cultivo en reactor Airlift, fue secado a 40°C y guardado en tubos Eppendorf para su almacenamiento a temperatura ambiente. La viabilidad del encapsulado fue verificada mensualmente por incubación en PDA a 30 °C, (únicamente mediante observación de crecimiento micelar en la placa).

El efecto del diámetro de partícula en la producción de conidios libres y encapsulados fue analizado mediante el Software Design Expert® Version V.7.0.0 y la diferencia de medias por el método de Tukey.

Confrontación *in vitro* de *Trichoderma harzianum* frente a hongos fitopatógenos

Cepas de *Penicillium citrinum*, *Aspergillus awamori*, *Aspergillus niger* y *Rhizoctonia solani*, fueron crecidas en PDA a 30 °C durante 7 días para su confrontación con *Trichoderma harzianum* en cajas Petri preparadas con el mismo medio de cultivo. Un disco de 0.5 cm de diámetro, con crecimiento del correspondiente hongo fitopatógeno fue colocado en el extremo opuesto de las cajas Petri con relación a *Trichoderma harzianum*. Las cajas Petri fueron incubadas a 30 °C para monitoreo de crecimiento radial de ambos hongos; al término de 9 días se registró antagonismo colonial. Se establecieron 5 niveles de antagonismo. Nivel 1, el patógeno crece en toda la caja inhibiendo al antagonista *Trichoderma harzianum*; nivel 2: el patógeno se extiende más allá del 75% de la caja, entremezclándose con el antagonista e inhibiendo el crecimiento de éste; nivel 3, el crecimiento de ambos hongos (patógeno y antagonista) se detiene al 50 % de la caja; nivel 4, el hongo antagonista se desarrolla sobre el micelio del patógeno inhibiendo su crecimiento y ocupando el 75 % de la caja; nivel 5, el hongo antagonista crece sobre el patógeno en toda la extensión de la caja.

El experimento incluye un control, donde cada hongo, antagonista y fitopatógenos, es cultivado por separado en PDA. Este estudio se realizó por duplicado y el nivel de antagonismo por efecto del diámetro de cápsula e interacción antagonista-fitopatógeno fue analizado mediante el Software Design Expert® Version V.7.0.0.

Exposición de *Trichoderma harzianum* encapsulado a irradiación UV (250 y 350 nm)

Cápsulas con *Trichoderma harzianum* (o 100 mL de cultivo, en su caso), extraídas de los reactores Airlift, fueron colocadas en una caja Petri (hidratadas con agua destilada esterilizada) e irradiadas hasta por 10 h con irradiación UV de 250 y 350 nm (UVGL-25, 4W) desde una distancia de 7 cm. Las cajas Petri inoculadas con las cápsulas irradiadas, se incubaron a 30°C y al cabo de 24 h se cosecharon los conidios con agua destilada esterilizada para su cuenta en cámara de Neubauer. Se consideró viable un cultivo cuando hubo crecimiento del túbulo germinal.

La viabilidad de conidios por efecto del diámetro de cápsula y nivel de irradiación, para un tiempo fijo, se realizó mediante el software Software Design Expert® Version V.7.0.0. Como control se utilizaron cápsulas de conidios encapsulados no irradiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de conidios en reactor Airlift

El encapsulado de conidios de *Trichoderma harzianum* con las agujas descritas en la sección de materiales y métodos permitió producir cápsulas de 1.45 ± 0.3 y 2.7 ± 0.3 mm. Con relación al control, el uso de estas cápsulas en el cultivo en reactor Airlift de *Trichoderma harzianum*, incrementó en una potencia la cuenta total de conidios totales producidos (Cuadro 1). El análisis de varianza de la cuenta de conidios producidos por efecto del diámetro de cápsula, permitió observar diferencias significativas tanto en la cuenta de conidios liberados al medio ($p < 0.0024$), como en la cuenta total de conidios producidos ($p < 0.0018$) (liberados y encapsulados) (Cuadro 1). Estos resultados fueron corroborados con el análisis de medias aplicando el método de Tukey.

El mejor desempeño de los inóculos encapsulados con relación al control sugieren la fácil adaptación de los conidios de *Trichoderma harzianum* a la matriz de alginato de sodio y su desarrollo metabólico adecuado, dado por la delgada capa de pigmento verde cubriendo cada cápsula. El Cuadro 1 muestra que las cápsulas de menor tamaño producen una mayor cuenta de conidios tanto encapsulados como liberados, lo cual podría atribuirse a las fuerzas internas en la cápsula para mantener su tamaño (Salsac *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Conidios de *Trichoderma harzianum* producidos en reactor Airlift con inóculos encapsulados

Diámetro de cápsula (mm)	Edad del cultivo para máxima cuenta de conidios (días)	Conidios libres ^a (conidios mL ⁻¹)	Conidios encapsulados ^{a,b} (conidios mL ⁻¹)
1.48 ± 0.3	9	$2.6 \times 10^8 \pm 1.4 \times 10^7$	$4.7 \times 10^7 \pm 1.5 \times 10^6$
2.65 ± 0.3	8	$5.5 \times 10^7 \pm 1.1 \times 10^6$	$3.9 \times 10^7 \pm 8.9 \times 10^6$
Conidios Libres ^c	5	$2.9 \times 10^7 \pm 1.1 \times 10^6$	---

^aCuenta en cámara de Neubauer; ^bSolubilización de matriz encapsulante en solución de citrato de sodio (1%);

^cExperimento control

Antagonismo en cultivos duales entre conidios encapsulados de *Trichoderma harzianum* y fitopatógenos

La determinación del nivel de antagonismos entre los fitopatógenos seleccionados y *Trichoderma harzianum*, en su forma de conidios libres y encapsulados, presentó un efecto significativo con una p (F) < 0.0001 tanto con relación a la forma de suministrar los conidios como con relación al fitopatógeno confrontado; ningún efecto significativo fue observado con relación al tamaño de cápsula. De acuerdo con lo reportado en el Cuadro 2 el mayor nivel de antagonismo fue observado al inocular conidios libres. Este resultado se atribuyó a la disponibilidad de los

conidios, así como a la presencia de metabolitos secundarios con propiedades antibióticas, comúnmente producidos por *Trichoderma harzianum* (Howell, 2003).

Con relación a los conidios encapsulados de *Trichoderma harzianum*, sin considerar a *A. niger*, este hongo demostró su capacidad antagónica al avanzar y colonizar el área opuesta de la caja Petri y detener el desarrollo de los fitopatógenos (Sánchez *et al.*, 2007). Respecto a *A. niger*, se asume que su rápida velocidad de crecimiento (2.6 ± 0.3 cm día⁻¹), en comparación con la de *Trichoderma harzianum* (1.2 ± 0.2 cm·día⁻¹), así como la baja disponibilidad de conidios encapsulados, puso en desventaja a éste último en la competencia por espacio y nutrientes (Vinale *et al.*, 2006). El sistema *A. niger* - *Trichoderma harzianum* es un ejemplo de la aplicación limitada y específica del antagonista en el combate de hongos fitopatógenos, no obstante, también se manifiesta su ventaja frente a fitopatógenos que crecen muy lento como es el caso de *P. citrinum*.

Cuadro 2. Antagónismo de *Trichoderma harzianum* frente a 4 fitopatógenos en cultivos duales.

Cepa	Inoculación cultivo dual (día)	Crecimiento micelar al día 9 (%)	Antagonismo del encapsulado (Nivel)	Antagonismo conidios libres (Nivel)
<i>Trichoderma harzianum</i>	4	100	-----	-----
<i>P. citrinum</i>	1	25	5	5
<i>A. awamori</i>	1	100	4	5
<i>R. solani</i>	4	100	5	5
<i>A. niger</i>	4	100	2	4

Viabilidad de conidios de *Trichoderma harzianum* expuestos a irradiación UV

Conidios encapsulados de *Trichoderma harzianum* conservaron parcialmente su viabilidad al ser expuestos a irradiación UV larga (UV-A) y corta (UV-C). El descenso de viabilidad estuvo determinado por el diámetro de cápsula, concentración de conidios por cápsula, tipo de irradiación y tiempo de exposición. Bajo exposiciones UV-C, viabilidades de $2.5 \pm 1.8\%$ (cápsula mediana) y $3.58 \pm 2.7\%$ (cápsula grande) fueron determinadas en tiempos de exposición de 6 h. La irradiación UV-A afectó en menor grado ($p(F) < 0.0001$) la viabilidad de los conidios, siendo ésta de $5.1 \pm 1\%$ y $14.2 \pm \%$, respectivamente, aun cuando la exposición se prolongó dos horas. La determinación de viabilidades residuales de $5 \pm 1.1\%$ (UV-C) y $2.4 \pm 1\%$ (UV-A), en conidios libres expuestas durante 2 y 6 h respectivamente sugiere la autoprotección de éstas gracias al pigmento verde producido por los mismos conidios (Hassan, 2011). Con relación a la concentración de conidios por cápsula, se encontró que un mayor número de conidios por cápsula

permite mayores tiempos de exposición a la irradiación UV, hasta por 6 h, sin importar el tipo de irradiación, UV-C o UV-A.

Viabilidad de conidios encapsulados de *Trichoderma harzianum*

El registro periódico de la viabilidad del inóculo encapsulado de *Trichoderma harzianum*, así como de los conidios encapsulados obtenidos de su propagación en cultivo sumergido, permitió observar que el inóculo encapsulado es más resistente a la deshidratación y a su almacenamiento a temperatura ambiente, con un registro de viabilidad del 100% (a la fecha, después de 14 meses). Estos resultados corroboran lo reportado por Jin y Custis (2011), respecto a la posibilidad de detener y reactivar el proceso de germinación de *Trichoderma harzianum*. Con relación a los conidios inmovilizados propagados en cultivo sumergido y finalmente deshidratados, la determinación periódica de viabilidad demostró dos desventajas: 1) aplanamiento irreversible de las cápsulas durante la deshidratación, atribuida a la expansión de los canales de porosidad en la matriz de alginato de calcio; 2) pérdida de viabilidad de los conidios al cabo de dos meses.

CONCLUSIONES

Los encapsulados de conidios de menor diámetro de *Trichoderma harzianum* registraron una mayor cuenta de conidios liberados al medio de cultivo y una mayor producción de conidios totales, en comparación con los cultivos inoculados tanto con el encapsulado de mayor diámetro como con conidios libres. El inconveniente de los encapsulados de diámetro medio fue su baja resistencia a una exposición larga a irradiación UV en comparación a la resistencia que mostraron las cápsulas de mayor diámetro. *Trichoderma harzianum* libre o encapsulado mostró efectos antagónicos contra *P. citrinum*, *A. awamori*, y *R. solani*. Finalmente, se encontró que la matriz de alginato de sodio protegió los conidios inmovilizados contra la radiación UV larga o corta y que el nivel de protección aumenta con el diámetro de cápsula y número de conidios por cápsula. Esta información es útil considerando la importancia de *Trichoderma harzianum* en el control biológico y el interés de disponerlo en formulaciones adecuadas para su rápida aplicación con altos rendimientos.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por el CONACYT a través del proyecto INFR-2012-01-188339.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. 5th ed. Academic Press. Nueva York. 952 p.
- Boyetchko, S., E. Pedersen, Z. Punja and M. Reddy. 1998. Formulations of biopesticides. In: Hall F.R. & Barry J.W. (Eds). Methods in biotechnology. 5: 487-508. Humana Press, Totowa, NJ.
- Elad, Y. 2000. Biological control of foliar pathogen by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. Crop protection 19:709-714.
- Hassan, A.A. 2011. Improvement of antagonism and fungicides tolerance in Iraqi *Trichoderma harzianum* isolates by ultra-violet irradiation. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5(11): 909-917.
- Howell, C.R. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. Plant Disease 87(1):4-10.
- Jin, X. and D. Custis. 2011. Microencapsulating aerial conidia of *Trichoderma harzianum* through spray drying at elevated temperatures. Biological Control 56:202-208.
- Molla, A.H., M. Haque, A. Haque and G.N.M. Ilias. 2012. *Trichoderma*-enriched biofertilizer enhances production and nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and minimizes NPK fertilizer Use. Agricultural Research 1(3): 265–272.
- Salsac A.V.S, L.Zhang and J.M. Gherbezza. 2009. Measurement of mechanical properties of alginate beads using ultrasound. 19^{eme} Congres Français de Mécanique. Marseille, France. pp 1-6.
- Sánchez, V., O. Rebolledo, R.M. Picaso, E. Cárdenas, J. Cordova, O. González and G.J. Samuels. 2007. *In vitro* antagonism of *Thielaviopsis paradoxa* by *Trichoderma longibrachiatum*. Mycopathologia 163:49-58.
- Stefanova, M, A. Lleiva, L. Larrinaga y M.F. Coronado. 1999. Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma* spp. para el control de hongos fitopatógenos del suelo. Revista de la Facultad de Agronomía LUZ 16:509-516.
- Vinale, F., R. Marra, F. Scala, E.L. Ghisalberti, M. Lorito and K. Sivasithamparam. 2006. Major secondary metabolites produced by two commercial *Trichoderma* strains active against different phytopathogens. Letters in Applied Microbiology 43: 143-148.

DETERMINACIÓN DE LA PERMANENCIA DE CEPAS INOCULADAS EN UN SUELO PARA SU BIORREMEDIACIÓN POR BIOAUMENTACIÓN. ANÁLISIS POR DGGE¹

[PERMANENCE DETERMINATION OF STRAINS INOCULATED IN A SOIL FOR ITS BIOREMEDIATION BY BIOAUGMENTATION. DGGE ANALYSIS]

Verónica E. Gallegos Hernández¹, Edgar Navarro Estrada¹, Eduardo D. Morales Becerra¹, Paola B. Zárate Segura^{1,2}, Josefina Barrera-Cortés^{3§}

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, IPN, ²Lab. Biología Molecular, ESM-IPN, ³Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (DBB) del Cinvestav-IPN. Ciudad de México, México. (swanster_cr@hotmail.com; navarroedgar94@gmail.com; danielo.ipn@gmail.com; pbzars@yahoo.com). [§]Autor para correspondencia: (jbarrera@cinvestav.mx).

RESUMEN

La electroforesis en gel con gradiente desnaturizante (DGGE) es un método de separación basado en el diferente comportamiento de fragmentos de doble hélice de DNA, de igual longitud pero diferente composición, en presencia de un gradiente desnaturizante (urea y formamida); el patrón de separación del DNA permite el análisis preliminar de la variación de comunidades bacterianas. El objetivo del presente trabajo fue la estandarización de una técnica de DGGE para su aplicación en la identificación de cepas hidrocarbonoclastas que permanecen al término de la biorremediación por bioaumentación de un suelo contaminado. El suelo fue inoculado con 7 cepas hidrocarbonoclastas y el DNA genómico de muestras de suelo extraído al término de 15 días de la incubación de éste a 30 °C. La región 16S rDNA fue amplificada por PCR a partir del DNA genómico y analizado por DGGE en un gradiente desnaturizante óptimo de 50 al 65%. El análisis de los geles y la comparación de las bandas del DNA extraído del suelo y de las cepas puras, permitió observar solo una banda que podría pertenecer a dos de las siete cepas inoculadas (*Citrobacter freundii* y *Klebsiella oxytoca*). Se asume que las cepas que llegan al término del proceso son aquellas con la capacidad de degradar los hidrocarburos de estructura molecular más compleja.

Palabras clave: Cepas nativas, HPA's, 16S rDNA.

¹ Recibido: 05 de septiembre de 2016.
Aceptado: 11 de octubre de 2016.

ABSTRACT

Denaturant gradient gel electrophoresis (DGGE) is a separation method based on the different behavior that double helical fragments of DNA, of equal length but different composition, shows in the presence of a denaturing gradient produced by substances such as formamide and urea. The separation pattern of DNA allows a preliminary analysis of the bacterial community variation. The aim of this study was the standardization of a DGGE technique for its application on the identification of hydrocarbonoclastic strains remaining in a soil treated by bioaugmentation. The soil was inoculated with seven hydrocarbonoclastic strains, and the genomic DNA extracted from soil samples at the end of 15 days of incubation at 30 °C. The 16S rDNA region was amplified by PCR from genomic DNA and analyzed by DGGE with an optimum denaturing gradient of 50 to 65%. Gel analysis and comparison of the bands of the DNA extracted from soil and pure strains, allowed to observe only one band that could belong to two of the seven inoculated strains (*Citrobacter freundii* and *Klebsiella oxytoca*). It is assumed that strains reaching the end of the bioremediation process are those with the ability to degrade hydrocarbons of more complex molecular structure.

Index words: Indigenous strains, HPA's, 16S rDNA.

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos policíclico aromáticos (HPAs) pertenecen a un grupo de compuestos orgánicos de origen natural y antropogénico, identificado como ubicuo, altamente hidrofóbico y de gran riesgo para el ser humano y los ecosistemas debido a sus propiedades toxicas, mutagénicas y cancerígenas (Lyu *et al.*, 2014; Abdel-Shafy y Mansour, 2016). Desde los años 70, se ha demostrado que las bacterias, hongos y algas poseen habilidades catabólicas que pueden ser utilizadas para la remediación de suelo y agua contaminados por estos hidrocarburos (Juhasz y Naidu, 2000).

La tecnología que involucra el uso de éstos microorganismos es conocida como biorremediación. Ésta puede llevarse a cabo por bioestimulación, que consiste en la adición de nutrientes para estimular el crecimiento de cepas nativas, o por bioaumentación, que comprende la adición de microorganismos especializados en la remoción de contaminantes específicos, los cuales pueden ser endógenos, exógenos o genéticamente modificados. Se recurre a la bioaumentación cuando la flora microbiana nativa de los suelos contaminados no posee el material enzimático para transformar los contaminantes o ésta se encuentra en muy baja concentración.

El análisis por electroforesis en gel con gradiente desnaturizante (DGGE) permite determinar la diversidad de poblaciones microbianas complejas basado en la movilidad electroforética de

una molécula de DNA parcialmente fundida (Muyzer and Smalla, 1998). Esta técnica ha sido utilizada para la identificación de microorganismos en diferentes ecosistemas, incluyendo aquellos presentes en diferentes suelos. El éxito de la biorremediación por bioaumentación de un suelo depende de diferentes factores (bióticos y abióticos) dentro de los cuales las características de la o las cepas a inocular, y su sobrevivencia a lo largo del proceso de biorremediación son primordiales. Considerando el riesgo de la no adaptación de microorganismos hidrocarbonoclastas inoculados a un suelo contaminado para su biorremediación por bioaumentación, el objetivo del presente trabajo es la estandarización de una técnica de DGGE para su aplicación en la identificación de los microorganismos inoculados que llegan al término del tratamiento del suelo contaminado bajo estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas bacterianas

Se emplearon siete cepas hidrocarbonoclastas previamente identificadas y caracterizadas, aisladas por enriquecimiento de suelos contaminados provenientes de los pantanos de Santa Alejandrina en el estado de Veracruz, México (Mireles-Morales *et al.*, 2013). Las cepas son las siguientes: cepa 2: *Citrobacter freundii*, cepa 6T: *Paenibacillus sp.*, cepa 7: *Klebsiella oxytoca*, cepa 13: *Acinetobacter iwoffi*, cepa 14: *Arthrobacter sp.*, cepa 17: *Bacillus cereus*, cepa 20: *Brevibacillus brevis* (Hernández-Cuevas *et al.*, 2015).

Propagación de cepas en un sistema contaminado con hidrocarburos

Las siete cepas bajo estudio fueron propagadas individualmente y por duplicado durante 24 h a 150 rpm y 30 °C en 25 mL de caldo nutritivo (BDBioxon®). El total del cultivo de cada cepa fue vertido (bajo condiciones de esterilidad) en un matraz Erlenmeyer de 500 mL para su mezclado y separación del material celular por centrifugación a 8000 rpm durante 15 min (Beckman Coulter Allegra® X-22R). El paquete celular fue re-suspendido en 50 mL de medio mineral (en g·L⁻¹: 0.8 K₂HPO₄, 0.2 KH₂PO₄, 0.1 KCl, 0.025 Na₂MoO₄, 0.014 Na₂Fe EDTA, 1 NH₄NO₃, 0.2 MgSO₄·7H₂O, 0.06 CaCl₂·2H₂O) esterilizado y adicionado en alícuotas de 0.5 mL en 21 matraces Erlenmeyer previamente preparados con 5 g de suelo contaminado con una mezcla compleja de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), 50 mL de medio mineral y 0.5 mL de una mezcla de hidrocarburos policíclico aromáticos (HPA: fenantreno, antraceno, fluoranteno, criseno y benzo[a]pireno; todos grado analítico de la marca Sigma Aldrich) de concentración conocida (100 ppm cada uno).

Los 21 matraces fueron incubados a 30 °C y 150 rpm por 15 días. Tres matraces fueron retirados de la incubadora cada tres días para extracción de DNA genómico en muestras de sobrenadante y determinación de hidrocarburos residuales de muestras de suelo (1 g), previa

separación de éste por decantación y secado a temperatura ambiente. Los hidrocarburos fueron separados por extracción sólido-líquido en sistema soxhlet, utilizando diclorometano como solvente (Izquierdo-Estévez *et al.*, 2015). La concentración de hidrocarburos fue determinada por análisis gravimétrico.

Extracción de DNA genómico

Se aplicó un protocolo reportado por García-Díaz *et al.* (2013) que comprende la lisis de material celular por agentes químicos y enzimáticos, separación de desechos celulares mediante la adición de fenol/cloroformo y la purificación del DNA con isopropanol. El DNA genómico se extrajo de las cepas puras, así como de la biomasa producida en los sistemas de biorremediación por bioaumentación, descritos en el párrafo anterior. La integridad del DNA extraído fue verificado por electroforesis en geles de agarosa al 0.5%. Las muestras fueron corridas a 90V durante 30 min; como agente revelador se utilizó bromuro de etidio. La cuantificación del DNA extraído se determinó con relación a un marcador de pesos moleculares (New England Biolab 1Kb). El DNA extraído fue disuelto en 50 µl de buffer TE y almacenado a 4 °C para su posterior uso (PCR).

PCR

Se amplificó la región 16S rDNA debido a que es una región conservada entre las bacterias. La secuencia de los iniciadores empleados es la siguiente: forward 27F +pinza GC, CGCCCGCCGCGCGCGGCGGGCGGGGCGGGGACGGGGGAGAGTTTGATCMTGGCT CAG, y reverso 1492F, TACGGYTACCTTGTTACGACTT, (Invitrogen). Se adicionaron 12.5 µl de Taq PCR Master Mix (QIAGEN), 0.5 µl de cada uno de los iniciadores para tener una concentración final de 0.2 µM, 50 ng de DNA diana y agua miliQ para llevar a un volumen final de 25 µl. La amplificación fue realizada con un termociclador (BIO-RAD) bajo el siguiente programa: Desnaturalización inicial, 5 minutos a 95 °C; 35 ciclos de 1 minuto a 94 °C para desnaturalización; alineamiento, 1 minuto a un gradiente de 55 °C a 65 °C; extensión, 1 minuto a 72 °C; extensión final, 5 minutos a 72 °C.

La reacción en cadena de polimerasa se verificó por electroforesis en geles de agarosa al 1% (30 minutos a 90V) teñidos con bromuro de etidio.

DGGE

DGGE fue realizado en un DCode Universal Mutation Detection System (BIO-RAD). Las condiciones bajo las cuales se corrió el DGGE se determinaron con el DNA (producto de PCR) extraído de las cepas puras. Las muestras de PCR fueron cargadas en un gel de poliacrilamida al 6%. El gel se preparó con TAE 50X, poliacrilamida 40% (37.5:1) y agua desionizada. Como agentes desnaturalizantes se utilizaron urea 7 M y formamida, y como catalizadores de la polimerización, TEMED 8.7 % y persulfato de amonio 1%. La estandarización del DGGE comprendió la determinación del gradiente desnaturalizante, así como el voltaje y el tiempo de

corrida de las muestras; la electroforesis se realizó a una temperatura de 60°C (Magdeldin, 2012). Los valores estudiados son los siguientes: (1) gradientes desnaturalizantes: 0 a 100%, 35 a 80%, 40 a 70%, 45 a 65% y 50 a 65%; (2) voltajes: 120, 100 y 80 V; (3) tiempo de corrida: 10, 13 y 16 h. Los geles fueron teñidos 15 min con bromuro de etidio y lavados 2 veces con agua bidestilada, 10 min cada lavado. El gel fue visualizado en un fotodocumentador (BIO-RAD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones de corrida del gel por DGGE

Las condiciones de corrimiento del gel por DGGE se determinaron a partir del producto de PCR del DNA extraído de las siete cepas bajo estudio (Amplicon por cepa y mezcla de amplicones) y cuyo patrón de corrimiento se presenta en la Figura 1 (carriles del 2 al 8). De los diferentes gradientes de concentración evaluados, en los rangos de concentración más amplios, 0-100% por ejemplo, se obtuvieron bandas no definidas concentradas hacia el centro del gel. Este bandeo se fue abriendo gradualmente y haciéndose más nítido conforme el rango de concentración se disminuyó de 35-80% hasta 50-65%; rangos de concentración más cortos no generaron diferencias importantes. El comprendido en el rango 50-65% fue el que generó mejores resultados, es decir, separación de bandas definidas y distribuidas en toda la superficie del gel, hecho que está determinado por el peso molecular del DNA extraído de cada cepa (Magdeldin, 2012).

Respecto al voltaje y tiempo de corrida de la electroforesis, 80V y 16 h fueron las condiciones que permitieron separar y dar nitidez al bandeo. Al realizar la corrida a 120V, no obstante que la migración de bandas fue rápida, el patrón de bandeo fue poco definido y en algunos casos se observó un barrido del material genético. A 100 V el barrido disminuyó, pero no lo suficiente para formar un patrón de bandeo lo suficientemente nítido. En cuanto al tiempo de corrida, no fueron suficientes 10 horas para permitir la separación definida de las bandas. Esta adecuada migración de bandas se observó en corridas de 13 h, no obstante, éste tiempo se prolongó a 16 h buscando una mayor separación entre bandas.

Remoción de HPA

El análisis de HPA residuales en el suelo tratado por bioestimulación-bioaumentación en matraz agitado arrojó niveles de remoción del $87 \pm 2\%$. De los 5 hidrocarburos que conformaban la mezcla de HPA, el hidrocarburo removido en mayor concentración fue el fenantreno ($81 \pm 1\%$); los demás hidrocarburos fueron removidos entre el $62 \pm 1\%$ (antraceno) y el $76 \pm 1\%$ (benzo[a]pireno). La similitud en los niveles de remoción de los HPA de mayor peso molecular (fluoranteno, criseno y benzo[a]pireno), se atribuye a que las cepas inoculadas fueron aquellas aisladas por enriquecimiento durante 15 días, de acuerdo a lo reportado por Mireles-Morales *et*

al. (2013), es decir, aquellas cepas tolerantes o con la capacidad de remover los HPAs de mayor peso molecular (Johnsen *et al.*, 2005). Similares niveles de remoción de los hidrocarburos estudiados en el presente trabajo han sido reportados por Lyu *et al.* (2014).

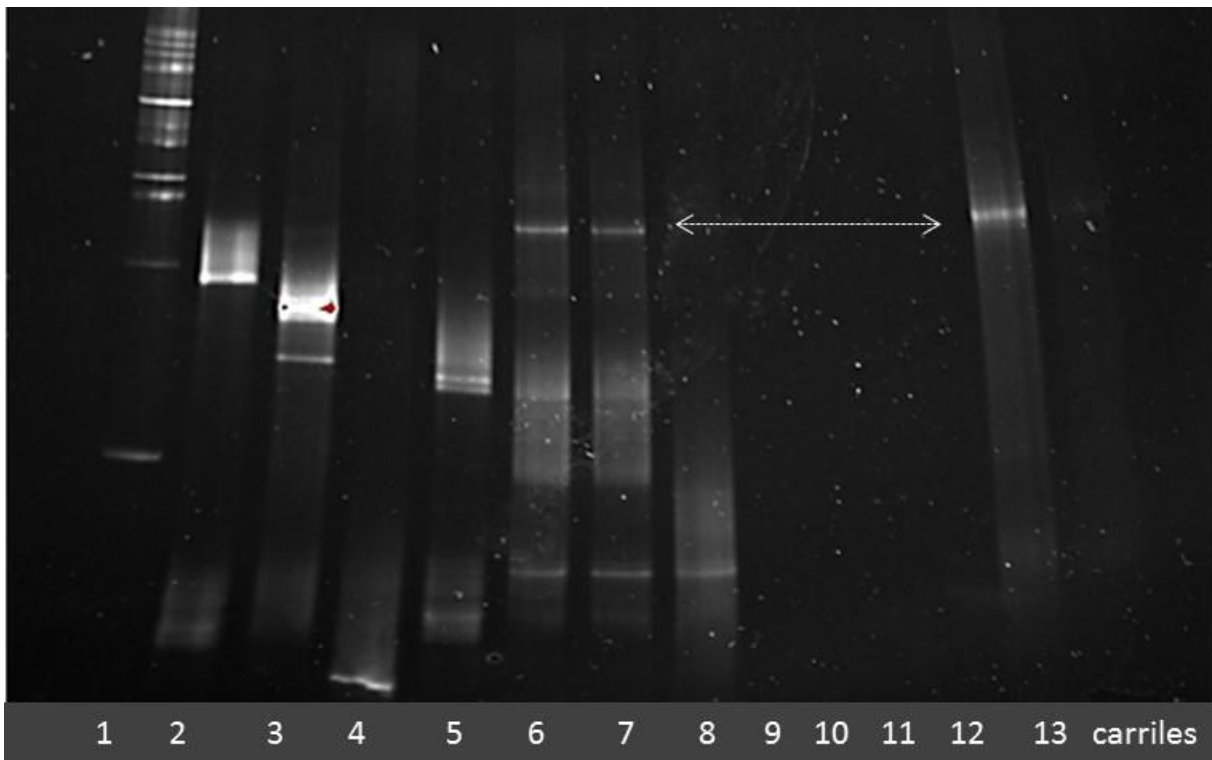


Figura 1. DGGE del DNA amplificado de las cepas puras (carriles del 2 al 8: cepas 13, 6T, 14, 17, 2, 7 y 20, respectivamente) y de la mezcla de cepas al final del proceso de remoción de HPA (carril 13). Carril 1: marcador de PM; carriles 9, 10 y 11: vacíos; carril 12: blanco.

La comparación del patrón de bandeo de las cepas puras (carril del 2 al 8) en el DGGE mostrado en la Figura 1, con relación al patrón de bandeo del DNA amplificado proveniente del suelo al final de su tratamiento (carril 13 en Figura 1), permite asumir la presencia de al menos una de las dos cepas identificadas con los números 2 (*Citrobacter freundii*) y 7 (*Klebsiella oxytoca*). No obstante, dado que ambas cepas fueron estudiadas individualmente y verificada su capacidad para degradar mezclas complejas de hidrocarburos (Mireles-Morales *et al.*, 2013), el DNA en el carril 13 bien podría haber sido aportado por ambas. En un estudio sobre la identificación de los factores que limitan la aplicación de la técnica DGGE a la identificación de poblaciones microbianas, Adil (2015) ha reportado que no todos los productos de un PCR pueden ser expresados en el DGGE. En el presente estudio el DNA extraído proviene de un suelo contaminado tratado por bioestimulación y bioaumentación, lo cual podría explicar la ausencia del total de bandas expresadas en los carriles 2 y 7.

