



*Revista Mexicana de Agroecosistemas*  
Vol. 6 Núm. 1 Enero – Junio, 2019 ISSN: 2007-9559

# *Revista Mexicana de Agroecosistemas*

Oaxaca, Volumen VI, Número 1, 2019



Foto: Ecosistemas de la Sierra Sur, Oaxaca

# *Revista Mexicana de Agroecosistemas*



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca





**REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS**, Vol. 6, Núm. 1 Enero – Junio 2018, 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.

Responsable de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, <http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/inicio.html>, [rmae.itvo@gmail.com](mailto:rmae.itvo@gmail.com). Fecha de última modificación, 30 de junio de 2019.

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. Jaime Calderón Patrón  
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

### **Diseño de portada**

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz



### **Comité de arbitraje en este número**

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo (DEPI-ITVO)  
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz (DEPI-ITVO)  
Dr. Jaime Manuel Calderon Patrón (DEPI-ITVO)  
Dr. José C. Carrillo Rodríguez (DEPI-ITVO)  
Dr. José C. Leyva López (ITVO)  
Dr. José R. Enríquez del Valle (DEPI-ITVO)  
Dr. Rodolfo de los Santos Romero (ITVO)  
Dr. Salvador Lozano Trejo (DEPI-ITVO)  
Dr. Vicente A. Velasco Velasco (DEPI-ITVO)  
Dr. Yuri Villegas Aparicio (DEPI-ITVO)  
Dra. Gisela M. Santiago Martínez (DEPI-ITVO)  
Dra. Gisela V. Campos Angeles (DEPI-ITVO)  
Dra. Martha P. Jerez Salas (DEPI-ITVO)  
Ing. Oscar José García Mendoza  
M. C. Ernesto Hernández Santiago (ITVO)  
M. C. Gustavo Díaz Zorrilla (DEPI-ITVO)  
M. C. Juan Ángel García Aguilar  
M. C. Judith Ruíz Luna (DEPI-ITVO)  
M. C. Neftalí Reyes Zurita (ITVO)  
M. Sc. Benjamín Baca Ruiz (INDUSTRIAL MADERERO)  
M.C. María I. Pérez León (DEPI-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 agrícolas, 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 <http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/normas-rmae.html> y pueden ser de tres tipos: artículo científico, nota técnica y ensayo libre (artículos de revisión). 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 y Nota Técnica aspectos incluidos como extensos en el “**III Congreso Nacional de Recursos Naturales, Sistemas de Producción e Innovación Tecnológica**”, desarrollado del 22 al 24 de mayo de 2019 en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

**ATENTAMENTE**

**Comité editorial**



	Contenido	Pág.
	Artículos de investigación	
1	<b>VALORACIÓN DE GRANOS DE MAÍCES CRIOLLOS SOBRESALIENTES DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO / ASSESSMENT OF GRAINS OF STOCKS OUTSTANDING OF ZAPALOTE CHICO RACE MAIZE</b>	
	José Manuel Cabrera Toledo <sup>1§</sup> , Aquiles Carballo Carballo <sup>2</sup> , J. Apolinar Mejía Contreras <sup>2</sup> , Gabino García de los Santos <sup>2</sup> , Humberto Vaquera Huerta <sup>2</sup> , Manuel Cabrera González <sup>2</sup> .....	1 – 17
2	<b>GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE <i>Agave durangensis</i> BAJO DIFERENTES COBERTURAS EN DURANGO, MÉXICO / SEED GERMINATION OF <i>Agave durangensis</i> UNDER DIFFERENT COVERAGES IN DURANGO, MEXICO</b>	
	José Antonio Candia-Acosta <sup>1</sup> , Manuel Antonio Díaz-Vasquez <sup>2</sup> , Sandra Iliana Torres Herrera <sup>2</sup> , José Apolinar Quiroz-Arratia <sup>2</sup> , Pedro Antonio Dominguez-Calleros <sup>2§</sup> .....	18 – 27
3	<b>ANÁLISIS DE SOLUBILIDAD Y PATRÓN ELECTROFORÉTICO DE PROTEÍNAS DE RESERVA DE YACA (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) / ANALYSIS OF SOLUBILITY AND ELECTROPHORETIC PATTERN OF YACA (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) RESERVE PROTEINS</b>	
	Marco Antonio Sánchez Zacarías, María de la Luz Sánchez Mundo <sup>§</sup> , Adela Martínez Hernández, Moisés Arias Barahona, Vianey Fuentes Cruz .....	28 – 36
4	<b>CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL CARBÓN VEGETAL DE DIEZ ESPECIES TROPICALES / ENERGETIC CHARACTERIZATION OF THE CHARCOAL OF TEN TROPICAL SPECIES</b>	
	Juan de Dios García Quezada <sup>1</sup> , Gerardo A. Pámanes Carrasco <sup>2</sup> , Christian Anton Wehenkel <sup>2</sup> , Miguel Ángel Escobedo Bretado <sup>3</sup> , Faustino Ruiz Aquino <sup>4</sup> , Artemio Carrillo Parra <sup>2§</sup> .....	37 - 47
5	<b>CARBONO AÉREO EN PLANTACIÓN DE <i>Pinus patula</i> BAJO ACLAREO AL NORTE DE OAXACA / ABOVEGROUND CARBON IN <i>Pinus patula</i> PLANTATION UNDER THINNING AT NORTHERN OAXACA</b>	
	Gerardo Rodríguez-Ortiz <sup>§</sup> , José Raymundo Enríquez-del Valle, Gisela Virginia Campos-Ángeles, Vicente Arturo Velasco-Velasco, Judith Ruíz-Luna .....	48 – 56



6	<b>ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN SAN ESTEBAN ATATLAHUCA, OAXACA / ZONING OF PRIORITY PROTECTION AREAS AGAINST FOREST FIRES IN SAN ESTEBAN ATATLAHUCA, OAXACA</b>	
	Luis Alberto Gutiérrez López <sup>§</sup> , Octavio Lopez Bautista, Rosalino Ortiz Barrios, Alejandro Garzón Trinidad, Octavio Lemuel Cruz Santiago .....	57 – 66
7	<b>DIVERSIDAD GENÉTICA EN CATORCE POBLACIONES DE <i>Pinus arizonica</i> Y SU RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES / GENETIC DIVERSITY IN FOURTEEN POPULATIONS OF <i>Pinus arizonica</i> AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL VARIABLES</b>	
	Luis Alberto Gutiérrez López <sup>§</sup> , Octavio López Bautista .....	67 – 77
8	<b>MÓDULO DINÁMICO DE MADERA LAMINADA DETERMINADO CON VIBRACIONES LONGITUDINALES / DYNAMIC MODULUS OF LAMINATED WOOD DETERMINED WITH LONGITUDINAL VIBRATIONS</b>	
	Javier Ramón Sotomayor Castellanos <sup>§</sup> .....	78 – 88
9	<b>EFFECTO DEL MANEJO FORESTAL EN BIOMASA Y CARBONO EN BOSQUES DE DURANGO / EFFECT OF FOREST MANAGEMENT ON BIOMASS AND CARBON IN FORESTS OF DURANGO</b>	
	Laura Araceli Lira-Tuero <sup>1§</sup> , José Javier Corral-Rivas <sup>2</sup> , Jaime Roberto Padilla-Martínez <sup>2</sup> , Pablito M. López-Serrano <sup>3</sup> , Marín Pompa-García <sup>2</sup> , Francisco Cruz-Cobos <sup>4</sup> .....	89 – 97
10	<b>IDENTIDAD FEMENINA Y EMPODERAMIENTO INDIVIDUAL, UNA RELACIÓN PARA EL DESARROLLO LOCAL EN SAN BLAS ATEMPA, OAXACA / FEMALE IDENTITY AND INDIVIDUAL EMPOWERMENT, A RELATIONSHIP FOR LOCAL DEVELOPMENT IN SAN BLAS ATEMPA, OAXACA</b>	
	Marbella Sánchez Soriano <sup>1§</sup> , Blasa Celerina Cruz Cabrera <sup>2</sup> , Gisela M. Santiago Martínez <sup>3</sup> , Patricia S. Sánchez Medina <sup>4</sup> .....	98 – 107
11	<b>PATRONES ALIMENTARIOS Y PERCEPCIÓN DE SALUD EN SANTA LUCIA MIAHUATLÁN, OAXACA, UN MUNICIPIO DE ALTO GRADO DE MARGINACIÓN / FOOD PATTERNS AND</b>	



**HEALTH PERCEPCION IN SALTA LUCIA MIAHUATLAN,  
OAXACA, A MUNICIPALITY WITH HIGH DEGREE OF  
MARGINALIZATION**

Ana Laura Vera-Guzmán<sup>1</sup>, José Luis Chávez-Servia<sup>2§</sup> ..... 108 - 121

**Nota Técnica**

**CONDICIÓN FITOSANITARIA DEL ARBOLADO DE LA  
TERCERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC /  
WOODED PHYTOSANITARY CONDITION OF THE THIRD  
SECTION OF THE CHAPULTEPEC FOREST**

11

Misael Cervantes Bautista<sup>§1</sup>, Rosalino Ortiz Barrios<sup>1</sup>, José Francisco Reséndiz  
Martínez<sup>2</sup> ..... 122 - 135



## **DIRECTORIO**

Dr. Enrique Fernández Fassnacht- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Rubén Posada Gómez- Director de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

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

M. C. C. Olga Leyva Juárez Osorio- Subdirección Académica (ITVO)

Dr. Salvador Lozano Trejo- Jefe (DEPI-ITVO)

### Mayores informes:

#### **Revista Mexicana de Agroecosistemas**

Domicilio conocido

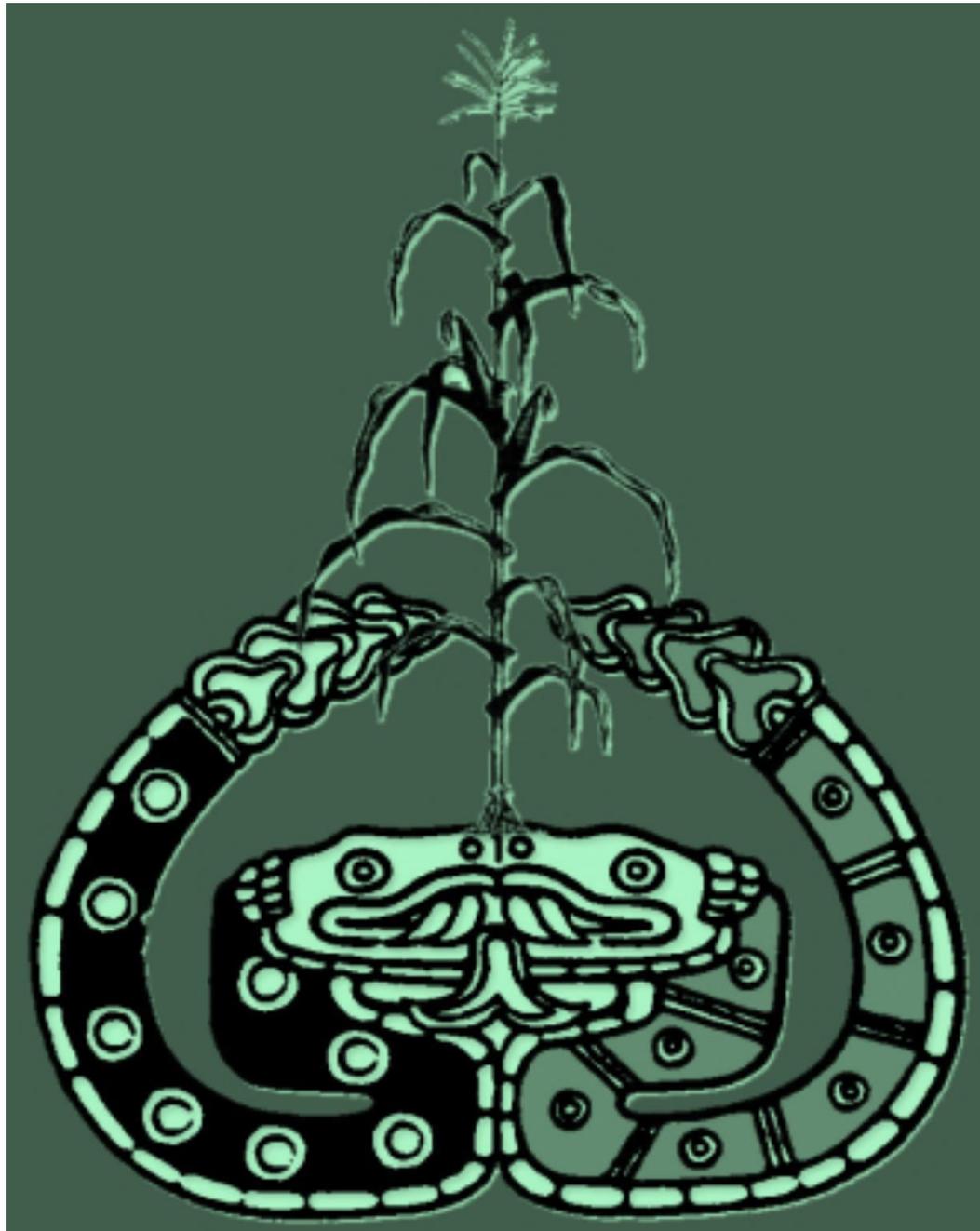
Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71233

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

Correo: rmae.itvo@gmail.com

<http://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/inicio.html>



## VALORACIÓN DE GRANOS DE MAÍCES CRIOLLOS SOBRESALIENTES DE LA RAZA ZAPALOTE CHICO<sup>1</sup>

### [ASSESSMENT OF GRAINS OF STOCKS OUTSTANDING OF ZAPALOTE CHICO RACE MAIZE]

José Manuel Cabrera Toledo<sup>1§</sup>, Aquiles Carballo Carballo<sup>2</sup>, J. Apolinar Mejía Contreras<sup>2</sup>, Gabino García de los Santos<sup>2</sup>, Humberto Vaquera Huerta<sup>2</sup>, Manuel Cabrera González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesor, Tecnológico Nacional de México-Comitancillo. Carretera Ixtaltepec-Comitancillo km 7.5. San Pedro Comitancillo, Oax. <sup>2</sup>Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (cabrera.jose@colpos.mx).

### RESUMEN

El consumo de maíz en México se basa en la gran diversidad de productos nixtamalizados. La composición química y la estructura de grano de maíz influyen sobre el proceso de nixtamalización, calidad de tortilla y de la harina nixtamalizada. La raza de maíz Zapalote Chico se distribuye en un área geográfica claramente definida de la planicie costera del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca. El objetivo del presente trabajo fue comparar las propiedades físicas del grano de maíz de 18 criollos mejorados de esta raza, para determinar la calidad de nixtamal, masa, tortilla y totopo. Las determinaciones se realizaron en el laboratorio de calidad de maíz del INIFAP-Valle de México, considerando las metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. El largo de grano osciló de 9.48 a 11.66 mm. La dureza de grano se identificó como suave a intermedio. En el peso por hectolitro y porcentaje de reflectancia de la muestra de maíces cumplen con los requisitos establecidos en la norma de calidad. Se concluye que existe variación intraracial y la mayoría de los maíces evaluados presentan características de calidad que requiere la industria tradicional de la masa tortilla y totopo.

**Palabras clave:** Diversidad genética, nixtamalización, totopo.

### ABSTRACT

The consumption of corn in Mexico is based on the great diversity of nixtamalized products. The chemical composition and structure of the corn grain influence the process of nixtamalization, quality of tortilla and nixtamalized flour. The Zapalote Chico corn race covers an extensive area of the coastal plain of the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca state. It is of the races that better defined have their geographic area of distribution. The objective of the present work was to compare the physical properties of corn kernels of 18 improved criollos of this breed, to determine the quality of nixtamal, masa, tortilla and totopo. The determinations were made in the corn quality laboratory of the INIFAP-Valley of Mexico, considering the nixtamalera-tortillera quality analysis methodologies in corn. The grain length ranged from 9.48 to 11.66 mm. The grain hardness was

---

<sup>1</sup> Recibido: 26 de abril de 2019.  
Aceptado: 20 de junio de 2019

identified as mild to intermediate. In the weight per hectolitre and% of reflectance of the maize sample, they meet the requirements established in the quality standard. It is concluded that there is intraracial variation and most of the maize evaluated have quality characteristics that the traditional mass industry requires tortilla and totopo.

**Index words:** Genetic diversity, nixtamalization, totopo.

## INTRODUCCIÓN

En México predomina un fuerte arraigo por el consumo de maíz y le distingue por tener una gran tradición en este cultivo, constituyéndolo como uno de los países más importantes en su cultivo, uso y aprovechamiento. En este contexto, sus razas nativas cumplen una función relevante al formar la materia prima para la elaboración de los diferentes preparados para el consumo humano (Fernández *et al.*, 2013).

La mayor diversidad genética de maíz se localiza en México, misma que se manifiesta en los diversos caracteres morfológicos, vegetativos, de espiga, mazorcas, grano y uso de estos últimos en preparaciones culinarias tradicionales (Vázquez *et al.*, 2003; Turrent *et al.*, 2010). Los maíces nativos, además de ser parte del patrimonio biocultural que México ha regalado al mundo, son el sustento de miles de familias en zonas rurales. Las razas nativas con usos especiales en la alimentación, presentan características únicas que las hacen insustituibles para preparar una gran variedad de platillos tradicionales (Fernández *et al.*, 2013).