CONCLUSIONES

Se estandarizó la técnica del DGGE para su aplicación en la identificación de las cepas inoculadas en un suelo contaminado con una mezcla compleja de hidrocarburos adicionados con hidrocarburos policíclico aromáticos. Las condiciones óptimas para el análisis por DGGE del sistema de cepas estudiadas fue con un gradiente desnaturalizante del 50 al 65%, a 80V y 16 h. Las cepas 2 (*Citrobacter freundii*) y 7 (*Klebsiella oxytoca*) se identificaron como las más resistentes al crecer en un medio altamente contaminado con hidrocarburos policíclicos aromáticos y se infiere que son las mejores de entre las seleccionadas para el presente estudio. Esto se concluye en base al 87% de HPA removidos del suelo utilizado en el presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue apoyado por Conacyt a través de los proyectos CB-2010-156837 y INFR-2012-01-188339. Los autores agradecen a María Elena Mancera sus comentarios y la revisión del presente documento.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Shafy, H.I. and S.M. Mansour M. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum* 25: 107-123.
- Adil, E. 2015. Corrective Measures of Denaturing Gradient Gel Electrophoresis Limitations. *Journal of Environmental Science and Technology* 8: 1-12.
- García-Díaz, C., M.T. Ponce-Noyola, F. Esparza-García, F. Rivera-Orduña and J. Barrera-Cortés. 2013. PAH removal of high molecular weight by characterized bacterial strains from different organic sources. *International Journal on Biodeterioration and Biodegradation* 85:311-322.
- Hernández-Cuevas E., J. García-Mena, J.L. Morales-Romero y J. Barrera-Cortés. 2015. Identificación de Cepas Nativas de Ácidos Húmicos y Suelos Altamente Impactados con hidrocarburos. In: *Memorias del 39° Congreso de la Asociación Mexicana de Microbiología, A.C. Hacienda Jurica en la ciudad de Querétaro, Qro., del 22 al 26 de marzo de 2015.*
- Izquierdo-Estévez W.F., N. Silva-Olea, E. Ríos-Leal, F.C. Salinas-Pérez y J. Barrera-Cortés. 2015. Interacción microbiana de dos grupos de microorganismos hidrocarbonoclastas en el proceso de remoción de una mezcla compleja de hidrocarburos. In: *Memorias del 39° Congreso de la Asociación Mexicana de Microbiología, A.C. Hacienda Jurica en la ciudad de Querétaro, Qro., del 22 al 26 de marzo de 2015.*
- Johnsen, A.R., L.Y. Wick and H. Harms. 2005. Principles of microbial PAH-degradation in soil. *Environmental Pollution* 133: 71-84

- Juhasz A.L. and R. Naidu. 2000. Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo[a]pyrene. *International Biodeterioration & Biodegradation* 45: 57-88
- Lyu, Y, W. Zheng, T. Zheng and Y. Tian. 2014. Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by *Novosphingobium pentaromativorans* US6-1. *Plos One* 9(7): e101438
- Magdeldin, S. 2012. Gel Electrophoresis - Principles and Basics. Ed. InTech. Croatia. 346 p.
- Mireles-Morales, E., E. Camacho Frías y J. Barrera-Cortés. 2013. Degradación de hidrocarburos policíclico aromáticos de alto peso molecular con bacterias nativas de un suelo contaminado. *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*. Vol. Xi: 63-70.
- Muyzer G. and K. Smalla. 1998. Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. *Antonie van Leeuwenhoek* 73: 127–141.

EVALUACION DE DOS SURFACTANTES PRODUCIDOS POR LEVADURAS PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE MICROEMULSIONES¹

[EVALUATION OF TWO YEAST SURFACTANTS FOR ITS APPLICATION IN MICRO-EMULSION FORMULATION]

Elena Alcántara-Martínez¹, Elvira Ríos-Leal¹, Carlos M. Cerda García-Rojas², Josefina Barrera-Cortés^{1§}

¹Estudiante. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav-IPN). Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (DBB). Ciudad de México, México. ¹Investigador. Cinvestav-IPN DBB. ²Investigador. Cinvestav-IPN. Departamento de Química. ¹Investigador. Cinvestav-IPN, DBB. (elena.365@hotmail.com; erios@cinvestav.mx; ccerda@cinvestav.mx). §Autor para correspondencia: (jbarrera@cinvestav.mx).

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de una micro-emulsión (μ E) a base de biosurfactantes (BS) de origen microbiano. Se utilizaron BS producidos por dos levaduras hidrocarbonoclastas crecidas en caldo papa dextrosa (PDB): CB-01 (crema) y CB-10 (rosa). La producción del BS fue monitoreada mediante análisis de conductividad y tensión superficial del medio de cultivo, y posteriormente verificada por análisis de cromatografía de gases (CG) y espectroscopia de infrarrojo (IR) del BS previamente extraído y purificado. Se obtuvieron biosurfactantes de un balance hidrofílico-lipofílico (HLB) igual a 18 con rendimientos de 0.3-0.4 g·g⁻¹ células. El análisis cromatográfico de la fracción lipídica de los surfactantes permitió identificar cuatro ácidos grasos comunes a ambas cepas: mirístico, palmítico, palmitoleico y linoleico y tres exclusivos de la cepa CB-01: esteárico, miristoleico y oleico. La formulación de la micro-emulsión se obtuvo de la variación de la relación de los componentes agua/queroseno/biosurfactante (W/Q/BS) en un rango 10 - 90 %. El HLB=18 de los BS producidos indica que son biosurfactantes con la capacidad de solubilizar grasas y formar emulsiones del tipo aceite en agua (O/W). El uso de los biosurfactantes en la elaboración de la micro-emulsión fue posible con el surfactante producido por la cepa CB-10 mezclado con Span 20 en un 38 %.

Palabras clave: Bio-tensoativos, caracterización fisicoquímica, cepas hidrocarbonoclastas.

¹ Recibido: 23 de agosto de 2016.
Aceptado: 11 de octubre de 2016.

ABSTRACT

The aim of this work was the development of a micro-emulsion (μ E), based on biosurfactants (BS) of microbial origin. BS produced by two hydrocarbonoclastic yeast grown in potato dextrose broth (PDB) were used. The biosurfactant production was indirectly monitored by conductivity and surface tension analysis of the culture medium and then verified by gas chromatographic (GC) and infrared spectroscopy (IR) analysis of the previously extracted and purified BS. The hydrophobic lipophilic balance (HLB) of biosurfactants was of 18 and they were obtained with yields of 0.3-0.4 g g⁻¹ dried cells. The chromatographic analysis of the surfactant lipid fraction allowed to identify four fatty acids common to both strains: myristic, palmitic, palmitoleic and linoleic, and 3 exclusive of the CB-01 strain: stearic, oleic and myristoleic. The micro-emulsion formulation was obtained from varying the water-kerosene-biosurfactant (W/Q/BS) ratio in the range 10 - 90 %. A HLB = 18 indicates that the produced BS can solubilize oils and forming oil in water (O/W) emulsions. The use of biosurfactants in preparing a micro-emulsion was possible with the surfactant produced by the CB-10 strain mixed with Span 20 at 38 %.

Index words: Bio-surfactants, hydrocarbonoclastic strains, physico-chemical characterization.

INTRODUCCIÓN

Una emulsión es una mezcla de dos líquidos inmiscibles entre sí, donde uno se dispersa dentro del otro en forma de micelas estabilizadas por un tercer componente llamado surfactante (S). Los surfactantes son sustancias cuyas moléculas contienen una fracción no polar y otra polar, por lo que pueden disolverse tanto en fluidos acuosos (W) como orgánicos (O). Las emulsiones pueden definirse del tipo agua en aceite (W/O) o aceite en agua (O/W), dependiendo del fluido dispersado (Tadros, 2013). Otra clasificación es la que identifica emulsiones, micro-emulsiones y nanoemulsiones, dependiendo del tamaño de micela (McClements, 2012). El tamaño de micela o gota es lo que determina las características y apariencia de una emulsión. El tamaño de gota está determinado por la naturaleza y concentración de los componentes, así como por el método de emulsificación.

El uso de surfactantes sintéticos en la elaboración de emulsiones ha sido una práctica común; no obstante, dado el problema de contaminación ambiental, la sustitución de los surfactantes sintéticos por biosurfactantes es de particular interés (Edwards *et al.*, 2003). La adecuada combinación de los componentes O/W/S puede permitir el manejo de sistemas inmiscibles, y lograr solubilizar aceite en agua (Pérez *et al.*, 2012). Un ejemplo de aplicación es en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos recalcitrantes. El petróleo es uno de los combustibles más utilizados por el ser humano, por lo tanto, es uno de los contaminantes que más ha impactado de forma negativa nuestro ecosistema. Se asume que las micro y nano

emulsiones podrían ser utilizadas, no solo en los procesos de desorción de hidrocarburos adsorbidos en suelo, sino en la extracción de éstos mismos compuestos desde los pozos petroleros (Pérez *et al.*, 2012).

La experiencia de nuestro grupo de trabajo es la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Desde hace aproximadamente 15 años hemos trabajado en la remediación de suelos con niveles de contaminación entre 30 y 50% de mezclas complejas de hidrocarburos recalcitrantes intemperizados, aledaños a dos refinerías de PEMEX. Hemos encontrado que la biorremediación de estos suelos por bioestimulación e incluso bioaumentación con cepas nativas no ha sido suficiente para disminuir la contaminación a los niveles máximos permitidos. Actualmente el uso de micro y nano emulsiones se presenta como una alternativa viable para la desorción de hidrocarburos a nivel poro de las partículas de suelo, como se explicó en el párrafo anterior. Por tanto, dado que el uso de surfactantes sintéticos pone en riesgo el medio ambiente, el objetivo del presente trabajo fue la evaluación del uso de biosurfactantes (BS) producidos por levaduras nativas de suelos contaminados, en la elaboración de una micro-emulsión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo es la continuación del proyecto CB-2010-156837 financiado por Conacyt, México. La parte relacionada con la formulación de micro y nano emulsiones, utilizando biosurfactantes como emulsificadores, la hemos venido realizando durante los últimos tres años en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Las levaduras aquí estudiadas son cepas muy mucosas nativas de suelos contaminados colectados en 2005 de un pantano aledaño a una refinería de PEMEX, pero reactivadas recientemente por enriquecimiento con combustóleo para el presente estudio.

Microorganismos

Se estudiaron dos levaduras etiquetadas como CB-01 (cepa blanca mucosa) y CB-10 (cepa mucosa rosa mexicano), las cuales fueron aisladas por dilución seriada (de 10^1 a 10^6), plaqueado en agar Sabouraud (100 μ L) e incubación durante 48 horas a 30 °C (Mireles-Morales *et al.*, 2013). El aislamiento se realizó previa incubación de los suelos contaminados en medio mineral y combustóleo (1000 ppm) a 30 °C y 150 rpm durante 72 h.

Caracterización de cepas

La caracterización de las cepas se enfocó a determinar el tiempo de crecimiento exponencial, la velocidad de crecimiento microbiano en caldo papa dextrosa (PDB) y las propiedades fisicoquímicas del medio de cultivo asociadas a la producción de surfactantes, como son el nivel de emulsificación de queroseno (relación 1:1) (Onur *et al.*, 2015), tensión superficial (TD1C

Lauda), viscosidad (AND Vibro Visiometer) y conductividad (CORNING Pinnacle 542). Estos parámetros se determinaron en muestras de 50 mL del cultivo de las cepas en PDB incubadas a 30 °C y 150 rpm en matraces Erlenmeyer de 250 mL. El valor de los parámetros reportados es la media de las mediciones realizadas en cultivos por triplicado, después de la fase de crecimiento exponencial, al observar un estado estable del cultivo.

Producción y caracterización de biosurfactantes

Las levaduras fueron propagadas en medio PDA durante 72 h a 30 °C. La biomasa fue cosechada con agua destilada esterilizada y el material celular recuperado por centrifugación (10000 rpm, 10 min) y lavado con agua destilada esterilizada para su cuantificación por peso seco. El sobrenadante fue vertido en un matraz Erlenmeyer para precipitación de biosurfactantes (BS) con acetona. El BS fue recuperado por centrifugación (10,000 rpm durante 10 min) y posteriormente lavado y liofilizado para su cuantificación. El liofilizado se disolvió en agua para la recuperación de ácidos grasos por extracción líquido-líquido con una mezcla cloroformo:metanol (2:1). Los ácidos grasos contenidos en la fase orgánica fueron concentrados en rotavapor a 70 °C y metilados para análisis por cromatografía de gases (CG-FID) (Folch, 1957).

Se utilizó un cromatógrafo Perkin Elmer Autosystem implementado con una columna capilar Omegawax™ 250 de 30m × 0.25mm × 0.25µm. Las temperaturas del inyector y detector se fijaron a 220 y 250°C, respectivamente y el programa de calentamiento fue en tres etapas: 100 °C - 4min - 6 °C·min⁻¹; 220 °C - 3 min - 3 °C·min⁻¹; y 250 °C - 5min. Como gas acarreador se utilizó nitrógeno a una presión de 9 psi. La fase acuosa fue liofilizada y solubilizada en agua para análisis de azúcares por cromatografía de líquidos. Se utilizó un cromatógrafo Varian ProStar con índice de refracción, implementado con una columna Aminex HPX-87 para carbohidratos de 300 mm × 7.8 mm. La fase móvil fue agua a 65°C y flujo de 0.6 mL·min⁻¹.

Preparación de la micro-emulsión

La elaboración de la micro-emulsión queroseno:agua (Q:W) se inició con la preparación de una micro-emulsión control preparada con los surfactantes sintéticos: Span 20 (SP20) y Tween 80 (TW80). La relación Q:W se determinó a partir de un barrido de agua y aceite en el rango 10-90%, manteniendo constante en 10% la concentración del surfactante y su composición (SP20 = 38 %, TW80 = 62 %; Alcántara-Martínez, 2015). Los surfactantes sintéticos fueron inicialmente mezclados durante 10 min bajo condiciones controladas de temperatura (45 °C) y agitación (750 rpm). El agua y el queroseno se incorporaron posteriormente; el primero a 1000 rpm, durante 10 min, y el segundo a 1400 rpm y 75 °C durante 30 min. La emulsión formada fue ultra-sonicada en 3 ciclos de 1 minuto cada uno, previo enfriamiento de ésta a temperatura ambiente. La incorporación de los tres fluidos en una emulsión estable de una sola fase continua fue el criterio para decidir sobre la formación de la micro-emulsión. Este procedimiento fue repetido, pero utilizando los surfactantes producidos por las levaduras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de cepas

El cultivo de las levaduras durante 36 - 50 h, permitió observar un comportamiento muy similar entre ambas cepas con relación a la producción de biomasa ($2.9 \pm 0.2 \text{ g L}^{-1}$) y velocidad de crecimiento microbiano (0.004 g h^{-1}) como se muestra en la Figura 1. Respecto a la medición indirecta de los biosurfactantes, la cepa CB-01 tuvo mayor impacto en la conductividad, con una caída de $159.0 \pm 6 \text{ S m}^{-1}$, en tanto que la CB-10 presentó una mayor producción de biosurfactante (Cuadro 1), aproximadamente 25% más que la CB-01. Con relación a los parámetros pH y viscosidad, se registraron estrechos rangos de variación, inferior a uno para el pH, e inferior a 0.2 para la viscosidad (Cuadro 1). De acuerdo con Raiger-Iustman & López (2009), la interacción agua-surfactante en forma de micelas, tiende a reducir la fuerza de los enlaces iónicos H-OH y por tanto disminuye la tensión superficial de este fluido. En el presente estudio, la formación de emulsiones al mezclar los cultivos de las levaduras con el queroseno y el registro de una caída de los parámetros tensión superficial y conductividad, permitieron corroborar la producción de biosurfactantes por ambas cepas (Cuadro 1).

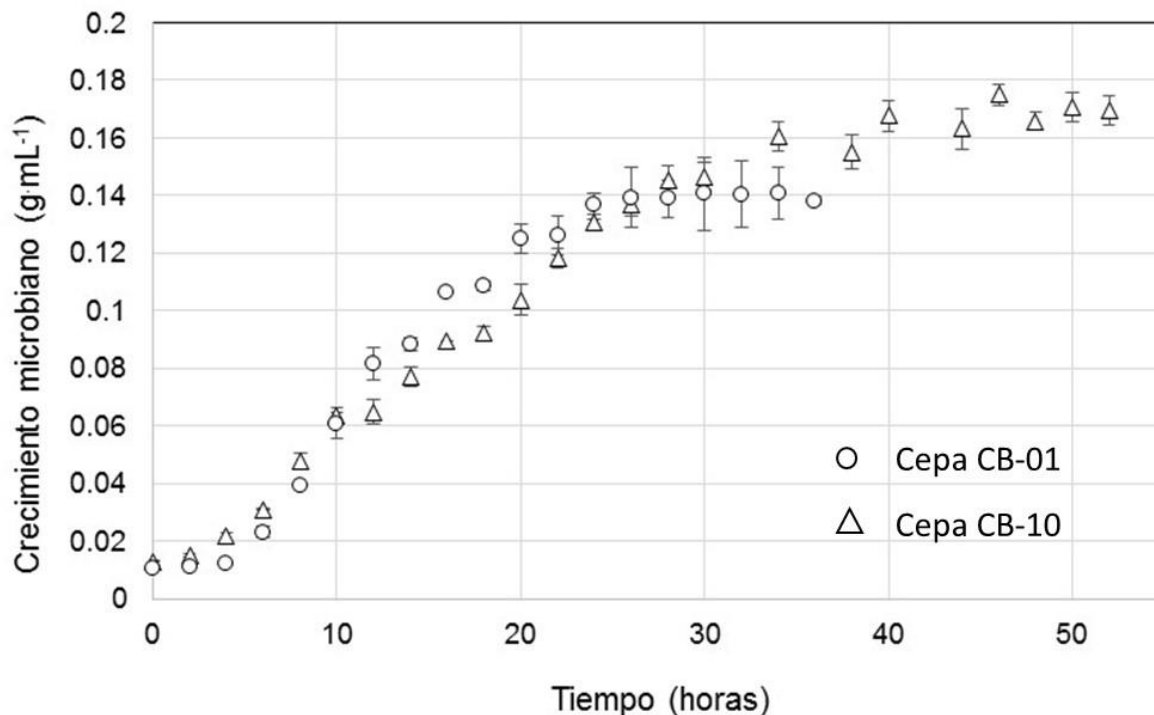


Figura 1. Curvas de crecimiento microbiano de levaduras CB-01 (o) y CB-10 (Δ).

Cuadro 1. Datos del cultivo de las cepas CB-01 y CB-10.

Característica	Unidades	CB-01	CB-10
Biomasa	g L ⁻¹	2.9 ± 0.2	2.9 ± 0.2
Velocidad de crecimiento	g h ⁻¹	0.004 ±	0.004 ±
Duración fase crecimiento exponencial	h	36.0	50.0
pH	[H] ⁺	4.4 ± 0.2	4.8 ± 0.1
viscosidad	cp	1.1 ± 0.2	1.3 ± 0.1
Producción surfactante	g g ⁻¹ células	0.3 ± 0.02	0.4 ± 0.01
Nivel de emulsificación de queroseno	%	60.0 ± 1.0	51.0 ± 1
Conductividad mínima	S m ⁻¹	717.0 ± 3	760.6 ± 2
Caída conductividad	S m ⁻¹	159.0 ± 6	125.1 ± 1
Tensión superficial mínima	mN m ⁻¹	40.7 ± 0.3	42.6 ± 0.5
Caída tensión superficial	mN m ⁻¹	11.6 ± 3.3	20.7 ± 1

Caracterización del BS

El análisis cromatográfico de la fracción lipídica de los surfactantes permitió identificar cuatro ácidos grasos comunes y tres exclusivos de la cepa CB-01. La magnitud relativa en la que fueron producidos estos ácidos grasos, por cada cepa, es la siguiente: CB-01: linoleico>>>oleico>>esteárico>>palmitoléico>>palmitico>miristoléico>mirítico; CB-10: mirístico>>>palmitico>>linoleico>>palmitoléico. La identificación de los grupos funcionales – CO-, C=O, CH₂CH₂ y –OH por espectroscopia de IR corroboró la producción de los ácidos grasos identificados. Es importante mencionar que éstos ya han sido reportados como producidos por levaduras por Amaral *et al.* (2010). Con relación a la fracción hidrofílica, el análisis por HPLC no permitió identificar azúcares. Estudios adicionales están siendo realizados para identificar otro tipo de estructuras como son las proteínas.

La cuantificación de las fracciones hidrofílica e hidrofóbica permitió determinar valores de 18 para el HLB de ambas cepas. La similitud de valores, no obstante el diferente número de ácidos grasos identificados en cada surfactante, se atribuye a la composición química de cada fracción de acuerdo a lo reportado por Salager & Antón (1998). Con relación al HLB de 18, surfactantes de este tipo son clasificados como solubilizadores de grasas y recomendados para la formación de emulsiones del tipo O/W (Burgos-Cara, 2012). La producción de surfactantes estuvo entre el 30 y 40% por CB-01 y CB-10, respectivamente (Cuadro 1). De acuerdo a lo reportado en literatura, estos rendimientos pueden variar, dependiendo de los medios de cultivo y las condiciones de propagación de las cepas (Diniz-Rufino *et al.*, 2014).

Elaboración de micro-emulsiones

El barrido de la relación agua/queroseno (W/Q) para una concentración constante del 10% de la mezcla de surfactantes sintéticos, (HLB=10.5; TW80:SP20=30:70) y la posterior variación del HLB de la mezcla [HLB: 10.52, 11.03, 11.67, 12.95, 13.59, 14.23 y 14.87], permitieron determinar la relación W/Q/MS=10:80:10 y la composición 38:62 (%) de la mezcla de surfactantes TW80:SP20 (HLB=11), como las más adecuadas para formar una emulsión continua translúcida azulosa, característica de las nanoemulsiones, de acuerdo con lo reportado por Forgiarini *et al.* (2006) (Figura 2).

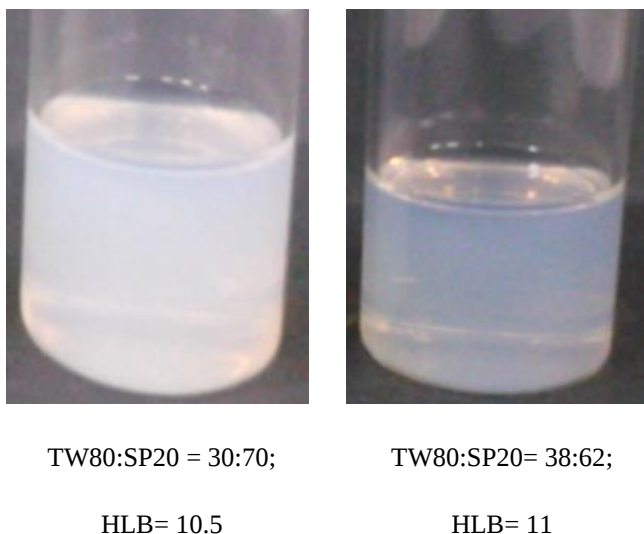


Figura 2. Micro-emulsiones W/Q/S (10:80:10), preparadas con mezclas de surfactantes TW80:SP20.

Respecto a la capacidad de los biosurfactantes producidos para formar micro-emulsiones, es importante mencionar que solo el biosurfactante producido por la cepa CB-10 formó una emulsión estable al ser combinado con Span20 en una relación 62:38 (HLB=11). La relación Q/W utilizada en esta emulsión fue de 5:80. La apariencia de la micro-emulsión fue blanca lechosa y con un tamaño de gota mayor a un 1 μm .

CONCLUSIONES

La alta capacidad hidrofílica de los biosurfactantes y su baja composición en ácidos grasos, solo permitió la formación de microemulsiones del tipo Q/W al ser mezclado con un surfactante sintético altamente hidrofóbico como es el Span 20. Dadas las características y capacidad de los

biosurfactantes para emulsificar mezclas agua-queroseno (HLB = 18), se asume que éstos podrían ser utilizados exitosamente para propósitos de desorción de hidrocarburos contenidos en suelo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue apoyado por Conacyt con el proyecto CB-2010-156837 y INFR-2012-01-188339. Los autores agradecen a Gustavo Medina Mendoza por su apoyo técnico para la realización de los análisis cromatográficos.

LITERATURA CITADA

- Agatángelo-Joaquin, S.E. 2007. Estudio del comportamiento cinético de microorganismos de interés en seguridad alimentaria con modelos matemáticos. Tesis de Doctorado. Área de Nutrición y Bromatología de la Universidad Autónoma de Barcelona Facultad de Veterinaria.
- Alcántara-Martínez, E. 2015. Preparación de nano-emulsiones utilizando surfactantes de origen microbiano. Tesis de licenciatura. División 2. Área de Procesos Industriales de la Universidad de Tecámac. Estado de México.
- Amaral P.F.F., M.A.Z. Coelho, I.M.J. Marrucho and J.A.P. Coutinho 2010. Biosurfactants from Yeasts: Characteristics, Production and Application. In: Sen R. (ed.). Biosurfactants. Advances in experimental medicine and biology (v. 672). Ed. Springer New York, USA. pp. 236-249.
- Burgos-Cara, A. 2012. Preparación de emulsiones dobles por emulsificación en membrana. MoleOla (Revista de Química de la Universidad Pablo de Olavide) 5:20-23.
- Diniz-Rufino, R., J. Moura-de-Luna, G.M. de-Campos-Takaki, L. Asfora-Sarubbo. 2014. Characterization and properties of the biosurfactant produced by *Candida lipolytica* UCP 0988. Electronic Journal of Biotechnology 17:34–38.
- Edwards K.R., J.E. Lepo, M.A. Lewis. 2003. Toxicity comparison of biosurfactants and synthetic surfactants used in oil spill remediation to two estuarine species. Marine Pollution Bulletin 46:1309–1316.
- Folch, J. L. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues.
- Forgiarini, A., L. Márquez, J.L. Salager. 2006. Nanoemulsiones. Laboratorio de Formulación, Interfaces, Reología y Procesos. Cuaderno FIRP S237-A. Versión #1. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Venezuela. 33 p.
- McClements D.J. 2012. Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences and similarities. Soft Matter 8: 1719-1729.

- Mireles-Morales, E.; E. Camacho-Frías, J. Barrera-Cortés. 2013. Degradación de hidrocarburos policíclico aromáticos de alto peso molecular con bacterias nativas de un suelo contaminado. *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*. XI: 63-70.
- Onur, G., F. Yilmaz, B. Içgen. 2015. Diesel oil degradation potential of a bacterium inhabiting petroleum hydrocarbon contaminated surface waters and characterization of its emulsification ability. *Journal of Surfactants and Detergents* 18:707–717
- Pérez, V., M. Sánchez, V. Coronel, J. Pereira, R. Álvarez. 2012. Uso de microemulsiones en la limpieza de suelos contaminados con crudo. *Revista Ingeniería UC* 19(2):61-68.
- Raiger-Iustman, L.J., N. López. 2009. Los biosurfactantes y la industria petrolera. *Revista QuimicaViva* 8(3):146-161.
- Salager, J.L., R. Antón. 1998. Formulación HLB, PIT, R de Winsor. Laboratorio de Formulación, Interfaces, Reología y Procesos. Cuaderno FIRP S210A. Versión #2. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Venezuela. 18 p.
- Tadros T.F. 2013. Emulsion Formation, Stability, and Rheology. In: Tadros T.F. (ed.). *Emulsion Formation and Stability. Topics in Colloid and Interface Science (VCH)*. Ed. John Wiley & Sons. Germany. pp. 1-75.

PROCESOS BIOGEOGRÁFICOS ENFOCADOS A VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA DE MOSQUITOS DEL GÉNERO *Culex* spp. EN MÉXICO¹

[BIOGEOGRAPHICAL PROCESS FOCUSED ON EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF MOSQUITOES *Culex* spp. IN MÉXICO]

María Elena Torres Olave^{1§}, Gina Isabel Zesati Pereyra², Luis Carlos Alatorre Cejudo¹, Lara Cecilia Wiebe Quintana¹, Luis Carlos Bravo Peña¹, Mario Iván Uc Campos¹, Manuel Octavio González León¹

¹Profesor investigador de la carrera Lic. en Geoinformática en la UACJ con sede en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. ²Profesor investigador de la carrera Lic. en Enfermería en la UACJ con sede en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. [§]Autor para correspondencia: (elena.torres@uacj.mx).

RESUMEN

Las enfermedades transmitidas por mosquitos requieren de la búsqueda de diversas estrategias para su control, dado que la distribución de culícidos está influenciada por la temperatura, lluvia, barreras geográficas, entre otros factores que son determinantes para su existencia y que, pueden influir en la transmisión de arbovirus al humano, es necesario realizar estudios que comprendan su biogeografía. El objetivo de este trabajo fue estimar la distribución espacial potencial de *Culex* spp. El modelaje de nicho ecológico se realizó con MaxEnt, las variables bioclimáticas (WorldClim) utilizadas para dicho proceso se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación con el fin de generar variables biológicamente significativas. La cartografía se interpreta como áreas de idoneidad relativa. Los resultados reflejan que Bio 2 (Rango de temperatura media mensual), Bio 7 (Rango anual de temperatura) y Bio 11 (Temperatura media del trimestre más frío), determinan en mayor porcentaje el área de distribución. El modelado de distribución para el *Culex* spp. es un acercamiento para identificar las zonas más vulnerables en la República Mexicana (2016). Es necesario fortalecer y establecer programas multidisciplinarios para la prevención de enfermedades transmitidas por *Culex* spp.

Palabras clave: Dípteros, encefalitis, MaxEnt, SIG, vectores.

ABSTRACT

The mosquitoes distribution and the presence of arboviruses are determined by temperature, rainfall, geographic barriers, and other factors that determine the distribution of *Culex* spp. and

¹ Recibido: 26 de septiembre de 2016.
Aceptado: 11 de octubre de 2016.

can influence the human arboviral. The objective of this study was to identify potential spatial distribution of *Culex* Spp. The ecological niche modeling was performed using MaxEnt Ecological niche modeling was performed using MaxEnt, bioclimatic variables (WorldClim) used for this process are derived from the monthly values of temperature and precipitation to generate biologically significant variables (representing annual trends and limiting factors for the distribution of species. The resulting maps can be interpreted as relative suitability areas, these areas are presented on the east coast of México, mainly in the states of Veracruz and Tabasco. The results show that Bio 2 (mean monthly temperature range), Bio 7 (annual range of temperature) and Bio 11 (mean temperature of the coldest quarter), determine the highest percentage range. Distribution modeling *Culex* Spp. It is an approach to identify the most vulnerable areas in Mexico. It is necessary to strengthen and establish multidisciplinary programs for the prevention of *Culex* spp. transmitted diseases.

Index words: Díptera, encephalitis MaxEnt, GIS, vectors.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por mosquitos requieren de la búsqueda de diversas estrategias para su vigilancia y control, dado que la distribución de culícidos está influenciada por la temperatura, lluvia, barreras geográficas, entre otros factores que son determinantes para su existencia y que, pueden influir en la transmisión de arbovirus al humano, es necesario realizar estudios que comprendan su biogeografía. En México, este tipo de zoonosis está determinado por el acceso de las poblaciones a recursos que incluyen el estrato socioeconómico que determina, la calidad de la vivienda, la educación y el saneamiento, especialmente agua y alcantarillado, así como a las prácticas de higiene (Nash *et al.*, 2001). Debido a su preferencia alimenticia como oportunista, la resistencia a los insecticidas, su capacidad vectorial y a las altas densidades que puede llegar a alcanzar, *Culex* spp. es un factor de riesgo para las poblaciones urbanas.

Sin embargo, el acceso a la información sobre estas zoonosis en lugares no endémicos es insuficiente, al no ser considerado como una situación de riesgo de salud entre la población, lo que conlleva a un sub registro de información y con ello la toma de decisiones en vigilancia médica se ve limitada en todo caso. Las encefalitis causadas por culícidos se han descrito en los individuos de todas las edades y sin distinción de sexo, niños y ancianos son más susceptibles y se asocia a problemas inmunitarios (Mora y Granados, 2007). Además, por los factores mencionados, este tipo de encefalitis puede presentar mayor severidad llevando a la muerte con una tasa de letalidad elevadas (Schmunis y Días, 2000).

El conocimiento de la distribución de mosquitos del género *Culex* spp. podría coadyuvar en la vigilancia de una potencial emergencia o reemergencia de enfermedades transmitidas por este

tipo de vector, además de que contribuirá a expandir el panorama que se tiene de la distribución de este importante grupo de insectos en el país. Por lo anteriormente mencionado, el objetivo es estimar la distribución potencial de *Culex* spp. en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende la República Mexicana que se encuentra localizada entre las coordenadas 32° 43' y 14° 32' latitud Norte, y entre 86° 42' y 118° 43' longitud Oeste (Figura 1); limita al norte con los Estados Unidos Americanos, al sur oeste con el océano Pacífico, al sureste con Guatemala y Belice, y al este con el golfo de México y el mar Caribe. Tiene un área de 1,972,550 km² y comprende 4,111 islas. La división administrativa es de 31 estados y Ciudad de México (INEGI, 2010).

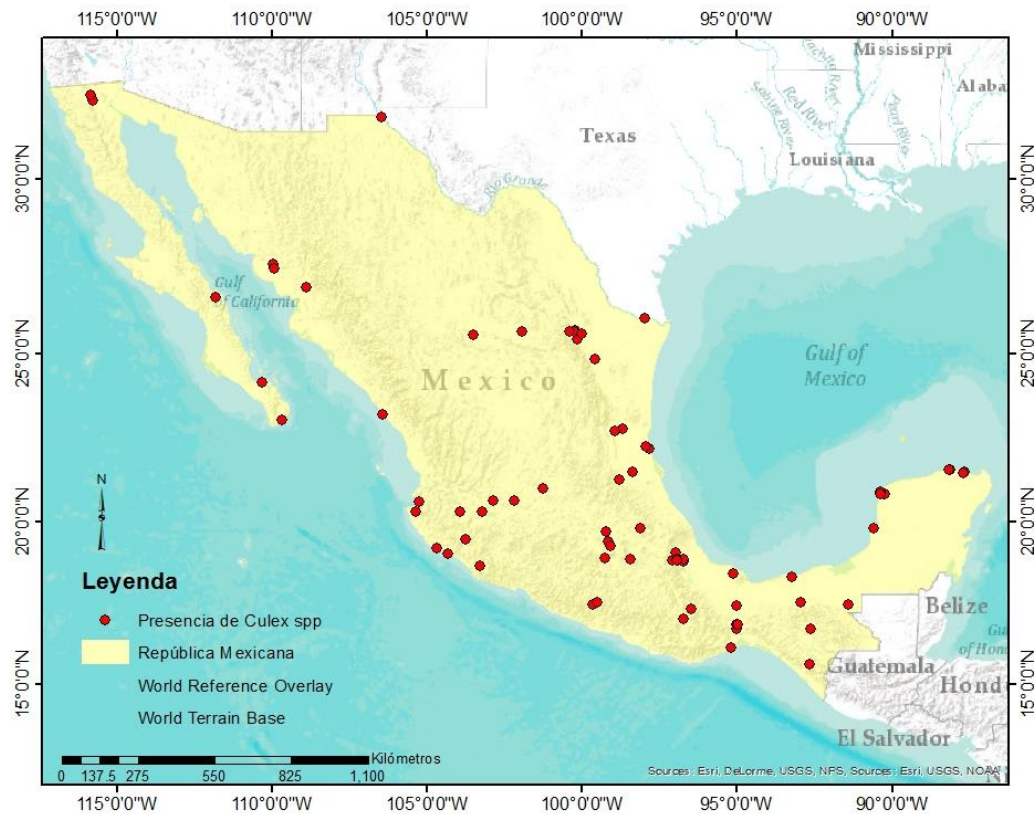


Figura 1. Área de estudio, y presencias de *Culex* spp. en la República Mexicana.

Bases de datos y procedimiento

Para la generación del área de distribución potencial de *Culex* spp. se utilizaron 77 registros de ocurrencia actuales ubicados a lo largo del territorio nacional obtenidos del portal en línea Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<http://www.gbif.org/species/1497010>). También se utilizó un conjunto de 22 variables biofísicas obtenidas de WorldClim, (representan tendencias anuales y factores limitantes para la distribución de las especies) de las cuales 19 son bioclimáticas y 3 topográficas (Cuadro 1); las variables de clima contienen datos que corresponden a capas climáticas globales representadas en imágenes con una resolución espacial (homogenizada) de 1 Km; lo anterior obtenido de la interpolación de los registros de estaciones climáticas de 1950 al 2000 procedentes de diversas fuentes a nivel global, nacional, regional y local. (Cuadro 1) (Hijmans *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Descripción de las variables bioclimáticas y topográficas utilizadas en el modelo

ID	Variables Ambientales
BIO 1	Temperatura media anual
BIO 2	Rango de temperatura media mensual
BIO 3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) (*100)
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálida
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO 7	Rango anual de temperatura (Bio5-Bio6)
BIO 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO 9	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO 10	Temperatura media del trimestre más seco
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO 12	Precipitación anual
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo
BIO 14	Precipitación del mes más seco
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación
BIO 16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío
DEM	Modelo Digital de Elevación del Terreno
ASP	Dirección de la pendiente (Grados)
SLOPE	Tasa de cambio máximo de la altura
USOS	Usos de suelo y cubiertas vegetales

Distribución potencial

Se decidió el algoritmo de *MaxEnt* debido a que su aplicación en trabajos previos ha dado buenos resultados (Anderson *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006) inclusive con pocos datos (Bartel, 2008),

lo cual resulta ser en este caso. Normalmente en *MaxEnt* los datos se dividen en dos conjuntos, uno para la generación del modelo y otro para su validación (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005; Peterson *et al.*, 2006; Navarro *et al.*, 2007). Sin embargo, con pequeños tamaños de muestra este procedimiento no es aplicable ya que se pierde información importante dentro de los datos que se establecen como de validación (Pearson *et al.*, 2007). Para solucionar este problema, se generaron 20 réplicas por especie aplicando la técnica de replicación bootstrapping (Ortega-Huerta y Peterson, 2008; Wisz *et al.*, 2008; Peterson *et al.*, 2006; Marmion *et al.* 2009; Phillips y Dudík, 2008; Cruz-Cárdenas, 2014 y Levy 2016). Las representaciones geográficas generadas mediante esta técnica deben considerarse hipótesis provisional cuya fiabilidad sólo podrá evaluarse a medida que se obtengan nuevas ocurrencias en campo y de registros de casos por enfermedades causadas por mosquitos del género *Culex* spp.

Para la modelación de nicho ecológico se utilizó *MaxEnt* 3.3.3k, desarrollado por Phillips *et al.*, (2004) y se integraron los parámetros anteriores y variables climáticas para realizar 20 réplicas del modelado. A fin de estimar cuales son las variables más importantes en el modelo, se realizó una prueba Jackknife.

El proceso de evaluación del modelo se realizó a través de la curva Operativa Característica del Receptor (ROC por sus siglas en inglés) calculando el área bajo la curva AUC (AUC, por sus siglas en inglés) (Phillips *et al.*, 2006 y Fielding y Bell, 1997). La precisión del modelo es mayor cuando la proporción de positivos verdaderos es mayor a la de positivos falsos; el AUC con valor de 0.5 indica que el modelo no tiene poder predictivo, 1 significa una discriminación o un modelo perfecto, y los valores por debajo de 0.5 indican una relación mucho menor que la esperada al azar (Guisan *et al.*, 2006).

Posteriormente de las 20 réplicas generadas, se seleccionaron las tres cartografías resultantes de *MaxEnt* con mayor porcentaje de área bajo la curva para incorporarlos en el software *ArcGis* en su versión 10.3 de ESRI. Después, se realizó una reclasificación de los valores en función del umbral establecido por *MaxEnt*: 10 percentil (que indica la probabilidad de que el 10% de los puntos de presencia pueden caer fuera del área de predicción del área de distribución potencial) (Pearson *et al.*, 2007 y Naranjo *et al.*, 2014). Toda la información finalmente fue expresada en un SIG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos de *Culex* spp., presentaron valores del área bajo la curva (AUC mayor a 0.95) por encima del parámetro de predicción al azar (AUC = 0.50), lo que indica que la habilidad del modelo para clasificar las presencias de la especie es aceptable y más precisos que un modelo obtenido al azar; esto concuerda con lo reportado por Fielding y Bell (1997) y Lobo *et al.*,

(2008). *MaxEnt* ha demostrado ser una herramienta robusta para modelar sólo con datos de presencia, haciendo predicciones incluso con escasos números de presencia, mejorando el desempeño de numerosas técnicas tradicionales. Actualmente el modelado con *MaxEnt* se extiende a numerosos grupos taxonómicos, distintas áreas geográficas y diversos objetivos específicos.

En el Cuadro 2 se aprecia la contribución porcentual de las variables utilizadas para construir el modelo de distribución potencial para el género *Culex* spp., el rango de temperatura media mensual fue la variable más importante estos dípteros, con una contribución de 44.7%, seguida de precipitación del trimestre más húmedo 23.4%, temperatura media mensual del trimestre más frío 23.2%, y altura 8.7%.

Cuadro 2. Resultados de AUC y la contribución porcentual más altas de tres variables por replica (Fielding y Bell, 1997; Lobo *et al.*, 2008).

Replica	AUC	Variable	Porcentaje de contribución de la variable al modelo
3	0.9653	Rango de temperatura media mensual.	44.7
		Altura.	8.1
		Precipitación mensual.	7.7
17	0.9583	Rango de temperatura media mensual.	34.9
		Rango anual de temperatura.	13.8
		Altura.	8.7
18	0.9637	Rango de temperatura media mensual.	27.6
		Temperatura media mensual del trimestre más frío.	23.2
		Precipitación del trimestre más húmedo.	23.4

Por otro lado, la prueba de Jackknife señala las variables que aportan mayor información al modelo, cuando son utilizadas de forma aislada, estas fueron: Bio 2 (rango de temperatura media mensual), Bio 7 (rango anual de temperatura) y Bio 11 (Temperatura media del trimestre más frío) estas tres variables están relacionadas, por lo que indican un factor limitante para esta especie.

Esto coincide con lo reportado por Domínguez (2000), Liria y Navarro (2010) y Garzón (2015), donde indican que con respecto la temperatura promedio anual, los sitios con temperaturas menores a 20°C tiene una probabilidad de ocurrencia de dípteros menor del 10%; se indica que 25 °C es la temperatura umbral para la presencia de culícidos con respecto a la temperatura promedio mensual, y que se observa una respuesta similar con la temperatura promedio del trimestre más frío, con respecto a las temperaturas mínimas de los meses más fríos

las zonas con temperaturas inferiores a los 17°C no son propicias para la presencia de la especie (Figura 2).

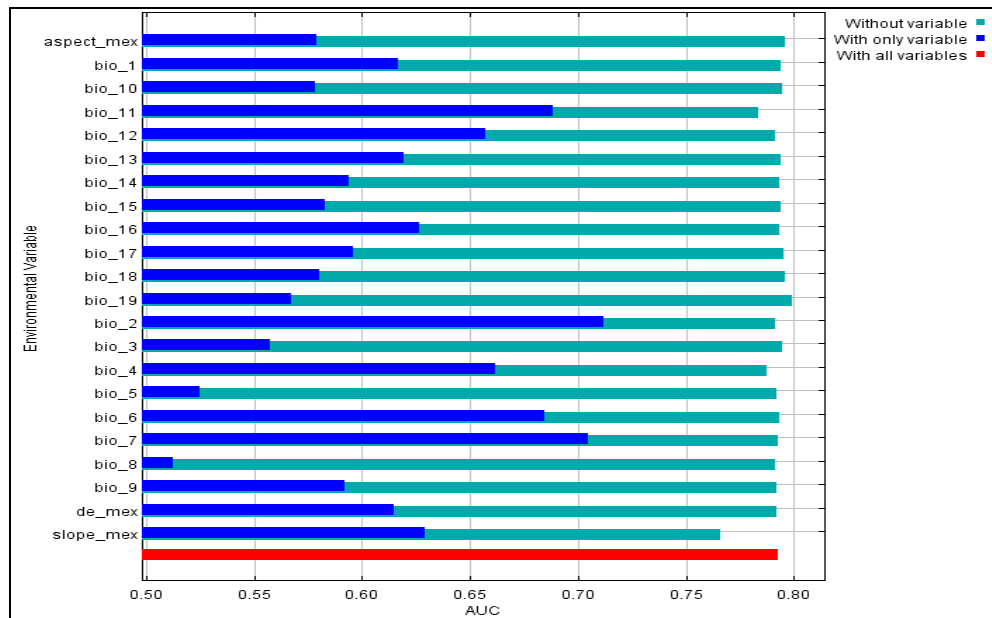


Figura 2. Prueba Jackknife para *Culex* spp. Se muestra la ganancia que genera cada variable en tres diferentes escenarios; corriendo el modelo con una sola variable (azul), con todas las variables menos una (verde) y con todas las variables (rojo). Esto refleja cuanta información útil contiene cada variable. Eje X: Ganancia, Eje Y: Variable. Barras verdes: Sin la variable, Barras azules: Solo con la variable, Barras rojas: Todas las variables.

La cartografía resultante del modelado en *MaxEnt* puede interpretarse como áreas de idoneidad relativa que va de moderada a alta, principalmente, en los estados de Veracruz y Tabasco, por lo que el *Culex* spp., tiene mayor probabilidad de existir en esos lugares debido a la disposición de las condiciones ambientales. Aun así, el mosquito puede ocurrir en toda la altiplanicie mexicana central, abarcando algunos estados del norte del país y selvas bajas del sur (Figura 3). Por lo que, la información producida durante este estudio es oportuna y relevante ya que puede ayudar, al sector salud, en la planificación de estrategias de control de vectores y pre visualizar áreas de riesgo desconocidas, así como para identificar sitios de mayor prioridad para prevención de enfermedades transmitidas por culícidos.

En el mapa de ausencia-presencia se define mejor la distribución potencial de *Culex* spp. (Figura 4). Como se muestra en la cartografía, la ocurrencia del género *Culex* esta casi restringida a la costa del Golfo de México; esto comprende el 36% del territorio nacional. En la parte norte del país, se ha reportado la presencia de este género (Mora y Granados, 2007), por lo que la ocurrencia de este grupo es común a pesar de que las condiciones ambientales no son tan idóneas.

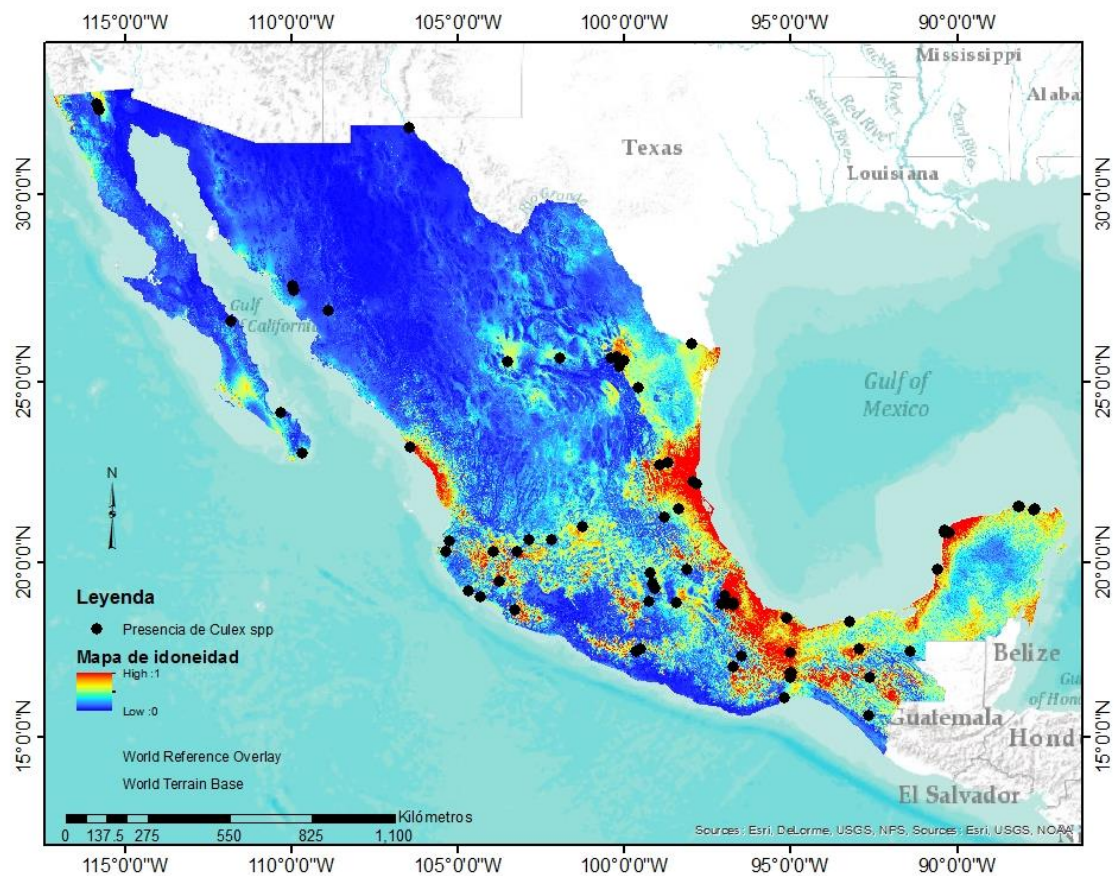


Figura 3. Áreas de idoneidad relativa. Los lugares con mayor idoneidad para la presencia de *Culex* spp.

Lo anteriormente mencionado evidencia la capacidad de adaptación a diferentes ambientes por parte del mosquito y, por otro lado, el sub-registro de presencias de los vectores en un ambiente más amplio, ya que se han hecho estudios de tipo epidemiológico espacial que confirman la presencia de este díptero, en el norte del país.

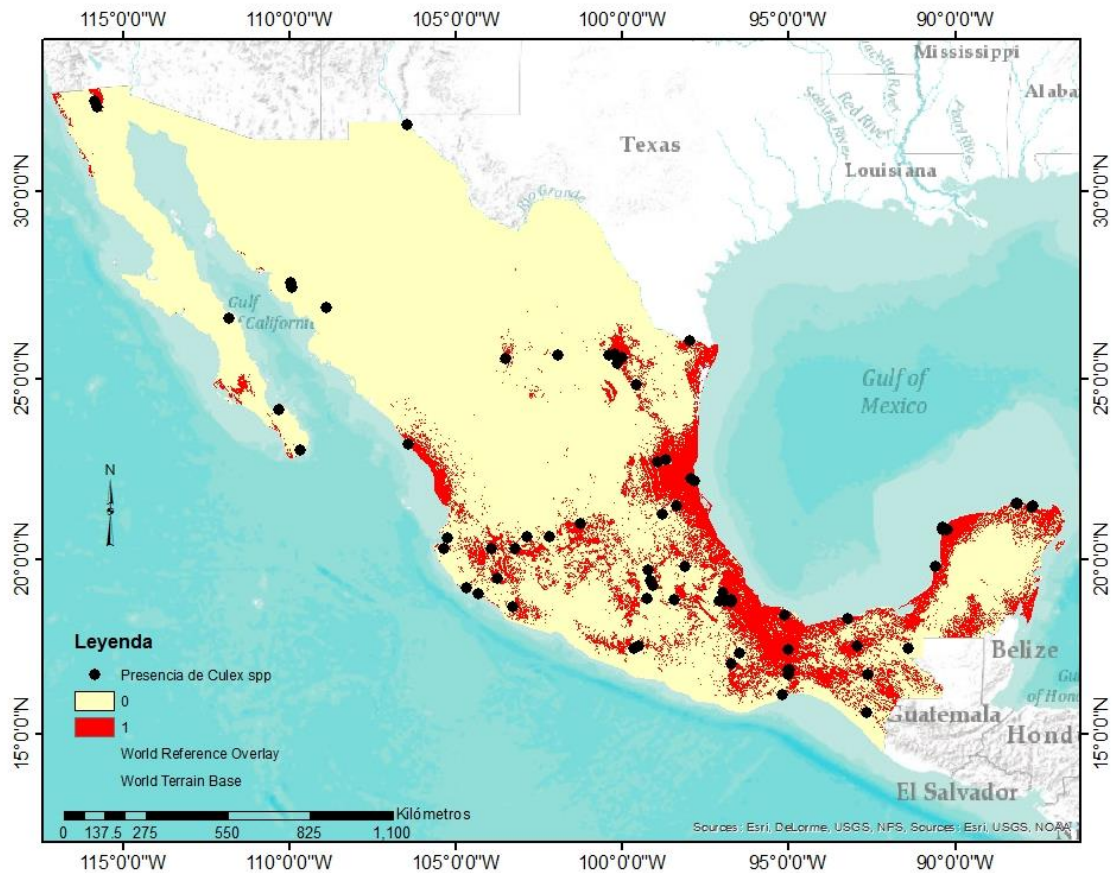


Figura 4. Mapa de presencia-ausencia de la distribución de mosquitos del género *Culex* spp. en México.

CONCLUSIONES

En este estudio se identificó con éxito los posibles patrones de distribución de culícidos de importancia médica. De las 22 variables ambientales y biofísicas utilizadas en el modelaje, tres predicen la distribución potencial del género *Culex* spp. (rango de temperatura media mensual, rango anual de temperatura, y temperatura media del trimestre más frío). Mediante la modelación de distribución potencial con máxima entropía se generó la cartografía de distribución espacial potencial para dípteros *Culex* spp. Dado el resurgimiento de enfermedades transmitidas por culícidos, estos resultados pueden ser de ayuda en la generación de hipótesis y en la identificación de lugares clave donde se dé la multiplicación y transmisión de enfermedades transmitidas por este tipo de dípteros. Los valores de AUC alcanzados indican que el modelo predice la distribución de culícidos en México con una precisión muy aceptable, y superior a lo

que se obtendría sólo al azar. Dicho resultado fortalece los hallazgos de este trabajo, y corrobora la validez del modelo obtenido. Se debe dar mayor atención a las variables que resultaron más importantes para la generación del modelo, pues estas son indicadores de la presencia del mosquito, y esto permite elaborar estrategias de control y saneamiento para evitar epidemias en el país, los resultados permiten identificar específicamente a que rango de temperatura se presenta el mosquito, por lo que las medidas de mitigación pueden ser puntuales y aumentar la efectividad de los resultados en beneficio de la población. El conocimiento de los procesos biogeográficos de mosquitos vectores, es un insumo de gran importancia para el desarrollo, planificación y optimización de acciones de prevención y control de vectores. El modelado de ocurrencia potencial para el género *Culex* spp. es un acercamiento para identificar las zonas vulnerables en el país. La generación del modelo tiene como limitante que el resultado es de estimación de la idoneidad, es decir, existe la probabilidad de que en las zonas aptas para la existencia del mosquito no se presente ningún registro y, por el contrario, los casos donde no existe presencia del mosquito, pueden existir ocurrencias por cambios climáticos globales entre otros factores no considerados en el proceso de modelación. Se recomienda tomar en cuenta estas herramientas y trascender la investigación básica y pasar a formar parte de los programas de gobierno encargados del control de enfermedades de transmisión vectorial; el conocimiento de los procesos biogeográficos de mosquitos vectores, es un insumo de gran importancia para el desarrollo, planificación y optimización de acciones de prevención y control para estas especies y para los patógenos que transmiten. Se sugiere que este tipo de investigaciones sean consideradas como información base que nutrirá el sistema de vigilancia epidemiológica en el país, con énfasis en los estados de la república, donde el mapa de idoneidad tenga los valores más altos o bien donde se presentan subregistros de presencia de estos vectores.

LITERATURA CITADA

- Anderson, R., M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, J. Hijmans, R. Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J. y G. Lohmann, L. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Bartel, R. A. 2008. Effects of disturbance on habitat dynamics of a rare species. Ph.D. thesis, North Carolina State University. 150 p.
- Cruz-Cárdenas, G., L. Villaseñor, J. López-Mata L., E. Martínez-Meyer y E. Ortiz. 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20: 187-201.
- De la Mora, C. A. y A. Granados. 2007. Distribución geoespacial del mosquito *Culex quinquefasciatus* (diptera: culicidae) principal vector del Virus del oeste del Nilo, en la zona urbana de ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Revista Salud Pública y Nutrición* 8 (2).

- Domínguez, M. C., F. Ludueña-Almeida F. y W. Almirón. 2000. Dinámica poblacional de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en Córdoba capital. *Rev Soc Entomol Argent* 59: 41-50.
- Fielding, A. H. y J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental conservation* 24: 38-49.
- Garzón, M. J. 2015. Parámetros poblacionales de *Ochlerotatus albifasciatus* (Diptera: Culicidae) en poblaciones de clima diferente (árido de estepa y templado húmedo) Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 40 p.
- Guisan, A., O. Broennimann, R. Engler, M. Vust, G. Yoccoz N., A. Lehmann y E. Zimmermann N. 2006. Using niche-based models to improve the sampling of rare species. *Conservation biology* 20: 501-511.
- Hijmans, R. J., E. Cameron S., L. Parra J., G. Jones P. y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- INEGI. 2010. Territorio, Población y economía de México, vol. 4 2014. <http://www.inegi.org.mx/>. (Consultado: 10/01/2015)
- Levy, R. 2016. Maximum Entropy Method of Analytic Continuation. Doctoral dissertation, University of Michigan. 21 p.
- Liria, J. y C. Navarro J. 2010. Modelo de nicho ecológico en *Haemagogus Williston* (Diptera: Culicidae), vectores del virus de la fiebre amarilla. *Rev. Biomédica* 21: 149-61.
- Lobo, J. M., A. Jiménez-Valverde and R. Real. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17: 145-151.
- Marmion, M., M. Parviainen, M. Luoto, K. Heikkinen R. and W. Thuilier. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions* 15: 59-69.
- Marquetti, M. 2006. Aspectos bioecológicos de importancia para el control de *Aedes aegypti* y otros culícidos en el ecosistema urbano, Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias de la Salud. Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí. Ciudad de La Habana, Cuba. 50 p.
- Naranjo, M., Á. C. Moreno y S. Martín. 2014. 3EIBS: ¿Dónde buscar troglobiontes? Ensayo de una cartografía predictiva con MaxEnt en Gran Canaria (islas Canarias). *Arxius de Miscel·lània Zoològica* 12: 83-92.
- Nash, D., F. Mostashari, A. Fine, J. Miller, D. O'leary, K. Murray, A. Huang, A. Rosenberg, A. Greenberg, M. Sherman, S. Wong, G. L. Campbell, J. T. Roehrig, D. J. Gubler, W. J. Shieh, S. Zaki, P. Smith, and M. Layton. 2001. The Outbreak of West Nile Virus Infection in the New York City Area in 1999. *New England Journal of Medicine* 344: 1807-1814.
- Navarro, J.C., J. Liria, H. Pinango and R. Barrera. 2007. Biogeographic area relationships in Venezuela: A Parsimony analysis of Culicidae-Phytotelmata distribution in National Parks. *Zootaxa* 1547: 1-19.

- Ortega-Huerta, M. A. and A. Townsend Peterson. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 205-216.
- Pearson, G. R., C. J. Raxworthy, M. Nakamura and A. Townsend Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography* 34: 102-117.
- Phillips, S. J., M. Dudík and R. E. Schapire. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning*, pp. 83.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Sánchez-Cordero, V., P. Illoldi-Rangel, M. Linaje, S. Sarkar, and A. T. Peterson. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation* 126: 465-473.
- Schmunis, G.A., y J. C. Pinto Dias. 2000. La reforma del sector salud, descentralización, prevención y control de enfermedades transmitidas por vectores. *Cadernos de Saúde Pública* 16: 117-123.
- Townsend, P. A., V. Sanchez-Cordero, E. Martínez-Meyer and A. Navarro-Sigüenza. G. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-cover information. *Ecological modelling* 195: 229-236.
- Wisz, M. S., R. J. Hijmans, J. Li, A. T. Peterson, C. H. Graham, A. Guisan and NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14: 763-773.

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE DESECHOS INDUSTRIALES EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS ROJOS COCIDOS¹

[EFFECT OF ADDITION OF INDUSTRIAL WASTES ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF FIRED CLAY BRICKS]

Víctor Jiménez-Quero^{1§}, Olivia Teresa Maza-Ignacio², Margarito Ortiz-Guzmán¹

¹Profesor-Investigador del Instituto Politécnico Nacional (IPN) CIIDIR Oaxaca, ²Estudiante de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales del Instituto Politécnico Nacional (IPN) CIIDIR Oaxaca. Hornos # 1003 Col. Noche Buena, Sta. Cruz Xoxocotlán Oaxaca, México. C. P. 71230. [§]Autor para correspondencia: (vgjimenez@hotmail.com).