Predomina en México una gran diversidad de productos nixtamalizados, que forman parte de la alimentación de los pobladores, como tortilla, pinole, atole, tostada, totopo y tamal; de estos, la tortilla constituye el principal producto, cuyo consumo diario per *cápita* es de 155.4 g en zonas urbanas y 217.9 g en las zonas rurales, constituyéndose de esa manera en el segundo producto más importante en la canasta básica (SE-DGIB, 2012). Las razas nativas de maíz en México siguen siendo procesadas mediante la nixtamalización, lo cual conlleva a numerosos efectos positivos en la liberación de componentes nutraceuticos, pero también a la degradación y modificación química de otros (Serna *et al.*, 2013). Las tortillas de maíz nativo son, más que un medio de bienestar y subsistencia, un eje de la libre determinación interiorizada en mujeres y hombres que, permite vislumbrar gestos de afectividad (Cárdenas *et al.*, 2019)

La composición química y la estructura de grano de maíz influyen sobre el proceso de nixtamalización, calidad de tortilla y de la harina nixtamalizada (Zepeda *et al.*, 2009). El nivel y la uniformidad de la calidad de grano de maíz empleado como materia prima para la nixtamalización son importantes en la calidad del producto final. Las características de calidad del grano son determinadas por factores genéticos y por las condiciones de producción y de manejo (Vázquez *et al.*, 2003).

Entre los factores más importantes para que una tortilla sea aceptada por los consumidores es la textura, entre más blanda y suave sea una tortilla, el trabajo necesario para su masticación será menor Gasga y Casas (2007). Al respecto Antuna *et al.* (2008) indican que los atributos de una tortilla de buena calidad pueden considerarse los siguientes: fácil enrollado, suavidad al tacto, olor, sabor, textura y plasticidad; tales atributos se obtienen mediante un procesamiento con concentraciones adecuadas de cal y tiempos apropiados de cocimiento. En la elaboración de

tortillas se requiere un grano que produzca masa con alta humedad, buena extensibilidad y resistencia entre otras características (Arámbula *et al.*, 2001).

Según Mauricio *et al.* (2004), entre las propiedades importantes para la clasificación del uso alimentario del maíz en México están el tamaño del grano, su gravedad específica y su dureza, así como su capacidad de absorción de agua y rendimiento de masa, rendimiento de tortilla, la pérdida de peso durante la cocción de la tortilla y la resistencia al corte de la tortilla. El color del grano de maíz varía ampliamente entre genotipos, y aunque no se considera una propiedad importante para su uso alimentario, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Mauricio *et al.*, 2004; Aragón *et al.*, 2012).

La dureza del grano está relacionada con el peso hectolitrito e índice de flotación. Ambas se correlacionan de manera inversa, mientras mayor peso hectolitrito tenga un maíz, más duro será y su índice de flotación será menor (Salinas *et al.*, 2010). Figueroa *et al.*, (2013) puntualizan que el endospermo es el componente principal del grano que contribuye de manera importante en la dureza del grano.

Los rendimientos de masa y tortilla dependen de la capacidad del grano para absorber agua y retenerla durante las etapas del proceso; particularmente la tortilla pierde una cantidad importante de agua durante la formación de la “ampolla”, que es la etapa final del cocimiento (Salinas y Aguilar, 2010).

El estado de Oaxaca posee una alta variación genética en el cultivo del maíz, por su situación geográfica, abundante variación climática, topografía variada, diferentes tipos de suelos, facilidad de entrecruzamiento de esta especie y principalmente al gran número de grupos étnicos que han formado diferentes variedades criollas mediante selección a través de miles de años (Aragón *et al.*, 2006). El maíz Zapalote chico cubre una extensa área de la planicie costera del Istmo de Tehuantepec. Es de las razas que mejor definida tienen su área geográfica de distribución.

Por la gran importancia que identifica a este cultivo en la zona, así también a los escasos estudios sobre el tema, se desarrolló el presente trabajo, cuyo objetivo fue comparar las propiedades físicas del grano de maíz de la raza Zapalote Chico y la calidad de nixtamal, masa, tortilla y totopo de 18 criollos mejorados, bajo el supuesto que entre ellos existen diferencias en las propiedades evaluadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Germoplasma

Los materiales utilizados se derivaron de una colección regional realizada por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Instituto Tecnológico de Comitancillo (ITC) en el año de 1997. La depuración de las accesiones se realizó considerando aspectos de identificación de la raza de interés, así como valores agronómicos y de preferencia de productores. Las muestras en estudio se produjeron en el ciclo de cultivo primavera-verano 2012, en terrenos experimentales del Instituto Tecnológico de Comitancillo Oax., (Cuadro 1). El clima de este sitio es cálido sub-húmedo, el más seco de los sub-húmedos, temperatura media anual de 27 °C, precipitación media anual de 600 mm; la densidad de población fue de 72 700 plantas por hectárea y fertilización de 92N-46P-00K.

**Cuadro 1.** Sitios de colecta y denominación de 18 maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote chico.

	Variedad	Comunidad	Nombre local	Color	Altitud (m)
1	OAX-823	San Pedro Comitancillo	Hoja morada	Blanco	76
2	OAX-826	San Pedro Comitancillo	Zapalote chico	Blanco	72
3	OAX-827	San Pedro Comitancillo	Zapalote	Blanco	70
4	OAX-830	Sto. Dgo Chihuitán	Zapalote blanco	Blanco	96
5	OAX-832	Sto. Dgo Chihuitán	Cuarentena	Blanco	99
6	OAX-834	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	127
7	OAX-838	Stgo. Laollaga	Zapalote	Blanco	130
8	COL-29	Sn Fco. Ixhuatán	Zapalote	Blanco	16
9	COL-31	Montecillo Sta. Cruz	Zapalote	Blanco	15
10	COL-32	Montecillo Sta. Cruz	Zap. enredado	Blanco	10
11	COL-34	Unión Hidalgo	Zapalote morado	Blanco	15
12	COL-36	Unión Hidalgo	Zapalote chico	Blanco	17
13	COL-45	Sta. Ma. Xadani	Maíz chiquito	Blanco	10
14	COL-51	Álvaro Obregón	Olote colorado	Blanco	25
15	COL-58	San Blas Atempa	Maíz chico	Blanco	35
16	COL-62	El Morro Mazatán	Criollo	Blanco	19
17	COL-64	El Morro Mazatán	Chiquito morado	Blanco	5
18	ZAP MOR	San Pedro Comitancillo	Zapalote morado	Blanco	70

### Registro de datos y variables y caracterización física del grano

Las determinaciones y análisis de las características de calidad del grano y totopos se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Texcoco, Estado de México.

Índice de Flotación (IF). Número de granos flotantes de un total de 100, colocados en una solución de nitrato de sodio ( $IF = Nf/100$ ) a una densidad de 1.25 g ml<sup>-1</sup> (Salinas *et al.*, 1992). Peso hectolítrico (densidad aparente).- La prueba se desarrolló de acuerdo al método 84-10 AACC, empleando una balanza para peso hectolítrico. El resultado se expresa en kg hL<sup>-1</sup>. Tamaño de grano.- Se determinó de acuerdo al método descrito por Salinas y Vázquez (2006). De cada colecta se eligieron 10 granos al azar de una muestra homogenizada a los cuales se les midió el largo, ancho y espesor con la ayuda de un vernier milimétrico. Los resultados se expresaron en mm.

Color de grano, color de masa, color de tortilla y color de totopo.- Se midió usando el colorímetro Mini Scan XE plus (Hunter Lab, modelo 45/0-L), que descompone el color en tres variables: L\* que representa la luminosidad y cuyos valores van del 100, que corresponde al blanco, hasta cero para el negro; la escala a\* que registra valores positivos cuando están presentes los tonos rojos y adquiere valores negativos cuando registra tonos verdes. La variable b\* califica los colores

amarillos (+) a azul (-). Con las variables  $a^*$  y  $b^*$  se calculó el ángulo del tono hue o tinte ( $\text{hue} = \arctan a/b$ ), que es un valor angular, el cual indica el cuadrante correspondiente al color de la muestra en un sistema cartesiano, donde el eje X corresponde a los valores de  $a$  y el eje Y a los de  $b$ , donde  $0^\circ$  = color rojo-púrpura;  $90^\circ$ =amarillo;  $180^\circ$ =verde; y  $270^\circ$ =azul (Mc Guire 1992).

Componentes estructurales del grano. Se llevó a cabo de acuerdo con lo descrito por Salinas y Vázquez (2006). Se eligieron 25 granos al azar para cada una de las colectas, estas, se remojaron en agua ( $70\text{-}80^\circ\text{C}$ ) durante 15 minutos y con la ayuda de un bisturí se separaron cada uno de los componentes del grano (pedicelo, pericarpio, germen y endospermo), las cuales se colocaron en cajas de aluminio previamente llevadas a peso constante. Se tomó el peso de cada una de las fracciones y se registró. Las muestras se colocaron en una estufa a  $130^\circ\text{C}$  por una hora para determinar la humedad. Posteriormente se calcularon las fracciones, los resultados se expresan en porcentaje.

Proceso de nixtamalización. La nixtamalización consistió en la cocción de 100 g de maíz con 0.7 g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y 200 mL de agua. Los granos de maíz y los solventes se mezclaron en un vaso de precipitados de 600 ml, se calentó en una parrilla para nixtamalización hasta alcanzar el punto de ebullición. El tiempo de nixtamalización se asignó de acuerdo con el IF: IF=0-12 % 45 min, IF=13-38 % 40 min, IF=39-62 % 35 min, IF=63-87 % 30 min, IF=88-100 % 25 min. Al finalizar el cocimiento el grano reposó 16 h, luego se lavó con 200 mL de agua y se molió en un molino de piedras hasta obtener una masa de textura fina (Salinas y Arellano, 1989; Vázquez *et al.*, 2011). La elaboración de las tortillas, la evaluación del porcentaje de sólidos en nejayote (agua de cocción) y el pericarpio retenido en el nixtamal se realizó de acuerdo con los métodos descritos por Salinas y Vázquez (2006). Las características asociadas al proceso de nixtamalización aquí determinadas fueron:

Humedad del nixtamal (HN), expresada como porcentaje de agua por 100 g de nixtamal. Pérdida de sólidos (PS), estimada a partir del peso seco de los residuos de la nixtamalización y lavado, y expresada en porcentaje con respecto al peso total del grano en base seca. Rendimiento de maíz-tortilla: se determinó a partir de una muestra de 100 g de grano nixtamalizado, se registró el peso total de las tortillas obtenidas, tanto en tortilla caliente (recién hechas) como en fría (después de que la tortilla alcanza la temperatura ambiente) y los productos correspondientes fueron expresados como porcentajes con respecto a 1 kg de grano.

Las tortillas se moldearon en una prensa manual y sometieron a cocción sobre una plancha metálica, se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min., tapadas con una manta de algodón. Después se empacaron en bloques de 20 tortillas por tratamiento, se colocaron en bolsas de polietileno tipo Ziploc, se envolvieron en una manta para evitar pérdidas de humedad y se almacenaron a  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  (ambiente). Elaboración de totopos.- Los totopos fueron hechos de manera artesanal en la población de San Pedro Comitancillo, Oax., por la señora Rosaura Toledo Santiago, edad 50 años, con una experiencia en elaboración y venta de totopos por más de 30 años. Se consideró un kilogramo de grano de cada variedad. Una vez elaborados los totopos se enviaron al laboratorio el día siguiente para su análisis.

## Análisis de datos

Las variables se analizaron bajo un diseño completamente al azar. Los tratamientos correspondieron a los 18 maíces criollos en estudio, la definición de las unidades experimentales, así como sus repeticiones, fue de acuerdo con Salinas y Vázquez (2006). Se realizó el análisis de varianza, pruebas de medias (Tukey, 0.05) y con los datos promedios un análisis de componentes principales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias estadísticas significativas entre los 18 criollos mejorados (Cuadro 2) en la mayoría de las características físicas de grano, nixtamalización, masa, tortilla y totopo, es decir, se presentó variabilidad fenotípica que podría indicar posible variabilidad genética entre ellos, por lo que se confirma, que esta variabilidad intraracial es un aspecto que se debe valorar en las actividades de conservación *Insi-tu*, con miras a implementar programas de mejoramiento genético para un mejor uso y aprovechamiento de estos recursos fitogenéticos.

### Características físicas del grano

Los granos de 18 poblaciones en estudio mostraron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) en las características físicas (Cuadro 3). El contenido de humedad inicial del grano de todos los maíces estuvo entre 11.4 y 12.8 %. El peso y tamaño de grano influyen en el contenido de humedad. Todas las variedades evaluadas sus maíces cumplieron con el requerimiento mínimo de peso hectolítrico establecido en la norma de calidad ( $\geq 74 \text{ kg hL}^{-1}$ ) para maíces destinados al proceso de nixtamalización.

El índice de flotación que es un dato indirecto de la dureza del grano, determinada por la proporción de endospermo harinoso y córneo (Salinas y Vázquez, 2006), en los maíces en estudio, varió desde 46.00 a 85.67 %, arrojando texturas, intermedias (50 %) y suaves (50%). Estos valores son superiores a lo establecido en la norma NMX-034 (2002). Los granos duros presentan bajos índices de flotación, mientras que los maíces suaves presentan índices altos (Aragón *et al*, 2012). La dureza como una característica de la textura de los granos de maíz, debe ser considerada como resultado de varias características fisicoquímicas, entre las físicas más importantes son densidad (gravedad específica, contenido de germen, porcentajes de endospermo y pericarpio, y tamaño del granulo de almidón (Figuroa *et al.*, 2013).

**Cuadro 2.** Cuadrados medios y significancia estadísticas de variables físicas de maíces criollos mejorados de la raza Zapalote Chico.

Caracteres	Cuadrados medios		Media general	CV (%)	
	Variedades	Error			
Grano					
	Humedad	1.019**	0.007	11.6	0.74
	Índice de flotación	561.647**	25.777	66.33	7.65
	Peso hectolítrico	6.974**	0.041	75.59	0.27
	Peso de 100 granos	14.512**	0.449	26.83	2.49
	Largo	2.535 <sup>ns</sup>	1.631	10.31	12.39
	Ancho	4.22**	1.241	8.88	12.54
	Espesor	2.585*	1.202	4.86	22.56
	Color L <sup>†</sup>	3.756**	1.895	71.73	1.919

	Pedicelo	0.024*	0.007	1.45	5.79
	Pericarpio	0.364**	0.029	4.59	3.72
	Germen	1.201**	0.209	13.52	3.38
	Endospermo	1.149**	0.292	80.43	0.67
Nixtamalización	Porcentaje de solidos	0.416**	0.004	3.01	2.22
	Humedad	6.529*	2.327	44.94	3.39
Masa	Humedad	1.875**	0.045	55.79	0.38
	Color L <sup>†</sup>	2.98**	0.31	82.64	0.623
	Humedad	10.272**	1.495	43.16	2.83
Tortilla	Color L <sup>†</sup>	5.58**	0.501	79.23	0.894
	Dureza	3876.32**	977.63	205.19	15.24
	Extensibilidad	14.45 <sup>ns</sup>	14.681	9.18	41.74
	Peso unitario	15.19**	3.868	58.15	3.38
Totopo	Diámetro	0.858 <sup>ns</sup>	0.747	23.57	3.67
	Humedad	3.36**	0.862	7.38	12.59
	Color L <sup>†</sup>	1.93**	0.568	78.95	0.95

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01; CV= Coeficiente de variación; † =Medido como porcentaje de reflectancia.

Los granos de maíces evaluados al reportar porcentajes de reflectancia entre 70.41 y 74.05, se ubican por arriba de la norma de la industria (>55), determinándose como color blanco, tal como se reporta en los datos de origen (Cuadro 1). Estos valores ofrecen la tendencia del color que tendrán sus productos (tortilla y totopo). En general, el color del grano tiende a ser más blanco a mayor proporción de endospermo harinoso, (Salinas *et al.*, 1992). En el procesamiento industrial del maíz para obtener sus diversos productos, se requiere de materia prima con calidad específica relacionadas a las características físicas y químicas del grano.