RESUMEN

Los bancos de arcilla para elaborar ladrillos se están agotando; sin embargo, la composición química de las arcillas las hace potenciales receptoras de desechos industriales. Se evaluaron cuatro mezclas de arcilla: una control conteniendo 100% arcilla (ARC) y seis más en las que se sustituyó 20 y 40% de arcilla por un desecho industrial: Ceniza de Bagazo de Caña (CBC), Ceniza Volante (CV) y Humo de sílice (HS). La finalidad del proyecto fue elaborar un ladrillo ecológico y evaluar su resistencia a compresión para su posible aplicación en la industria de la construcción. Por lograr lo anterior, se caracterizaron la ARC y los desechos por medio de análisis de composición química y microscopía electrónica de barrido. Las mezclas de arcillase evaluaron en estado plástico para determinar sus límites de consistencia. Posteriormente, se seleccionaron tres mezclas y se elaboraron ladrillos de 135x70x25 mm; se cocieron en un horno de gas L.P. de tiro directo a 900°C y 1000°C. Su resistencia a compresión se evaluó empleando una prensa hidráulica marca ELVEC. Con la matriz ARC-CV (60-40%) se obtuvieron ladrillos ecológicos que superaron en 20.87% la resistencia a compresión de los ladrillos control cocidos a 900°C y en 19.43% los cocidos a 1000°C.

Palabras clave: Arcilla, disposición de desechos, material sustentable.

¹ Recibido: 30 de septiembre de 2016.
Aceptado: 21 de octubre de 2016.

ABSTRACT

Clay Banks to make bricks are being depleted; however, the chemical composition of clays makes them potential recipients of industrial waste. Four clay mixtures were evaluated: one control containing 100% clay (ARC) and six more in which replaced 20 and 40% clay for industrial waste. Sugarcane Bagasse's Ash (CBC), Fly Ash (CV) and Silica Fume (HS) industrial waste were studied. The aim of the project was to develop an ecological brick and evaluate its compressive strength for possible application in the construction industry, the ARC and wastes were characterized by chemical composition analysis and scanning electron microscopy. The clay mixtures were evaluated in a plastic state to determine its consistency limits. Subsequently, three mixtures were selected and bricks were produced 135x70x25 mm; they were baked in an oven gas L.P. at 900 ° C and 1000 ° C. Its compressive strength was evaluated using an Elvec hydraulic press. With the ARC-CV (60-40%) mixture ecological bricks which exceeded 20.87% compressive strength than Control bricks baked to 900 ° C and 19.43% baked to 1000 ° C were obtained.

Index words: Clay, waste disposal, sustainable material.

INTRODUCCIÓN

Se estima que la producción mundial actual de ladrillos de arcilla es de 1,391 trillones por año y se espera que su demanda siga en aumento (Zhang, 2014). Como consecuencia, los bancos de arcilla de buena calidad se están agotando, por lo que se requiere buscar materias primas alternativas. En este sentido se han llevado a cabo investigaciones sobre la sustitución parcial de arcilla por desechos agroindustriales. Faria *et al.* (2012) reemplazaron 20% de arcilla por ceniza de bagazo de caña (CBC), esta mezcla fue cribada hasta obtener partículas con tamaño máximo de 355 µm, con ella elaboraron probetas y las calcinaron a 1000 °C. Concluyeron que es posible utilizar CBC como relleno de arcilla para ladrillos. Sutas *et al.* (2012) estudiaron el efecto de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de arroz en las propiedades de ladrillos. Los porcentajes de sustitución empleados fueron de 0 a 10%. Encontraron que la adición de la cáscara de arroz disminuye la resistencia y la densidad de los ladrillos. En cambio, con un 2% de sustitución de arcilla por ceniza de cáscara de arroz obtuvieron ladrillos con mejores propiedades que el control.

También se han utilizado desechos industriales tales como ceniza volante (desecho de las plantas carboeléctricas) y humo de sílice (desecho de la industria de silicón). Giuseppe y Eduardo (2009) evaluaron la calidad técnica en ladrillos elaborados con ceniza volante. Emplearon 10% ceniza volante. Elaboraron probetas y las cocieron a temperatura entre 800 y 1000°C. Concluyeron que la ceniza volante mejora la durabilidad. Serhat y Demir (2010), evaluaron el efecto de diferentes cantidades de humo de sílice como sustituto de arcilla en las propiedades de ladrillos. Elaboraron muestras y las

cocieron a temperaturas entre 800 y 1100°C. Concluyen que la resistencia de los ladrillo con humo de sílice mejora significativamente cuando son cocidos a 1000 y 1100°C.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la resistencia a compresión de ladrillos elaborados con arcilla y tres desechos industriales diferentes. A la arcilla se le dio un pre-tratamiento y los desechos industriales fueron empleados prácticamente como se recibieron; se emplearon en porcentajes mayores a los reportados en la literatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó arcilla obtenida del banco ubicado en la zona conocida como “Cañada Corazón” de San Pablo Huitzo, Etlá, Oaxaca México. Se molió en un molino de bolas durante 30 minutos y posteriormente se cribó por la malla número 100 ASTM (150 µm de apertura). La ceniza de bagazo de caña, fue colectada de un tiradero a cielo abierto propiedad del Ingenio Azucarero “Constancia” en la comunidad de Tezonapa, Veracruz México. Sólo se cribó durante cuatro minutos por la malla número 200 ASTM (apertura 75 µm). La ceniza volante clase F, marca AdmixTech® fue adquirida comercialmente. El humo de sílice empleado fue una donación de la empresa Euclid Chemical Company® México. Se empleó agua bidestilada de la marca HYCEL.

Caracterización química y morfológica de la arcilla y desechos

La caracterización química se realizó por los métodos: gravimétrico, digestión total/lecturas de I.C.P. óptico y volumétrico. Para la caracterización morfológica se empleó un Microscopio Electrónico de Barrido marca HITACHI®, modelo SU3500 del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Unidad Chihuahua.

Composición de las mezclas de arcilla

Se diseñaron siete mezclas de arcilla; una control y seis más en las que se sustituyó 20 y 40% de arcilla (ARC) por un desecho industrial: Ceniza de Bagazo de Caña (CBC), Ceniza Volante (CV) y Humo de Sílice (HS) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición de matrices arcillosas.

Tipo de mezcla de arcilla	Descripción de la mezcla (%)
1	100 de ARC
2	80 de ARC y 20 de CBC
3	60 de ARC y 40 de CBC
4	80 de ARC y 20 de CV
5	60 de ARC y 40 de CV
6	80 de ARC y 20 de HS
7	60 de ARC y 40 de HS

Determinación de los límites de consistencia

Para determinar el índice de plasticidad y el porcentaje de contracción de cada mezcla se empleó el método de Límites de Atterberg y se tomó como base la norma ASTM D4318-10⁷.

Elaboración de ladrillos

Después de evaluar los resultados de los límites de consistencia de cada mezcla, se decidió utilizar aquellas que contenían los porcentajes más altos de cada desecho (3, 5 y 7). De cada mezcla de arcilla-desecho se elaboraron 20 ladrillos de 25x70x135 mm. Después de su elaboración, permanecieron durante cuatro días a temperatura ambiente para perder humedad. Posteriormente, 10 ladrillos de cada mezcla fueron cocidos en un horno de gas L.P. de tiro directo a 900°C y los otros 10 a 1000°C durante 8 h.

Prueba de resistencia a compresión

Se realizó de acuerdo a la norma NMX-C-033-ONNCCE 2004. Las piezas de ladrillo fueron previamente “cabeceadas” con azufre. Para la prueba se empleó una prensa hidráulica marca ELVEC[®] de 120,000 kg de capacidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización química se presentan en el Cuadro 2 se observa que la composición química de AR, CV y CBC son muy similares, predominado los compuestos de Al₂O₃, SiO₂ y CaO. Esto permite inferir que la sustitución de ARC por estos desechos no tendrá un efecto negativo en la resistencia de los ladrillos. La composición química de la arcilla utilizada en el presente proyecto es muy similar a la reportada por (Lingling *et al.*, 2005). El HS presenta un 92.74% de SiO₂, lo cual incrementa la cantidad que contiene la arcilla de manera natural. Las pérdidas por calcinación entre los materiales es similar, excepto en la CBC, lo cual infiere que al ser ceniza de origen orgánico contenga carbón producto de la calcinación a la que fue sometida para su obtención.

Cuadro 2. Composición química de arcilla y desechos industriales.

Elemento/Compuesto principal (%)	ARC	CBC	CV	HS
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	18.25	14.61	20.01	0.18
Óxido de Calcio (CaO)	3.89	2.36	4.00	0.72
Óxido de Hierro III (Fe ₂ O ₃)	2.94	5.04	5.42	0.05
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	3.42	1.57	0.19	0.12
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	61.19	56.37	64.12	92.74
Pérdidas por Ignición a 1000°C	4.67	10.53	2.6	3.84

Resultados de la caracterización morfológica

En la Figura 1 se muestran las micrografías de los materiales empleados. Las partículas de la ARC son semiesféricas, las de la CBC tienen forma de hojuelas y se observan algunas en forma prismática; la forma de las partículas de CV y HS son esféricas; éstas dos últimas pueden favorecer la plasticidad de la mezcla arcilla-desecho sin demandar mayor cantidad de agua.

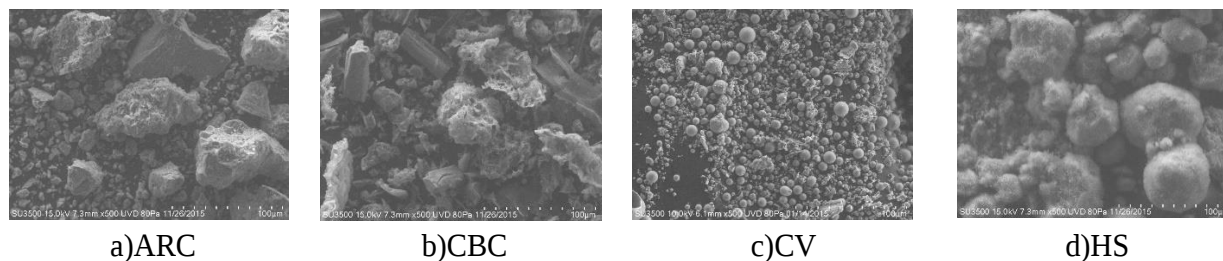


Figura 1. Micrografías de los materiales empleados.

Resultados de consistencia

La Figura 2 muestra los valores de los índices de plasticidad para cada mezcla. La forma esférica de las partículas de CV y HS tienen un efecto benéfico en la matriz ya que reducen las fuerzas de fricción entre las partículas de ARC debido al efecto “cojinete” (Termkhajornkit *et al.*, 2009). Este comportamiento se atribuye a la geometría de las partículas pues éstas desempeñan un papel lubricante importante en la reducción de la tendencia al aglomeramiento de las partículas de ARC. Este fenómeno se ha informado en otros trabajos cuando se usaron partículas finas con forma esférica (Ahmaruzzaman, 2010). La Figura 3 muestra el porcentaje de contracción. Menor contracción indica mejorar estabilidad dimensional y menor agrietamiento en las piezas antes de su ingreso al horno para su cocción.

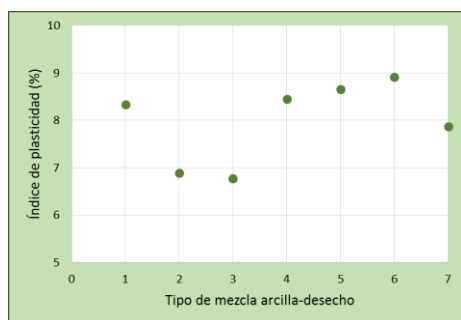


Figura 2. Índice de plasticidad.

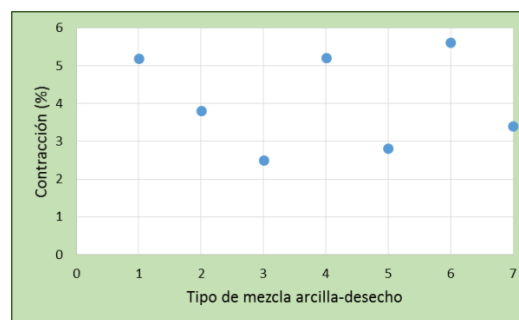
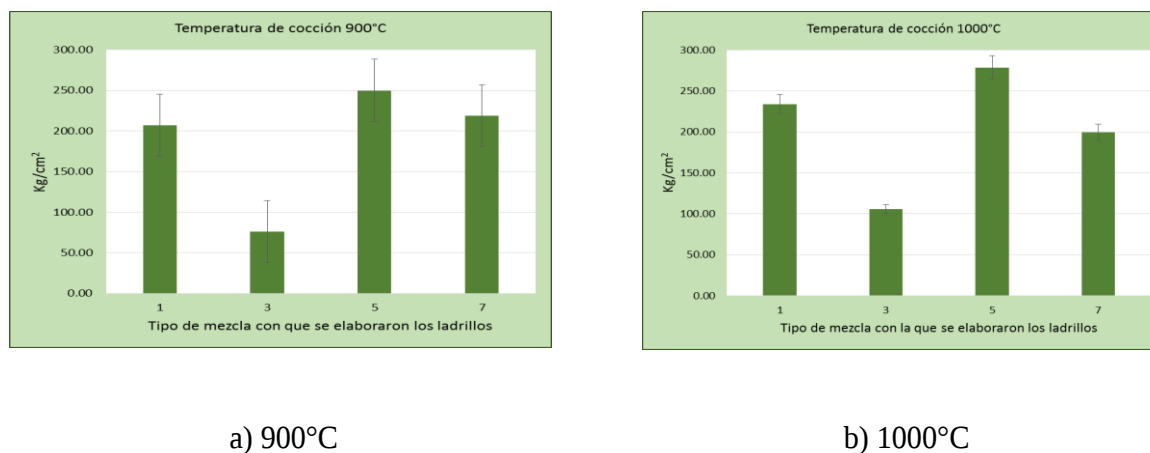


Figura 3. Porcentaje de contracción.

Resultados de resistencia a compresión

Los resultados de la prueba de resistencia a compresión se presentan en la Figura 4. Se observa que el empleo de CV y HS mejoran la resistencia a compresión de ladrillos cocidos a 900°C y que el incremento de temperatura favorece la resistencia de ladrillos elaborados con CV. Este comportamiento se atribuye a la forma y tamaño de las partículas de CV, ya que densifican la matriz y reducen poros. Afshar *et al.* (2003) reportaron que la calidad y cantidad de HS mejora la calidad de productos refractarios. Así mismo, se considera que los altos contenidos de Al_2O_3 y SiO_2 , favorecen la formación de nuevos compuestos a temperaturas superiores a 900°C (Mari, 1998). Los bajos valores de resistencia a compresión presentados por los ladrillos elaborados con CBC, pueden ser atribuidos a una reducción de densidad aparente debido a un probable incremento en la porosidad de las piezas generada por los altos contenidos de carbón reportados en las pérdidas por ignición (Pérez-Vallejo *et al.* 2012).



a) 900°C

b) 1000°C

Figura 4. Resistencia a compresión de ladrillos cocidos.

CONCLUSIONES

Con la combinación de arcilla cribada por la malla # 100 y ceniza volante, en porcentajes de 60-40% respectivamente, se obtienen ladrillos ecológicos que superaron en 20.87% la resistencia a compresión de los ladrillos control cuando son cocidos a 900°C y en 19.43% cuando son cocidos a 1000°C.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional el financiamiento otorgado a los proyectos de investigación: “Ceniza de bagazo de caña como constituyente de materiales cerámicos artesanales”, SIP 20161629 y “Ladrillo ecológico elaborado con arcilla y residuos industriales”, de los cuales derivó el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Afshar, S., C. Gaubert and C. Allaire. 2003. The effects of fumed silica and barite on the aluminium resistance of alumina castables. *Minerals, Metals and Materials Society*, 55(11): 66–69.
- Ahmaruzzaman M. 2010. A review on the utilization of fly ash. *Progress Energy Combustion*. 36: 327–63.
- Faria, K.C.P., R. F. Gurgel and J.N.F. Holanda. 2012. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Journal of Environmental Management* 101: 7-12.
- Giuseppe, C. and E. Sebastián. 2009. Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks. *Construction and Building Materials* 23: 1178–1184.
- Lingling, X., G. Wei, W. Tao and Y. Nanru. 2005. Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio. *Construction and Building Materials* 19: 243–247.
- Mari, E. A. 1998. Los materiales cerámicos. Editorial Alsina, Argentina. 367 p.
- Pérez-Villarejo, L., D. Eliche-Quesada, Fco. J. Iglesias-Godino, C. Martínez-García and Fco. A. Corpas-Iglesias. 2012. Recycling of ash from biomass incinerator in clay matrix to produce ceramic bricks. *Journal of Environmental Management* 95: S349-S354.
- Serhat, B. M. and I. Demir. 2010. Utilization potential of silica fume in fired clay bricks. *Waste Management & Research* 28: 149–157.
- Sutas, A. M. and L. Pitak. 2012. Effect of Rice Husk and Rice Husk Ash to Properties of Bricks. *Procedia Engineering* 32: 1061 – 1067.
- Termkhajornkit, P., T. Nawa and H. Ohnuma. 2001. Effects of properties of fly ash on fluidity of paste. *Cement Science Concrete Technology* 55:163–9.
- Zhang L. 2014. Production of bricks from waste materials – a review. *Construction and Building Materials* 47: 643–55.

VISIÓN CAMPESINA DEL USO TRADICIONAL DE PLANTAS MEDICINALES EN HUERTOS DE TRASPATIO¹

[RURAL VISION OF TRADITIONAL MEDICAL USE OF PLANTS IN BACKYARD GARDENS]

Wel Olvein Cruz Macías¹, Rady Alejandra Campos Saldaña¹, Ruth López Aguilar²

¹² Profesor Investigador de Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería, sede Villa Corzo, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, ² Profesora Investigadora de tiempo Completo, Escuela de Ciencias Administrativas, sede Villa Corzo, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Email: wel.cruz@unicach.mx, rady.campos@unicach.mx.

[§]Autor para correspondencia: (ruth.lopez@unicach.mx).

RESUMEN

La constante tendencia de disminución de la producción campesina, es el resultado del abandono paulatino de la agricultura incluyendo su subsistema de traspatio. Estos espacios que durante muchos años significaron un aporte importante al asegurar el autoconsumo y una economía de subsistencia a las familias rurales, ha estado perdiendo su sentido como espacio productivo y como parte de la cultura local. El objetivo de este trabajo fue describir los conocimientos tradicionales del uso de plantas medicinales desde la perspectiva de las personas ubicadas en diversas comunidades del municipio de Villa Corzo, Chiapas, orientadas a mejorar la calidad de vida de las familias que viven en zonas marginadas. Se aplicó una encuesta estructurada a 400 personas de las comunidades rurales seleccionadas del municipio de Villa Corzo que realizan actividades de traspatio. El muestreo se efectuó por conveniencia, en función de la disponibilidad de las personas residentes en las comunidades. Se encontraron 40 especies de plantas medicinales, de las cuales la mayor parte pertenece a las *Asteraceae* o *Compositae*, encontrando que los principales usos son como tratamiento a enfermedades y en algunos casos como plantas de ornato.

Palabras clave: Comunidad rural, conocimiento local, recursos naturales.

ABSTRACT

The constant trend of declining farm production is the result of the gradual abandonment of agriculture including backyard subsystem. These spaces for many years have represented an

¹ Recibido: 12 de mayo de 2016.

Aceptado: 23 de septiembre de 2016.

important contribution to ensure consumption and an economic subsistence from rural families; it has been losing its meaning as productive space and as part of the local culture. The aim of this study was to describe the use of traditional knowledge of medicinal plants from perspective of people located in different communities in the municipality of Villa Corzo, Chiapas, it aimed to improve the quality of life of families living in marginalized areas. A structured survey was applied to 400 people selected rural communities in the municipality of Villa Corzo performing backyard activities. The sampling was done for convenience, depending on availability of residents in communities. 40 species of medicinal plants, of which the majority belongs to the Asteraceae or Compositae, finding the main uses as treatment for diseases and in some cases as ornamental plants.

Index words: Rural community, local knowledge, natural resources.

INTRODUCCIÓN

El uso de las plantas medicinales ha tenido una gran perspectiva a nivel mundial, para el alivio de las enfermedades que se han presentado en la humanidad. Además de que las hierbas y especias se usan para conservar y mejorar el sabor de los alimentos, algunas son importantes instrumentos de la medicina tradicional y, a veces, algunas especies se les atribuyen propiedades relacionadas con prácticas de magia. Antes de la generalización de los medicamentos elaborados de forma industrial, solían prescribirse remedios compuestos por hierbas, muchos de ellos eficaces, de los que se conserva conocimiento de su uso y utilizados en nuestros días (Vicente *et al.*, 2013). Tales conocimientos acumulados por muchas generaciones constituyen un componente de la base de la biodiversidad cultural global y del uso sustentable de estos recursos (Hernández *et al.*, 2005). En algunos países han retomado el uso de las plantas medicinales como una forma alterna de curar las enfermedades de manera natural.

En la medicina tradicional mexicana se recurre al uso frecuente de las plantas curativas, registrándose poco más de 3 000 especies que son empleadas como remedios naturales, que a pesar de los problemas de extinción, gran parte aun es rescatable y pueden ser un elemento importante para la implementación de nuevos planes de salud con la combinación del conocimiento popular y el científico (Davila *et al.*, 2002). De acuerdo con cifras de la Secretaría de Salud (2009), al menos el 90% de la población usa las plantas medicinales; de este porcentaje la mitad usa exclusivamente a las “yerbas” (palabra usada por la población para referirse a plantas medicinales); el otro 50%, además de las hierbas medicinales, usa la medicina alópata (Estrada, 2009).

El establecimiento y manejo de huertos de traspatio en los que se cultivan plantas medicinales se ha descrito en diferentes estados del territorio nacional. Un ejemplo de ello es Chiapas; ya que es un estado con gran potencial agrícola por su clima, suelo, precipitación y nivel del mar,

contando con una gran diversidad de flora y fauna, de las cuales se cultivan y cosechan productos comestibles mediante procedimientos con bajo nivel de tecnificación; advirtiéndose por otro lado los serios peligros para la salud, debido a la contaminación por plaguicidas y sustancias que se aplican durante todas las etapas de producción agrícola.

El cultivo de plantas medicinales es una actividad que ofrece ingresos económicos, que permiten la curación de diversas enfermedades que se encuentran presentes en la actualidad, y al mismo tiempo juega un papel importante para la cultura local. Los huertos familiares se encuentran en un proceso de constante desarrollo, la composición y el aprovechamiento de los cultivos varían según las circunstancias de vida y necesidades de los campesinos. Estas perspectivas tienen diferentes formas de experimentación usando nuevas plantaciones y semillas, adquiridas del propio intercambio de conocimientos proporcionados por un familiar o conocido.

La permanencia y práctica del huerto en los hogares campesinos, es una forma de vida, donde se propician las interacciones, valores de solidaridad y trabajo en grupo. Actualmente por varias razones su importancia ha venido decreciendo (Gómez, 2010), por lo que el objetivo de este trabajo es el de tener una aproximación significativa a los saberes y visiones campesinos tradicionales mediante la descripción de cultivos en huertos de traspatio y el aprovechamiento de las plantas medicinales en comunidades rurales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el municipio de Villa Corzo, ubicado en la región VI Fraylesca con una altitud de 581 msnm; con coordenadas X1: 93.61 Longitud S; Y1: 15.83 Latitud N. y una superficie de 2387.33 km², Climas predominantes Aw1: cálido húmedo (35.37%), (A) C (w2): semicalido húmedo (35.22%) y Aw2: cálido subhúmedo. (24.71% de la superficie municipal). Colinda al este la Concordia; al noreste Chiapa de Corzo y Venustiano Carranza; al noroeste Villaflores; al sureste Pijijiapan, y al suroeste Tonalá. Cuenta con 74, 477 habitantes, en 1,270 localidades donde el 95.82% con menos de 100 habitantes, el 63.28% realiza actividades agrícolas de maíz, frijol, cacahuete y café, además de actividades ganaderas principalmente de bovinos, porcinos y aves (INEGI, 2010; SEDESOL, 2013) (Figura 1).

Diseño de la investigación

El trabajo de campo se realizó en las comunidades rurales del municipio citado, durante octubre de 2015 y consistió en la aplicación de una encuesta estructurada entre las familias que tenían huertos con plantas medicinales, y que estuvieron dispuestas a participar en el estudio. Las encuestas fueron aplicadas en comunidades como: Sierra Morena, La Sierrita, Los Amates, Francisco I. Madero, Monterrey, San Marcos, Plan de Ayala, 24 de Febrero II, Nueva Unión, Ignacio Zaragoza, Ocotal Maravilla, Tierra Santa, Nuevo Refugio, Unión Villa Corzo y La

Frailesca. La encuesta contempló aspectos tales como: especies utilizadas, principales usos medicinales y otros tipos de uso. Toda la información fue extraída a partir de la propia visión del campesino o campesina de la comunidad.



Figura 1. Mapa del municipio de Villa Corzo, Chiapas.

Tamaño de la muestra y variables

En 42 comunidades que tuvieran entre 100 a 1000 habitantes, y que en conjunto tienen un total de 10,000 habitantes aproximadamente, distribuidas en 2,000 núcleos familiares, se aplicaron 400 encuestas (20% de los núcleos familiares). El muestreo se efectuó por conveniencia, en función de la disponibilidad de las personas residentes en las comunidades. Cada encuesta se aplicó en especial a una persona, preferentemente adulta mayor, y que estuviera involucrada en alguna actividad de traspaso, además de que realizará una actividad en el campo.

Las variables que se utilizaron para complementar la investigación fueron las siguientes: nombre común y científico, familia, forma biológica, partes usadas, tipo de uso y número de especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Especies utilizadas

Los huertos familiares son muy diversos en cantidad y variedad de especies, de estructura compleja y posibles asociaciones, que presenta características idóneas para ser considerado centro de conservación de germoplasma *in situ*. Por ello, se define como; reserva vegetal aledaña a la casa habitación, cuyo establecimiento refleja la identidad cultural donde se practican

actividades sociales, biológicas y agronómicas, y útil para el autoconsumo (Montemayor *et al.*, 2007). En el municipio se identificó que el 68.7% de las familias de la población cultivan plantas medicinales en su huerto, mientras que el 31.3 % no tiene este tipo de plantas en su hogar. Se encontraron 40 especies (Cuadro 1).

El 65% de las especies son hierbas (Figura 2) encontrándose especies como albahaca (*Artemisa absinthium*), ruda (*Ruta graveolens*) y hierbabuena (*Mentha spicata*). El 28% de las especies son árboles, entre los que se incluyen el sauco (*Sambucus mexicana*) y nance (*Sonima crassifolia*), esto se debe a que es una zona donde los árboles son muy abundantes por ser utilizados como sombra para diferentes cultivos y es más frecuente encontrarlos en los terrenos que en la casa. Por último, el 7% de las especies son arbustos, encontrando especies como la hierbasanta (*Piper auritum*) y el nopal (*Opuntia decumbens*). Un aspecto importante es que un 25 % de estas especies son silvestres consideradas en muchos casos como malezas (Mariaca, 2012).

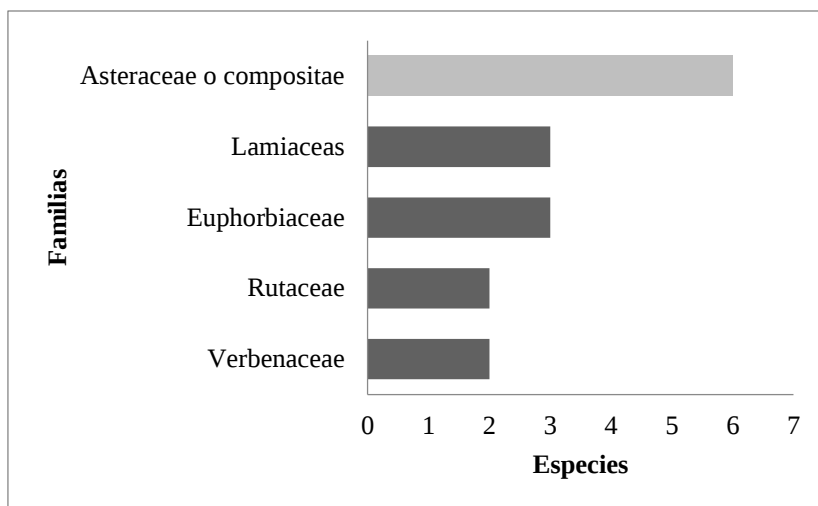


Figura 2. Familias botánicas con número de especies encontradas en el municipio de Villa Corzo.

Cerino (2006) y Hernández (2006), mencionan que las especies herbáceas son más comunes, debido al tamaño que éstas tienen y ocupan menos espacio dentro de los huertos, además de que su manejo es más fácil. La importancia de estas especies es de acuerdo a Montemayor (2007) que tienen semejanza en estructura y función a los ecosistemas, por lo que es sustentable ante la diversidad de especies, captación de radiación solar, control biológico, uso eficiente del espacio y ciclos cerrados de nutrición, otorgándoles un gran valor. Por último, se encuentran las especies de arbusto como son el nopal (*Opuntia decumbens*) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Plantas medicinales identificadas en el municipio de Villa Corzo.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Forma biológica
Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Asteraceae	H
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiaceae	H
Alcanfor	<i>Cinnamomum camphora</i> L.	Lauraceae	A
Árnica	<i>Arnica montana</i> L.	Asteraceae	H
Camote santo	<i>Ipomoea batata</i> (L.) Lam	Convolvulaceae	H
Caña de cristo	<i>Costus ruber</i> C. Wright ex Griseb.	Zingiberaceae	H
Palo de mulato	<i>Bursera simaruba</i> L.	Burseraceae	A
Palo de nance	<i>Sonima crassifolia</i> L.	Malpighiaceae	A
Cola de caballo	<i>Equisetum giganteum</i> L.	Equisetaceae	H
Copalchi	<i>Croton guatemalensis</i> Lotsy	Euphorbiaceae	H
Epazote	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Chenopodiaceae	H
Estafiate	<i>Artemisia mexicana</i> Willd.	Asteraceae	H
Golondrina	<i>Euphorbia hypericifolia</i> L.	Euphorbiaceae	H
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	Anonáceas	A
Hierbabuena	<i>Mentha spicata</i> L.	Lamiaceae	H
Hierba de perro	<i>Castela tortuosa</i> Liebm.	Simaroubaceae	H
Hierba de sapo	<i>Epaltes mexicana</i> Less.	Asteraceae	H
Hierbasanta	<i>Piper auritum</i> Kunth.	Piperaceae	AR
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i> Miller.	Apiaceae	H
Hoja de cólico	<i>Inula crithmoides</i> L.	Compositae	H
Hoja de guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	A
Hoja de tapón	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Esterculiaceae	A
Hoja tinta	<i>Jacobinia spicigera</i> Schechtendal.	Acanthaceae	H
Malva	<i>Malva parviflora</i> L.	Malvaceae	H
Maguey morado	<i>Tradescantia spathacea</i> Swartz.	Commelinaceae	H
Matiliguat	<i>Tabebuia rosea</i> Bertol.	Bignoniaceae	A
Nopal	<i>Opuntia decumbens</i> Salm-Dyckes	Cataceae	AR
Noni	<i>Morinda citrifolia</i> L.	Rubiaceae	A
Orégano	<i>Origanum vulgare</i> L.	Lamiaceae	H
Chaya	<i>Cnidoscolus chayamansa</i> McVaugh	Euphorbiaceae	H
Orozuz	<i>Lippia alba</i> Miller.	Verbenaceae	H
Palo de víbora	<i>Cyathea divergens</i> Kunze	Cyatheaceae	A
Rosa de castilla	<i>Rosa gallica</i> L.	Rosaceae	AR
Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L.	Rutaceae	H
Sábila	<i>Aloe vera</i> L.	Rutaceae	H
Sal de venado	<i>Porophyllum gracile</i> Benth.	Asteraceae	H
Sauco	<i>Sambucus mexicana</i> L.	Adoxaceae	A
Té limón	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	Poaceae	H
Verbena	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.) Vahl	Verbenaceae	H

H=herbáceas, A=árbol, AR=arbusto.

Se identificaron 40 especies que pertenecen a 29 familias (Figura 2). Como principal familia se encontró la *Asteraceae* o *Compositae* que está ampliamente distribuida por todo el mundo), pero se halla mejor representada en las regiones semiáridas, tropicales y subtropicales (Heywood, 1985). Esta familia posee más de 1.000 géneros y aproximadamente 20.000 especies, es una de las más importantes de las plantas formadoras de semillas (espermatofitos), tanto en lo que respecta al número de especies como en la diversidad de su morfología, hábitat, formas vitales y sistemas de dispersión de los frutos, son en su mayoría, hierbas anuales o vivaces, aunque también podemos encontrar arbusto y árboles. Por su adaptación, estructura floral y su composición química, se considera la familia más evolucionada de todas las dicotiledóneas (Katinas *et al.*, 2005).

No es de extrañar la mayor representatividad de las familias *Asteraceae* en todas las comunidades, dada su amplia distribución, gran cantidad de especies y el conocimiento de que presentan metabolitos secundarios (Rzedowski, 1993).

Las especies encontradas según los campesinos presentan gran relevancia en la vida cotidiana de ellos, ya que ha sido a través de las plantas medicinales que se han podido curar distintas enfermedades y dolencias que han afectado tanto a niños como a adultos, dentro de las cuales se pueden mencionar a diversa infecciones, gastritis y cánceres.

Principales usos

El huerto familiar es un registro de las denominadas “culturas primitivas”, durante los primeros estadios en el paso de nómadas-recolectores a sedentarias (Arcaico o Formativo). En este sistema productivo integra las especies legadas por un proceso lento y complejo de domesticación selectiva, realizado por muchas culturas según registros de Mejía (1990) citada por Gómez (2010).

Las plantas cultivadas en huertos familiares han aportado mucho a la medicina occidental moderna de diferentes maneras, ya que de ellas se obtienen compuestos que al purificarlos se usan como principios activos de medicinas (Mariaca, 2012). Los campesinos de las comunidades rurales usan las plantas medicinales en distintas formas (Cuadro 2). El uso de éstas depende en gran medida de los síntomas que se padece y se transmiten de generación en generación, de acuerdo a la propia visión campesina. Gómez (2010) menciona que el conocimiento y sus diversos usos, se adquieren a través del tiempo y se van transmitiendo de generación en generación por medio de los padres, madres, tías, tíos e hijos.

Las mujeres también, han adaptado y seguido prácticas tradicionales y tecnológicas, útiles para cada uno de los tipos de producción en donde se encuentran involucradas, se podría citar el caso de la preparación de remedios caseros para curar a los animales. Los conocimientos tradicionales que ha adquirido la mujer de la familia y del entorno le han permitido manejar el traspatio e incorporar metodologías y técnicas aprendidas de otras producciones (tecnificadas o

no tecnificadas) y así mismo ensayar nuevas formas para mantener o mejorar su sistema de traspatio en las comunidades estudiadas.

Cuadro 2. Tratamiento con plantas medicinales en Villa Corzo.

Nombre común	Uso	Síntomas/Enfermedades	Parte usada
Ajenjo	Té	Tos, diarrea, dolor de estomago	H, FL
Albahaca	Té	Dolor de estómago y cólicos menstruales	H, FL
Alcanfor	Té	Tos, gripe, descongestión nasal	H
Árnica	Frotado	Desinflamar	H, R
Camote santo	Té o hervido	Diabetes, presión alta	H, RZ
Caña de cristo	Hervido o masticado	Riñones, garganta	T
Chaya	Té	Desinflamar	H
Cola de caballo	Machacado	Heridas	T, R
Copalchi	Hervido	Diabetes, heridas, golpes	H, C, T
Epazote	Machacado, hervido o té	Vergüenza, desparasitante	H, R, FL
Estafiate	Té	Gastritis, dolor de estómago o fiebre	H
Golondrina	Machacado o hervido	Desinflamar, golpes	H
Guanábana	Hervido, licuado	Diarrea	H, FR
Hierbabuena	Hervido o té	Aires, diarrea o dolores de estomago	H
Hierba de perro	Baños	Granos	H, R
Hierba de sapo	Té	Piedras en la vesícula	H, RZ
Hierbasanta	Té	Tos	H, T
Hinojo	Té	Enojos	T
Hoja de cólico	Té	Cólicos menstruales	H
Hoja de guayaba	Hervido, licuado	Diarrea, colitis	H, FR
Hoja de tapón	Hervido o licuado	Diarrea	H
Hoja tinta	Té	Riñones o desinflamante	H
Maguey morado	Hervido	Hemorragias	H
Malva	Lavado intestinal	Desinflamar	H
Matilisguate	Té	Fiebre	H, R
Noni	Té, licuado	Fiebre, des inflamatorio	H, FL, FR, C, RZ
Nopal	Licuado	Gastritis o colitis	P
Orégano	Hervido	Tos	PL
Orozuz	Té	Tos	H
Palo de mulato	Hervido	Fiebre	H, R, C, T
Palo de nance	Té	Diarrea	H
Palo de víbora	Té	Cáncer de estomago	H
Rosa de castilla	Lavado intestinal, té	Heridas	FL
Ruda	Licuado o té	Dolor de estomago	H, FL
Sábila	Frotado, té o licuado	Desinflamar, acidez, golpes, quemaduras o quita dolor	H, G
Sal de venado	Hervido	Dolor, heridas	PL
Sauco	Hervido	Tos, desinflamar	H, C, T, FL, FR, RZ
Te limón	Té	Respiratorio	H
Verbena	Té, licuado	Fiebre, diarrea	H, PL, FL

FL= Flor, T= Tallo, H= Hoja, R= Rama, G= Gel, RZ=Raíz, FR=Fruto, C=Corteza, P=Pencas, PL=Planta.

De las partes más utilizadas de las plantas para la elaboración de remedios, el 50% son las hojas, esto se debe según Bidwell (1993), a que en las hojas es donde se lleva a cabo la mayoría de las funciones de las plantas y síntesis de sustancias que después serán distribuidos al resto de esta, por lo mismo también se tiene que es el lugar donde se encuentra la mayoría de los componentes químicos activos que ayudan a mejorar la salud de las habitantes de las comunidades que lo consumen y que por experiencia propia saben los mismos pobladores. El 11% de las personas utilizan la flor y el 10% el tallo, el porcentaje restante menciona que utilizan partes como ramas, raíz, fruto, corteza, penca, planta y en algunos casos como la sábila (*Aloe vera*) se extrae el gel.

Otros usos de las plantas medicinales

El atractivo y colorido de las flores de muchas plantas, es motivo de que la categoría ornamental ocupe el segundo lugar en importancia, ya que responden a una necesidad de satisfacción física o espiritual (Azcárraga, 2004). Muchas de las plantas aparte de ser medicinales pueden ser utilizadas como ornamentales, según lo manifestado por el 40% de las personas. El 16% no conocen otro tipo de uso mientras que el 14% lo utilizan como condimentos. En la parte industrial se encontró que un 10% lo utilizan como pomadas, shampoo, elaboración de productos de limpieza, colorantes y para techos, asimismo muchas de las especies contenidas en esta categoría proveen materiales resistentes (Mariaca, 2012). El 8% de las personas prefieren a las especies arbóreas, que tienen uso como un recurso maderable. Asimismo, muchas de las especies contenidas en esta categoría proveen materiales resistentes (Mariaca, 2012).

La participación de las mujeres es fundamental para el establecimiento y cuidado de los huertos de plantas medicinales. Las abuelas han seguido las prácticas tradicionales con las plantas medicinales utilizándolas como remedios para aliviar síntomas o tratar enfermedades, predominando las hierbas de especies como albahaca, ruda y hierba buena. A pesar de que se cuenta con todos los recursos el 55% de la población no les interesa sembrar este tipo de plantas, es necesario recuperar el saber tradicional para que subsista como una alternativa de salud para las familias rurales ya que por su bajo costo y fácil acceso, en contraposición a la medicina alopática o de patente. Los criterios más importantes a considerar para esta actividad son la disponibilidad de tierra, agua y tiempo para establecer los huertos, sin embargo, esta actividad decrece en el tiempo ya que muy pocos lo consideran como una estrategia de vida de la familia.

CONCLUSIONES

En el municipio de Villa Corzo se identificaron 40 especies de plantas medicinales agrupadas en 29 familias, siendo las principales especies la *Asteraceae* o *Compositae*, predominantemente la albahaca, sábila y ruda. Los huertos ubicados en estas comunidades tienen Estas especies tienen mayor uso y cubren distintas necesidades además de ser silvestres, lo que les permite crecer con

facilidad. La permanencia y práctica del huerto en los hogares, es una forma de vida, donde se propician las interrelaciones, valores de solidaridad y trabajo en grupo, en el cual existe una recuperación de saberes tradicionales. En una muestra de 400 personas se determinó que en la mayoría son mujeres las encargadas de establecer y cuidar los huertos familiares. Socialmente son personas activas, organizadoras, educadoras, comunicadoras de sus hallazgos e incrementan las redes sociales familiares. Los principales usos que se dan a las plantas de acuerdo a las visiones campesinas son para tratar diversos padecimientos como cólicos, heridas, golpes, dolores de estómago, de cabeza, entre otros, en forma de té o macerados.

LITERATURA CITADA

- Azcárraga, R. 2004. Un acercamiento etnobotánico al Valle de México: plantas útiles en siete mercados urbanos y periurbanos. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 280 p.
- Bidwell, R. 1993. Fisiología Vegetal. 1a.Ed. AGT Editor. México D.F. 784 p.
- Cerino, G. 2006. Análisis sobre el aprovechamiento de las plantas medicinales como alternativa en la salud de los habitantes de Villa Jalupa, Jalpa de Méndez, Tabasco, México. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco. 56 p.
- Dávila, P., M. Arizmendi, M. Valiente-Banuet, J. Villaseñor, A. and R. Lira. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Biodiversity and Conservation* 11: 421–442.
- Estrada, L. E. 2009. Plantas medicinales: un complemento vital para la salud de los mexicanos. Entrevista Muñeton Pérez, Patricia. *Revista Digital Universitaria* [en línea]. Vol. 10, No. 9. Disponible en Internet: <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num9/art58/int58.htm>
- Gómez, G. B. 2010. Potencial agroecológico de los huertos familiares en el municipio de H. Cárdenas, Tabasco: permanencia y prospectiva de desarrollo. Tesis de maestría en ciencias. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 71 p.
- Hernández, T., M. Canales, J. Caballero, A. Durán, y F. Lira. 2005. Análisis cuantitativo del conocimiento tradicional sobre plantas medicinales para el tratamiento de enfermedades gastrointestinales en Zapotitlán de las Salinas, Puebla. *INCI* [online], vol. 30 (9): 17-27.
- Hernández, G. M. 2006. Contribución para el uso y manejo de las plantas medicinales de la Villa Tepetitán, Macuspana, Tabasco. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco. 64.
- Heywood, V. H. 1985. Las plantas con flores. Ed. Reverté, Barcelona, España. 329 p.
- Katinas, L., D. Gutiérrez, , M. Grossi, y J. Crisci. 2007. Panorama de la familia Asteraceae (Compositae) en la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 42(1-2): 113-129.
- Mariaca, M. R. 2012. El huerto familiar del sureste de México. Colegio de la Frontera Sur. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 554 p.

- Montemayor, M. M., B. P. Estrada, J. M. Packard, G. E. Treviño y M. H. Villaón 2007. El traspatio un recurso local en los servicios de "turismo rural familiar" alternativa de desarrollo sustentable municipal caso: San Carlos Tamaulipas, México. Eumed TURyDES. Vol 1, N° 1. <http://www.eumed.net/rev/turydes/01/mcmm.htm>
- Rzedowski, J. 1993. El papel de la familia Compositae en la flora sinantrópica de México. *Fragm. Flor. Geobot. Suppl.* 2(1): 123-138.
- Vicente, H. T., G. J. Terradillos, I. M. Ramírez G. L. Capdevila, G. A. López y R. K. Riera. 2013. Especies, hierbas medicinales y plantas. Usos en medicina. Revisión de la bibliografía científica (Medline). *Medicina Balear.* 28(2): 35-42.

METODOLOGÍA PARA TRANSVERSALIZAR EL EJE MEDIO AMBIENTE: UN ENFOQUE ESTADÍSTICO¹

[METHODOLOGY TO MAINSTREAM ENVIRONMENTAL AXIS: A STATISTICAL APPROACH]

Mirna Castro Bello^{1§}, Columba Rodríguez Alviso², Ma. Laura Sampedro Rosas², José Luis Aparicio López²

¹Estudiante de doctorado de la Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional (UCDR) de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), ²Profesor Investigador, UCDR-UAGro, Pino s/n, Col. El Roble, Acapulco, Gro., México C.P. 39640. Tel. 01(744) 4876624. columba26@yahoo.com, laura_1953@live.com.mx, jlcoordinador@hotmail.com.

[§]Autor para correspondencia: (mircastro@hotmail.com).

RESUMEN

La formación del ingeniero civil no garantiza un ejercicio profesional ambientalmente responsable. Esta investigación tiene como objetivo incorporar el eje transversal medio ambiente en el currículo de Ingeniería Civil del Tecnológico Nacional de México (TecNM). Para lograr esta tarea se consideró un espacio muestral de 48 Institutos Tecnológicos (IT's) con esta carrera, y una muestra aleatoria estratificada por región económica al 90% de confianza de veintiocho IT's, que garantiza la representatividad del TecNM. La metodología estadística consta de cinco fases: 1) Diagnóstico de ambientalización con análisis cualitativo e inferencial; 2) Identificación de las competencias ambientales requeridas en el currículo de Ingeniería Civil determinando la convergencia de opiniones de expertos, a través del método Delphi; 3) Definición del perfil ambiental del egresado; 4) Selección y secuencia de contenidos ambientales correspondientes a las competencias identificadas, mediante modelos de elección con análisis conjunto y, 5) Impregnación de los programas de las asignaturas con los contenidos y competencias ambientales identificados en las fases tres y cuatro. La metodología propuesta se encuentra en las fases 3 y 4. Los principales resultados dan cuenta del nivel de vinculación del plan de estudio vigente con el eje ambiental y la propuesta de elementos para la transversalización ambiental.

Palabras clave: Competencias, currículo, medio ambiente, transversalización.

ABSTRACT

The training of the civil engineer does not guarantee an environmentally responsible professional practice. This research aims to incorporate the cross-cutting environment in the curriculum of

¹ Recibido: 01 de octubre de 2016.

Aceptado: 15 de noviembre de 2016.

Civil Engineering of the Tecnológico Nacional de México (TecNM). To achieve this task, a sample space of 48 Technological Institutes (IT's) was considered, and a random sample stratified by economic region to 90% confidence of twenty-eight IT's, which guarantees the representativeness of the TecNM. The statistical methodology consists of five phases: 1) Diagnosis of ambientization with qualitative and inferential analysis; 2) Identification of the environmental competences required in the Civil Engineering curriculum, determining the convergence of expert opinions, through the Delphi method; 3) Definition of the environmental profile of the graduate; 4) Selection and sequencing of environmental contents corresponding to the identified competences, through choice models with joint analysis and, 5) Impregnation of the programs of the subjects with the contents and environmental competencies identified in phases three and four. The proposed methodology is found in phases 3 and 4. The main results show the level of linkage of the current curriculum with the environmental axis and the proposal of elements for environmental mainstreaming.

Index words: Competences, curriculum, environment, mainstreaming.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las Instituciones de Educación Superior (IES) tienen como meta prioritaria, formar egresados que ejerzan el rol que les toque desempeñar en su vida laboral, garantizando el desarrollo sostenible de la sociedad en sus respectivas áreas. Las instituciones del TecNM, enfrentan múltiples demandas sociales, entre las que sobresalen: la formación y desarrollo de competencias profesionales en sus egresados para la atención a temas urgentes y emergentes, como la crisis ambiental, la sustentabilidad y la bioética, y así mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la nación (Modelo Educativo para el Siglo XXI: Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales, 2012).

Una de las estrategias para formar profesionistas con esas características, consiste en transversalizar los planes estudio de las licenciaturas que se imparten en las IES con el eje medio ambiente. La transversalización entendida como parte de este proceso educativo, sólo será eficaz si se transmite como un verdadero contenido transversal, es decir, si invade todo el currículo y se incorpora, con naturalidad y fluidez, a todas las áreas de conocimiento. Los contenidos transversales no pueden ser comunicados como algo estrictamente teórico, sino que deben ser enseñados y aprendidos de tal forma que supongan el desarrollo de conductas éticas entre los educandos (Macarrón, 2012).

Diversas entidades académicas y políticas han documentado argumentos que justifican la transversalización de este eje ambiental en el currículo de las IES. “La institucionalización del tema medio ambiente y desarrollo sustentable en las IES es de central importancia y el reto es que

influya de manera integral y transversal en las acciones y tareas de toda la institución” (SEMARNAT, 2006).

Por otra parte la “Guía para transversalizar el eje ambiental en las carreras del nivel de Educación Superior de Honduras” es una experiencia piloto llevada a cabo en la Universidad Metropolitana de Honduras (UMH), en la que se transversalizó el eje medio ambiente con énfasis en eficiencia energética para la carrera de Ingeniería de Negocios, fue elaborada con el apoyo técnico y financiero del Proyecto Manejo Integrado de Recursos Ambientales de la agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID/MIRA), en coordinación con la UMH y el Comité Interinstitucional de Ciencias Ambientales (CICA), en el marco del Acuerdo de Cooperación Ambiental del Tratado de Libre Comercio entre Estados Unidos, Centro América y República Dominicana (IRG, AGA y Asociados-Consultores en Comunicación, 2009).

La ANUIES-SEMARNAT (2000) tienen como meta, que para el año 2020, todos los programas de las IES incorporen transversalmente enfoques y contenidos de sustentabilidad en todos los programas académicos, a fin de contribuir a la generación de una cultura ambiental para la sustentabilidad. El objetivo de esta investigación es diseñar una metodología con bases estadísticas para transversalizar el eje medio ambiente en planes de estudio de IES y validarla en el programa académico de Ingeniería Civil del TecNM, para responder a la pregunta de investigación ¿Cómo realizar esa transversalización?

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta parte de la investigación se realizó entre enero y julio de 2016 en los IT's del TecNM que ofrecen la carrera de ingeniería civil (Cuadro 1, Figura 1).



Figura 1. Distribución espacial del área de estudio.

Cuadro 1. IT's que conforman el área de estudio.

IT's que ofrecen la carrera de Ingeniería Civil		
1. ITTijuana	17. ITTapachula	33. ITSLagos de Moreno
2. ITLa Paz	18. ITChilpancingo	33. ITSTequila
3. ITDurango	19. ITOaxaca	34. ITSZapopan
4. ITNogales	20. ITIstmo	35. ITSOriente del Edo. De Hidalgo
5. ITGuaymas	21. ITTuxtepec	36. ITSAcayucan
6. ITCd.Victoria	22. ITPochutla	37. ITSLas Choapas
7. ITMatamoros	23. ITTlaxiaco	38. ITSMisantla
8. ITReynosa	24. ITCampeche	39. ITSXalapa
9. ITTepic	25. ITChetumal	40. ITSCoacalco
10. ITPachuca	26. ITCancún	41. ITSHuixquilucan
11. ITTehuacán	27. ITVillahermosa	42. ITSJilotepec
12. ITApizaco	28. ITMérida	43. ITSSan Felipe del Progreso
13. ITBoca del Río	29. ITSLos Cabos	44. ITSCintalapa
14. ITCerro Azul	30. ITSPuerto Peñasco	45. ITSMacuspans
15. ITIztapalapa III	31. ITSZitácuaro	46. ITSLos Ríos
16. ITZacatepec	32. ITSApatzingán	48. ITSValladolid

Institutos federales (IT) y descentralizados (ITS) del TecNM.

Metodología

Se utilizó software estadístico Minitab 17 y SPSS 20, cuestionarios Delphi-electrónicos elaborados en Google DRIVE. La metodología para la transversalización del eje medio ambiente en un plan de estudio de Educación Superior, consta de cinco etapas.

Dignóstico de ambientalización

Se evaluó el nivel de ambientalización en la población N= 44 asignaturas del plan de estudio de la carrera de ingeniería civil del TecNM con el instrumento propuesto por Aparicio, *et al.* (2014). Mediante la ecuación (1) y 90% de confiabilidad, con la técnica de Lohr y Velasco (2000) se obtuvo una muestra aleatoria estratificada proporcional de tamaño n= 30, dividida en dos estratos (Cuadro 2).

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} = \frac{44}{1+44(0.1)^2} = 30 \text{ Ecuación (1)}$$

Así como un análisis descriptivo e inferencial con intervalos de confianza para una proporción poblacional P=asignaturas poco vinculadas con el eje ambiental.

Identificación de competencias ambientales en el plan de estudio con el método Delphi en dos rondas (Almenara y Moro, 2014; Villagrasa, 2015).

Para identificar las competencias ambientales, se consideró un espacio muestral de tamaño N=48 IT's del TecNM que ofrecen la carrera de ingeniería civil, mediante la ecuación (2):

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{N \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q} = \frac{(1.645^2)(0.5)(0.5)(48)}{(48)(0.1^2) + (1.645^2)(0.5)(0.5)} = \frac{32.4723}{0.48 + 0.6765} = 28 \text{ Ecuación (2)}$$

en donde **Z** es el nivel de confianza para el 90% y 10% de error en una distribución normal estándar, **p**, la probabilidad a favor, **q**, la probabilidad en contra y **e**, el error de estimación. Se obtiene una muestra aleatoria n=28 IT's dividida proporcionalmente en ocho estratos, correspondientes a las zonas económicas del país: Noroeste, Noreste, Oeste, Este, Centronorte, Centrosur, Suroeste y Sureste, que garantiza la representatividad del TecNM.

Cuadro 2. Diseño del muestreo aleatorio estratificado proporcional.

Estrato	Tamaño de muestra estratificada proporcional	Muestra aleatoria
Ciencias Básicas	n_{E1} = 10	1. Taller de ética
		2. Formulación y evaluación de proyectos
		3. Probabilidad y estadística
		4. Química
		5. Métodos numéricos
		6. Estática
		7. Álgebra lineal
		8. Cálculo diferencial
		9. Taller de investigación I
		10. Ecuaciones diferenciales
Instrumentales	n_{E2} = 20	1. Alcantarillado
		2. Instalaciones en los edificios
		3. Tecnología del concreto
		4. Hidrología superficial
		5. Diseño de elementos del concreto reforzado
		6. Abastecimiento de agua
		7. Diseño y construcción de pavimentos
		8. Diseño estructural de cimentaciones
		9. Hidráulica de canales
		10. Análisis estructural avanzado
		11. Fundamentos de la mecánica de los medios continuos
		12. Mecánica de suelos
		13. Administración de la construcción
		14. Materiales y procesos constructivos
		15. Modelos de optimización de recursos
		16. Software en la Ingeniería Civil
		17. Geología
		18. Sistemas de transporte
		19. Desarrollo sustentable
		20. Mecánica de materiales

Asignaturas del plan de estudio de Ingeniería Civil, según la categoría: ciencias básicas e instrumentales.

Análisis del cuestionario Delphi-electrónico “1ra. Ronda”

En la primera ronda se diseñó un encuesta electrónica (simulador social) en la plataforma Google Drive, dirigida a docentes de la carrera de Ingeniería Civil de los IT's incluidos en la muestra para conocer sus opiniones y propuestas sobre los elementos de eje medio ambiente que consideran pertinente incluir en las competencias que definirá el perfil ambiental del egresado de esa carrera. En esta ronda, decidieron participar 43 docentes de 13 IT's de la muestra (Figura 2).

Esta proporción es válida dado que el método Delphi da resultados aceptables con siete participantes como mínimo (Almenara y Moro, 2014; Villagrasa, 2015).

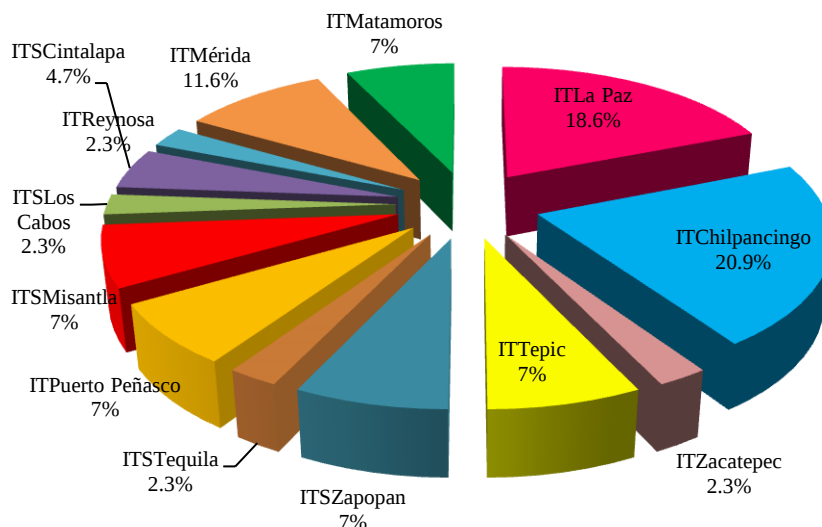


Figura 2. Distribución de docentes participantes en la primera ronda por Instituto Tecnológico

Análisis del cuestionario Delphi-electrónico “2a. Ronda”

A partir de los elementos del eje medio ambiente, propuestos por los docentes participantes en la primera ronda, se diseñó y aplicó el segundo cuestionario Delphi en condiciones similares a la de la primera ronda para que los profesores en esta ocasión, seleccionaran cinco elementos de las competencias ambientales de entre las propuestas obtenidas para definir con ellas el perfil del egresado ambientalmente responsable de la carrera de Ingeniería Civil del TecNM. En esta ronda participaron 61 docentes de 23 IT's de la muestra (Figura 3).

Definición del perfil ambiental del egresado de ingeniería civil (fase por realizar)

El perfil ambiental del egresado se definirá a partir del análisis de convergencia de opiniones sobre la elección de los elementos del eje medio ambiente propuestos por los docentes en la fase dos y la consecuente formulación de competencias ambientales.

Selección y secuencia de contenidos ambientales (fase por realizar)

La selección y secuencia de contenidos ambientales se realizará a través de la técnica estadística multivariante: análisis conjunto, basada en que los docentes participantes de cada una de las asignaturas, evalúen el valor o importancia de los contenidos ambientales a transversalizar en cada asignatura que imparten (Lévy y Varela, 2003).

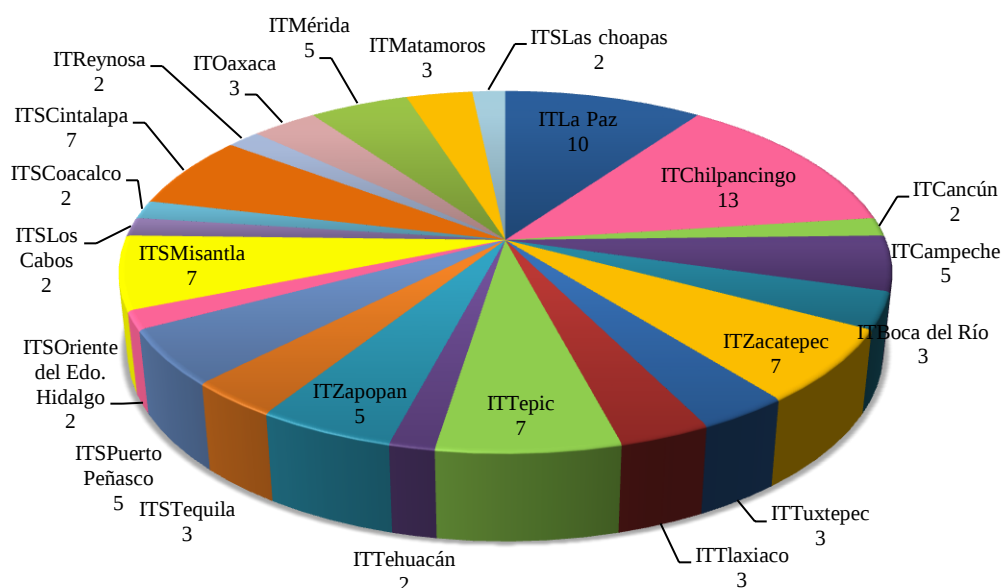


Figura 3. Distribución de docentes participantes (%) en la segunda ronda por Instituto Tecnológico.

Impregnación de los programas de las asignaturas con los contenidos ambientales identificados en las fases dos y cuatro (fase por realizar)

En esta última fase se permeará en cada programa de las asignaturas seleccionadas, los contenidos derivados de todos los análisis previos realizados en el proceso metodológico descrito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para contextualizar esta investigación se consideran las aportaciones de diversos autores y entidades que han abordado el tema de la transversalización ambiental. Nieto (1999) propuso que la dimensión ambiental, entendida como eje transversal, debe aparecer en las materias clásicas y en las actividades de integración de un plan de estudio; por otro lado Gavidia (2000) sugiere la transversalidad como eje atravesando el currículo y como proyectos integradores; Díaz-Barriga (2006) considera que los temas transversales difícilmente se incluyen en el contenido de una sola asignatura, porque no se limita a la misma y tiene repercusión en otros ámbitos.

Este el caso de temas que el contexto social reclama que sean trabajados en la escuela, por ejemplo la educación ambiental, entre otros; Amadio (2013) hace un análisis de cómo los planes de estudio nacionales para la educación general están reflejando preocupaciones sobre temas

ambientales y de sostenibilidad, haciendo hincapié en la necesidad de desarrollar competencias / habilidades generales en todo el currículo y Aparicio *et al.* (2014) propone una metodología para la transversalidad del eje medio ambiente para la Universidad Autónoma de Guerrero.