**Cuadro 3.** Características físicas de los maíces criollos mejorados de la raza Zapalote chico.

	Variedad	HUM	PCG	PH	IF	Dureza <sup>†</sup>	Color
		(%)	(g)	(kg hL <sup>-1</sup> )	(%)		L (%)
1	OAX-823	12.8a	25.77f	72.65h	83.33a	S	72.25ab
2	OAX-826	12.5b	27.46cde	74.15fg	74.00abc	S	71.97ab
3	OAX-827	12.8a	30.60a	77.20bc	47.33ef	I	70.79ab
4	OAX-830	12.37b	27.25cde	75.20d	70.33abcd	S	71.75ab
5	OAX-832	11.7c	26.38def	77.25bc	46.00f	I	70.39b
6	OAX-834	11.33de	28.01bcd	73.50g	85.67a	S	71.53ab
7	OAX-838	11.33de	27.77cd	76.45cd	58.33def	I	70.41b
8	COL-29	11.13ef	28.54bc	73.70g	81.00a	S	71.24ab
9	COL-31	11.13ef	24.61f	73.65g	82.33a	S	71.85ab
10	COL-32	11.07f	26.65cdef	74.20fg	71.33abcd	S	74.05 <sup>a</sup>
11	COL-34	11.37de	25.46ef	74.85ef	80.33a	S	70.89ab
12	COL-36	11.37de	26.03def	76.05d	62.33bcde	I	71.48ab

13	COL-45	11.17def	27.20cde	76.70bcd	58.67cdef	I	71.7ab
14	COL-51	11.4d	27.23cde	78.65a	49.67ef	I	71.59ab
15	COL-58	11.37de	26.83cde	76.65bcd	61.00bcdef	I	71.94ab
16	COL-62	11.33de	29.91ab	78.65a	46.33f	I	71.18ab
17	COL-64	11.27def	27.78cd	77.40b	60.00cdef	I	72.51ab
18	ZAP MOR	11.37de	20.53g	73.70g	76.00ab	S	73.68ab
DMS		0.26	2.05	0.81	15.55		3.57
NMX-034(2002) HN			36-40	≥74	≤ 20		≥57
	MyT		30-35	≥74	≤ 50		> 70

DMS=diferencia mínima significativa ( $p \leq 0.05$ ); NMX=norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (HN=harina nixtamalizada; MyT=masa y tortilla); HUM=humedad; PCG=peso de 100 granos; PH=peso hectolítrico; IF=índice de flotación; † S; suave si IF= 63-87%; I; intermedio si IF= 38-62%; L=reflectancia. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

En la industria de la molienda seca, la densidad del grano es importante debido a que una mayor densidad repercute en forma positiva en el rendimiento y calidad de las sémolas; la industria refinadora de almidón prefiere granos suaves o de baja densidad por requerir menor tiempo de remojo en la solución de dióxido de azufre, y presentar un mayor contenido de almidón y menor contenido de proteína, comparado con los de grano de textura vítrea (Serna, 1996)

### Tamaño y componentes estructurales del grano

En las dimensiones de grano de los maíces en los 18 criollos mejorados se detectaron diferencias ( $P \leq 0.05$ ). El largo, ancho y espesor presentaron una media general de 10.31, 8.88 y 4.86 mm respectivamente (Cuadro 4). Estos valores no concuerdan con lo reportado por (Mauricio *et al.*, 2004 y Figueroa *et al.*, 2013), quienes reportan cifras de 10, 9.2 y 5.4 mm en forma respectiva para las fracciones referidas del grano.

El pedicelo de los maíces evaluados fue de 1.3 a 1.6 %, valor inferior a lo establecido por la industria de harina nixtamalizada de maíz. Vázquez *et al.*, (2003) puntualizan al respecto, que una baja proporción de pedicelo facilita el moldeado de la masa y mejora su textura. En el pericarpio, el mayor porcentaje se registró en la variedad OAX-827 con un promedio de 5.52, siendo la única que se encontró por arriba de 5.5 %, valor establecido por la norma mexicana; 9 más se encontraron dentro del rango que indica la norma correspondiente.

**Cuadro 4.** Dimensiones y estructuras de grano en 18 maíces criollos mejorados.

Variedad	Dimensiones (mm)			Fracciones de grano (%)			
	Largo	Ancho	Espesor	PED	PER	GER	END
1 OAX-823	10.11 <sup>ab</sup>	8.71 <sup>abc</sup>	5.49 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>a</sup>	4.48 <sup>bcde</sup>	13.34 <sup>abcde</sup>	80.88 <sup>a</sup>
2 OAX-826	10.55 <sup>ab</sup>	9.36 <sup>ab</sup>	5.14 <sup>ab</sup>	1.6 <sup>a</sup>	4.84 <sup>bcd</sup>	13.76 <sup>abcde</sup>	79.82 <sup>ab</sup>
3 OAX-827	10.84 <sup>ab</sup>	9.13 <sup>ab</sup>	5.38 <sup>ab</sup>	1.4 <sup>a</sup>	5.52 <sup>a</sup>	12.37 <sup>de</sup>	80.74 <sup>ab</sup>
4 OAX-830	9.74 <sup>ab</sup>	9.23 <sup>ab</sup>	4.82 <sup>ab</sup>	1.6 <sup>a</sup>	4.91 <sup>abcd</sup>	12.12 <sup>e</sup>	81.36 <sup>a</sup>
5 OAX-832	10.11 <sup>ab</sup>	9.00 <sup>ab</sup>	5.07 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>a</sup>	4.92 <sup>abcd</sup>	13.88 <sup>abcde</sup>	79.91 <sup>ab</sup>

6	OAX-834	10.45 <sup>ab</sup>	8.78 <sup>ab</sup>	5.13 <sup>ab</sup>	1.4 <sup>a</sup>	4.87 <sup>abcd</sup>	15.12 <sup>a</sup>	78.64 <sup>b</sup>
7	OAX-838	10.26 <sup>ab</sup>	8.93 <sup>ab</sup>	5.44 <sup>ab</sup>	1.5 <sup>a</sup>	4.53 <sup>bcde</sup>	12.91 <sup>bcde</sup>	81.11 <sup>a</sup>
8	COL-29	10.51 <sup>ab</sup>	9.02 <sup>ab</sup>	4.84 <sup>ab</sup>	1.5 <sup>a</sup>	5.0 <sup>abc</sup>	12.87 <sup>bcde</sup>	80.67 <sup>ab</sup>
9	COL-31	9.48 <sup>b</sup>	8.17 <sup>bc</sup>	5.66 <sup>a</sup>	1.4 <sup>a</sup>	4.43 <sup>bcde</sup>	14.59 <sup>ab</sup>	79.63 <sup>ab</sup>
10	COL-32	10.5 <sup>ab</sup>	8.40 <sup>bc</sup>	5.06 <sup>ab</sup>	1.5 <sup>a</sup>	5.1 <sup>ab</sup>	13.51 <sup>abcd</sup>	79.89 <sup>ab</sup>
11	COL-34	10.37 <sup>ab</sup>	8.89 <sup>ab</sup>	4.41 <sup>ab</sup>	1.5 <sup>a</sup>	4.32 <sup>cde</sup>	13.9 <sup>abcde</sup>	80.23 <sup>ab</sup>
12	COL-36	9.72 <sup>ab</sup>	9.10 <sup>ab</sup>	5.20 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>a</sup>	4.0 <sup>e</sup>	13.78 <sup>abcde</sup>	80.94 <sup>ab</sup>
13	COL-45	10.44 <sup>ab</sup>	8.53 <sup>abc</sup>	4.42 <sup>ab</sup>	1.6 <sup>a</sup>	4.78 <sup>bcd</sup>	14.26 <sup>abcd</sup>	79.4 <sup>ab</sup>
14	COL-51	9.76 <sup>ab</sup>	9.07 <sup>ab</sup>	4.19 <sup>ab</sup>	1.4 <sup>a</sup>	4.31 <sup>cde</sup>	13.18 <sup>bcde</sup>	81.08 <sup>a</sup>
15	COL-58	10.76 <sup>ab</sup>	8.96 <sup>ab</sup>	4.40 <sup>ab</sup>	1.5 <sup>a</sup>	4.01 <sup>e</sup>	13.51 <sup>abcde</sup>	81.0 <sup>a</sup>
16	COL-62	10.35 <sup>ab</sup>	10.22 <sup>a</sup>	4.50 <sup>ab</sup>	1.5 <sup>a</sup>	4.58 <sup>bcde</sup>	12.52 <sup>cde</sup>	81.45 <sup>a</sup>
17	COL-64	10.01 <sup>ab</sup>	9.44 <sup>ab</sup>	4.57 <sup>ab</sup>	1.6 <sup>a</sup>	4.06 <sup>e</sup>	13.6 <sup>abcde</sup>	80.79 <sup>ab</sup>
18	ZAP MOR	11.66 <sup>a</sup>	6.97 <sup>c</sup>	3.80 <sup>b</sup>	1.6 <sup>a</sup>	4.09 <sup>e</sup>	14.14 <sup>abcd</sup>	80.17 <sup>ab</sup>
	DMS	2.02	1.77	1.74	0.34	0.69	1.83	2.17

NMX-034(2002) HN				≤ 2	4.5-5.5	≤ 12	
MyT				≤ 2	4.5-6	≤ 13	78

PED= Pedicelo; PER= Pericarpio; GER= Germen; END= Endospermo. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05)

El 61% de las poblaciones evaluadas, sus granos presentaron mayor proporción de germen por arriba del porcentaje recomendado por el laboratorio de maíz, el 39 % de ellos si cumplieron con este requisito. Todos los maíces reportaron valores superiores de endospermo harinoso, por arriba de lo establecido por la norma. La industria de las harinas instantáneas de maíz nixtamalizado requiere granos con 80 % de endospermo, por lo que todos los maíces incluidos en este estudio cumplen con tal requerimiento.

### Calidad de nixtamal, masa y tortilla

El contenido de humedad de la masa del maíz OAX-834 (57 %) fue superior al resto de los maíces que presentaron un comportamiento similar entre ellos con una media general de 55%. Al respecto, Arámbula *et al.*, (2000) puntualizan que una masa de maíz de buena calidad para la elaboración de tortilla, la humedad debe oscilar entre 50 y 58 %, los 18 criollos mejorados de la raza Zapalote chico en estudio se sitúan en este rango. La humedad de la tortilla osciló de 40.63 a 45.54 %, que se asemejan con los encontrados en las tortillas hechas con diversos tipos de maíz. La suavización rápida del pericarpio facilita la penetración del agua, y su eliminación durante el lavado del nixtamal. La pérdida excesiva de pericarpio puede disminuir las propiedades texturales de la masa y las tortillas debido a la eliminación de las gomas naturales (Martínez *et al.*, 2001).

Los maíces estudiados se recomiendan para la industria tradicional de la masa y la tortilla, debido a que se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma NMX-034 (2002). En el Cuadro 5, se aprecia que la menor absorción de agua durante la nixtamalización se asoció con los menores valores de humedad en las tortillas. La capacidad de absorción de agua está relacionada con la dureza del endospermo, pues cuando es duro, los gránulos de almidón se agrupan en una red proteica que restringe la absorción de agua (Salinas *et al.*, 1992). La pérdida de sólidos en nejayote,

oscilo entre 2.40 a 3.90 %. Salinas *et al*, (2007) señalan que un mayor tiempo de cocción favorece la desintegración del pericarpio y con ello su liberación durante el enjuague del nixtamal.

En el rendimiento de tortilla en los 18 criollos mejorados de la raza Zapalote chico, hubo una variación de 1.23 a 1.46 kg, cifra inferior a lo reportado por Figueroa *et al*, (2013) y Gaytán *et al*, (2013). Los maíces con alta capacidad de absorción de agua muestran un alto rendimiento de masa, sin embargo, para obtener un alto rendimiento de tortilla se requiere que el agua absorbida sea retenida durante la cocción (Mauricio *et al.*, 2004).

**Cuadro 5.** Propiedades de nixtamal, masa y de tortillas de 18 criollos mejorados de la raza Zapalote chico.

Variedad	Humedad (%)			Sólidos %	REN <sup>†</sup> (kg)	Color (L)*	
	Nixtamal	Masa	Tortilla			Masa	Tortilla
1 OAX-823	45.23 <sup>ab</sup>	56.16 <sup>bcd</sup>	43.55 <sup>abcde</sup>	3.00 <sup>efg</sup>	1.36	80.41 <sup>e</sup>	77.76 <sup>fg</sup>
2 OAX-826	42.73 <sup>ab</sup>	56.44 <sup>bc</sup>	41.11 <sup>de</sup>	2.55 <sup>hi</sup>	1.3	82.43 <sup>abc</sup>	78.85 <sup>cdefg</sup>
3 OAX-827	43.35 <sup>ab</sup>	56.31 <sup>bcd</sup>	40.58 <sup>e</sup>	3.20 <sup>cde</sup>	1.28	81.1 <sup>ed</sup>	78.91 <sup>cdefg</sup>
4 OAX-830	45.09 <sup>ab</sup>	56.19 <sup>bcd</sup>	42.80 <sup>bcd</sup>	3.25 <sup>cde</sup>	1.34	84.42 <sup>bcd</sup>	79.46 <sup>bcd</sup>
5 OAX-832	42.78 <sup>ab</sup>	56.20 <sup>bcd</sup>	44.48 <sup>abc</sup>	3.60 <sup>b</sup>	1.41	83.2 <sup>ab</sup>	80.01 <sup>abcde</sup>
6 OAX-834	45.34 <sup>ab</sup>	57.36 <sup>a</sup>	45.54 <sup>a</sup>	3.05 <sup>def</sup>	1.45	83.17 <sup>ab</sup>	80.02 <sup>abcde</sup>
7 OAX-838	41.31 <sup>b</sup>	54.53 <sup>i</sup>	42.98 <sup>bcd</sup>	2.75 <sup>gh</sup>	1.33	82.85 <sup>abc</sup>	78.88 <sup>cdefg</sup>
8 COL-29	45.58 <sup>ab</sup>	55.89 <sup>cdef</sup>	45.25 <sup>ab</sup>	2.55 <sup>hi</sup>	1.28	82.12 <sup>bcd</sup>	77.05 <sup>g</sup>
9 COL-31	46.64 <sup>a</sup>	56.03 <sup>cde</sup>	44.70 <sup>abc</sup>	2.55 <sup>hi</sup>	1.41	82.29 <sup>bcd</sup>	77.31 <sup>fg</sup>
10 COL-32	45.59 <sup>ab</sup>	54.63 <sup>i</sup>	43.73 <sup>abcde</sup>	2.85 <sup>fg</sup>	1.32	82.25 <sup>bcd</sup>	78.93 <sup>cdefg</sup>
11 COL-34	44.51 <sup>ab</sup>	55.48 <sup>efg</sup>	44.13 <sup>abcd</sup>	2.40 <sup>i</sup>	1.46	81.22 <sup>cde</sup>	78.15 <sup>efg</sup>
12 COL-36	45.21 <sup>ab</sup>	56.34 <sup>bcd</sup>	45.53 <sup>a</sup>	2.10 <sup>j</sup>	1.41	82.28 <sup>bcd</sup>	78.38 <sup>defg</sup>
13 COL-45	46.08 <sup>a</sup>	54.84 <sup>ghi</sup>	43.09 <sup>bcd</sup>	3.30 <sup>cd</sup>	1.31	82.87 <sup>abc</sup>	80.54 <sup>abcd</sup>
14 COL-51	45.85 <sup>ab</sup>	55.76 <sup>def</sup>	41.59 <sup>cde</sup>	3.40 <sup>bc</sup>	1.23	83.59 <sup>ab</sup>	80.99 <sup>abc</sup>
15 COL-58	44.99 <sup>ab</sup>	54.69 <sup>hi</sup>	41.91 <sup>cde</sup>	3.20 <sup>cde</sup>	1.24	83.81 <sup>ab</sup>	81.62 <sup>ab</sup>
16 COL-62	45.85 <sup>ab</sup>	55.28 <sup>fgh</sup>	40.63 <sup>e</sup>	3.90 <sup>a</sup>	1.24	84.27 <sup>a</sup>	81.74 <sup>a</sup>
17 COL-64	45.98 <sup>ab</sup>	55.32 <sup>fgh</sup>	42.17 <sup>bcde</sup>	3.30 <sup>cd</sup>	1.29	83.52 <sup>ab</sup>	78.56 <sup>defg</sup>
18 ZAP MOR	46.8 <sup>a</sup>	56.80 <sup>ab</sup>	43.1 <sup>bcd</sup>	3.15 <sup>cde</sup>	1.3	83.24 <sup>ab</sup>	78.95 <sup>cdefg</sup>
DMS	4.67	0.65	3.17	0.27		1.69	2.17
NMX-034(2002)HN	36-42			< 5.0		> 70	> 70
M-T	42-45		≥43	≤ 5.0	≥1.5		

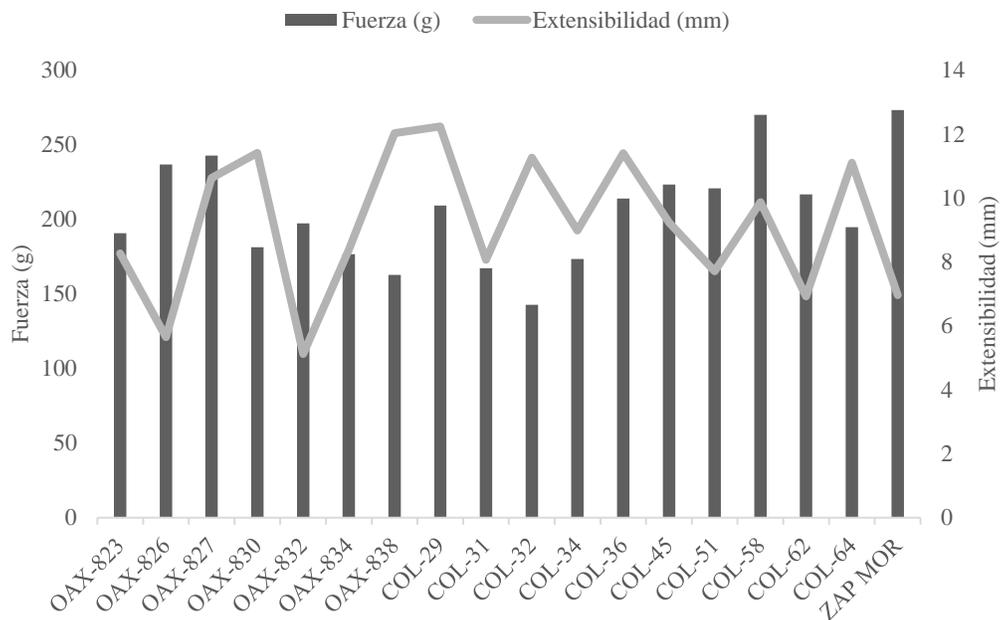
Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey. 0.05); <sup>†</sup> kg de tortilla/kg de maíz nixtamalizado; \* medido como porcentaje de reflectancia

El color de la tortilla fue diferente entre las variedades, lo cual se debió a diferencias iniciales en el color del grano. La tortilla elaborada con la COL-62 presentó el mayor L (81.74 %), siendo

la más cercana al color blanco. Las elaboradas con maíz de la COL-29, cuyo L fue de 71.05 % el más alejado del blanco. Todas las variedades evaluadas tuvieron una reflectancia superior a 70%, las tortillas elaboradas con ellas fueron más blancas (81.1 a 84.42 %). Esto obedece a que el color de la tortilla no solo está determinado por el color del grano, sino por factores relacionados con el proceso de nixtamalización, composición química del grano (Salinas *et al.*, 2007) y factores ambientales como la fertilización nitrogenada (Zepeda *et al.*, 2007).