En este contexto, se analiza la situación de la educación superior en México, en particular en la carrera de Ingeniería civil del TNM. El diagnóstico en la muestra de las asignaturas del plan estudio de esta carrera, en la evaluación del nivel de ambientalización mostró que sólo la asignatura “Desarrollo sustentable” está poco vinculada con el eje medio ambiente (Figura 4).

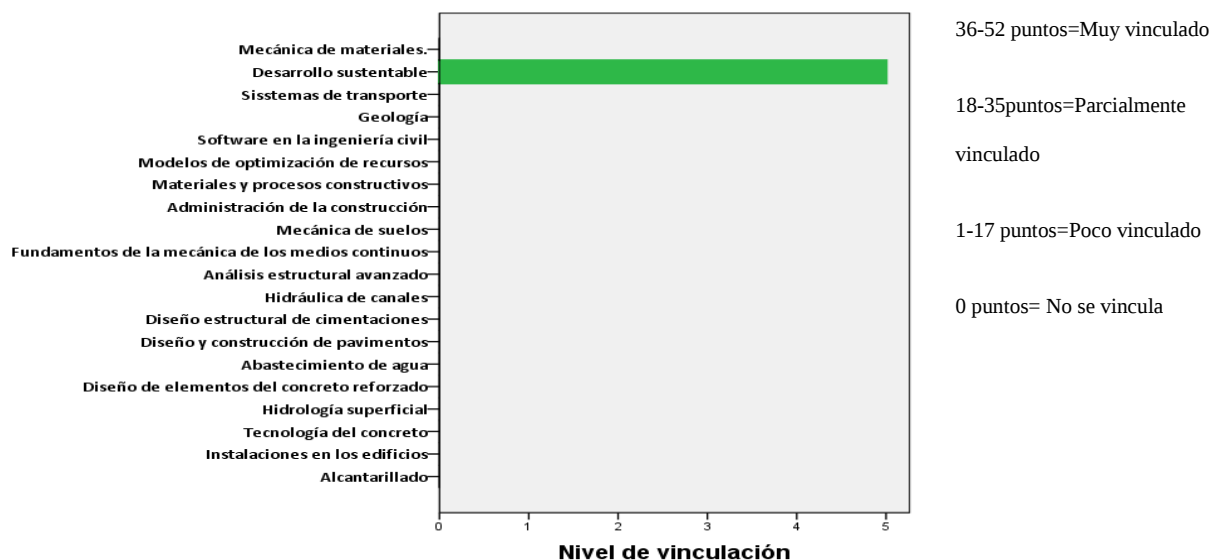


Figura 4. Asignaturas vinculadas con el eje medio ambiente.

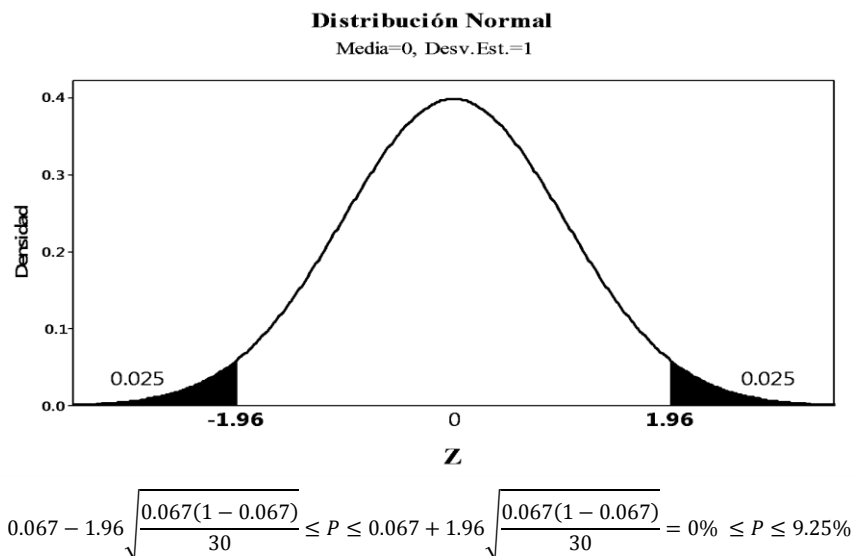


Figura 5. Intervalo al 95% de confianza al para la proporción poblacional P=asignaturas poco vinculadas con el eje ambiental.

Cuadro 3. Elementos del eje medio ambiente.

Conocimientos
(A): Identifica las características de las materias primas usadas en la construcción de obras civiles y su efecto sobre el medio ambiente del entorno de intervención.
(B): Reconoce los elementos de la transversalidad de proyectos de construcción con la economía ambiental.
(C): Propone estrategias de sustentabilidad en la construcción.
(D): Analiza las causas y consecuencias del deterioro ambiental.
(E): Reconoce los elementos para el diseño y construcción.
(F): Identifica la infraestructura para el manejo de residuos y desechos.
(G): Identifica los tratamientos de aguas residuales.
(H): Identifica los elementos de la Biorremediación de aguas y suelos.
(I): Identifica las técnicas para el manejo de residuos peligrosos y no peligrosos.
(J): Identifica los métodos para valorar el impacto ambiental.
(K): Determina los elementos para elaborar una manifestación de impacto ambiental y valorar los riesgos de impacto ambiental.
Habilidades
(A): Aplica la normatividad en materia ambiental relacionada con la ejecución de obras civiles.
(B): Utiliza la transversalidad referente a aspectos económicos, propone medidas para la reducción de efectos negativos al ambiente y mejorar el valor total de la obra.
(C): Utiliza las estrategias de sustentabilidad en la construcción.
(D): Diseña proyectos de obras civiles destinadas a solucionar la problemática ambiental (agua, agua residual, residuos peligrosos y no peligrosos).
(E): Es capaz de sensibilizar a través de talleres a la sociedad, sobre el beneficio de usar energías limpias (renovables).
(F): Es capaz para el manejo, disposición y/o reciclado adecuado de residuos y desechos.
(G): Diseña proyectos de obras civiles enfocadas a solucionar problemas ambientales relacionados con el agua y agua residual.
(H): Emplea ecotecnias en la Biorremediación de aguas y suelos.
(I): Realiza proyectos de obras civiles para solucionar problemas ambientales relacionados con residuos peligrosos y no peligrosos.
(J): Aplica la matriz de Leopold en la evaluación del impacto ambiental.
(K): Elabora un MIA y valora un RIA.
Actitudes y valores
(A): Actúa con ética y honestidad con respecto a la observancia de la normatividad ambiental.
(B): Actúa con compromiso, conciencia ecológica y ética profesional.
(C): Trabaja con responsabilidad y ética ambiental.
(D): Actúa con respeto hacia el medio ambiente y valora que toda obra civil debe contribuir al bienestar de toda la sociedad y no solamente al cliente (individuo o grupo).
(E): Es líder para trabajar de manera integral con otros profesionistas, trabajadores y la sociedad en la búsqueda de soluciones a diferentes problemas.
(F): Trabaja con responsabilidad ambiental en el manejo de residuos y desechos.
(G): Es consciente, empático y sensible.
(H): Tiene interés en su entorno y su comunidad.
(I): Toma decisiones con responsabilidad ambiental en el manejo de residuos peligrosos y no peligrosos.
(J): Es responsable, analítico y ético.
(K): Actúa con ética y profesionalismo.

Este cuadro describe las propuestas sobre los elementos de las competencias ambientales obtenidas a través del cuestionario de la primera ronda.

La estimación del intervalo indica que de las 44 asignaturas del plan de estudio de esta carrera, como máximo 4 (9.25%) de ellas estarían poco vinculadas con el eje medio ambiente y 40 totalmente desvinculadas (Figura 5).

Todos los docentes participantes en la primera ronda, coinciden en que el egresado de Ingeniería Civil del TecNM tiene que ser un profesionista ambientalmente responsable y que por tanto es necesario redefinir el perfil del egresado para servir de marco a una reingeniería del

currículum de la carrera. Los docentes que participaron respondiendo el cuestionario **Delphi-electrónico “1ra. Ronda”** coinciden que son relevantes once elementos del eje medio ambiente que incluyen conocimientos, habilidades y actitudes valores (Cuadro 3).

A partir de las propuestas descritas anteriormente, se solicitó en una segunda ronda a los docentes de Ingeniería Civil de los IT's participantes, seleccionar cinco elementos del eje medio ambiente, que definirán las competencias que derivarán en el perfil ambiental del egresado de esta carrera. A través del coeficiente Delphi (C) calculado de la ecuación (3):

$$C = 1 - \frac{V_n}{V_k} * 100 \quad \text{Ecuación} \quad (3)$$

en donde C es la concordancia expresada en porcentaje, V_n , el número de expertos en contra del criterio y V_k el número total de expertos. Las opiniones fueron convergentes en el siguiente resultado (Figura 6).

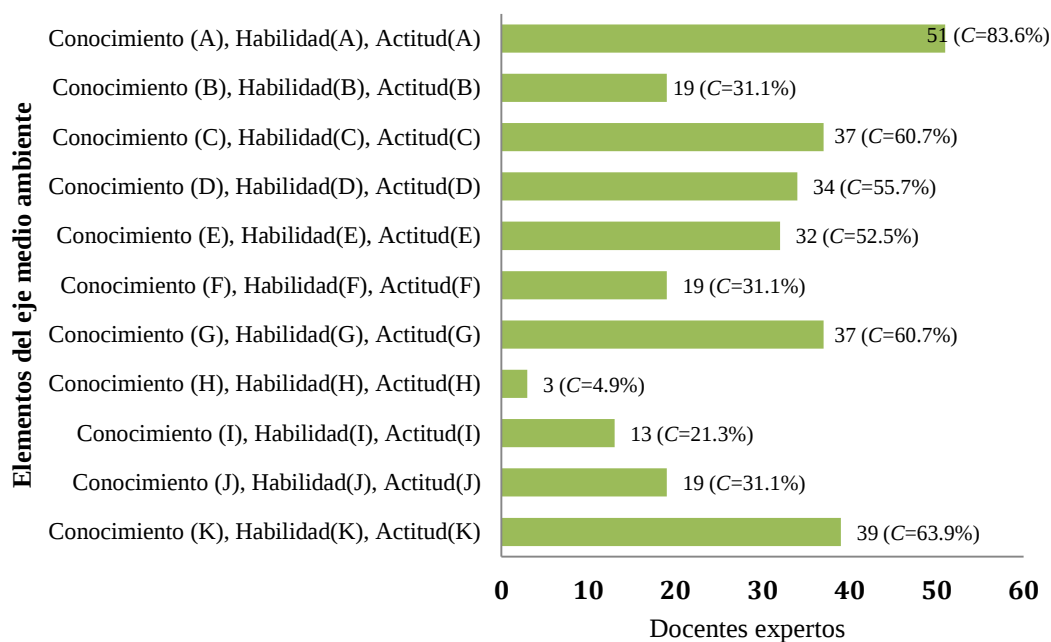


Figura 6. Convergencia de opiniones en Delphi 2da. Ronda.

Cuadro 4. Elementos del eje medio ambiente con mayor concordancia en la 2da. Ronda.

Conocimientos	Coefficiente Delphi "C"
(A): Identifica las características de las materias primas usadas en la construcción de obras civiles y su efecto sobre el medio ambiente del entorno de intervención.	C = 83.6%
(K): Determina los elementos para elaborar una manifestación de impacto ambiental y valorar los riesgos de impacto ambiental.	C = 63.9%
(C): Propone estrategias de sustentabilidad en la construcción.	C = 60.7%
(G): Identifica los tratamientos de aguas residuales.	C = 60.7%
(D): Analiza causas y consecuencias del deterioro ambiental.	C = 55.7%
Habilidades	Coefficiente Delphi "C"
(A): Aplica la normatividad en materia ambiental relacionada con la ejecución de obras civiles.	C = 83.6%
(K): Elabora un MIA y valora un RIA.	C = 63.9%
(C): Utiliza las estrategias de sustentabilidad en la construcción.	C = 60.7%
(G): Diseña proyectos de obras civiles enfocadas a solucionar problemas ambientales relacionados con el agua y agua residual.	C = 60.7%
(D): Diseña proyectos de obras civiles destinadas a solucionar la problemática ambiental (agua, agua residual, residuos peligrosos y no peligrosos).	C = 55.7%
Actitudes y valores	Coefficiente Delphi "C"
(A): Actúa con ética y honestidad con respecto a la observancia de la normatividad ambiental.	C = 83.6%
(K): Actúa con ética y profesionalismo.	C = 63.9%
(C): Trabaja con responsabilidad y ética ambiental.	C = 60.7%
(G): Es consciente, empático y sensible.	C = 60.7%
(D): Actúa con respeto hacia el medio ambiente y valora que toda obra civil debe contribuir al bienestar de toda la sociedad y no solamente al cliente (individuo o grupo).	C = 55.7%

Este cuadro describe el coeficiente Delphi obtenido a través del cuestionario de la segunda ronda, que determina la convergencia de opiniones sobre los elementos para formular competencias ambientales.

CONCLUSIONES

El avance actual de la investigación muestra que el plan de estudio vigente para la carrera de Ingeniería Civil del TecNM, no contiene ni competencias ni contenidos que contribuyan a un perfil de egresado ambientalmente responsable, lo que justifica el diseño de una metodología para la transversalización del eje medio ambiente. A través del análisis de resultados de las dos rondas Delphi, se concluye que los elementos seleccionados por los profesores expertos para la formulación de aquellas competencias que definan el perfil de un egresado ambientalmente responsable, son los cinco elementos de cada categoría que mostraron mayor concordancia (Cuadro 4). Este artículo expone el diseño metodológico y en el proceso de validación, están por realizarse las fases: 3. Definición del perfil ambiental del egresado, 4. Selección y secuencia de contenidos ambientales correspondientes a las competencias identificadas, mediante modelos de elección con análisis conjunto y 5. Impregnación de los programas de las asignaturas con los contenidos y competencias ambientales identificados en las fases tres y cuatro.

LITERATURA CITADA

- Almenara, J. C. y A. I. Moro. 2014. Empleo del método Delphi y su empleo en la investigación en comunicación y educación. *Revista Electrónica de Tecnología Educativa* 48: 1-16.
- Amadio, M. 2013. A rapid assessment of curricula for general education focusing on cross-curricular themes and generic competences or skills. Background paper for EFA Global Monitoring Report, 14 p.
- ANUIES-SEMARNAT. 2000. Plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior. <http://www.complexus.org.mx/Documentos/ANUIES-PlandeAccionSemarnat.pdf> (Consultado: 08/01/2016).
- Aparicio, J. 2014. Propuesta metodológica para diagnosticar la transversalidad del eje medio ambiente en programas educativos de nivel superior: el caso de la UAGro. Tesis de Doctorado, Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional de la Universidad Autónoma de Guerrero, México. 114 p.
- Aparicio, J., C. Rodríguez, J. Beltrán y L. Sampedro. 2014. Transversalidad del eje medio ambiente en Educación Superior. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1: 163-172.
- Conde, M. C. and J. S. Sánchez. 2010. The school environmental education: A school environmental audit experience. *International Journal of Environmental & Science Education* 4: 477-494.
- Díaz-Barriga, A. 2006. La educación en valores: Avatares del currículum formal, oculto y los temas transversales. *Revista Electrónica de Investigación Educativa* 8: 1-15.
- Gavidia, V. 2000. Valores y temas transversales en el currículum. *Revista Dialnet* 3:9-24.
- International Resources Group (IRG) y AGA y Asociados-Consultores en Comunicación. 2009. Guía para transversalizar el eje ambiental en las carreras del nivel de Educación Superior de Honduras. Tegucigalpa, Honduras. 25 p.
- Lévy, J. P. y J. Varela. 2003. Análisis multivariable para las ciencias sociales. Ed. Pearson Educación. Madrid. 886 p.
- Lohr, S. L. y O. A. P. Velasco. 2000. Muestreo: Diseño y análisis. Ed. International Thomson. México. 480 p.
- Macarrón, L. S. 2012. La educación ambiental o la educación para el desarrollo sostenible. *Educación y futuro: revista de investigación aplicada y experiencias educativas* 26: 17-42.
- Modelo Educativo para el Siglo XXI: Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales, 2012. Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos <http://www.teccm.mx/modeloeducativo.pdf> (Consultado: 10/07/2016).
- Nieto, L. M. 1999. La perspectiva ambiental en los currículos profesionales ¿Una materia más? *Revista Universitarios* 2:1-12.
- SEMARNAT, 2006. Estrategia de educación ambiental para la sustentabilidad en México. <http://www.semarnat.gob.mx/educacionambietal.pdf> (Consultado: 19/05/2016).
- Vázquez, Y. R. y E. González-Gaudiano. 2014. La dimensión ambiental en el currículum de las licenciaturas con enfoque empresarial. *Revista Ciencia Administrativa* 1: 51-65.

Villagrasa, R. 2015. El método Delphi y la toma de decisiones. Apuntes: Revista de Ciencias Sociales 5: 53-59.

METALES PESADOS (Cd, Cr, Pb, Hg) EN *Rhizophora mangle* EN RÍO Y BAHÍA DE CHETUMAL¹

[HEAVY METALS (Cd, Cr, Pb, Hg) IN *Rhizophora mangle* IN CHETUMAL BAY AND RIVER]

Carlos Francisco Ochoa Jiménez[§], José Luis González Bucio², José Manuel Carrión Jiménez²

¹Estudiante de posgrado del Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Chetumal (ITCh), ²Profesor Investigador-UQROO. Chetumal, Quintana Roo. México. C. P. 77019. Tel. 01(983) 50300. k_lo_5@hotmail.com, jmcariion@uqroo.edu.mx. [§]Autor para correspondencia: (buciojos@uqroo.edu.mx).

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la determinación del contenido de Cd, Cr, Pb y Hg en agua y la especie de mangle *Rhizophora mangle* en Río Hondo y Bahía de Chetumal, Quintana Roo, con el objetivo de determinar las concentraciones de metales pesados y su posible relación con las variables ambientales. Se muestrearon 6 puntos correspondientes a zonas con actividad antrópica diversa. Las muestras se digirieron bajo la ISO11466 y se analizaron mediante la ISO11047 utilizando un EAA marca Varian Spectra 220. Las muestras de agua y raíces de mangle presentaron concentraciones de Pb y Hg superiores a los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la legislación mexicana. No obstante, las concentraciones de Cd y Cr se encontraron por debajo del LMP. La especie *Rhizophora mangle* presentó bioacumulación de los metales Hg y Pb, por lo que se considera un buen indicador de contaminación por metales pesado en ecosistemas estuarinos. El análisis de componentes principales denotó buena correlación lineal de los metales Hg y Pb con el parámetro pH, por lo que puede ser el factor de la biodisponibilidad en el medio acuático y la bioacumulación en las raíces del mangle.

Palabras clave: *Rhizophora mangle*, contaminación, bioindicador.

ABSTRACT

In this paper the determination of Cd, Cr, Pb and Hg in water and mangrove species (*Rhizophora mangle*) in River Rio Hondo and Chetumal Bay, Quintana Roo, were carried out to determine the

¹ Recibido: 05 de mayo de 2016.
Aceptado: 15 de diciembre de 2016.

concentrations of heavy metals and their relationship with environmental variables. Six points corresponding to areas with diverse anthropogenic activity were sampled. Samples were digested under ISO11466 and analyzed using ISO11047 using a Varian Spectra 220 EAA. Water and mangrove roots samples had Pb and Hg concentrations above the maximum permissible limits (LMP) established by Mexican law. However, concentrations of Cd and Cr were found to be below the PML. The species *Rhizophora mangle* presented bioaccumulation of the metals Hg and Pb, reason why it is considered a good indicator of contamination by heavy metals in estuarine ecosystems. The main components analysis showed good linear correlation of the Hg and Pb metals with the pH parameter, which may be the factor of bioavailability in the aquatic environment and bioaccumulation in the roots of the mangrove.

Index words: *Rhizophora mangle*, pollution, bioindicator.

INTRODUCCIÓN

La Bahía de Chetumal se encuentra en la parte Sureste de la ciudad de Chetumal, comparte 10 km de costa con la zona urbana de dicha ciudad, en la cual se desarrollan actividades recreativas y de pesca (Ortiz y Sáenz, 1997; Álvarez, 2005). La Bahía presenta características de estuario por la conexión con el Río Hondo y por las filtraciones de aguas subterráneas, comparte sus límites con el país de Belice con el nombre de Bahía de Corozal y se conecta con el mar Caribe (Álvarez y Sáenz, 2005). El Río Hondo y la Bahía de Chetumal son zonas de importancia económica y ecológica para la población, así como para la flora y fauna de la región (López *et al.*, 2010). Toda vez que dicha Bahía fue decretada como Área natural protegida con categoría de zona sujeta a conservación ecológica “Santuario del Manatí” en 1996 (INE, 2001), albergando más de 60 especies con alguna categoría de protección por la NOM-059-Semarnat-2010 (Calderón-Mandujano *et al.*, 2009), así como área marina prioritaria de México (CONABIO, 2012c), mientras el Río es considerado como región terrestre e hidrográfica prioritaria amenazada de México (CONABIO, 2012a, 2012b).

Estudios revelan características de contaminación en el área de estudio, tanto por elementos organoclorados (Álvarez, 2002; Álvarez y Sáenz, 2005), materia orgánica y nutrientes (Ortiz y Sáenz, 1997; Canche, 2002; Ortiz-Hernández *et al.*, 2009; Carrión *et al.*, 2013), así como metales pesados (Rojas y Morales, 2002; González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008), los cuales ponen en riesgo la integridad del sistema costero, con posibles repercusiones negativas en los organismos marinos (García-Ríos y Gold-Bouchot 2002; Rojas y Morales, 2002).

El objetivo fue determinar las concentraciones de metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg) y su bioacumulación en *Rhizophora mangle* durante las temporadas de Seca y Lluvia 2015 en Río Hondo y Bahía de Chetumal, Quintana Roo, así como identificar las posibles relaciones entre las concentraciones metálicas y los parámetros ambientales. Bajo la hipótesis que las

concentraciones de metales pesados serían menores en el Río Hondo y la bioacumulación en *Rhizophora mangle* dependería de la contaminación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

Se realizó a bordo de una lancha de motor fuera de borda a lo largo del Río Hondo y la Bahía de Chetumal, en el cauce del Río se tomaron muestras en el Ingenio Álvaro Obregón, en la localidad de El Palmar que se encuentra entre la localidad de Ramonal y Sacxán y en la desembocadura del mismo; en Bahía se tomaron muestras en el balneario Dos mulas, en la localidad Calderitas y en la isla Tamalcab (considerada como zona núcleo de uso restringido por el Plan de manejo del área natural protegida con categoría de reserva estatal Santuario del Manatí). Dichos muestreos se realizaron durante las temporadas de Seca y Lluvia de 2015.

En cada uno de los seis sitios de muestreo se tomaron tres muestras de aguay raíces de *Rhizophora mangle*, además de caracterizar la zona de muestreo con parámetros fisicoquímicos.

Las muestras de agua se colectaron entre la interacción sedimento-raíz y se conservaron en frascos de polietileno esterilizados y las de raíz sumergida de *Rhizophora mangle* se cortaron con una navaja de vidrio entre la interacción agua-sedimento a no más de 1 metro de profundidad y se conservaron en bolsas de polietileno, ambas muestras se mantuvieron en una hielera hasta su posterior análisis en laboratorio.

Los parámetros fisicoquímicos se midieron *in situ* en agua de la interacción agua-raíz de mangle con los siguientes equipos de medición: Temperatura y pH: pHmeter Hanna HI991001, Salinidad: Refractómetro marino HZY030, Conductividad eléctrica: Hanna HI9635, OD: Hanna HI9142.

Análisis

Para determinar las concentraciones de los metales pesados, se aplicó el procedimiento descrito en la norma de la International Organization for Standardization (ISO11047, 1998), para su determinación mediante Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) con Llama, para lo cual se utilizó un Espectrómetro de doble rayo Varian, modelo SpectrAA 220 con llama aire/acetileno y óxido nitroso/acetileno y generador de hidruros VGA 77, en el laboratorio de química ambiental de la Universidad de Quintana Roo. Se prepararon curvas de calibraciones distintas para cada uno de los elementos metálicos, estos conforme a su conformación química y de acuerdo a la norma citada. También se utilizaron las mismas proporciones de diluciones, con el objetivo de evitar interferencias (ISO11047, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron las concentraciones de los metales (**Cd**, **Cr**, **Pb** y **Hg**) en *Rhizophora mangle*, para el **Cd** los valores oscilaron entre 0 y 0.5 mg kg⁻¹ en todo el estudio, estos valores son inferiores a los reflejados en las referencias por Ganiveth M.P. *et al.*, (2008) con valores de 5 a 23 mg kg⁻¹ en Ostras de la Bahía de Cartagena, dicho metal se considera un elemento biotóxico y uno de los contaminantes más importantes por los efectos que produce sobre la biota marina (Sadiq, 1992). Las concentraciones de **Cr** estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado (<2.38 mg kg⁻¹; Garay *et al.*, 2003), sin embargo los metales **Pb** y **Hg** arrojaron valores que rebasan las normas mexicanas NOM-001-ECOL (1996), la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas y bienes nacionales. En todo el estudio, las concentraciones de **Pb** oscilaron entre 0 a 7.3 mg kg⁻¹, presentando las mayores concentraciones en el sitio Balneario Dos Mulas, el cual tiene uso recreativo en la Bahía de Chetumal, dichos resultados comparados con los publicados por Naranjo-Sánchez y Troncoso-Olivo (2008) de 16.3 mg kg⁻¹, encontramos valores muy altos en ecosistemas similares, sin embargo otros estudios con 1.18 mg kg⁻¹ que son concentraciones muy por debajo.

Los valores de **Hg** oscilaron entre 0 y 15 mg kg⁻¹ en ambas temporadas, al igual que el Pb las mayores concentraciones se presentaron en el sitio Balneario Dos Mulas. Si comparamos los resultados obtenidos con los encontrados por Gutiérrez *et al.* (2007), se aprecia que se encuentran muy por debajo de los reportados por dicho autor en sedimentos superficiales (58.2 mg kg⁻¹). Por otro lado, los valores de Hg encontrados en agua y raíces de mangle en este estudio, son muy superiores a los publicados por López (2010) en un estudio realizado en Sudamérica en lugares con relativamente poca influencia antropogénica (hasta 0.1 mg kg⁻¹). Sin embargo, comparando con los obtenidos por Díaz (2001) en *Tagelus Dombeii*, se aprecia que son concentraciones muy por encima (2.35 mg kg⁻¹).

Análisis de componentes principales

Para proceder a la utilización del análisis estadístico multivariado, primeramente se efectuó el tratamiento de los contenidos de los metales en las muestras de agua y raíces de mangle y se realizaron los análisis de correlación lineal de Pearson, para establecer los grupos de asociación existentes entre las muestras y las variables ambientales.

Las correlaciones observadas en los muestreos realizados en temporada Seca y Lluvia de 2015, evidencia una contaminación de origen antropogénico de toda la zona estudiada, toda vez que las correlaciones entre metales indican que podrían tener el mismo origen de procedencia (Tsai L.J. *et al.*, 1998.; Yu *et al.*, 2001; Hlavay *et al.*, 2004), y podría existir movilidad y biodisponibilidad de los elementos metálicos en los cuerpos de agua estudiados.

Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales (ACP) para las muestras de agua y raíz de mangle de la Bahía de Chetumal y Río Hondo, se representa en la Figura 1 A y B.

En la Figura 1A, la cual pertenece a la temporada Seca se puede observar que la gráfica A explica el 63.92% de la varianza total a través de dos componentes principales (F1 y F2). En la Figura 1B de la temporada de Lluvia, se observa que la gráfica explica una varianza total de 69.09% a través de los componentes F1 y F2.

En temporada de seca, el primer componente principal F1, se definió por 2 metales (Pb y Hg), así como los parámetros fisicoquímicos (pH, salinidad, conductividad y temperatura) el cual explica el 45.71% de la varianza total. El segundo componente principal F2 está definido por el Cd y el Oxígeno Disuelto (OD) y explica el 18.21% de la varianza total.

En temporada de lluvia, el F1 se define por los metales (Hg y Cd) y los parámetros Temperatura, Salinidad, Conductividad y OD, el cual explica el 49.75% de la varianza total. El F2 está definido por el Pb y el pH y explica el 19.35% de la varianza total.

Según Tsai L.J *et al.* (1998), cuando los metales están agrupados, indican que tienen la misma fuente de contaminación. Para el F1 en temporada de Seca, se observó buena correlación lineal entre el parámetro fisicoquímico pH y el metal Pb, sucedió lo mismo en la temporada de Lluvia en el F2. Las variables ambientales medidas en el presente estudio son de gran importancia, ya que están estrechamente relacionadas a los procesos de solubilidad y biodisponibilidad de metales en estuarios (Head, 1976; Cross y Sunda, 1978; Davis, 1978; Campos y Gallo, 1997).

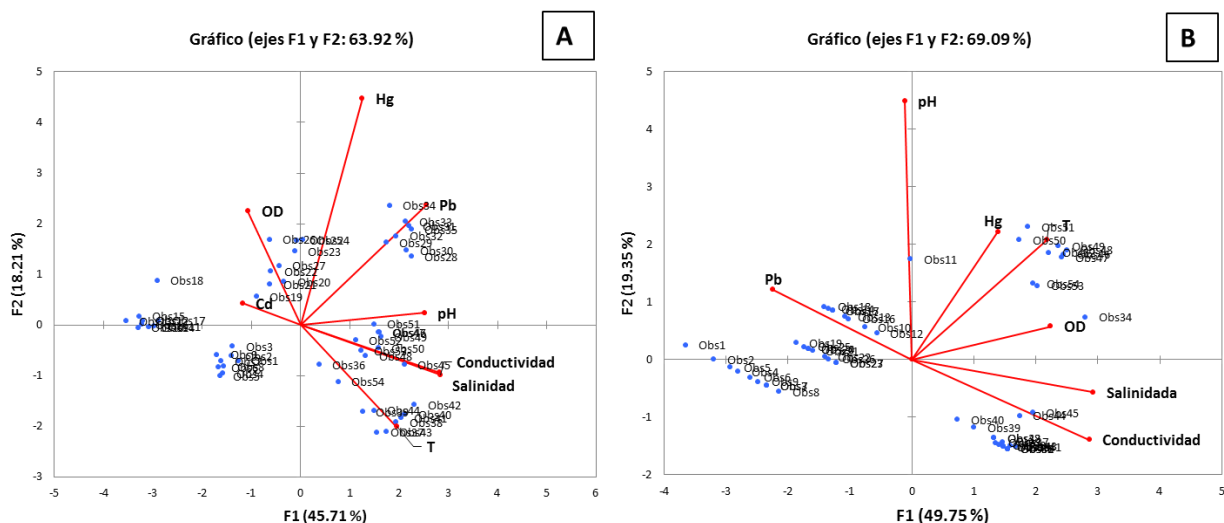


Figura 1. Análisis de componentes principales (ACP) en temporada de seca (A) y lluvia (B) 2015. Los componentes principales de cada gráfica están representados como F1 y F2 (primer y segundo componente principal respectivamente).