### Propiedades de tortilla

Los valores de dureza y extensibilidad de las tortillas producidas con los maíces criollos mejorados de la raza Zapalote chico se presentan en la Figura 1. La fuerza de tensión de las tortillas de los maíces, presentó un rango de 142.67 a 273.33 g. para la fuerza extensiva, en donde se ubicaron las variedades COL-32 y ZAP-MOR respectivamente. La distancia de extensibilidad fue similar ( $P \leq 0.05$ ) para todas las variedades, no obstante, se presentó una variación numérica de 5.65 a 12.24 mm. Investigaciones realizadas por Vázquez *et al.* (2014) en genotipos de maíz con diferente contenido de aceite y diferentes tiempo de almacenamiento de tortilla, mostraron valores de fuerza de ruptura en un rango de 300 a 720 g y distancia de ruptura de 2.5 a 8.4 mm. En el presente estudio, las tortillas tuvieron menores fuerzas y mayor distancia de ruptura indicando que son suaves y se extienden un poco más para romperse. Al respecto, Mauricio *et al.* (2004) apuntan, los maíces que poseen características para tortilla deben tener valores altos de peso de granos, ancho de grano y rendimiento de tortilla, así como baja resistencia al corte de tortilla.



**Figura 1.** Fuerza máxima de rompimiento bajo tensión y su extensibilidad de tortillas.

La fuerza a la tensión y resistencia al corte son propiedades de textura de las tortillas con que se evalúan la adhesividad y el grado de dureza del producto, la tortilla cuando más suave y blanda

sea, requiere menos esfuerzo para su masticación y el producto será de mejor calidad (Antuna *et al.*, 2008).

### Propiedades de totopo

El totopo es el producto principal con el que se identifica el maíz de la raza Zapalote chico. Las variables evaluadas en los totopos de los maíces de los 18 criollos mejorados se presentan en el Cuadro 6. El análisis de varianza se realizó para cuatro de las variables. REN y PET no presentaron repeticiones. La producción de totopos osciló de 11 a 14 unidades, con un promedio de 12 a partir de un kg de grano de maíz, en el testigo reportó 10 unidades. El PET totopos fue superior en la variedad COL-64 con un valor de 643.3 g y OAX-830 fue el de menor peso (510.68 g). Sin embargo, para la comercialización de este producto, el peso no es un factor determinante, debido a su fabricación artesanal, en donde predomina la ausencia de uniformidad para la producción de este bien alimenticio, siendo relevante otros factores como el tamaño, textura crujiente, sabor, olor, etc.

Diferencia estadísticas se presentó en peso unitario, PUN, humedad, HUM, y color del totopo, CTO. El diámetro de totopo fue similar para todos los genotipos, esto obedece a que los productos fueron hechos por una sola persona de gran experiencia en la elaboración. Este razonamiento, no es aplicable para el PUN y HUM, en donde se presentaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ). Un rango de 53.89 a 61.7 g fue para PUN y para HUM fue 6.28 a 9.45 %. Debido a lo crujiente que debe ser el totopo, con relación a la humedad de la tortilla, esta se reduce en forma general en un 36 %. Estudios realizados por León (1994) encontró valores promedios de 21.6 cm en diámetro, 65.5 g en peso unitario y 5 a 6 % de humedad; datos que no concuerda con lo reportado en este estudio.

**Cuadro 6.** Características de totopos de los granos de maíz en 18 criollos mejorados de la raza Zapalote chico.

Variedad	REN <sup>†</sup>	PET <sup>§</sup> g	PUN g	DIA cm	HUM %	CTO <sup>†</sup> L (%)
1 OAX-823	13	576.76	55.24 <sup>bc</sup>	22.93 <sup>a</sup>	9.45 <sup>a</sup>	79.09 <sup>abc</sup>
2 OAX-826	11	578.44	58.2 <sup>abc</sup>	23.27 <sup>a</sup>	7.42 <sup>b</sup>	79.09 <sup>abc</sup>
3 OAX-827	12	602.98	59.67 <sup>abc</sup>	23.4 <sup>a</sup>	7.45 <sup>b</sup>	79.56 <sup>abc</sup>
4 OAX-830	13	510.68	55.68 <sup>bc</sup>	23.27 <sup>a</sup>	7.47 <sup>b</sup>	79.32 <sup>abc</sup>
5 OAX-832	13	566.13	56.73 <sup>abc</sup>	23.17 <sup>a</sup>	7.55 <sup>ab</sup>	79.55 <sup>abc</sup>
6 OAX-834	13	596.93	57.76 <sup>abc</sup>	23.23 <sup>a</sup>	7.86 <sup>ab</sup>	78.0 <sup>abc</sup>
7 OAX-838	13	613.5	60.22 <sup>ab</sup>	23.53 <sup>a</sup>	7.92 <sup>ab</sup>	77.9 <sup>bc</sup>
8 COL-29	13	598.59	59.2 <sup>abc</sup>	23.9 <sup>a</sup>	8.05 <sup>ab</sup>	78.41 <sup>abc</sup>
9 COL-31	14	550.1	53.89 <sup>c</sup>	24.07 <sup>a</sup>	7.76 <sup>ab</sup>	77.43 <sup>c</sup>
10 COL-32	12	615.5	60.79 <sup>abc</sup>	23.9 <sup>a</sup>	6.28 <sup>b</sup>	78.88 <sup>abc</sup>
11 COL-34	12	612.0	59.13 <sup>abc</sup>	23.57 <sup>a</sup>	7.62 <sup>ab</sup>	79.54 <sup>abc</sup>
12 COL-36	11	597.16	56.3 <sup>abc</sup>	23.67 <sup>a</sup>	7.02 <sup>b</sup>	79.55 <sup>abc</sup>
13 COL-45	12	617.5	60.81 <sup>ab</sup>	23.53 <sup>a</sup>	6.63 <sup>b</sup>	77.94 <sup>abc</sup>
14 COL-51	13	605.7	58.06 <sup>abc</sup>	23.8 <sup>a</sup>	6.52 <sup>b</sup>	78.46 <sup>abc</sup>
15 COL-58	13	600.0	57.14 <sup>abc</sup>	23.0 <sup>a</sup>	7.1 <sup>b</sup>	80.19 <sup>ab</sup>
16 COL-62	13	578.5	55.73 <sup>bc</sup>	23.0 <sup>a</sup>	6.69 <sup>b</sup>	80.22 <sup>a</sup>

17	COL-64	12	643.3	61.77 <sup>a</sup>	25.23 <sup>a</sup>	6.49 <sup>b</sup>	79.23 <sup>abc</sup>
18	ZAP MOR	11	627.2	60.4 <sup>ab</sup>	23.73 <sup>a</sup>	7.57 <sup>ab</sup>	77.91 <sup>abc</sup>
	Testigo	10				7.99	77.96
	DMS			6.02	2.65	1.92	2.31

REN<sup>†</sup> = número de totopos/kg de grano; PET<sup>§</sup>= peso total, medido en 10 unidades; PUN= peso unitario; DIA= diámetro; HUM= humedad; CTO<sup>‡</sup>= color de totopo, medido como porcentaje de reflectancia. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Los totopos presentaron diferencia en los valores de reflectancia, los cuales fueron superiores a 77 %. Resultado del cocimiento que es objeto la masa de maíz en el “comezal” (olla de barro sin tapa ni fondo), para la fabricación del totopo, así como la duración del proceso (8 a 12 minutos) y la adherencia al comezal, el porcentaje de reflectancia de la masa es disminuida, por lo que los totopos tienden a ser menos blancos.

### Estudio de la diversidad en las características físicas

La caracterización física de grano, nixtamal, masa, tortilla y totopos de los 18 criollos mejorados, se analizaron en conjunto mediante el análisis de componentes principales, el cual tiene la función de reducir la dimensionalidad de datos e interpretar con un reducido de variables la variación total acumulado (Johnson y Wichern, 1992).

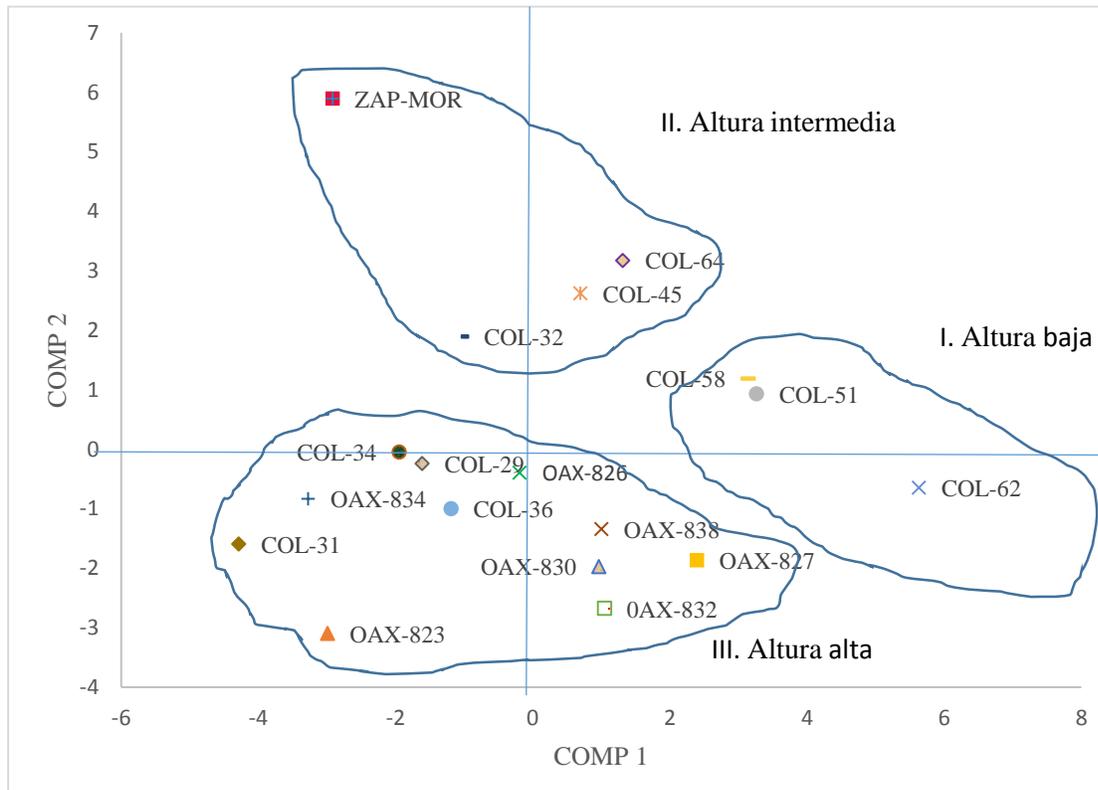
**Cuadro 7.** Análisis de componentes principales entre variables en 18 criollos mejorados de maíz de la raza Zapalote chico.

Componentes	Valores propios	Proporción	Varianza acumulada
1	6.98178921	0.2493	0.2493
2	5.19467459	0.1855	0.4349
3	3.05919322	0.1093	0.5441
4	2.78675897	0.0995	0.6437

Los cuatros primeros componentes explican 64.37 % de la variación (Cuadro 7). En estos componentes, las características más sobresalientes están relacionadas con índice de flotación, peso electrolítico, espesor y color de grano, proporción del pedicelo, peso y diámetro de totopos, humedad de granos y en masa su humedad y color.

La Figura 2 precisa la dispersión de tres grupos de maíces comprendido por los primeros componentes principales, relacionando lo más cercano los valores altitudinales a que distingue cada una de las poblaciones evaluadas (Cuadro 1). Con esta agrupación, se promedió en forma respectiva, el desempeño que registraron en las variables en cuestión. El grupo I (maíces de baja altura), integrado por el 17 % de las variedades presentaron valores altos en: índice de flotación, espesor de grano, color de grano, proporción de embrión, humedad de nixtamal, rendimiento de tortilla y totopo. Los granos de estos materiales fueron de menores en peso, longitud, proporción de pedicelo, pericarpio y endospermo; sus tortillas se distinguieron en ser más suaves al rompimiento, sus totopos de menos peso.

Los maíces de altura intermedia (28 %), integraron el grupo II. Estas poblaciones tuvieron características superiores en: humedad de grano, peso hectolítrico, longitud y ancho de granos, proporción en pedicelo y endospermo; sus totopos fueron más pesados y más blancos.



**Figura 2.** Distribución de grupos de maíces de la raza Zapalote Chico con base en los dos primeros componentes principales.

El grupo III identificado como de altura mayor, formado por el 55.5 % de los maíces, sus granos sobresalieron en: peso y espesor; proporción de endospermo, porcentaje de sólidos; la masa y tortilla fueron más blancas, no así en totopos, valores altos de humedad de nixtamal, tortilla y totopos. Rendimiento menor de tortillas y estas presentaron mayor distancia de extensibilidad en el rompimiento.

### CONCLUSIONES

Los resultados confirman la variabilidad en las características de calidad de grano. La mayoría de los maíces evaluados presentan características de calidad adecuadas para la industria tradicional de la masa tortilla y totopo. No obstante que los granos de esta raza de maíz son de menor peso y por lo consiguiente también su rendimiento de tortilla, poseen muchos atributos que se pueden aprovechar, tales como el color, la suavidad de sus tortillas y la producción artesanal de totopos. Las características estudiadas se relacionan con el uso alimenticio al cual se emplean los granos de esta raza de maíz y pueden ser utilizados para definir el potencial industrial.

## LITERATURA CITADA

- Antuna-Grijalva O., S.A. Rodríguez-Herrera, G. Arámbula-Villa, A. Palomo-Gil, E. Gutiérrez-Arias, A. Espinoza-Banda, E.F. Navarro-Orona y E. Andrio-Enríquez. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 31(3):23-27.
- Arámbula-Villa G., J.M. Yáñez-Limón, Y. Vorobiev-Vasilievich y J. González-Hernández. 2000. Coeficiente efectivo de difusión de agua en masas de maíz nixtamalizado por extrusión. *Agrociencia* 34:717-727.
- Arámbula-Villa G., J. González-Hernández and C. A. Ordorica-Falomir. 2001. Physico chemical structural and textural properties of tortillas from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. *J. Cereal Sci.* 33:245-252.
- Aragón-Cuevas F., S. Taba, J. M. Hernández-Casillas y J.D. Figueroa-Cárdenas. 2006. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México D. F.
- Aragón-Cuevas F., J.D. Figueroa-Cárdenas, M. Flores Z, M. Gaytán-Martínez y J.J. Véles-Medina. 2012. Calidad Industrial de Maíces Nativos de la Sierra Sur de Oaxaca. Libro Técnico No. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Santo Domingo Barrio Bajo, ETLA, Oaxaca, México. 249 p.
- Cárdenas-Marcelo A.L., I. Vizcarra-Bordi, A. Espinoza-Ortega y A. Espinosa-Calderón. 2019. Tortillas artesanales mazahuas y biodiversidad del maíz nativo. Reflexiones desde el ecofeminismo de la subsistencia. *Revista Sociedad y Ambiente*, año 7, núm. 19. pp. 265-291.
- Cázares-Sánchez E., J.L. Chávez-Servia, Y. Salinas-Moreno, F. Castillo-González y P. Ramírez-Vallejo. 2015. Variación en la composición del grano entre poblaciones de Maíz (*Zea mays* L.) Nativas de Yucatán, México *Agrociencia* 49: 15-30
- Fernández-Suarez. R., L.A. Morales-Chávez y A. Gálvez-Mariscal. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:275-283.
- Figueroa-Cárdenas J.D., M.G. Acero-Godínez., N.L. Vasco-Méndez, A. Lozano-Guzmán, L.M. Flores-Acosta y J. González-Hernández. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Rev. Arch. Latinoam. Nutrición* 51: 329-302.
- Figueroa-Cárdenas J.D., D.E. Narváez-González, A. Mauricio-Sánchez, S. Taba, M. Gaytán-Martínez, J.J. Véles-Medina, F. Rincón-Sánchez y F. Aragón-Cuevas. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36: 305–314.
- Gasca-Mancera J.C y N. B. Casas-Alencaster. 2007. Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 6: 317-328.
- Gaytán-Martínez M., J.D. Figueroa-Cárdenas, M.L. Reyes-Vega, E. Morales-Sánchez y F. Rincón-Sánchez. 2013. Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36: 339 –346.
- Johnson R A, and D W Wichern. 1992. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Third edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 642 p.
- León T. J. E. 1994. Caracterización física, nutricional, sensorial y regional del totopo de la sociedad de solidaridad social “Tona Taati” del Istmo de Tehuantepec, Oax. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 88p

- Martínez-Bustos F., H.E. Martínez-Flores, E. Sanmartín-Martínez, F. Sánchez-Sinencio, Y. K. Chang, D. Barrera-Arellano and E. Ríos. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1455-1462.
- Mauricio-Sánchez R. A., J. D. Figueroa-Cárdenas, S. Taba, M. I. Reyes-Vega, F. Rincón-Sánchez y A. Mendoza-Galván. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:213-222.
- McGuire, G. 1992. Reporting objective color measurements. *Hort. Sci.* (27):1254-1255.
- Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, NMX-FF-034-2002-SCFI-PARTE-1. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y Métodos de Prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Salinas M. Y., y J. L. Arellano V. 1989. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev. Fitotec. Méx.* 12: 129-135.
- Salinas M. Y., J. L. Arellano V., y F. Martínez B. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Rev. Arch. Lat. Nutrición* 42: 161-167.
- Salinas-Moreno Y. y M.G. Vázquez-Carrillo. 2006. Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAP. Campo Experimental Valle de México, Chapingo, México. Folleto Técnico No. 24. 91 p
- Salinas-Moreno Y., J.J. López-Reynoso, G.B. González-Flores y G. Vázquez-Carrillo. 2007. Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Rev. Agrociencia* 41: 295-305.
- Salinas-Moreno Y., N. O. Gómez-Montiel, J. E. Cervantes-Martínez, M. Sierra-Macías, A. Palafox-Caballero, E. Betanzos-Mendoza y B. Coutiño-Estrada. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 1: 509-523
- Salinas-Moreno Y., y L. Aguilar-Méndez. 2010. Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ing. Agríc. Biosist.* 2:5-11.
- Serna-Saldivar. S. O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Departamento tecnología de alimentos. ITESM-Campus Monterrey. AGT Editor S. A. México, D. F. 521 p.
- Serna-Saldivar. S.O., J. A. Gutiérrez-Uribe, S. Mora-Rochin y S. García-Lara. 2013. Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36: 295-304.
- SE-DGIB (Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas). 2012. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas. [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/20120411\\_analisis\\_cadena\\_valor\\_maiz-tortilla.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maiz-tortilla.pdf). (Consulta: julio, 2014).
- Turrent-Fernández A., J. I. Cortés-Flores, A. Espinosa-Calderón, H. Mejía-Andrade, J. A. Serratos-Hernández 2010 ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 1:631-646.

- Vázquez-Carrillo M. G., L Guzmán-Báez, J. L. Andrés-García, F. Márquez-Sánchez y J. Castillo-Merino. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.
- Vázquez-Carrillo G, S. García-Lara, Y. Salinas-Moreno, J. Bergvinson-D. and N. Palacios-Rojas. 2011. Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods for Human Nutr.* 66: 203-208.
- Zepeda-Bautista R., A. Carballo-Carballo, A. Muñoz-Orozco, J. A. Mejía-Contreras, B. Figueroa-Sandoval y F. V. González-Cossio. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33:17-24.
- Zepeda-Bautista R., A. Carballo- Carballo y C. Hernández-Aguilar. 2009. Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Rev. Agrociencia* 43:695-706.

## GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Agave durangensis* BAJO DIFERENTES COBERTURAS EN DURANGO, MÉXICO <sup>1</sup>

[SEED GERMINATION OF *Agave durangensis* UNDER DIFFERENT COVERAGES IN DURANGO, MEXICO]

José Antonio Candia-Acosta<sup>1</sup>, Manuel Antonio Díaz-Vasquez<sup>2</sup>, Sandra Iliana Torres Herrera<sup>2</sup>, José Apolinar Quiroz-Arratia<sup>2</sup>, Pedro Antonio Dominguez-Calleros<sup>2§</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero en Manejo Ambiental Facilitador en Tapichaua S. C. Culiacán Sinaloa. <sup>2</sup>Profesor Investigador de la FCF/UJED. Facultad de Ciencias Forestales, Rio Papaloapan y Blvd. Durango SN. Col. Valle del Sur Durango, Dgo. C. P. 34120. §Autor para correspondencia: (pdomingc@hotmail.com).

### RESUMEN

*Agave durangensis* es un maguey que se utiliza en la elaboración de mezcal en el municipio de Durango, México. Su aprovechamiento se realiza en forma empírica de poblaciones silvestres en los terrenos agaveros, lo que pone en riesgo la permanencia de esta planta en la región. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la germinación de semillas de esta especie, sembradas bajo diferentes coberturas: 1) bióticas, arbustos y, 2) abióticas, rocas, en dos áreas de diferentes densidades de *A. durangensis*. La intención es encontrar mecanismos que aumenten las probabilidades de su establecimiento en campo. Se colocaron semillas en cajas de madera y se observó su germinación durante cuatro meses. De los géneros registrados en ambos sitios destacó *Dodonaea viscosa*, planta no nativa del área de estudio y considerada, por los productores de mezcal, como invasora. Por el contrario, los resultados de este trabajo permiten considerarla como nodriza ya que bajo su cobertura se encontró un porcentaje elevado de plántulas de maguey. También bajo la cobertura abiótica se registró un elevado número de agaves. Entre las causas de la mortalidad de las semillas y plántulas destacan la sequía, el daño por el ganado y la depredación por insectos. Por lo que se considera que en las reforestaciones el *A. durangensis* se establezca bajo la cobertura biótica o abiótica, que incrementará los porcentajes de supervivencia de esta planta en el área.

**Palabras clave:** *Agave durangensis*, cobertura, germinación, nodricismo.

### ABSTRACT

*Agave durangensis* is a maguey used in the production of mescal in the municipality of Durango, México. Its use done empirically natural populations in the agave fields, which threatens the permanence of this plant in the region. This study aimed to evaluate the germination of this plant under biotic and abiotic coverage in two areas of different densities of *Agave durangensis*. The intention is to find mechanisms to increase the odds of your establishment in the field. Seeds were placed in wooden boxes and germination was observed for four months. Of the types of gender registered on both sites feature *Dodonaea viscosa*, no native plant of the study area and considered

---

<sup>1</sup> Recibido: 22 de junio 2018

Aceptado: 25 de enero 2019

by the producers of mescal, as invasive. On the contrary, the results of this study it can be considered as a mother plant because under its cover a high percentage of maguey seedlings found. Also under abiotic coverage a large number of agaves was recorded. Among the causes of mortality of seeds and seedlings include drought, damage by cattle and predation by insects. It is considered to be established in a reforestation *Agave durangensis* under biotic or abiotic coverage, this will increase the survival rates of this plant in the area.

**Index words:** *Agave durangensis*, coverage, germination, nodricism.

## INTRODUCCIÓN

Durango se encuentra entre los cuatro principales estados productores de mezcal de México, según el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C. (COMERCAM, 2007). En esta entidad, uno de los magueyes que más se utilizan para la elaboración de esta bebida es *Agave durangensis*. El maguey cenizo, como se conoce a esta especie, crece en las regiones secas del semidesierto duranguense (González *et al.*, 2009); su aprovechamiento representa una alternativa económica, y en muchos casos la única, para las familias que habitan esas regiones. Aunque la NOM-007-SEMARNAT- 1997 señala que esta especie debe ser aprovechada mediante técnicas que aseguren su sustentabilidad, es frecuente que los programas de manejo y/o los ejecutores de estos carezcan de información técnica para lograr un aprovechamiento racional, lo que pone en riesgo su existencia. Esta situación es reportada en las poblaciones silvestres del municipio de Durango (Díaz, 2002; Barraza *et al.*, 2014).

Las especies vegetales que crecen en sitios con limitaciones de humedad y altas temperaturas, como los agaves han adoptado mecanismos fisiológicos que les permiten establecerse en estos. El nodricismo es una habilidad que les auxilia a establecerse bajo la cobertura de otras especies del estrato superior mejorando su microhábitat, proporcionándole cobertura contra la radiación solar excesiva directa e incluso aumentando la humedad en torno a ella (Miranda *et al.*, 2004). Este efecto ha sido documentado en especies vegetales de los desiertos Chihuahuense y Sonorense, principalmente para cactáceas globosas de los Géneros *Mammillaria*, *Lophophora* y *Opuntia*, y para especies columnares como *Carnegiea*, *Stenocereus* (Turner *et al.*, 1966; Hutto *et al.*, 1986; McAuliffe & Janzen, 1986; Álvarez-Hidalgo *et al.*, 1999).

Esta investigación tuvo como fin determinar el nivel de germinación de semillas de *Agave durangensis* bajo diferentes coberturas, tanto bióticas como abióticas, para así establecer una técnica que permita conservar esta especie y que la tasa de regeneración no represente un impedimento para seguir con su aprovechamiento en el área.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El experimento se realizó en el Ejido Tomas Urbina, perteneciente al municipio de Durango, México, en las coordenadas geográficas del sitio son: 23° 55' y 23° 41' de latitud norte y 104° 25' y 104° 33' longitud oeste.

El tipo de vegetación corresponde a matorral desértico rosetófilo, las especies vegetales presentes en el área son *Yucca* sp. (Palma), *Agave durangensis* (Maguey cenizo) (Figura 1), *Acacia farnesiana* (Huizache), *Prosopis laevigata* (Mezquite), *Opuntia* sp. (Nopal), *Dodonaea viscosa* (Jarilla), *Dasilirion* sp. (Sotol) y otras (González *et al.*, 2009).



**Figura 1.** Planta de *Agave durangensis*.

## Metodología

El material vegetal fueron semillas de *Agave duranguensis* que se colectaron en la sierra de Registrillo del Ejido Tomás Urbina durante los meses de junio, julio y agosto del año 2011. Estas semillas se almacenaron en bolsas de papel dextrasa en condiciones de temperatura ambiente. El experimento se estableció en el mes de septiembre, en dos áreas en las que previamente se determinó que tenían diferente densidad de *Agave durangensis*, para esto se realizaron seis sitios circulares de 1/10 de ha (tres en cada área). Bajo un diseño en bloques completos al azar, bloque 1, con agaves en baja densidad, bloque 2, con agaves en alta densidad. La siembra de semillas de *A. durangensis* se estableció bajo tres diferentes coberturas: 1) biótica, que consistió de arbustos y árboles; 2) abiótica, que consistió de rocas; 3) testigo, que no tuvo ninguna cobertura. En total se utilizaron 18 cajas de madera de 30 cm x 30 cm y 15 cm de altura (Figura 2), que contenían una capa de 10 cm de espesor de sustrato a base de tierra de monte (9 en cada área, 3 en cada cobertura).



**Figura 2.** La imagen muestra las cajas establecidas bajo las coberturas biótica y abiótica.

En cada caja se sembraron 100 semillas a 2cm de profundidad en el sustrato, dando un total de 900 semillas. Para homogeneizar la germinación, previo a sembrar las semillas éstas se remojaron en agua fría a 4 °C, durante 24 h. Posteriormente en la segunda semana de agosto del 2011 se pusieron las cajas en el sitio de muestreo y a partir de su colocación, se realizaron ocho visitas a los sitios en intervalos quincenales durante cuatro meses, realizando la última visita en la segunda semana de diciembre en los que se registraron las especies vegetales y su abundancia. Los datos se evaluaron y graficaron utilizando el programa Excel®. Se registraron además los datos climáticos y se observaron aspectos ecológicos de los sitios para la interpretación de los resultados obtenidos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambas condiciones el número de plántulas registradas fue diferente destacándose la abundancia de la “jarilla” (*Dodonaea viscosa*) de la familia Sapindaceae (Figura 4) que se observó en mayor cantidad en el sitio de abundante densidad de magueyes.

La Figura 3 muestra los géneros vegetales registrados en los sitios experimentales (abundante y escasa densidad).



**Figura 3.** Izquierda área de abundante densidad. Derecha el área de escasa densidad.



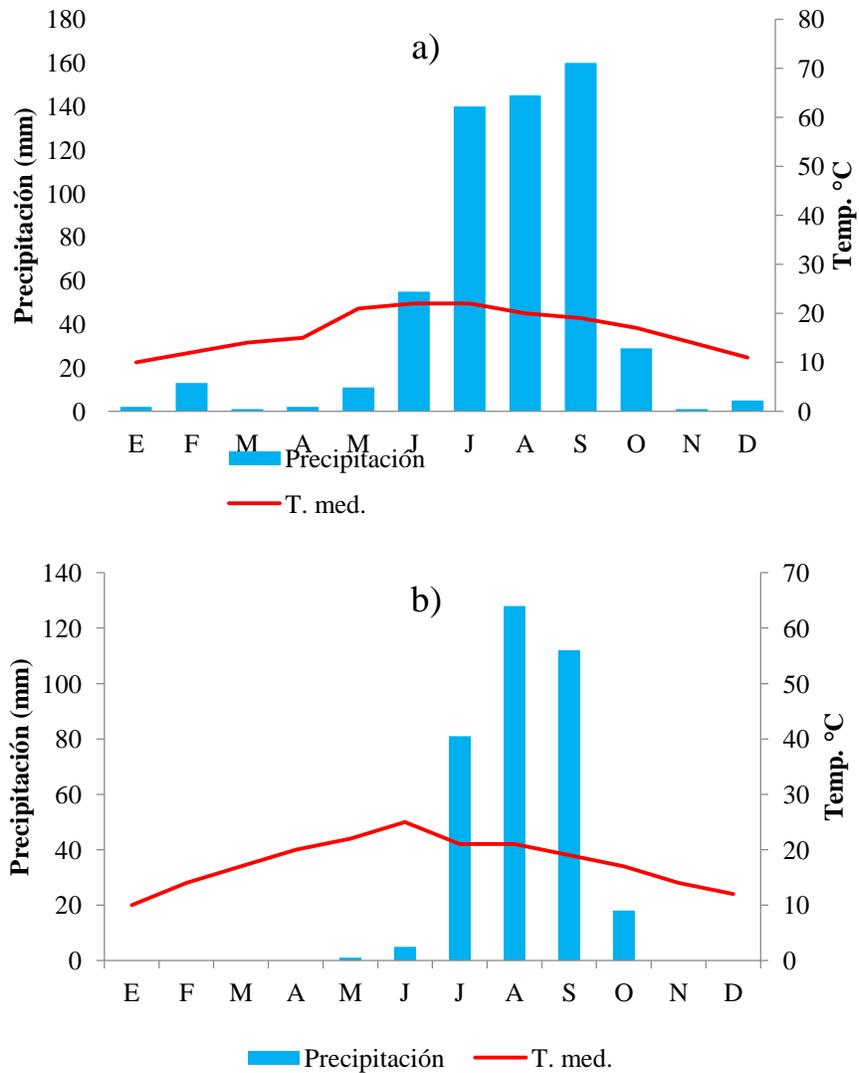
**Figura 4.** *Dodonaea viscosa*.

Esta es catalogada como una maleza por Villaseñor y Espinoza (1988), se registra presente en todos los estados de la República, a pesar de ser endémica de Australia (Laguna-Lumbreras y Sánchez de Lorenzo-Cáceres, 2009) y, es la única especie de este género conocida para México (Rzedowski y Calderón, 2006). En Durango, *D. viscosa*, se conoce popularmente como “jarilla”, “matagusano” y “cucaracha” (González-Elizondo *et al.*, 2004), se reporta como una especie leñosa agresiva que está tomando la dominancia sobre los demás arbustos (González-Elizondo *et al.*, 2007). Por esto, existe una correlación directa entre la cantidad de *A. durangensis* que comenzó a disminuir cuando la “jarilla” apareció en el área, esta aseveración la hacen los habitantes de la región, quienes la consideran como una plaga. Aunque según Correa (2004) esta especie puede utilizarse en la reforestación de terrenos marginales.

Con datos de la estación climatológica Valle Florido (INIFAP 2011) se elaboraron los climogramas presentados en la Figura 5, esta consta de dos partes: a) periodo 2006-2010 y b) 2011, que fue cuando se hizo esta investigación. La precipitación durante el periodo 2006-2010 se registró en todos los meses del año, siendo mayor en julio, agosto y septiembre. Una época húmeda se registró de junio a octubre, que es cuando la precipitación supera a la evapotranspiración. La precipitación total registrada en 2011 fue de 345 mm, menor a los 564 mm de promedio anual observado durante el periodo 2006-2010 y las temperaturas oscilaron entre los 20 y 25 °C en el verano; esto significa que el periodo húmedo fue más corto en este año. Lo anterior influyó, en parte, en que ocurriera germinación baja de semillas y en el establecimiento de las plántulas de agave en el sitio.