CONCLUSIONES

Las raíces absorbentes de la especie *Rhizophora mangle* resultaron ser indicadores adecuados de contaminación por metales pesados en la Bahía de Chetumal y Río Hondo. Dichos cuerpos de agua se pueden considerar como contaminados por **Hg** y **Pb**, al comparar sus contenidos con los establecidos en las normas mexicanas para ecosistemas marinos estuarinos. El ACP permitió corroborar la relación que existe entre el metal Pb y el parámetro ambiental pH, lo cual indica una posible biodisponibilidad y bioacumulación de dicho elemento en el cuerpo de agua y sedimentos del área de estudio, lo cual indica un posible riesgo para la diversidad de especies del ANP Santuario del Manatí, incluyendo a la población local.

LITERATURA CITADA

- Álvarez L., M.T. 2002. Plaguicidas organoclorados en sedimentos de la Bahía de Chetumal y del Río Hondo. Una revisión de estudios realizados de 1993-1999. *In*: Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia / Editores: Francisco J. Rosado May, Rafael Romero Mayo y Alberto de Jesús Navarrete. Chetumal, Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo, Programa de Manejo Integrado de Recursos Costeros, 2002. p. 171-178.
- Álvarez L., T. y R. Sáenz M. 2005. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos de la Bahía de Chetumal. *In* A. Botello, J. Rendón, G. Gold-Bouchot. Y C. Agraz-Hernández (eds.). Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, Méx. 2 ed., pp. 299-310.
- Calderón-Mandujano, R., J. Cedeño-Vazquez y H. Bahena-Basave. 2009. Herpetofauna: análisis y perspectivas. El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad Chetumal. México. pp. 148-158.
- Campos, N.H y M. Gallo. 1997. Contenidos de Cd, Cu y Zn en *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la bahía de Chengue, costa Caribe colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 21(79): 73-90.
- Canche, J. 2002. Bahía de Chetumal: receptor principal de aguas residuales. *In*: F. Rosado-May, R. Romero-Mayo y A. De Jesús Navarrete. Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia. Universidad de Quintana Roo, México. pp 205-210.
- Carrión J., J. González, M. Rivero, V. Delgado, J. Canche, J. Pérez, y G. Calve. 2013. Estudio de la contaminación por descargas de aguas residuales en la bahía de Chetumal, Quintana Roo. *Tecnocultura* 30: 6-12.

- CONABIO. 2012c. Lista de áreas prioritarias marinas de México. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Mlistado.html> (Consultado:21/11/2016).
- CONABIO. 2012a. Listado de regiones terrestres prioritarias. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html> (Consultado: 21/11/2016).
- CONABIO, 2012b. Listado de regiones hidrográficas prioritarias. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html> (Consultado: 21/11/2016).
- Cross, F.A. and G. Sunda, 1978. Relationship between bioavailability of trace metals and geochemical processes in estuaries. 429-442. En: Wiley, L. (Ed.). Estuarine interactions. Academic, New York. 603 p.
- Davis, R.A. 1978. Principles of oceanography. Reading Addisonwesley Publishing Company, Massachusetts. p.p. 505.
- De Luca R., W. Haekel., I. Moreira., R. Santelli. 1986. The fate of heavy metals in an estuarine tropical system. Marine Chemistry 18: 215-225.
- Díaz O., F.E., Lizandro., J. Becerra., J. Cabello., A. Figueroa y F. Muñoz. 2001. Influencia de variables estacionales, espaciales, biológicas y ambientales en la bioacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Tagelus dombeii*. Revista de Biología Marina y Oceanografía 36(1): 15-29
- Ganiveth M., P. Castro A. y L. Utria Padilla. 2008. Bioacumulación de Cadmio en ostras de la Bahía de Cartagena. Rev. Ing. Univ. Medellín. 7(13): 1-8.
- Garay, J., G. Ramírez, J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizo, L. Lesmes, J. Sánchez, H. Lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físico-químicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, serie documentos generales No. 13, Santa Marta. 177 p.
- García-Ríos, V. y G. Gold-Bouchot, 2002. Especiación de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, y la acumulación en el tejido muscular de bagres (*Ariopsis assimilis*). In: F. Rosado-May, R. Romero-Mayo, y De Jesús-Navarrete, A. Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia. Universidad de Quintana Roo, México. pp. 143-148.
- González B., J., J. Carrión J.Y., O. Gamboa y C. Díaz L. 2008. Contaminación de la bahía de Chetumal por metales pesados, materia orgánica y nutrientes producidos por las descargas de aguas residuales municipales. Caos Conciencia. pp, 5-11.

- González, J.L., C. C. Díaz L. y J. Carrión J. 2006. Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 72(1): 19-31.
- Gutiérrez G., E.A., D. Casas-Beltrán, A. Muñoz-Barbosa, J. Macías-Zamora, J. Segovia-Zavala, M. Orozco-Borbón y L. Daessle. 2007. Distribución espacial y enriquecimiento de mercurio en sedimentos superficiales de la costa noroccidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 33(4): 473-482.
- Head, P.C. 1976. Organic processes in estuaries. *In: Burton, J.D. y P.S. Liss (Eds.). Estuarine chemistry.* Academic London. 229 p.
- Hlavay, J., T. Prohaska, M. Weisz, W. Wenzel and G. J. Stingeder. 2004. Determination of trace elements bound to soils and sediment fractions. (Informe Técnico de la IUPAC). *Pure Applied Chem.* 76:415-442.
- INE. 2001. Áreas naturales protegidas de México con decretos estatales, Vol. 2. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT. México. 1014 p.
- López A., H., H. Hernández-Arana, A. Zaldívar-Jiménez y J. Herrera-Silveira. 2010. Variación en la estructura, salinidad intersticial y producción de hojarasca en manglares de la Bahía de Chetumal, México. *In: Primer Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar.* SEMARNAT. Mérida, Yucatán. p. 153.
- Naranjo-Sánchez, Y. y W. Troncoso-Olivo. 2008. Contenidos de cadmio, cobre, zinc y plomo en órganos de *Rhizophora mangle* de la ciénaga grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 37(2): 107-129.
- NOM-001-ECOL-1996 (Norma Oficial Mexicana). 1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-059-Semarnat-2012 (Norma Oficial Mexicana). 2012. La cual establece las especies nativas de México de flora y fauna silvestre. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo.
- Ortiz, M. and J. Saenz. 1997. Detergents and orthophosphates inputs from urban discharges to Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Environmental Contamination and Toxicology* 59: 486-491.
- Ortiz-Hernández, M., J.Carmona-de la Torre y J. Flores-Rodríguez. 2009. Generación, manejo y destino de las aguas residuales de la ciudad de Chetumal: situación actual. *In: J. Espinoza Avalos, G. Islebe y H. Hernández Arana. El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del Mar Caribe, El colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México.* pp 196-204.
- Rojas M., A. y B. Morales V. 2002. Metales en huesos y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *In: F. Rosado-May, R. Romero-Mayo, y A. De Jesús-Navarrete. Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia.* Universidad de Quintana Roo, México. pp. 133-142.

- Sadiq, M. 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker. New York. 390 p.
- Tsai, L.J., K.C. Yu, J.S. Chang and S.T. Ho. 1998. Fractionation of heavy metals in sediments cores from the Ell-Ren River Taiwan. *Water Science Technology* 37: 217-224.
- Yu, K.C., L.J. Tsai, S.H. Chen and S.T. Ho. 2001. Correlation analysis on binding behaviour of heavy metals with sediment matrices. *Water Res.* 4: 2417-2428.

METALES PESADOS (Cd, Cr, Pb, Hg) EN *Rhizophora mangle* EN RÍO Y BAHÍA DE CHETUMAL¹

[HEAVY METALS (Cd, Cr, Pb, Hg) IN *Rhizophora mangle* IN CHETUMAL BAY AND RIVER]

Carlos Francisco Ochoa Jiménez[§], José Luis González Bucio², José Manuel Carrión Jiménez²

¹Estudiante de posgrado del Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Chetumal (ITCh), ²Profesor Investigador-UQROO. Chetumal, Quintana Roo. México. C. P. 77019. Tel. 01(983) 50300. k_lo_5@hotmail.com, jmcariion@uqroo.edu.mx. [§]Autor para correspondencia: (buciojos@uqroo.edu.mx).

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la determinación del contenido de Cd, Cr, Pb y Hg en agua y la especie de mangle *Rhizophora mangle* en Río Hondo y Bahía de Chetumal, Quintana Roo, con el objetivo de determinar las concentraciones de metales pesados y su posible relación con las variables ambientales. Se muestrearon 6 puntos correspondientes a zonas con actividad antrópica diversa. Las muestras se digirieron bajo la ISO11466 y se analizaron mediante la ISO11047 utilizando un EAA marca Varian Spectra 220. Las muestras de agua y raíces de mangle presentaron concentraciones de Pb y Hg superiores a los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la legislación mexicana. No obstante, las concentraciones de Cd y Cr se encontraron por debajo del LMP. La especie *Rhizophora mangle* presentó bioacumulación de los metales Hg y Pb, por lo que se considera un buen indicador de contaminación por metales pesado en ecosistemas estuarinos. El análisis de componentes principales denotó buena correlación lineal de los metales Hg y Pb con el parámetro pH, por lo que puede ser el factor de la biodisponibilidad en el medio acuático y la bioacumulación en las raíces del mangle.

Palabras clave: *Rhizophora mangle*, contaminación, bioindicador.

ABSTRACT

In this paper the determination of Cd, Cr, Pb and Hg in water and mangrove species (*Rhizophora mangle*) in River Rio Hondo and Chetumal Bay, Quintana Roo, were carried out to determine the

¹ Recibido: 05 de mayo de 2016.
Aceptado: 15 de diciembre de 2016.

concentrations of heavy metals and their relationship with environmental variables. Six points corresponding to areas with diverse anthropogenic activity were sampled. Samples were digested under ISO11466 and analyzed using ISO11047 using a Varian Spectra 220 EAA. Water and mangrove roots samples had Pb and Hg concentrations above the maximum permissible limits (LMP) established by Mexican law. However, concentrations of Cd and Cr were found to be below the PML. The species *Rhizophora mangle* presented bioaccumulation of the metals Hg and Pb, reason why it is considered a good indicator of contamination by heavy metals in estuarine ecosystems. The main components analysis showed good linear correlation of the Hg and Pb metals with the pH parameter, which may be the factor of bioavailability in the aquatic environment and bioaccumulation in the roots of the mangrove.

Index words: *Rhizophora mangle*, pollution, bioindicator.

HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MERCADOS SEMANALES EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA¹

[HISTORY AND CURRENT SITUATION OF WEEKLY MARKETS OF OAXACA'S CENTRAL VALLEYS]

Nancy Gabriela Molina Luna^{1§}, Gisela Virginia Campos Ángeles²

¹Estancia Posdoctoral Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. ²Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. [§]Autor para correspondencia: (ycnan_moli@hotmail.com).

RESUMEN

Los mercados de México constituyen una de las principales características de las sociedades mesoamericanas. La información más antigua que se conoce acerca de los estos lugares data de la época de los mexicas. El sistema de mercados del estado de Oaxaca, conserva desde la época prehispánica una organización cíclica, en donde operan una serie de mercados semanales (plazas o tianguis) a manera de rotación en distintos días de la semana y en diferentes lugares (Cook y Diskin, 1990), en los que se puede encontrar una gran cantidad de productos. El objetivo del presente trabajo fue recopilar información que aportara elementos históricos y de la situación actual de los mercados semanales de los Valles Centrales. Se realizó la búsqueda de información en documentos históricos, libros y revistas para estructurar en el presente documento. Se señalan las características de cinco mercados, ubicados en la Central de Abasto de la Cd. de Oaxaca, Etlá, Ocotlán, Tlacolula y Zaachila. Además se describe la riqueza de elementos bioculturales asociados a dichos lugares, lo que les brinda características específicas en relación con otros mercados semanales del estado y del país. Se concluye que los mercados semanales de los Valles Centrales de Oaxaca son centros de intercambio cultural y de material genético. En ellos se realizan tanto transacciones monetarias como intercambios en especie, lo cual forma parte de la cultura y tradición milenarias de la región de estudio.

Palabras clave: Economía campesina, intercambio, patrimonio biocultural, reciprocidad.

¹ Recibido: 21 de noviembre de 2016.
Aceptado: 12 de diciembre de 2016.

ABSTRACT

Mexico's markets are one of the main characteristics of Mesoamerican societies. The oldest known information about these places dates back to the epoch of the Mexicas. The market system of the state of Oaxaca has retained a cyclical organization since the pre-Hispanic period, where a series of weekly markets (named “plazas” or “tianguis”) operate in rotation on different days of the week and in different places (Cook and Diskin, 1990), where a large number of products can be found. The aim of this study was to gather information that could bring to historical elements and of the current situation of weekly markets in Central Valleys. We searched for information in historical documents, books and journals to structure this document. The characteristics of five markets, Central de Abasto of Oaxaca City, Etla, Ocotlán, Tlacolula and Zaachila are indicated. This research also describes the richness of biocultural elements associated with these places, which gives them specific characteristics in relation to other weekly markets of the state and country. It is concluded that the weekly markets of the Central Valleys of Oaxaca are centers of cultural exchange and genetic material. In them both monetary transactions and exchanges in kind are carried out, which is part of the millenary culture and tradition of the study region.

Index words: Peasant economy, exchange, biocultural patrimony, reciprocity.

INTRODUCCIÓN

Diversos autores afirman que los mercados son terrenos fértiles para la realización de numerosos estudios (Bye y Linares, 1983; Giraldo *et al.*, 2009). Las ciencias sociales son las que han realizado un mayor número de investigaciones en los mercados y tianguis de México, principalmente en el campo de la Antropología y la Economía, mientras que las investigaciones de las ciencias biológicas han sido realizadas en un menor grado (Bye y Linares, 1983). En los mercados tradicionales que se establecen en diversos lugares del país, principalmente en el área mesoamericana, se observa un reflejo del aprovechamiento de los recursos naturales (Martínez *et al.*, 2006). Estos lugares son conocidos por su importancia en la vida económica y social de las comunidades (Whitaker y Cutler, 1966).

Cook y Diskin (1990), afirman que las investigaciones realizadas en los mercados tradicionales sirven como un punto estratégico de entrada a la sociedad, la economía y las relaciones ecológicas en el área de Mesoamérica. Por lo tanto, los mercados (ya sean permanentes o semanales) representan una fuente de información para conocer los patrones de subsistencia, los cultivos, los alimentos recolectados, las formas de producción y el grado de domesticación de las especies, permiten conocer los productos de la región y aportan datos sobre su procedencia (Hernández-Xolocotzi *et al.*, 1983; Senties, 1984; Nicholson y Arzeni, 1993; García, 2002).

Particularmente, las plantas silvestres utilizadas con fines alimentarios, medicinales, ornamentales y ceremoniales se encuentran entre los productos forestales no maderables más extraídos y comercializados en los mercados tradicionales mexicanos (Ugent, 2000; Flores y Valencia, 2007; Reuter, 2009; Monteiro *et al.*, 2010; Munguía *et al.*, 2010; Cabrera *et al.*, 2012). Paré (1975) señala que los mercados tienen un papel primordial como canales centrales en la articulación de la economía campesina. Eder (1975), realizó un estudio en las plazas de la Costa Oaxaqueña en el cual revela que dichos lugares pueden considerarse como microcosmos, ya que contienen un conjunto representativo del ambiente regional y aportan una perspectiva del contexto humano y biofísico.

Por lo que, el objetivo de la investigación fue recopilar información que aportara elementos históricos y de la situación actual que guardan los mercados semanales de los Valles Centrales.

DESARROLLO

Una aproximación al sistema de mercados de México

Los mercados semanales (tianguis) de México constituyen una de las principales características de las sociedades mesoamericanas. La información más antigua que se conoce acerca de estos lugares data de la época de los mexicas. El sistema de mercado del imperio azteca fue un sistema altamente desarrollado social, política y económicamente, con un mecanismo de intercambio, integrado por diversos grupos étnicos y diferentes zonas ecológicas (Bye y Linares, 1990). Los tianguis (*tianquiztli* en náhuatl) tenían un papel importante en el comercio, ya que servían como espacios donde se reunían un día a la semana los productores de lugares cercanos para vender, comprar e intercambiar distintos productos (Iglesias, 2002); en los tianguis se establecían los vendedores que ofrecían tanto productos de la región como productos traídos de sus viajes, destacando frutos exóticos, diversas plumas, pieles de animales, objetos de cerámica, instrumentos líticos de lujo y ceremoniales, joyas, así como hierbas medicinales, entre otros (Bellucci, 2002).

Soustelle (1970), indica que a principios del siglo XVI, una de las clases sociales que iba en ascenso era la de los comerciantes, ya que una gran cantidad de mexicas o aztecas se dedicaban al comercio, permanentemente o de manera ocasional. Clavijero (2003), señala que en esa época había una infinidad de mercaderes mexicanos que iban de mercado en mercado por todas las provincias del imperio, ya que en todos los lugares del imperio mexicano y en toda la tierra de Anáhuac había un mercado todos los días. Soustelle (1970), narra la vida de los mercados del siglo XVI de la siguiente manera: *“campesinos que vendían en el mercado su maíz, sus verduras, sus aves; mujeres que, en la calle, ofrecían toda clase de platos y guisos; comerciantes en telas, en sandalias, en pieles, en bebidas, en vasijas, en cuerdas, en pipas, en utensilios diversos; pescadores que llevaban todos los días los peces, las ranas y los crustáceos del lago.”* También

señala que el tipo de comerciantes que vendían en los tianguis eran de pequeña y mediana categoría, y por lo tanto, no formaban una clase específica de la población, ya que el título de *pochteca* (que significa comerciantes), estaba reservado a los miembros de las poderosas organizaciones que tenían la carga y el monopolio del comercio exterior. En aquella época existían corporaciones de comerciantes en unas diez ciudades y aldeas del centro, como son: Texcoco, Azcapotzalco, Huitzilopochco, Huexotla, Cuauhtitlán, Coatlinchan, Chalco, Otumba, Tenochtitlán y Tlatelolco. Bye y Linares (1990) mencionan que los primeros españoles que llegaron a México quedaron maravillados por la riqueza, el tamaño, la complejidad y el buen funcionamiento de los mercados de la Triple Alianza (una confederación de estados indígenas del Valle de México del siglo XV, compuesta por Tenochtitlan, Texcoco y Tlacopan).

El tianguis de Tlatelolco era considerado el más grande del mundo prehispánico, estaba fundado sobre una gran explanada rodeada de caminos y canales navegables por los cuales llegaban los usuarios a demandar los diversos productos que ahí se expendían al aire libre (Rodríguez, 2007). Los habitantes de Tlatelolco eran conocidos por su habilidad para el comercio, y después de la conquista, Tlatelolco se convirtió en el barrio principal para el comercio en México. Al respecto, en el libro del Conquistador Anónimo (1941), se indica que todos los días se reunían en la plaza de Tlatelolco de veinte a veinticinco mil personas para comerciar, y que cada cinco días se realizaba el día de mercado, en el cual se podían observar de cuarenta a cincuenta mil personas. Díaz-del Castillo (1983), describe su encuentro con el tianguis de Tlatelolco de la siguiente manera: *“Cuando llegamos a la gran plaza, como no habíamos visto tal cosa, quedamos admirados de la multitud de gente y mercaderías que en ella había y del gran concierto y regimiento que en todo tenían. Y los principales que iban con nosotros nos lo iban mostrando. Cada género de mercaderías estaban por sí, y tenían situado y señalados sus asientos. Comencemos por los mercaderes de oro y plata y piedras ricas, plumas y mantas y cosas labradas, y otras mercaderías de indios esclavos y esclavas. Traían tantos de ellos a vender aquella plaza como traen los portugueses los negros de Guinea, y traíanlos atados en unas varas largas con colleras a los pescuezos, porque no se les huyesen, y otros dejaban sueltos. Luego estaban otros mercaderes que vendían ropa más basta y algodón y cosas de hilo torcido, y cacahuateros que vendían cacao, y de esta manera estaban cuantos géneros de mercadería hay en toda la Nueva España, puesto por su concierto, de la manera que hay en mi tierra, que es Medina del Campo, donde se hacen las ferias, que en cada calle están sus mercaderías por sí; así estaban en esta gran plaza, y los que vendían mantas, de henequén y sogas y cotaras, que son los zapatos que calzan y hacen del mismo árbol, y raíces muy dulces cocidas, y otras rebusterías, que sacan del mismo árbol, todo estaba en una parte de la plaza; y cueros de tigre, de leones y de nutrias, y de adives y venados y de otras alimañas y tejones y gatos monteses, de ellos adobados y otros sin adobar, estaban en otra parte, y otros géneros de cosas y mercaderías. Pasemos adelante y digamos de los que vendían frijoles y chíá y otras legumbres y yerbas a otra parte. Vamos a los que vendían gallinas, gallos de papada, conejos, liebres, venados y anadones, perrillos y otras cosas de este arte, a su parte de la plaza. Digamos de las fruterías, de las que vendían cosas cocidas, mazamorreras y malcocinado, también a su*

parte... Ya querría haber acabado de decir todas las cosas que allí se vendían, porque eran tantas de diversas calidades, que para que lo acabáramos de ver e inquirir, que como la gran plaza estaba llena de tanta gente y toda cercada de portales, en dos días no se viera todo”.

Mientras que Soustelle (1970), señala que en el tianguis de Tlatelolco *“había en todas partes un amontonamiento prodigioso de mercancías, una abundancia inaudita de artículos de todo género que una muchedumbre compacta –llena de rumores, pero de ninguna manera ruidosa, tal como son todavía los indígenas actuales, serios, reposados– rodeaba deambulando alrededor de las canastas”*, además de que *“todo el día, y ciertamente ello constituiría un placer, se podía deambular de un lado a otro en esta fiesta comercial, hacer sus comidas, encontrar parientes o amigos, ... discutir pausadamente con una indígena en cuclillas detrás de sus verduras, divertirse ante la cara asombrada de un otomí que ha venido de las montañas para vender algunas pieles de animales, o contemplar con envidia la prosperidad de un pochtecatl recién llegado de las fabulosas regiones del sureste, con sus plumas de guacamayo y sus joyas de jade translúcido”*. En los tianguis prehispánicos, los vendedores mexicas se dividían en dos grupos: uno dedicado al negocio interregional que trataba con artículos de lujo, y un segundo grupo mucho más amplio de comerciantes que además de negociar, se dedicaban a la agricultura, artesanías o a otros oficios (Van Zantwijk, 1970). Además, Durán (1984) señala que durante la época prehispánica el único lugar donde se podía intercambiar cualquier tipo de mercancías a través de un sistema de trueque bien establecido era el mercado.

Después de la conquista de Tenochtitlán, la Nueva España fue construida sobre el recinto ceremonial mexica, esta ciudad era habitada únicamente por españoles y era más conocida con el nombre de “la traza”. En el centro de dicha ciudad de la traza estaba el control administrativo, comercial y religioso de la Colonia. La plaza de armas recibía el mercado cotidiano y se convirtió en el centro comercial más grande de la Nueva España, destronando al mercado de Tlatelolco, el cual quedó fuera de la traza. Aunque el mercado se encontraba dentro de la ciudad española, se podía observar a indígenas, mestizos, mulatos, negros y españoles. Los vendedores eran principalmente indígenas que vendían principalmente frutas, verduras, huevos, carne, animales, algodón, plantas que instalaban sobre petates u hojas de maguey. A medida que el siglo XVI avanza se nota un cambio progresivo en el mercado, y pasa de ser puramente indígena (dominado por productos autóctonos) para convertirse en un lugar en el que se ofrecen productos mesoamericanos y españoles (Villegas, 2010). Sin embargo, Carrasco (1975), señala que los otros mercados y tianguis indígenas se continuaron celebrando en los lugares acostumbrados, cambiando la periodicidad a intervalos semanales de acuerdo con el calendario europeo. Además, el establecimiento de nuevos tianguis tenía que someterse a aprobación de parte del virrey, y los pueblos con mercados tradicionales ya establecidos protestaban ante la autorización de nuevos lugares de mercado.

Los mercados tradicionales en Oaxaca

En los mercados tradicionales todavía se conservan muchas de las características de los mercados prehispánicos, una de ellas es que permanecen en los mismos lugares en donde estaban establecidos los mercados prehispánicos del pasado (Diskin y Cook, 1975; Warman 1982). Por tales razones, distintos autores afirman que el sistema de mercados semanales tiene antecedentes en tiempos prehispánicos (Grosso, 1989; Cook y Diskin, 1990; Santos y Mendoza, 2009). Particularmente, el sistema de mercados del Valle de Oaxaca servía a los habitantes zapotecas de la región, aunque también era utilizado por los aztecas (Cook y Diskin, 1990). Malinowski y De la Fuente (1957), mencionan que en la época prehispánica, los aztecas mantenían una guarnición en el lugar en el que actualmente se ubica la ciudad de Oaxaca con el objeto de controlar algunas rutas naturales de comercio hacia el Istmo de Tehuantepec, ya que dicho lugar servía como cuello de botella para las comunicaciones, el comercio y las influencias culturales entre Centroamérica y Norteamérica. Por lo tanto, los Valles Centrales de Oaxaca han sido cultural e históricamente, el centro de control político, comercial y de comunicaciones, además de ser el cimiento de antiguas culturas prehispánicas.

Los días de plaza en el estado de Oaxaca son un sincretismo entre la herencia prehispánica, la colonia y el México independiente, en donde cada uno de los distritos del estado tiene un día en el cual se convierte en el punto más importante de distribución de productos para el área de influencia. En ellos convergen productores-vendedores, comerciantes mayoristas, detallistas y compradores de diferentes comunidades de la región con la finalidad de realizar operaciones de compra-venta de productos, principalmente de tipo alimenticio (Carrasco, 1999; Santos y Mendoza, 2009; Bonilla *et al.*, 2013). Nash (1967), denomina a este tipo de mercados como "sistemas solares de mercado" debido a que *"en su operación diaria confluyen todos los artículos de primera necesidad producidos en la región, productos de todo el país e incluso algunos objetos del comercio internacional. Alrededor del mercado principal existe una serie de pequeñas plazas que dan servicio en días específicos, y cada una de ellas por lo común se especializa en determinados productos o en la venta de una selección reducida de los artículos que se consiguen en el mercado principal. Este conjunto de objetos, compradores y vendedores, se mueve de acuerdo con los días de la semana designados para la actividad comercial en cada una de las pequeñas plazas."*

Un primer acercamiento a los mercados tradicionales de Oaxaca es el que realizaron Bronislaw Malinowski y Julio De la Fuente en la segunda mitad del año 1940. En su trabajo titulado *"La economía de un sistema de mercado en México"* ambos autores discuten la importancia y la función de los mercados del valle de Oaxaca. La estructura del sistema de mercados estaba formada por el mercado principal de la capital de Oaxaca (ubicado en la Plaza de Armas y en la Alameda del León hasta la primera mitad del siglo XIX y posteriormente reubicado en la Plaza de San Juan de Dios, en donde actualmente se ubica el mercado Benito Juárez), y de los mercados conexos dominantes de Ocotlán, Tlacolula, Etla, Zimatlán, Zaachila y

Ejutla (Malinowski y De la Fuente, 1957). Entre las aportaciones más relevantes que Malinowski y De la Fuente realizaron en su estudio se encontraban la descripción de la moneda, los diferentes tipos de pesos y medidas que eran usados en los mercados del valle, así como las transacciones comerciales, incluyendo el trueque.

Alejandro Marroquín describe otro sistema de mercados en el estado de Oaxaca, en el municipio de Tlaxiaco, perteneciente a la región Mixteca. De la misma forma que otros autores, Marroquín señala que el mercado semanal de Tlaxiaco resumía el aspecto esencial del panorama socioeconómico regional. Estudios realizados entre 1964 y 1969 por el equipo de Ralph Beals indican que las poblaciones descritas en 1940 por Malinowski y De la Fuente conservaban su plaza el mismo día, con los mismos grupos étnicos descritos y comercializaban la mayoría de productos que contabilizaron dichos autores unos años atrás. Además de estudiar algunos mercados del valle de Oaxaca, este equipo realizó estudios en la plaza de Zoogocho y en la costa oaxaqueña, concluyendo que los sistemas de mercado fungen como redes de acción entre compradores, vendedores y mercancías, por medio de un mecanismo de toma de decisiones sobre precios e intercambios (Marroquín, 1957; Cook y Diskin, 1990).

En el estudio realizado por Acevedo y Restrepo (1991), sobre “Los Valles Centrales de Oaxaca” los autores hacen hincapié en los días de plaza, en los cuales los indígenas llegaban a vender productos agrícolas y artesanales, con el dinero obtenido de la venta compraban bienes que no producían. Mientras que los comerciantes mestizos adquirían los productos de la región para redistribuirlos en los otros mercados de los Valles Centrales y en otras regiones. Dentro del sistema de mercados de Valles Centrales, estos autores distinguieron diversos tipos de vendedor-comprador, pudiendo observar operaciones de trueque y la presencia de dos tipos de intermediarios: *regatones* (que se caracterizaban por ser acaparadores del producto indígena artesanal) y *atajadores* (que controlaban los productos pecuarios, sobre todo las aves de corral y la lana), también resaltaron el empleo de unidades tradicionales de medida, como el almud, el quintal, la anega, el litro, la carga y el arroba.

En el siglo XXI se continuaron realizando distintos estudios en los mercados de Oaxaca, entre los que podemos mencionar a Coronel (2006), con su investigación realizada en los Valles Centrales de Oaxaca en la que señala la importancia de los mercados de la región. Así como Arellanes (2010), con su trabajo en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán donde resalta la importancia de los productos vegetales. Ambas autoras coinciden en que la mayoría de los vendedores indígenas que acuden a ofrecer sus productos a los distintos mercados son minoristas y comercializan mercancías especiales, las cuáles se recolectan o producen en pequeña escala en las localidades de los alrededores.

La suma de estos trabajos evidencia la riqueza biocultural de los pueblos originarios de Oaxaca, quienes acuden a vender, comprar o intercambiar sus productos, pero también a reproducirse socialmente en estos lugares de encuentro.

Situación actual de cinco mercados de los Valles Centrales

Argueta (2016), menciona que Oaxaca y especialmente los Valles Centrales, se encuentran entre los lugares predilectos por quienes se dedican al estudio de los tianguis o mercados. En estos lugares destaca la riqueza de especies vegetales presentes, ya sean semillas, hojas, raíces o plantas enteras provenientes de sitios como cultivares, huertos familiares o bosques, de tal forma que las especies vegetales siempre se encuentran en mayor proporción que las especies animales y de hongos que también concurren al mercado.