En las comunidades vegetales, el banco de semillas en el suelo (BSS) constituye el potencial regenerativo (Godoy, 2012), siendo éste la principal reserva de semillas de malezas tanto germinadas como no germinadas, las semillas germinadas se encuentran en mayor porcentaje, el cual disminuye al aumentar la profundidad del suelo (Godoy, 2012). Hay ciertas características como el tamaño que influyen en la germinación, las semillas grandes tienen mayor capacidad que las pequeñas para germinar cuando están enterradas y posteriormente emergen del suelo (Brown *et al.*, 2003), al tener mayor reserva de nutrientes (Leishman *et al.*, 2000). La heterogeneidad del suelo crea una gran diversidad de micro sitios con diferentes contenidos de humedad y aireación, que pueden regular la germinación, latencia y distribución de las malezas, (Bewley y Black, 1985).

En el Cuadro 1 se muestra la cantidad de semillas germinadas en los diferentes sitios y coberturas del área con escasa densidad de *A. durangensis*. Solo se observaron plántulas en las tres primeras visitas, durante los meses de septiembre y octubre, perteneciendo a la segunda visita el mayor porcentaje, coincidiendo esto con los eventos de lluvia registrados en la zona. Bajo la cobertura abiótica se registró un mayor número de plántulas, seguramente la competencia por agua de las plantas en la cobertura biótica fue la causa de esta situación ya que las cajas se colocaron bajo el dosel de las jarillas, que fueron las pantas de mayor presencia en los sitios. *Dodonaea viscosa* es un arbusto que crece en terrenos con disturbio edafológico severo, sus raíces son superficiales para aprovechar al máximo el agua de lluvia (Hokche *et al.*, 2008). Como otras probables causas de la disminución en la germinación y/o mortandad de las plántulas se pueden mencionar a la sequía, depredación por insectos y causado por el ganado.

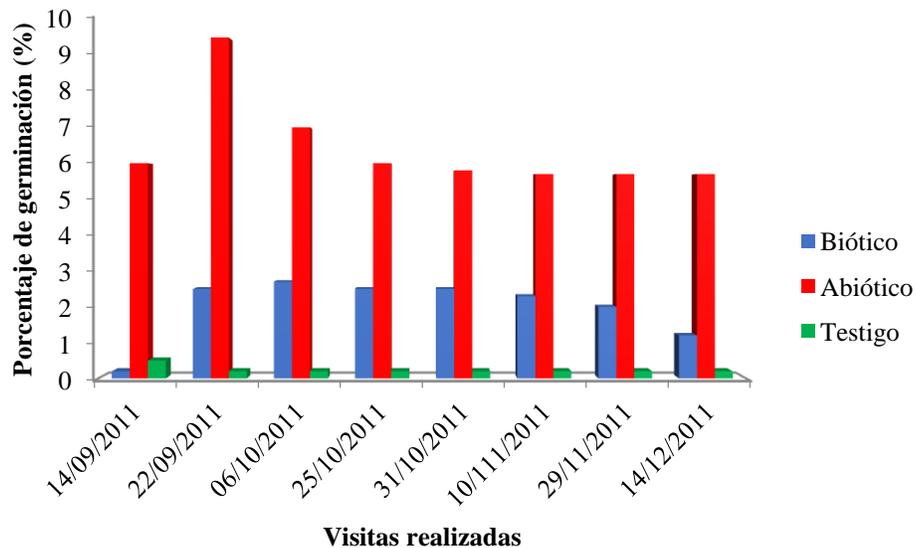


**Figura 5.** a) Climograma del periodo 2006-2010; b) Climograma del año 2011.

**Cuadro 1.** Germinación de semillas registrada en los sitios con escasa densidad de *Agave durangensis*.

		Cantidad de semillas germinadas en las visitas realizadas (2011)								
		Cobertura	14/09	22/09	06/10	25/10	31/10	10/11	29/11	14/12
Sitio 1	Caja 1	Biótica	0	0	0	0	0	0	0	0
	Caja 2	Abiótica	2	8	0	0	0	0	0	0
	Caja 3	Testigo	0	0	0	0	0	0	0	0
Sitio 2	Caja 4	Biótica	0	5	0	0	0	0	0	0
	Caja 5	Abiótica	0	0	0	0	0	0	0	0
Sitio 3	Caja 6	Testigo	0	7	1	0	0	0	0	0
	Caja 7	Biótica	0	0	0	0	0	0	0	0
Sitio 3	Caja 8	Abiótica	0	0	0	0	0	0	0	0
	Caja 9	Testigo	0	0	0	0	0	0	0	0
Germinación total			2	20	1	0	0	0	0	0

Nobel (1998) señala que aun cuando las plántulas de *Agave* producen una gran cantidad de semillas, cercanas a las 65,000 como es el caso de *A. deserti*, las condiciones ambientales donde se desarrollan son bastante secas y en muchas ocasiones la humedad disponible permitirá solamente su germinación, pero las condiciones de sequía de las épocas calurosas no permitirán que sobrevivan al primer año. Ramírez *et al.* (2000) reportan que en el caso de *Agave tequilana*, el porcentaje de semillas que germinan es del 4 al 6% por lo que su propagación es a través de hijuelos de rizoma. En el caso de *Agave durangensis*, se encontró que el porcentaje de semillas que germinaron fue entre 94 a 96 %, mientras que su propagación mediante hijuelos de rizoma es de cuatro a seis propágulos por planta, a partir de 3 o 4 años de edad. En esta investigación, la germinación de semillas fue más regular en el sitio de abundante densidad de agaves (Figura 6), observándose plántulas desde el inicio del registro, con un considerable incremento en la segunda visita luego declinó un poco y se mantuvo estable el porcentaje a partir de la cuarta visita. Destacaron los porcentajes encontrados en las cajas instaladas bajo la cobertura abiótica los cuales tuvieron la mayor cantidad de plántulas que los de cobertura biótica. Esta condición, de alguna manera, puede considerarse como nodricismo, ya que bajo su dosel se mantiene por más tiempo la humedad del suelo, y se atenúa la elevada radiación solar durante el verano, que influye en menor temperatura de aire y suelo. Lo anterior puede ser condición apropiada para mejorar el estatus hídrico y la supervivencia de plántulas (Maestre *et al.*, 2001; Castro *et al.*, 2002; Caviates *et al.*, 2006).



**Figura 6.** Promedio de semillas que germinaron en el área de abundante densidad de *Agave durangensis*.

Las plántulas observadas al final de este trabajo fueron muy pocas; debido a que la precipitación registrada en 2011 fue menor al promedio observado durante el periodo 2006- 2010 y las temperaturas oscilaron entre los 20 y 25 °C en el verano; esto significa que el periodo húmedo fue más corto en este año, aunado a la presencia de ganado en la zona y aves, razón por la cual se considera inconveniente realizar un análisis estadístico. El número de agaves observados es muy similar a la cantidad registrada al inicio de esta investigación en el sitio de abundante densidad.

Nobel (1998), señala que aun cuando las plántulas de *Agave deserti* producen una gran cantidad de semillas, las condiciones de aridez en donde crece esta planta permitirán solamente su germinación, mas no su establecimiento ya que se registra una alta mortalidad durante el primer año, debido a que las plantas desarrollan una gran capacidad para absorber agua, porque el desarrollo de su raíz es de aproximadamente un tercio con respecto al desarrollo del tallo y hojas, presentando con ello diferente capacidad de absorción de soluciones. En este trabajo el porcentaje de disminución de establecimiento de *A. durangensis* es cercano al 30% en los 4 meses evaluados, lo que coincide con lo reportado por Orea (2006), donde señala que a temperaturas de 20 a 25 °C *Agave Durangensis* tiene una mayor germinación en poco tiempo.

## CONCLUSIONES

Los promedios de germinación en *A. durangensis* en ambos sitios se consideran buenos, aunque esto no garantiza la supervivencia de las plantas en los sitios. Como factores que incrementaron la mortalidad de las semillas o plántulas se pueden citar: depredación por insectos, daños por pisoteo del ganado o fauna silvestre, aunado a la escasa precipitación registrada en el área durante el tiempo de esta investigación. Respecto al efecto del *nodricismo* pudo observarse que bajo la cobertura abiótica se registró una mayor cantidad de semillas germinadas y también, el crecimiento de las plántulas de *A. durangensis*. Lo anterior permite considerar que el nodricismo abiótico puede resultar una condición positiva en la restauración de los sitios favoreciendo así, a la permanencia de *A. durangensis* en la región.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez, H. S., C. S. González., A. Juárez., M. Y. Pazaran. y H. Surzán. 1999. Análisis poblacional de *Lophophora difusa* en la zona de Higuierillas-Peña Blanca, Querétaro. En: Cactáceas y otras Plantas Suculentas. II Congreso Mexicano, I Congreso Latinoamericano y del Caribe. Sociedad Mexicana de Cactología. Oaxaca, México. p. 74.
- Barraza-Soto, S., P.A. Domínguez-Calleros, E. Montiel-Antuna y M.A. Díaz-Vásquez. 2014. La producción de mezcal en el municipio de Durango, México. *Ra Ximhai* 10(6): 65-74.
- Bewley, J.D. 1985. *Seeds: Physiology of development and germination*. New York, Plenum Press. 367 p.
- Brown J, N.J. Enright & B.P. Miller. 2003. Seed production and germination in two rare and three common co-occurring *Acacia* species from south-east Australia. *Austr. Ecol.* 28: 271-280.
- Castro, J., R. Zamora, J. A. Hódar and J. M. Gómez. 2002. Use of shrubs as nurse plants: A new technique for reforestation in Mediterranean Mountains. *Restor. Ecol.* 10: 297-305.
- Caviars, L. A., E. I. Badano, A. Sierra-Almeida, S. Gómez-González and M. A. Molina-Montenegro. 2006. Positive interactions between alpine plant species and the nurse cushion plant *Laretia acaulis* do not increase with elevation in the Andes of central Chile. *New Phytologist* 169(1):59-69.
- Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM). 2007. Informe anual sobre los estados con mayor producción de mezcal. México, Durango. 2007 (Consultado: 14/08/2011). Disponible en: <http://www.sedecodurango.gob.mx/MEZCAL.pdf>.

- Correa, A. M. D., C. Galdames y M. S. De Stapf. 2004. Catálogo de plantas vasculares de Panamá. Smithsonian Tropical Research Institute 1(1): 599.
- Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Regional Unidad Durango. (CIIDIR- Unidad Durango). 2009. Agaves, magueyes, lechuguillas y noas de estado de Durango. México, Durango. 2009. (Consultado: 12/07/2011). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/322243902\\_Agaves\\_magueyes\\_lechuguillas\\_y\\_noas\\_-\\_del\\_Estado\\_de\\_Durango\\_y\\_sus\\_alrededores](https://www.researchgate.net/publication/322243902_Agaves_magueyes_lechuguillas_y_noas_-_del_Estado_de_Durango_y_sus_alrededores).
- Díaz-Vásquez, M. A. 2002. Permiso de aprovechamiento de agave cenizo, para el ejido San Francisco del Manzanal, municipio de Durango. Folleto Técnico. UJED. Escuela de Ciencias Forestales. Durango, Dgo. 92 p.
- Instituto Botánico de Venezuela. 2008. Nuevo Catálogo de Flora Vasculare de Venezuela. 1–860. Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela. 2008. (Consultado: 11/05/2016). Disponible en: [http://www.researchgate.net/publication/285235425\\_Pteridaceae](http://www.researchgate.net/publication/285235425_Pteridaceae).
- Godoy, G., J. Vega y A. Pitty. 1995. El tipo de labranza afecta la flora y la distribución vertical del banco de semillas de malezas. *Ceiba* 36(2): 217-229. Disponible en: <https://revistas.zamorano.edu/index.php/CEIBA/article/view/293>
- González-Elizondo, M., I. L. López-Enríquez, M. S. González-Elizondo y J. Tena-Flores. 2004. Plantas medicinales del estado de Durango y zonas aledañas. CIIDIR Durango, IPN. México
- González-Elizondo, M. S., M. González-Elizondo y M. A. Márquez-Linares. 2007. Dinámica de la vegetación. En: Vegetación y Ecorregiones de Durango (Eds. González Elizondo, M. S., M. González, M. A. Márquez). Plaza y Valdez. México, pp. 130- 139.
- Haffer, D. 1970. Factors influencing persistence and depletion in buried seed populations: effects of soil temperature and moisture. *Crop Science* 10: 342-345.
- Hutto, R. L., J. R. McAuliffe and L. Hogan. 1986. Distributional associates of the Sahuaro (*Carnegiea gigantea*). *The Southwestern Naturalist* 31(4):469-476.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas. 2011. (Consultado:24/08/2016). Disponible en: <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>.
- Leishman M, I.J. Wright, A.T. Moles and M. Westoby. 2000. The Evolutionary Ecology of Seed Size. En Fenner M (Ed.) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd ed. Cabi. Wallingford, RU. pp. 31-57.
- Maestre, F. T., S. Bautista, J. Cortina and J. Bellot. 2001. Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications* 11(6): 1641-1655.
- McAuliffe J. and F. Janzen. 1986. Effects of intraspecific crowding on water uptake, water storage, apical growth, and reproductive potential in the Sahuaro Cactus, *Carnegiea gigantean*. *Botanical Gazette* 147(3): 334-341.
- Miranda, J., F. Padilla y F. Pugnaire. 2004. Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas, Asociación Española de Ecología Terrestre* 13(1):55-58.
- Nobel, P.S. 1996 *Ecophysiology of roots of desert plants, with special emphasis on agaves and cacti*: Y. Waisel, A. Eshel, Ukafkafi (eds) *Plant Roots: The Hidden Half*. 2nd Edn. Marcel Dekker, New York. pp. 823-844.
- Nobel, P.S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Ed. Trillas. México. 211 p.
- Norma Oficial Mexicana (NOM). 1997. NOM-007-SEMARNAT-1997. Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas o pencas, flores, frutos y semillas. (Consultado: 31/08/16) Disponible en <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3306/1/>.

- Orea L. G., A. Cifuentes-Díaz de León, S. Gómez-Ortiz y V. Hernández-Vargas. 2006. Germinación de semillas (*Agave durangensis*) a diferentes temperaturas y efecto de la fertilización en el desarrollo de las plántulas. *Vidsupra* 1: 51-56.
- Ramírez M. R., L.A. Parra, F.I. Armenta, J. Borodanenko y J.L. Barrera. 2000. Germinación de semillas y cultivo *in vitro* de brotes de *Agave tequilana* WEBER, var. Azul. *In: Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética*. Irapuato, Gto. Mex. p. 344.
- Rzedowski, J. y G. Calderón. 2006. *Sapindaceae*, Fascículo 142. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Instituto de Ecología Regional A.C. Michoacán, México. 162p.
- Turner R., S. Alcorn, G. Olin and J. Booth. 1966. The influence of shade, soil and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette*. 127:95-102.
- Villaseñor, J. L y F. J. Espinosa. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 449 p.

## ANÁLISIS DE SOLUBILIDAD Y PATRÓN ELECTROFORÉTICO DE PROTEÍNAS DE RESERVA DE YACA (*Artocarpus heterophyllus*)<sup>1</sup>

### [ANALYSIS OF SOLUBILITY AND ELECTROPHORETIC PATTERN OF YACA (*Artocarpus heterophyllus*) RESERVE PROTEINS]

Marco Antonio Sánchez Zacarías, María de la Luz Sánchez Mundo<sup>§</sup>, Adela Martínez Hernández, Moisés Arias Barahona, Vianey Fuentes Cruz

Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital Km 6.0 Col. J. Mario Rosado, C.P. 96980. Las Choapas, Ver. México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (sanchez\_mundo@hotmail.com).

#### RESUMEN

Las semillas de la yaca (*Artocarpus heterophyllus*) presentan propiedades anticancerígenas, antihipertensivas, antiúlceras, antioxidantes, quelantes, antifúngicas y antimicrobianas, además de que son beneficiosas en la purificación de la sangre y en dolencias pancreáticas. El objetivo del trabajo fue evaluar la solubilidad y perfil electroforético de proteínas de semillas de yaca para generar más información sobre sus propiedades. La separación de fracciones se realizó de acuerdo a Osborne (1994). La proteína se cuantificó por el método de Lowry *et al.* (1951) con algunas modificaciones. El perfil electroforético se realizó mediante la técnica SDS-PAGE. Las semillas de yaca contienen mayoritariamente albúminas (35 %) y en menor cantidad prolaminas (11 %). Únicamente se detectó diferencia estadística en la fracción de globulinas en semillas desengrasadas. En semillas frescas y desengrasadas se detectaron en albúminas 3 bandas de 165.6, 133.6 y 48.1 kDa, para las globulinas 5 bandas de en un rango de 156.9 a 26.6 kDa, en semillas desengrasadas la banda de 59.7 kDa no fue detectada; para el caso de glutelinas en semillas desengrasadas se detectaron bandas de 12.5 <17 kDa que no fueron identificadas en fresco. La semilla puede ser una alternativa para extraer proteínas solubles para su aplicación en nuevos productos.

**Palabras clave:** Propiedades funcionales, semillas, yackfruit.

#### ABSTRACT

The seeds of the jaca (*Artocarpus heterophyllus*) have anticancer, antihypertensive, antiulcer, antioxidant, chelating, antifungal and antimicrobial properties, as well as being beneficial in the purification of blood and pancreatic diseases. The objective of the work was to evaluate the solubility and electrophoretic profile of proteins and seeds to generate more information about their properties. The separation of fractions was carried out according to Osborne (1994). The protein was quantified by the method of Lowry *et al.* (1951) with some modifications. The electrophoretic profile was performed using the SDS-PAGE technique. The seeds of yaca contain mainly albumins

---

<sup>1</sup> Recibido: 25 de abril de 2019.  
Aceptado: 10 de junio de 2019

(35%) and in smaller amount of prolamins (11%). The statistical difference in the fraction of globulins in degreased seeds was detected. In fresh and degreased seeds, 3 bands of 165.6, 133.6 and 48.1 kDa were detected in albumins, for 5-band globulins in a range of 156.9 to 26.6 kDa, in degreased seeds the 59.7 kDa band was not detected; For the case of glutelin in the seeds, bands of 12.5 <17 kDa were detected that were not identified in the fresh. The seed can be an alternative to extract the soluble proteins for its application in new products.

**Index words:** Functional properties, seeds, jackfruit.

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas fuentes de proteínas es una importante tendencia de investigación, con respecto a las proteínas vegetales, estas deben poseer un buen valor nutricional, estar libres de todo contaminante o factor antinutricional, ser aceptadas por el consumidor y poseer buenas propiedades funcionales para su incorporación como ingredientes en la elaboración de alimentos destinados al consumo humano (Paredes *et al.*, 1980). Los cereales son la principal fuente de proteínas para la humanidad el trigo, el arroz y el maíz proveen el 85 % de la proteína consumida a nivel mundial (Shewry y Miflin, 1985).

Linares (2003) ha reportado que contiene abundantes nutrientes, antioxidantes, facilita el equilibrio celular porque contiene suficiente potasio y mejora la digestión por su alto contenido de fibras, las semillas están rodeadas de una cubierta carnosa (arilo) a los que se les llama bulbos, mismos que se secan y se fríen en aceite para comer con sal como papas fritas; igualmente son fermentados y destilados para producir un potente licor.

Las semillas presentan propiedades anticancerígenas, antihipertensivas, antiúlceras, antioxidantes, quelantes, antifúngicas y antimicrobianas, además de que son beneficiosas en la purificación de la sangre y en dolencias pancreáticas (Gupta *et al.*, 2011; Shanmugapriya *et al.*, 2011; Gangaraju *et al.*, 2015). Se ha reportado que los extractos de semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) presentan actividad fibrinolítica, indicando aplicaciones potenciales de las proteasas de la yaca en el tratamiento de desórdenes trombóticos (Gangaraju *et al.*, 2015).

Dentro de las principales opciones para la recuperación de proteínas se encuentra la producción de aislados proteicos así como fracciones proteicas y en el caso de las frutas, resulta atractivo su obtención a partir de las semillas, ya que en esta parte es donde suele concentrarse de manera importante dichos nutrientes. En semillas de comino se han estudiado aislado proteicos que sugieren que las proteínas de comino pueden ser un fuente prometedora de proteínas para la industria de alimentos por sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Chen *et al.*, 2018).

Además de recuperar las proteínas de subproductos o residuos en forma relativamente purificadas, es necesario realizar su evaluación para determinar su uso potencial en alimentos para consumo humano. En ese sentido, la evaluación de las propiedades funcionales de los aislados proteicos representa una estrategia necesaria para determinar miles de propiedades no nutritivas que pueden potenciar dichos materiales para recomendar su aplicación en alimentos (Paredes *et al.* 1980). Las proteínas de las plantas están divididas en cuatro categorías, albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas, de acuerdo a su solubilidad en diferentes solventes, tales como agua, sales, alcohol y soluciones alcalinas (Osborne, 1924). Las albúminas del fraccionamiento de Osborne representan las principales proteínas activas y se han reportado que juegan un papel importante es

procesos biológicos y en el procesamiento de algunos productos tales como la cebada y productos intermediarios del malteado (GeiBinger *et al.*, 2019). En el presente trabajo se analizaron las proteínas de la yaca mediante pruebas de solubilidad y electroforesis SDS-PAGE con la finalidad de investigar las proteínas mayoritarias para evaluar su aplicación potencial en la industria de alimentos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales y acondicionamiento de las semillas

Las semillas de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) fueron recolectadas en una tienda comercial del municipio de Las Choapas, Veracruz, México. Los reactivos utilizados en este proyecto fueron de la marca J. T. Baker (Phillipsburg, NJ, USA), Sigma – Aldrich, (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA); Merck (Darmstadt, Germany).

Para el acondicionamiento de las semillas de la yaca se procedió al lavado eliminando toda partícula sólida que estuviese presente en el fruto, para la desinfección se usó desinfectante comercial marca Probacter Clean JLG,S.A de C.V, se extrajeron las semillas y se trituraron en una licuadora marca Black & Decker modelo BL100RG, se acondicionaron de dos formas distintas por el tipo de pruebas a realizar, las semillas frescas sin desengrasar se refrigeraron a 4 °C, otra parte de semillas fueron desengrasadas con Hexano a 1:3 (P/V) en un equipo de soxhlet. Ambas harinas se usaron para la extracción de las fracciones proteicas.

### Extracción y fraccionamiento de las proteínas

La harina libre de grasa se usó para la separación de fracciones de acuerdo al criterio de solubilidad (Osborne, 1994). Las proteínas de reserva se extrajeron usando 1 g de harina desengrasada en 10 ml de solución de extracción por 2 h a 4 °C con agua destilada, para extraer albúminas, el sobrenadante se recuperó mediante centrifugación a 10,000 g a 30 min y la fracción de albúminas se almacenó a 4°C. Fracción globulina extraída con una solución de NaCl al 10 % pH 7 proporción 1:10 (P/V) con agitación constante por 2 h a 4 °C, para la fracción de prolaminas se siguieron las mismas condiciones que las albúminas con una solución de Isopropanol al 70 %; para extraer la fracción glutelinas bajo las mismas condiciones en que fueron extraídas las anteriores fracciones proteicas en una solución de NaOH 0.1M.

### Cuantificación de proteína (Lowry Modificado)

La proteína de las diferentes extracciones se determinó mediante el método de Folin-Lowry modificado por Markwell *et al.* (1978) se agregaron 100 µL de extracto con 200 µL de agua destilada. Posteriormente, se adicionaron, 1000 µL de reactivo A (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 2 % NaOH al 0.4 % SDS al 1 %, tartrato de sodio y potasio al 0.16 %) más reactivo B (CuSO<sub>4</sub> 5 H<sub>2</sub>O al 4 %) en una proporción de (100:1), se incubó durante 15 min en agitación constante a temperatura ambiente posteriormente se agregaron 100 µL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido 1:1. La mezcla fue agitada en vortex e incubada a 37 °C durante 45 min. Las muestras se leyeron a una longitud de onda de 660 nm.

### **Diálisis y ultrafiltración**

Las fracciones proteicas globulinas, prolaminas y glutelinas fueron dializadas en Membranas de celulosa Spectra/Por 6 de 10,000 MWCO y concentradas por medio de ultrafiltración en un Equipo de diálisis Amicon Stirred Cell 50 mL UFSCO5001 Millipore Corporation empleando una membrana de 10 KDa de peso molecular (Amicon ® Millipore) a una presión de 15 psi. La relación de la muestra fue dializada contra el mismo volumen de solución en agua hasta alcanzar el equilibrio (Gallo *et al.*, 2005).

### **Electroforesis SDS-PAGE**

Las fracciones proteicas se analizaron por electroforesis en gel con concentración de acrilamida 11 % como separador 5 % como concentrador en condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE) de acuerdo a Laemmli (1970). Para la inyección de la muestra se tomaron 3 µL del Marcador y 15 µL de cada una de fracciones proteicas. Posteriormente se corrió el gel en la cámara de Electroforesis de la Marca Sigma a 120 V durante 3 h. Los geles se tiñeron con azul brillante de Coomassie, el desteñido se realizó con etanol al 50 % se continuó el lavado con una solución de etanol/ácido; acético/agua en una proporción 3:7; 6:3 (v/v). Las bandas de los distintos perfiles de los extractos proteicos fueron cuantificadas mediante el programa 1Dscan EX Versión 3.1.

### **Análisis estadístico**

Todos los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para la comparación múltiple de medias (Tukey, 0.05) utilizando el software MINITAB 17.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

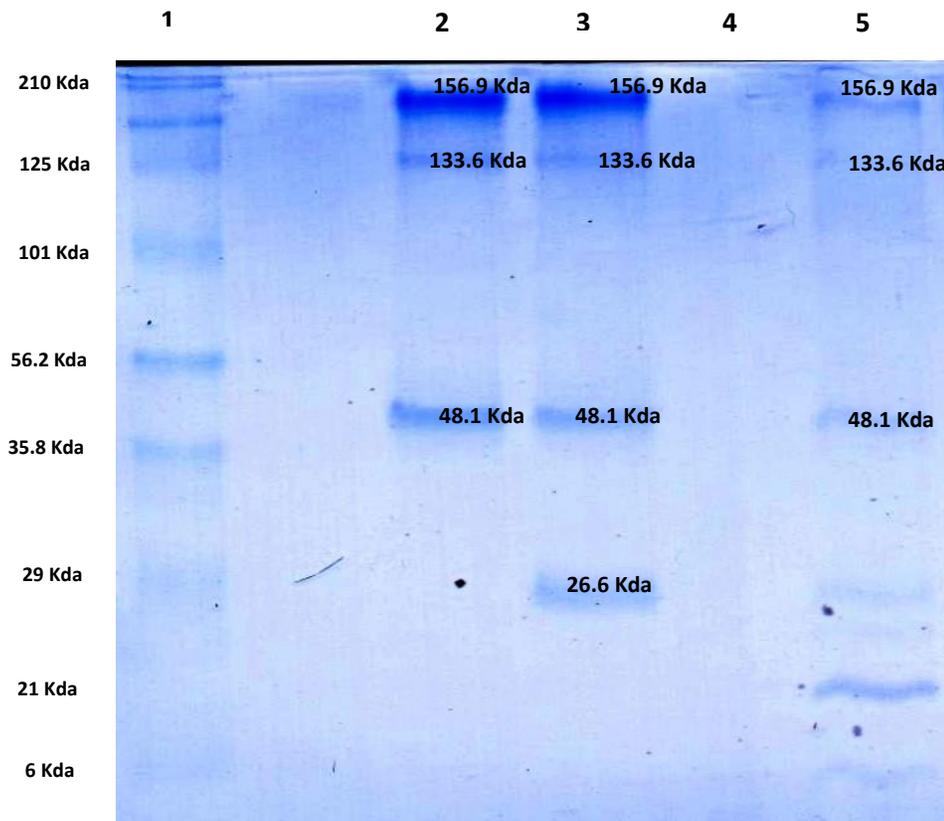
En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los contenidos de proteínas de las diferentes fracciones de proteínas en dos tipos de condiciones (fresca y desengrasada), identificando diferencias estadísticamente significativas únicamente en las globulinas cuando se aplica un desengrasado de la semilla, incrementando valores de 5.31 a 7.00. De la semilla de yaca se extrajo más proteína soluble en H<sub>2</sub>O (fracción albúmina) con 8.11 mg mL<sup>-1</sup>, seguido de las proteínas solubles en NaCl (fracción globulinas) con un 7.00 mg mL<sup>-1</sup>, las proteínas solubles en NaOH (fracción glutelinas) con un 28 % y finalmente las proteínas solubles en isopropanol (fracción prolaminas). De acuerdo a lo reportado por otros autores, las dicotiledóneas presentan como principales proteínas de reserva albúminas y globulinas (Mandal y Mandal, 2000). Las albúminas también han sido predominantes en semillas de *A. trifoliata var. australis* con un 51.65% (Siow *et al.*, 2017) y en semillas de comino con un 62 % (Chen *et al.*, 2018). Es relevante considerar la importancia de que las albúminas resultan la fracción más abundantes en la semilla de la yaca ya que son la fracción que más impacto tiene sobre la salud humana en cuanto a alergias (Dunwell, 2005), además de presentar buenas propiedades de espumado que podrán ser utilizados en ciertas aplicaciones en alimentos (Sathe *et al.*, 2018). Se han identificado a las albúminas como principales fracciones proteicas en castaña china (*Castanea mollissima* Blume) con un 71.62 % del total de proteína soluble, seguido de glutelinas (28.38%), La globulinas y prolaminas no fueron detectadas en el fruto (Yang *et al.*, 2018). También se han reportado a las albúminas y glutelinas como proteínas mayoritarias con un 26 % y 57 % en semillas de *K. hospita* (Chandra y Sinhababu, 2018). En semillas de diferentes cultivares de quinoa se han reportado proteínas solubles (albúminas y globulinas) en el rango del

40 a 65% y las proteínas insolubles (prolaminas y glutelinas) con valores de 25 a 34 % (Mufari *et al.*, 2018).

**Cuadro 1.** Fraccionamiento por solubilidad de proteínas de semilla de yaca.

Semillas	Albúminas	Globulinas	Prolaminas	Glutelinas
Frescas	7.7762 ± 0.1030 <sup>a</sup>	5.3130 ± 0.996 <sup>b</sup>	2.6718 ± 0.1583 <sup>a</sup>	6.7544 ± 0.464 <sup>a</sup>
Desengrasadas	8.1133 ± 0.426 <sup>a</sup>	7.0005 ± 0.0920 <sup>a</sup>	2.3878 ± 0.1550 <sup>a</sup>	6.7154 ± 0.182 <sup>a</sup>

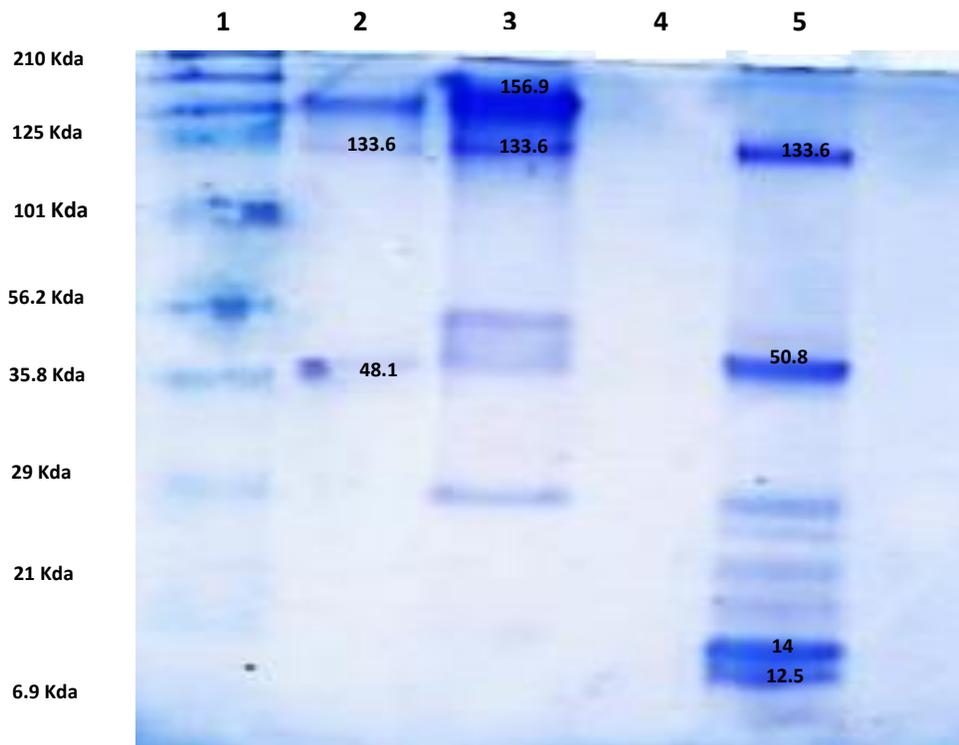
Las desviaciones estándar se obtuvieron a partir de n=3 repeticiones y medias con la misma letra no presentan diferencia estadística (Tukey, p≤0.05).



**Figura 1.** Patrón electroforético de las fracciones proteicas de las semillas frescas. Carril 1: marcador de peso molecular (BIO-RAD); carril 2: fracción albúminas; carril 3: fracción globulinas; carril 4: fracción prolaminas; el carril 5: fracción glutelinas.

La distribución de las fracciones proteicas para la semilla de harina de yaca desengrasada, muestra que la fracción más abundante es la de albúmina con 35 %, seguido de 29 % de glutelinas, 25 % de globulinas y en menor cantidad la fracción prolamina con un 11 %. En frijol criollo, las albúminas constituyen un poco más de la mitad de la proteína soluble extraída (Raya *et al.*, 2014) aunque las leguminosas contienen cantidades altas de globulinas (Tavano y Neves, 2008). Se han

identificado a las prolaminas con la fracción minoritaria en semillas de melón verde con valores de 4.7 % (Ramírez *et al.*, 2016), en semillas de frijol terciopelo valores de 0.68 % a 0.89 % (Barriada *et al.*, 2018), en semillas de *Kleinhovia hospita* Linn con un 3%, coincidiendo con lo detectado en semillas de yaca (Chandra y Sinhababu, 2018).