El sistema regional de mercados semanales o plazas en los Valles Centrales se organiza en función de una periodización semanal y muestra cierta jerarquía. El mercado primario lo constituye la plaza de la ciudad de Oaxaca, la Central de Abasto, que todos los días funciona como un mercado establecido y los días martes, viernes y sábado es aún más concurrida. En la región, cada distrito cuenta con un día de plaza: Domingo Tlacolula, Martes Centro (cd. de Oaxaca), Miércoles Etla y Zimatlán, Jueves Zaachila y Ejutla, Viernes Ocotlán y Centro (cd. de Oaxaca) y Sábado Centro (Cd. de Oaxaca) (Acevedo y Restrepo, 1991; Santos y Mendoza, 2009; Molina, 2015).

En el presente estudio se analiza la importancia de cinco mercados semanales que componen la región, los cuales poseen características propias que los distinguen a unos de otros, sin embargo, se pueden considerar cinco aspectos que comparten entre sí: 1) cuentan con uno o más “días de plaza” en los que acuden un mayor número de vendedores y compradores; 2) se localizan en lugares estratégicos de la región (cabeceras distritales); 3) en los días de plaza convergen personas de sitios aledaños a la localidad donde se ubica el mercado, la mayoría de ellos son indígenas o campesinos; 4) todavía se realiza el intercambio de productos no monetizado; 5) son lugares de encuentro, de socialización e intercambio, una expresión de la pluralidad cultural, étnica y lingüística (Molina, 2015). La información existente acerca de la situación actual de los mercados de los Valles Centrales de Oaxaca, corresponde a la comercialización de plantas silvestres y arvenses, así como al intercambio no monetizado de productos.

Central de Abasto, Oaxaca de Juárez

Desde septiembre de 1978, al mercado principal en la ciudad de Oaxaca se le conoce con el nombre de Central de Abasto, y se localiza en la Av. Periférico S/N. Coronel (2006), indica que la Central de Abasto es el eje del sistema de mercados de los Valles Centrales y abastece tanto a los habitantes de la capital oaxaqueña, como a los poblados vecinos de las distintas regiones que conforman el estado. La Central de Abasto es el mercado más grande del estado, se caracteriza por la gran afluencia de vendedores y compradores así como por la variedad y cantidad de productos que ahí se ofertan. Ocupa una amplia zona de la ciudad (aproximadamente cuatro hectáreas) donde se encuentran locales comerciales con diversos productos como frutas, verduras, carne, pan, artesanías, cestería, comida, entre muchos otros. Originalmente sólo existía un día de

plaza (los sábados), pero en la actualidad la “plaza grande” como la denominan los vendedores, se realiza los días martes, viernes y sábados. En estos días, el mercado rebasa su perímetro normal y recibe vendedores y compradores de las ocho regiones geográficas que conforman el estado, además de comerciantes de frutas y verduras provenientes de los estados de Puebla y México, quienes colocan sus puestos sobre las calles que rodean el mercado.

En los días de plaza la Central de Abasto alberga hasta 120 puestos temporales “propios”, aquellos que comercializan lo que recolectan en ecosistemas circundantes a su comunidad o los excedentes que producen en huertos familiares o parcelas (Vásquez *et al.*, 2009; Arellanes y Casas, 2011; Molina *et al.*, 2014). Los vendedores propios de la Central de Abasto se dedican principalmente a la comercialización de hortalizas, de éstos un 4% se dedica a la comercialización de plantas silvestres y arvenses principalmente de uso medicinal y comestible. Sin embargo, a principios de diciembre se pueden encontrar alrededor de 40 puestos de vendedores temporales que sólo llegan en esta época, y que ofertan plantas silvestres que se utilizan para adornar los nacimientos navideños. Algunos son vendedores propios y otros “acopiadores” o “revendedores” (tienen un mayor volumen de venta que los propios, debido a que adquieren la mercancía de dos o más recolectores-vendedores). Durante estas fechas se puede observar una gran diversidad de especies de orquídeas, bromelias, helechos y musgos (Molina, *et al.*, 2014; Molina, 2015; Molina-Luna *et al.*, 2015).

En la Central de Abasto de la ciudad de Oaxaca todavía se realizan prácticas de intercambio no monetizado de productos, sobre todo aquellos vendedores que se denominan “propios”, ya sea con otros vendedores o con personas provenientes de comunidades cercanas a la ciudad y que traen productos locales como flores, principalmente especies silvestres ornamentales de las familias Orchidaceae y Bromeliaceae, frutos como el chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.), chilacayota (*Cucurbita ficifolia* Bouché), granada de moco (*Passiflora ligularis* Juss), durazno (*Prunus persica* L.) y productos elaborados como pan y tortilla (Molina-Luna y Arellanes, 2016).

Mercado de Etlá

El mercado de la Villa de Etlá se encuentra ubicado en el centro de esta población, ahí se ofrecen productos típicos de la Villa como quesillo, requesón, pan, comida y antojitos regionales (quesadillas, memelas, tamales, entre otros). Todos los miércoles se instala la plaza donde concurren personas tanto del valle de Etlá como de las regiones de la Sierra Norte, Mixteca y Cañada. En el día de plaza los puestos improvisados se colocan entre las calles aledañas al mercado, ahí se puede observar principalmente la venta de frutas y verduras, granos, especias, pan, tortillas, trastes de barro y ropa. En el mercado de Etlá los vendedores propios no se encuentran entre las calles del tianguis que es donde se realiza el mayor movimiento de compra-venta, sino que se localizan en áreas marginales del mercado, como son los cuatro accesos principales, los pasillos, las escalinatas de entrada o en la plazuela del mismo (Figura 1).



Figura 1. Vendedora de plantas silvestres del mercado de Etlá. Foto: Nancy Gabriela Molina Luna.

En el día de plaza de este mercado ha aumentado la presencia de revendedores de frutas y verduras provenientes de la ciudad de Oaxaca y del estado de Puebla. Cada vez hay menos vendedores propios de comunidades aledañas que ofrezcan productos locales. Los días que anteceden a las festividades del Día de Muertos se pueden encontrar un mayor número de vendedores de plantas silvestres y arvenses, quienes ofertan diversas especies de flores de los géneros *Tagetes* y *Stevia*, las cuales son muy apreciadas por su aroma y se utilizan principalmente para adornar los panteones y los tradicionales altares de muertos (Molina, *et al.*, 2014; Molina, 2015). Los vendedores propios señalan que durante la plaza de los miércoles todavía se practica la costumbre del cambio o trueque, incluso aún se conserva en lengua indígena la palabra con la que se denomina a esta acción en una de las variantes del zapoteco de la Sierra Norte: *utzariu*. El principal producto de intercambio es el ocote de pino (*Pinus montezumae* Lamb.), el cual es utilizado por quienes cocinan con leña productos como tortillas, tamales y pan. El ocote puede canjearse por dichos productos o por frutas de la temporada (Molina-Luna y Arellanes, 2016). El trueque se realiza por ambas partes con el fin de cubrir una necesidad y no para obtener ganancias, lo cual es parte de la lógica campesina, por lo tanto el intercambio se realiza de manera preconcebida y bajo acuerdos consuetudinarios (Ferraro, 2002; Tocancipá, 2008; Gatti, 2009; León, 2010; Arellanes y Casas, 2011; Molina-Luna y Arellanes, 2016).

Mercado de Ocotlán

El día de plaza se realiza cada viernes en las calles que rodean el mercado, el palacio municipal y el zócalo de la comunidad. En este día se expenden todo tipo de objetos y comida, productos como petates, trozos de cal para las tortillas, tejate, monturas y estribos de cuero labrado, productos derivados del maguey (*Agave spp.*), chiles, semillas, especias, frutas y pan. En el día de plaza, la mayoría de los puestos que forman el tianguis son de revendedores, sólo algunos vendedores propios comercian sus verduras y frutas en pequeñas cantidades sobre la banqueta que se encuentra frente a la iglesia, otros se ubican a un costado del mercado, junto a los puestos de comida y nieves. Regularmente se pueden encontrar tres vendedores de plantas silvestres o arvenses (como chepil o poleo) en un día de plaza, sin embargo, es en la temporada navideña cuando llegan al tianguis hasta 15 vendedores con especies silvestres como orquídeas y bromelias recolectadas de los bosques circundantes (Figura 2).



Figura 2. Vendedora de frutas y flores en el mercado de Ocotlán, Oaxaca. Foto: Nancy Gabriela Molina Luna.

A pesar de que en los días de plaza se ofrecen platillos típicos de la región como pan, empanadas de amarillo, carnes asadas y dulces regionales, así como productos artesanales de acero forjado entre los que destacan cuchillos, dagas y machetes, los cuales pueden atraer al turismo nacional y extranjero, el mercado de Ocotlán no se ha promovido en este aspecto y la mayoría de personas que llegan a comprar provienen de localidades cercanas (Molina, 2015).

En el día de plaza del mercado de Ocotlán, también se practica el canje o “feriado”, como se le denomina en la región, además de recibir el nombre de *cheená* o *chiané* en la lengua indígena zapoteca de la Sierra Sur. En este mercado, el feriado lo realizan tanto los vendedores propios como las personas provenientes de comunidades cercanas al municipio de Ocotlán de Morelos, los principales productos intercambiados son: flores silvestres de la familia Asteraceae con uso mágico-religioso, es decir, plantas que pueden ser utilizadas con fines curativos, de prosperidad, de hechicería e incluso como adornos en festividades religiosas (Pino y Ramírez, 2009), frutos de temporada como el limón (*Citrus limón* (L.) Osbeck), tejocote (*Crataegus pubescens* (C. Presl) C. Presl), manzana criolla (*Malus sylvestris* L.) chilacayota (*Cucurbita ficifolia* Bouché) y pera criolla (*Pyrus communis* L.). Productos elaborados como pan, tlayudas (tortilla originaria de los Valles Centrales de Oaxaca que mide más de 30 centímetros de diámetro y posee larga vida de anaquel) y mezcal (Molina-Luna y Arellanes, 2016).

Mercado de Tlacolula de Matamoros

Domingo es el día en el que convergen desde hace siglos, los pobladores de las regiones aledañas para realizar la plaza de Tlacolula. A este mercado acuden tanto mixes, como zapotecas de la Sierra Juárez y del Istmo a vender sus productos (Malinowski y De la Fuente, 1957; Coronel, 2006). Las calles que abarca el tianguis son aproximadamente diez, alrededor del mercado y la iglesia, así como cerca del sitio de taxis; se pueden encontrar puestos con una variedad de productos como huaraches, ropa típica de la región, artesanías, cinturones, frutas, verduras, semillas e incluso puestos de comida, lo que hace del mercado de Tlacolula un sitio que atrae visitantes de la Ciudad de Oaxaca e incluso turistas nacionales y extranjeros.

Este tianguis ocupa el segundo lugar en tamaño de los tianguis de los Valles Centrales, sin embargo, cuenta con un número reducido de vendedores propios. En un día de plaza se pueden encontrar de 10 a 15 puestos de vendedores con productos propios cultivados; los vendedores se encuentran sentados en el suelo entre los puestos más grandes o en las últimas calles que conforman el tianguis. Es muy difícil encontrar en un día de plaza normal a un vendedor de especies silvestres o arvenses, la mayoría de estas especies se comercializan por temporada, de acuerdo con alguna festividad religiosa como el Día de Muertos o la Navidad. Para la primera festividad es muy común encontrar puestos con grandes cantidades de flores de la Familia Asteraceae, principalmente del género *Stevia*, recolectadas de comunidades cercanas a Tlacolula (Figura 3). Mientras que para la época navideña se comercializan en pequeña escala algunas especies de orquídeas y bromelias, las cuales se recolectan principalmente en los bosques de comunidades mixes de la Sierra Norte y de comunidades del valle de Tlacolula (Molina, 2015).

En los días de plaza de Tlacolula todavía se practica el trueque o cambio, sin embargo, los productos intercambiados se reducen a especies silvestres como el poleo (*Clinopodium mexicanum* (Benth.) Govaerts), que es utilizado como sazónador en diversas comidas típicas de Oaxaca, así como diversas flores del género *Stevia*, las cuales tienen uso mágico-religioso. Los

vendedores provenientes de lugares cercanos a Tlacolula, en donde todavía se habla el zapoteco del valle, conocen al cambio con el nombre de *ixchá binni* (Molina-Luna y Arellanes 2016).



Figura 3. Comercialización de especies de la Familia Asteraceae, previo a las festividades del Día de Muertos en el mercado de Tlacolula, Oaxaca. Foto: Nancy Gabriela Molina Luna.

Mercado de Zaachila

El día de plaza es el jueves, este mercado es de los más coloridos y con una gran diversidad de productos de la región como flores, frutas, verduras, plantas medicinales, semillas, granos, puestos de comida, etc. Es un punto de reunión importante tanto para vendedores como para compradores de las comunidades aledañas. Los comerciantes de Zaachila clasifican los productos agroalimentarios en frutas, verduras, hortalizas, hierbas aromáticas, semillas y otros alimentos, dichos productos cambian en función de la estación del año, de festividades como el Día de Muertos y Semana Santa, así como de los requerimientos y hábitos de consumo (García *et al.*, 2008; Meléndez y Cañez, 2010; Londoño-Aldama y Navas, 2011; Castellón, 2012; Guzmán *et al.* 2016). El mercado destaca entre las otras plazas por el número de vendedores propios de plantas silvestres y arvenses, pudiendo encontrar hasta 7 en un día de plaza normal, mientras que en las festividades del Día de Muertos, Navidad y Semana Santa el número aumenta a 30 o más (Arellanes y Casas, 2011; Molina *et al.*, 2014; Guzmán *et al.* 2016), debido al incremento en la demanda de especies silvestres, las cuales son muy apreciadas para adornar los altares e iglesias en Semana Santa (Solano *et al.*, 2010), los nacimientos en Navidad (Arellano-Mijangos y Ortiz-Gil, 2004; Mondragón, 2008; Mondragón y Villa-Guzmán, 2008) y principalmente los tradicionales altares de muertos, que es la fecha en la que acude el mayor número de vendedores propios de plantas silvestres y arvenses (Figura 4).



Figura 4. Familia de vendedores propios de plantas silvestres y cultivadas en el mercado de Zaachila. Foto: Nancy Gabriela Molina Luna.

En su día de plaza se presenta la mayor proporción de personas que fomentan y generan el trueque. En dicha comunidad, el intercambio de productos se realiza de manera deliberada, espontáneamente desde un inicio de la plaza. La mayoría de los vendedores realiza el trueque o cambio y esta actividad la transmiten de generación en generación. A diferencia de las otras plazas, aquí se canjean todo tipo de productos, nopales (*Opuntia* spp.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pan, flores silvestres, ocote (*Pinus montezumae* Lamb.), carbón, mandarinas (*Citrus reticulata* Blanco), tlayudas, chepiles (*Crotalaria pumila* Ort.), chapulines (*Sphenarium purpurascens* Ch.), queso, entre muchos otros (Figura 5) (Molina-Luna y Arellanes, 2016). En el mercado de Zaachila todavía se pueden encontrar olores, colores y sabores característicos de la cultura campesina e indígena de la región, las cuales le imprimen un sello distintivo al día de plaza, convirtiéndolo en un lugar no sólo de intercambio sino también de socialización, un día de fiesta para propios y extraños (Molina, 2015).

CONCLUSIONES

Los mercados semanales de los Valles Centrales de Oaxaca tienen una configuración diferente y resultan una alternativa económica para las personas que acuden a ellos, además son centros de intercambio cultural y de material genético. En ellos se realizan tanto transacciones monetarias como intercambios en especie, lo cual, además de ser una forma de abastecimiento de productos forma parte de la cultura y tradición milenarias de la región de estudio, que en muchos casos es fundamental para la supervivencia de las familias que lo practican. Los productos que se venden o intercambian en dichos lugares favorecen el bienestar social, económico y cultural, ya que cubren necesidades alimenticias, de salud, religiosas e incluso estéticas. Con la información

obtenida en el presente trabajo, se recomienda realizar estudios puntuales en los sitios de recolección de las especies silvestres comercializadas para conocer si se está ejerciendo algún tipo de presión sobre determinadas poblaciones que pueda afectar su permanencia. Realizar estudios socioeconómicos de los vendedores propios para determinar la importancia de los mercados semanales en su subsistencia e identificar los distintos actores que participan actualmente en los días de plaza.



Figura 5. Intercambio no monetizado de productos en el mercado de Zaachila, Oaxaca. Foto: Nancy Gabriela Molina Luna.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, M. e I. Restrepo. 1991. Los Valles Centrales de Oaxaca. Centro de Ecodesarrollo. Gobierno de Oaxaca. México. 173 p.
- Anónimo. 1941. El Conquistador Anónimo. Relación de algunas cosas de la Nueva España y de la gran ciudad de Temestitlán, México. Escrita por un compañero de Hernán Cortés. Editorial América. México, D. F. 55 p.
- Arellanes, Y. 2010. Plantas comestibles intercambiadas en los mercados tradicionales del Valle de Tehuacán Cuicatlán: Aspectos etnobiológicos, económicos y ecológicos. Tesis de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico. Instituto Tecnológico de Oaxaca. 202 p.
- Arellanes, Y. y A. Casas. 2011. Los mercados tradicionales del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Antecedentes y situación actual. *Revista Nueva Antropología* 74:93–124.

- Arellano-Mijangos, J. y A. Ortiz-Gil. 2004. Las bromeliáceas del estado de Oaxaca: Usos y comercialización en los mercados. XVI Congreso Mexicano de Botánica. Los retos de botánicos en un país megadiverso. Resúmenes en versión electrónica.
- Argueta, A. 2016. El estudio etnobiológico de los tianguis y mercados en México. *Revista Etnobiología*. 14 (2): 38-46.
- Bellucci, A. 2002. La herbolaria en los mercados tradicionales. *Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle* 5: 63-70.
- Bonilla, M., B. Salcido, J. Paredes, L. Aguirre, M. Méndez, y M. Hernández. 2013. La diversidad hortícola para la seguridad alimentaria en municipios marginados del estado de Puebla. *Ra Ximhai* 9(2):151-163.
- Bye, R. and E. Linares. 1990. Mexican market plants of 16th century. I. Plants recorded in *Historia Natural de Nueva España*. *Journal of Ethnobiology* 10(2): 151-168.
- Bye, R. y E. Linares. 1983. The role of plants found in the Mexican markets and their importance in ethnobotanical studies. *Journal of Ethnobiology* 3(2): 1-13.
- Cabrera, A., R. Miranda, V. Serrano and R. Pelz. 2012. Wild epiphytes sold as ornaments in the city of Queretaro, Queretaro, Mexico. 6th International Canopy Conference, Anthropogenic influence on forest canopies, Oaxaca, Mexico.
- Carrasco, P. 1975. La transformación de la cultura indígena durante la colonia. *Historia Mexicana*. 25 (2): 175-203.
- Carrasco, T. 1999. Los productores del campo en Oaxaca. *Alteridades. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM- U-I)*. México. 9(17): 95-104.
- Castellón, M., S. Chávez, J. Carrillo, y G. Vera. 2012. Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(5): 27-35.
- Clavijero, F. 2003. *Historia antigua de México*. 10ª edición. Editorial Porrúa. México. 879 p.
- Cook, S. y M. Diskin. 1990. Análisis e historia en la economía de mercado campesino del Valle de Oaxaca. In: Diskin, M. y S. Cook (Eds.). *Mercados de Oaxaca*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes - Instituto Nacional Indigenista. México, D.F. pp. 25-53.
- Coronel, D. 2006. Zapotecos de los Valles Centrales de Oaxaca. *Pueblos indígenas del México contemporáneo*. CDI. México. 55 p.
- Díaz-del Castillo, B. 1983. *Historia de la conquista de Nueva España*. Editorial Porrúa, S. A. México. 700 p.
- Diskin, M. y Cook, S. 1975. *Mercados de Oaxaca*. Instituto Nacional Indigenista y Secretaría de Educación Pública. México. 239 p.
- Durán, D. 1984. *Historia de las Indias de Nueva España y islas de la tierra firme*. 2ª. Ed. Editorial Porrúa. México. pp. 300-350.
- Eder, H. 1975. Los mercados como reflejo de la actividad económica y la cultura regional de la Costa de Oaxaca. In: Diskin, M. y S. Cook (Eds.). *Mercados de Oaxaca*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes - Instituto Nacional Indigenista. México, D.F. pp. 100-115.

- Ferraro, E. 2002. Reseña de "Trueque intercambio y valor: un acercamiento antropológico". De Humphrey, C. y Hugh-Jones, S. (Comp.). Iconos. Rev. Cienc. Soc. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Ecuador 14:150-152.
- Flores, A. y S. Valencia. 2007. Local illegal trade reveals unknown diversity and involves a high species richness of wild vascular epiphytes. *Biological Conservation* 136: 372-387.
- García, C., J. Pardío, P. Arroyo y V. Fernández. 2008. Dinámica familiar y su relación con hábitos alimentarios. *Estudios sobre las Culturas Contemporáneas* 14(027): 9-46.
- García, I. 2002. Catálogo de plantas medicinales de un mercado de la ciudad de Puebla. Gobierno del Estado de Puebla, Secretaría de Salud, Puebla. 211 p.
- Gatti, C. 2009. El fenómeno del trueque: una mirada sociológica. *Revista Pueblos y Fronteras Digital* 5(8): 264-286.
- Giraldo, D., E. Baquero, A. Bermúdez y M. Oliveira-Miranda. 2009. Caracterización del comercio de plantas medicinales en los mercados populares de Caracas, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica* 32 (2): 267-301.
- Grosso, J. 1989. El Tianguis de Tepeaca a Fines del Siglo XVIII. *Lecturas Históricas de Puebla* 27. Gobierno del Estado de Puebla. Secretaría de Cultura. Puebla, México. 23 p.
- Guzmán, K., V. Velasco, J. Ruíz, G. Campos, G. Rodríguez y J. Enríquez. 2016. Productos agroalimentarios comercializados en la "Plaza" de la Villa de Zaachila, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (4): 871-883.
- Hernández-Xolocotzi, E., A. Vargas, T. Gómez, J. Montes y F. Brauer. 1983. Consideraciones etnobotánicas de los mercados en México. *Revista de Geografía Agrícola* 4:13-28.
- Iglesias, S. 2002. Los mercados de Tenochtitlán y Tlatelolco. CONACULTA (Colección Cuadernos del CID, 2). México. 24 p.
- León, S. C. 2010. El comercio en la vía pública y el imaginario social en resistencia. El caso del tianguis de La Bola El Cotidiano. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (UAMUA). México. 159: 93-100.
- Londoño-Aldama, E. y M. Navas. 2011. Comercio tradicional de productos de gran consumo en Colombia: movilidad del consumidor. *Orinoquia* 15 (1): 103-111.
- Malinowski, B. y J. De la Fuente. 1957. La Economía de un sistema de mercados en México. *Acta Anthropologica*. Epoca 2 1(2) 187 p.
- Marroquín, A. 1957. Tlaxiaco, la ciudad mercado. Imprenta Universitaria. México. 239 p.
- Martínez, D., R. Alvarado, M. Mendoza y F. Basurto. 2006. Plantas medicinales de cuatro mercados del estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 79: 79-87.
- Meléndez, J. y G. Cañez. 2010. La cocina tradicional regional como un elemento de identidad y desarrollo local. El caso de San Pedro El Saucito, Sonora, México. *Estudios Sociales* 17(1): 182-204.
- Molina, N. 2015. Etnobotánica de plantas silvestres y arvenses comercializadas en cinco mercados de la región Valles Centrales de Oaxaca. Tesis de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico. Instituto Tecnológico de Oaxaca. 156 p.

- Molina, N., E. Martínez, Y. Arellanes, A. Arellanes, O. Hernández, G. Campos y J. Enríquez. 2014. Plantas silvestres y arvenses intercambiadas en mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(2): 69-81.
- Molina-Luna, N. y Y. Arellanes. 2016. Intercambio de productos en mercados semanales de los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Etnobiología* 14 (2): 92-99.
- Molina-Luna, N., Y. Arellanes y E. Martínez. 2015. El papel de la comercialización orquídeas y bromelias de mercados de los valles centrales de Oaxaca, México, en la subsistencia campesina. *Observatorio Economía Latinoamericana* 210:1-15.
- Mondragón, D. 2008. La comercialización navideña de bromelias epífitas en la ciudad de Oaxaca, México. *Etnobiología* 6: 24-28.
- Mondragón, D. y D. Villa-Guzmán. 2008. Estudio etnobotánico de las bromelias epífitas en la comunidad de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, México. *Polibotánica* 26: 175-191.
- Monteiro, J., E. de Lima, E. Cavalcanti-Amorin y U. Albuquerque. 2010. Local Markets and Medicinal Plant Commerce: a Review with emphasis on Brazil. *Economic Botany* 64: 352–366.
- Munguía, G., L. Vázquez y J. López. 2010. Plantas silvestres ornamentales comercializadas en los mercados de la flor de Tenancingo y Jamaica, México. *Polibotánica* 29: 281-308
- Nash, M. 1967. Indian Economic. In: Wauchope, R. (ed.). *Handbook of Middle American Indians* 6: 87-102.
- Nicholson, M. y C. Arseni. 1993. The market medicinal plants of Monterrey, Nuevo León, Mexico. *Economic Botany* 47: 184-192.
- Paré, L. 1975. Tianguis y economía capitalista. *Nueva Antropología* 1(2): 85-93.
- Pino, N. y G. Ramírez. 2009. Conocimiento tradicional de especies vegetales usadas con fines mágico-religiosos en comunidades del Pacífico colombiano norte. *Boletín latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 8 (3): 180-183.
- Reuter, A. 2009. Reflexiones sobre el comercio de vida silvestre en México. *Biodiversitas* 84: 11–15.
- Rodríguez, A. 2007. Mercados Tradicionales: una reconstrucción oral del “tianguis del lunes, en Celaya Guanajuato”. In: Contreras, R. (Coord.). *Mercados Itinerantes: estudio exploratorio de los tianguis en Celaya Guanajuato México. La lógica de los mercados*. Facultad de Ciencias Administrativas, Universidad de Guanajuato. México. 237 p.
- Santos, M. y E. Mendoza. 2009. El mercado tradicional de Miahuatlán de Porfirio Díaz y la participación de las mujeres. In: Luna, A. (coord.). *Género, sociedad y cultura. Análisis multidisciplinario de las dinámicas socioeconómicas, históricas, culturales y psicológicas de las mujeres en la Sierra Sur Oaxaqueña*. 106 p.
- Sentíes, A. 1984. Plantas medicinales y sistemas tradicionales de curación del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 119 p.
- Solano, R., G. Cruz, A. Martínez y L. Lagunez. 2010. Plantas utilizadas en la celebración de la Semana Santa en Zaachila, Oaxaca. *Polibotánica* 29: 263-279.

- Soustelle, J. 1970. La vida cotidiana de los aztecas. 2ª edición. Fondo de cultura económica. México. 283 p.
- Tocancipá, J. 2008. El trueque: tradición, resistencia y fortalecimiento de la economía indígena en el Cauca. *Revista de Estudios Sociales* Diciembre-Sin mes 146-161.
- Ugent, D. 2000. Medicine, myths and magic: The folk healers of a Mexican market. *Economic Botany* 54:427–438.
- Van Zantwijk, R. 1970. Las organizaciones social-económicas y religiosas de los mercaderos gremiales aztecas. *Boletín de Estudios Latino-Americanos* 10: 1-20.
- Vásquez, S. V., I. Vizcarra B. E. Quintanar G. y B. Lutz B. 2009. Heterogeneidad en las prácticas agrarias como estrategia de adaptación a los procesos globales. Caso de Santa Cruz (Chilapa, Guerrero, México). *Convergencia. Rev. Cienc. Soc.* 16 (50):79-106.
- Villegas, P. 2010. Del tianguis prehispánico al tianguis colonial: Lugar de intercambio y predicación (siglo XVI). *Estudios Mesoamericanos Nueva Época* 8: 93-101.
- Warman, A. 1982. Acciones y costumbres centenarias. *In: mercados indios*. INI-FONAPAS. México. 65 p.
- Whitaker, T. and H. Cutler. 1966. Food plants in a Mexican market. *Economic Botany* 20: 6-16.

HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MERCADOS SEMANALES EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA¹

[HISTORY AND CURRENT SITUATION OF WEEKLY MARKETS OF OAXACA'S CENTRAL VALLEYS]

Nancy Gabriela Molina Luna^{1§}, Gisela Virginia Campos Ángeles²

¹Estancia Posdoctoral Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. ²Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. [§]Autor para correspondencia: (ycnan_moli@hotmail.com).

RESUMEN

Los mercados de México constituyen una de las principales características de las sociedades mesoamericanas. La información más antigua que se conoce acerca de los estos lugares data de la época de los mexicas. El sistema de mercados del estado de Oaxaca, conserva desde la época prehispánica una organización cíclica, en donde operan una serie de mercados semanales (plazas o tianguis) a manera de rotación en distintos días de la semana y en diferentes lugares (Cook y Diskin, 1990), en los que se puede encontrar una gran cantidad de productos. El objetivo del presente trabajo fue recopilar información que aportara elementos históricos y de la situación actual de los mercados semanales de los Valles Centrales. Se realizó la búsqueda de información en documentos históricos, libros y revistas para estructurar en el presente documento. Se señalan las características de cinco mercados, ubicados en la Central de Abasto de la Cd. de Oaxaca, Etlá, Ocotlán, Tlacolula y Zaachila. Además se describe la riqueza de elementos bioculturales asociados a dichos lugares, lo que les brinda características específicas en relación con otros mercados semanales del estado y del país. Se concluye que los mercados semanales de los Valles Centrales de Oaxaca son centros de intercambio cultural y de material genético. En ellos se realizan tanto transacciones monetarias como intercambios en especie, lo cual forma parte de la cultura y tradición milenarias de la región de estudio.

Palabras clave: Economía campesina, intercambio, patrimonio biocultural, reciprocidad.

¹ Recibido: 21 de noviembre de 2016.
Aceptado: 12 de diciembre de 2016.

ABSTRACT

Mexico's markets are one of the main characteristics of Mesoamerican societies. The oldest known information about these places dates back to the epoch of the Mexicas. The market system of the state of Oaxaca has retained a cyclical organization since the pre-Hispanic period, where a series of weekly markets (named “plazas” or “tianguis”) operate in rotation on different days of the week and in different places (Cook and Diskin, 1990), where a large number of products can be found. The aim of this study was to gather information that could bring to historical elements and of the current situation of weekly markets in Central Valleys. We searched for information in historical documents, books and journals to structure this document. The characteristics of five markets, Central de Abasto of Oaxaca City, Etla, Ocotlán, Tlacolula and Zaachila are indicated. This research also describes the richness of biocultural elements associated with these places, which gives them specific characteristics in relation to other weekly markets of the state and country. It is concluded that the weekly markets of the Central Valleys of Oaxaca are centers of cultural exchange and genetic material. In them both monetary transactions and exchanges in kind are carried out, which is part of the millenary culture and tradition of the study region.

Index words: Peasant economy, exchange, biocultural patrimony, reciprocity.