**Figura 2.** Patrón electroforético de las fracciones proteicas de las semillas desengrasadas. Carril 1: marcador de peso molecular (BIO-RAD); carril 2: fracción albúminas; carril 3: fracción globulinas; carril 4: fracción prolaminas; el carril 5: fracción glutelinas.

Con respecto al perfil electroforético, se analizaron los pesos moleculares de las fracciones proteicas planteadas (albúminas, globulinas y glutelinas) excepto las prolaminas, las cuales no se detectaron en el gel. Para el caso de las fracciones de proteínas de semillas frescas donde se observa que las fracciones de las albúminas, globulinas y glutelinas ubicadas en el carril 2,3,5 (Figura 1) respectivamente se encuentran tres bandas de 48.1, 133.6 y 156.9 KDa, cabe mencionar que la albúmina y la globulina en el carril 2 y 3 se destaca la intensidad de una banda de 156.9 KDa en ambos carriles; las albúminas son buena fuente de lisina y aminoácidos azufrados (Shewry *et al.*, 1995), esta presencia de aminoácidos azufrados da lugar a la formación de agregados de alto peso molecular. En el caso de las glutelinas se destacan más bandas, pero con menor intensidad. En comino las glutelinas sólo mostraron una banda de 20.4 kDa, lo cual puede deberse a proteínas solubles en álcalis con una estructura específica (Chen *et al.*, 2018), resultados similares fueron reportados para glutelinas de *A. trifoliata var australis* por Du *et al.* (2012). Finalmente, para el caso de la fracción de prolaminas no se aprecian bandas bajo esta técnica de tinción por lo que se podría probar con una tinción por plata. Las prolaminas de semillas de comino no exhibieron bandas en SDS-PAGE con y sin  $\beta$ -ME (Chen *et al.*, 2018), las cuales coinciden con los datos

reportados para prolaminas del endospermo de semilla de uvas (*Vitis vinifera* L.) (Gazzola *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES

La solubilidad y el perfil electroforético de las proteínas de la semilla de la yaca se vieron favorecidas con la eliminación de la grasa. La fracción de proteína mayoritaria en la semilla de yaca fueron las albúminas seguidas por las glutelinas y globulinas, siendo estas últimas las que presentan un mayor número de bandas de alto y bajo peso molecular. A partir de estos resultados se propone continuar investigando sobre las propiedades funcionales de cada fracción de proteínas presentes en las semillas de la yaca para futuras aplicaciones en la industria alimentaria y en salud.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo del Laboratorio de Usos Múltiples del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Barriada-Bernal, L. G., L. Méndez-Lagunes, J. Rodríguez-Ramírez, S. Sandoval-Torres y L. Aquino-González. 2018. Valor nutricional de la semilla de *Mucuna* spp como complemento dietario en animales no rumiantes y rumiantes. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9(3): 518-535.
- Chandra, M. D. and A. Sinhababu. 2018. Solubility and Functional Properties of *Kleinhovia hospita* Linn. Seed Protein Isolate. *Analytical Chemistry Letters* 8: 519-527.
- Chandra-D. M. and A. Sinhababu. 2018. Isolation, fractionation, and some chemical studies on *Kleinhovia hospita* Linn. Seed protein, *International Journal of Food Properties*, 21: 510-518. DOI: 10.1080/10942912.2018.1448993.
- Chen, J., T. Mu, M. Zhang, D. Goffin, H. Sun, M. Ma, L. X. Liu and D. Zhang. 2018. Structure, physicochemical, and functional properties of protein isolates and major fractions from cumin (*Cuminum cyminum*) seeds. *International Journal of Food Properties* 21(1): 685-701. DOI: 10.1080/10942912.2018.1454467.
- Du, Y., Y. Jiang, X. Zhu, H. Xiong, S. Shi, J. Hu, H. Peng, Q. Zhou and W. Sun. 2012. Physicochemical and Functional Properties of the Protein Isolate and Major Fractions Prepared from *Akebia trifoliata* var. *Australis* Seed. *Food Chemistry* 133(3): 923–929. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.005.
- Dunwell, J.M. 2005. Structure, function, and evolution of vicilin and legumin seed storage proteins. *Biotechnology of Biopolymers*: 967-997
- Gallo, G., M. De Angelis, P. McSweeney, M. Rosaria and M. Gobbetti. 2005. Partial purification and characterization of an X-prolyl dipeptidyl aminopeptidase from *Lactobacillus sanfranciscensis* CB1. *Food Chemistry* 91:535-544.
- Gangaraju, S., B. Manjappa, G. K. Subbaiah, K. Kempaiah, R. Shashidharamurthy, J. H. Plow, S. S. Martin, M. Shinde and D. Sannanigaiah. 2015. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed

- extract exhibits fibrino(geno)lytic activity. *Pharmacognosy Journal* 7(3): 171-177. DOI: 10.5530/pj.2015.3.5
- Gazzola, D., S.Vincenzi, L. Gastaldon, S. Tolin, G. Pasini, and A. Curioni. 2014. The Proteins of the Grape (*Vitis Vinifera* L.) Seed Endosperm: Fractionation and Identification of the Major Components. *Food Chemistry* 155: 132–139. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.01.032
- GeiBinger, C., I. Whitehead, K. Hofer, M. HeB, K. Habler, T. Becker and M. Gastl. 2019. Influence of *Fusarium avenaceum* infections on barley malt: Monitoring changes in the albumin fraction of barley during the malting process. *International Journal of Food Microbiology* 293: 7-16. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.026.
- Gupta, D., S. Mann, A. Sood, and R. K. Gupta. 2011. Phytochemical, nutritional, and antioxidant activity evaluation of seeds of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 2: 336-345.
- Laemmler U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685.
- Linares J. L. 2003. Listado comentado de los árboles nativos y cultivados en la República de El Salvador. *Ceiba* 44(2): 105-268.
- Lowry, O.H., N. J. Roseborough, A. L. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with folin phenol reagent. *J Bio. Chem.* 193: 265-75.
- Mandal, R. K. and S. Mandal. 2000. Seed storage protein and approaches improvement of their nutritional quality by genetic engineering. *Current Science* 79(5): 576-589.
- Markwell, M.A.C., S. M. Haas, L. L. Biebar, and N. E. Tolbert. 1978. A modification of the Lowry procedure to simplify protein determination in membranes and in protein samples. *Analytical Biochemistry* 87: 206–211.
- Mufari J., P. Miranda-Villa, A. Bergesse, N. Cervilla and E. Calandri. 2018. Physico-chemical analysis and protein fraction compositions of different quinoa cultivars. *Revista Acta Alimentaria* 47: DOI: 10.1556/066.2018.47.4.9.
- Osborne, T.B. 1924. *The Vegetable Proteins*. Longmans, Green 2: 452.
- Paredes, L., F. Ordorica, L. Guevara y A. Covarrubias. 1980. Las proteínas vegetales: presente y futuro en la alimentación. *Prospectivas de la Biotecnología en México* 2: 331-349.
- Ramírez-Pimentel J. G., A. Herrera-Herrera, C. L. Aguirre Mancilla, J. Covarrubias-Prieto, G. Iturriaga-de la Fuente y J. C. Raya Pérez. 2016. Caracterización de las proteínas de reserva y contenido mineral de semilla de melón (*Cucumis melo* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(7): 1667-1678.
- Raya-Pérez, J. C., G. M. Gutiérrez-Benicio, J. G. Ramírez-Pimentel, J. Covarrubias-Prieto y C. L. Aguirre-Mancilla. 2014. Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 1-11
- Raya-Pérez, J. C., C. L. Aguirre-Mancilla, R. Tapia-Aparicio, J. G. Ramírez-Pimentel y J. Covarrubias-Prieto. 2012. Caracterización de las proteínas de reserva y composición mineral de la semilla de capulín (*Prunus serotina*). *Polibotánica* (34):223-235
- Shanmugapriya, K., P. S. Saravana, H. Payal, S. P. Mohammed, and W. Binnie. 2011. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of *Artocarpus heterophyllus* and *Manilkara sapota* seeds and its reduction potential. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 3: 256-260.
- Shewry, P. R., and B. J. Mifflin. 1985. Seed storage proteins of economically important cereals *Cereal Science and Technology* 2: 1-5.
- Shewry, P. R., J. A. Napier and A. S. Tatham. 1995. Seed storage proteins: structures and biosynthesis. *Plant Cell* 7: 945-954.

- Sathe S. K., V. D. Zaffran, S. Gupta and L. Tengfei. 2018. Protein solubilization. *Journal of the American Oil Chemists Society* 95: 883–901. DOI: 10.1002/aocs.12058.
- Siow, H. L., T. S. Lim and C. Y. Gan. 2017. Development of a Workflow for Screening and Identification of  $\alpha$ -amylase Inhibitory Peptides from Food Source Using an Integrated Bioinformatics-Phage Display Approach: Case Study - Cumin Seed. *Food Chemistry* 214: 67–76. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.069.
- Tavano, O.L. and V. A. Neves. 2008. Isolation, solubility and in vitro hydrolysis of chickpea vicilin-like protein. *Food Science and Technology*. 41:1244-1251.

## CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL CARBÓN VEGETAL DE DIEZ ESPECIES TROPICALES<sup>1</sup>

### [ENERGETIC CHARACTERIZATION OF THE CHARCOAL OF TEN TROPICAL SPECIES]

Juan de Dios García Quezada<sup>1</sup>, Gerardo A. Pámanes Carrasco<sup>2</sup>, Christian Anton Wehenkel<sup>2</sup>, Miguel Ángel Escobedo Bretado<sup>3</sup>, Faustino Ruiz Aquino<sup>4</sup>, Artemio Carrillo Parra<sup>2§</sup>

<sup>1</sup>Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Carretera Durango-Mezquital Km. 11.5, CP 34307, Durango, Dgo. México. <sup>2</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera-UJED, Boulevard del Guadiana Ciudad Universitaria, CP 34120, Durango, Dgo. México. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Químicas-UJED, Av. Veterinaria s/n, Circuito Universitario, CP 34120, Durango, Dgo. México. <sup>4</sup>Universidad de la Sierra Juárez, UNSIJ, Av. Universidad s/n, Ixtlán de Juárez 68725, Oaxaca, México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (acarrilloparra@ujed.mx).

### RESUMEN

La producción de carbón vegetal en México se realiza mediante diversas especies, por lo que la calidad de este bio-combustible (contenido de humedad, material volátil, carbono fijo, cenizas y poder calorífico) difiere entre ellas. En esta investigación se realizó la caracterización energética de carbón vegetal de las especies tropicales: *Caesalpinea platyloba*, *Eugenia origanoides*, *Esembeckya berlandierii*, *Trichilia minutiflora*, *Lonchocarpus castilloi*, *Brosimum alicatrum*, *Bucidas buceras*, *Diphysa carthaginensis*, *Alseis yucatanensis* y *Pouteria unilocularis*. Las especies se carbonizaron en un horno media-naranja modificado, instalado en el ejido Río Escondido, Othón Pompeyo Blanco, Quintana Roo. Los análisis fisicoquímicos se determinaron de acuerdo a las normas internacionales ASTM D 1762-84 y UNE-EN 14918. Los datos se sometieron a pruebas de normalidad y los resultados se analizaron con un diseño completamente al azar y pruebas de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ). El carbón de las especies presentó diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ), los valores de contenido de humedad fueron de 2.16-4.79%, material volátil 15.07-37.19%, cenizas 1.49-6.97%, carbono fijo 55.56-77.63% y un poder calorífico de 28.69-33.57 MJ kg<sup>-1</sup>. La especie que presentó los mejores valores energéticos fue *Brosimum alicatrum*, mientras que *Esembeckya berlandierii* presentó los valores energéticos más bajos. La producción de carbón vegetal con especies tropicales es una alternativa viable para la generación de energía, por lo que un manejo sustentable puede dar opción a cubrir las demandas de energía de un importante sector de la población.

**Palabras clave:** Aprovechamiento forestal, calidad del carbón vegetal, horno media-naranja modificado.

### ABSTRACT

The production of charcoal in Mexico is done through various species, so the quality of this bio-fuel (moisture content, volatile material, fixed carbon, ash and calorific value) differs between

---

<sup>1</sup> Recibido: 26 de abril de 2019.  
Aceptado: 15 de junio de 2019

them. In this research the energetic characterization of charcoal vegetable of tropical species was carried out: *Caesalpinea platyloba*, *Eugenia origanoides*, *Esembeckya berlandierii*, *Trichilia minutiflora*, *Lonchocarpus castilloi*, *Brosimum alicatrum*, *Bucidas buceras*, *Diphysa carthaginensis*, *Alseis yucatanensis* and *Pouteria unilocularis*, the species were carbonized in a modified medium-orange oven, installed in the ejido Río Escondido, Othón Pompeyo Blanco, Quintana Roo. The physicochemical analyses were determined according to the international standards ASTM D 1762-84 and UNE-EN 14918. The results were analyzed with a completely random design, normality tests were applied and Kruskal-Wallis tests were performed ( $\alpha = 0.05$ ). The charred species presented statistical differences ( $p < 0.05$ ), percentages of moisture content were 2.16-4.79%, volatile material 15.07-37.19%, ashes 1.49-6.97%, fixed carbon 55.56-77.63% and a calorific value of 28.69-33.57 MJ kg<sup>-1</sup>. The species with the best energy values was *Brosimum alicatrum*, while *Esembeckya berlandierii* had the lowest energy values. The production of charcoal with tropical species is a viable alternative for energy generation so sustainable management can give option to meet the energy demands of an important sector of the population.

**Index words:** Forest management, quality of vegetable charcoal, modified medium-orange oven.

## INTRODUCCIÓN

El uso y demanda de energía ha aumentado en los últimos años, siendo los recursos fósiles los encargados de satisfacer la mayor parte de esta demanda (Balagurumurthy-Bhavaya *et al.*, 2013; Dhyani-Vaibhav & Bhaskar-Thallada, 2018). Consecuentemente, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) aumentaron provocando efectos negativos al medio ambiente (Bustamante-García *et al.*, 2016; Ríos-Badran *et al.*, 2017). Por lo que los biocombustibles representan una alternativa para sustituir los hidrocarburos y mitigar los efectos causados por los mismos (Salinas-Callejas y Gasca-Quezada, 2009; Collar-François & Blin, 2014).

El consumo de madera con fines energéticos aumentó en los últimos años (Ghilardi *et al.*, 2009; Inga-Rivera y Castillo-Uceda, 2014), para el año 2008 los biocombustibles abastecieron el 10.2% de la demanda energética mundial (Chum-Faij *et al.*, 2011), mientras que el año 2017 tuvo un consumo de 14.9% (IEA, 2018), así como la conversión de ésta a biocombustibles sólidos como el carbón vegetal correspondiendo a el primer producto que el hombre transformó y que hoy en día se sigue aprovechando (Serrano-Medrano *et al.*, 2014; Oliveira-Vilela *et al.*, 2014); es por ello que la producción de carbón de alta calidad es de suma relevancia (FAO, 1983).

De la madera extraída en el mundo, la FAO (2017) estima que el 50% es utilizada para la transformación en energía y de esto el 17% se transforma a carbón vegetal. La producción es liderada por África (62.00%), América latina y el Caribe (19.60%), Asia (17.00%), Europa (1.10%) y Oceanía (0.10%) (FAO, 2017).

La materia prima destinada a la elaboración del carbón vegetal en México procede de madera directamente destinada al aprovechamiento forestal, de subproductos de aclareo, así como de residuos forestales y madera dañada por factores ambientales. El 48.84% de la leña es de encino,

36.46% de otras latifoliadas, 14.35% de especies comunes tropicales y el 0.34% de pino (SEMARNAT, 2016).

La producción de carbón vegetal es un proceso termoquímico que se realiza mediante la técnica de pirólisis y se puede llevar a cabo en diversos tipos de hornos, tales como tipo parva, fosa, metálicos y de ladrillo, estos últimos presentan un mejor rendimiento, mayor calidad, menos emisiones de GEI, así como mayores ganancias económicas al productor (FAO, 1983; Bustamante-García *et al.*, 2013; Arias-Chalico, 2015). Además, la calidad del carbón vegetal depende del tipo de leña empleada, contenido de humedad, parte del árbol, composición química, control de temperatura durante el proceso, densidad, porosidad y friabilidad (Pereira-Corradi *et al.*, 2012; Protásio-Paula *et al.*, 2014; Dufourny *et al.*, 2019).

México es un país que presenta diversas condiciones fisiográficas y climáticas (Rzedowski, 2006), con ello distintos tipos de ecosistemas, por lo que el aprovechamiento de las especies es diferente en cada lugar, así mismo, la producción de carbón vegetal en México no es homogénea, lo que conlleva a que las especies aprovechadas posean diferencias energéticas.

Debido a la heterogeneidad de las diversas especies destinadas a la producción de carbón vegetal es necesario realizar una caracterización para conocer la calidad que poseen. En México no existe una normativa para determinar la calidad del carbón vegetal por lo que el consumidor lo determina de manera empírica (Carrillo-Parra *et al.*, 2013), debido a lo cual se emplean normas internacionales que exigen estándares determinados, como lo son las normas DIN 51749 (Alemania), EN 1860-2 (Estados Unidos), GOST 7657-84 (Rusia) (Petrović & Glavonjić, 2011), FAO (1983), por mencionar algunas. La población perteneciente al ejido Río Escondido ha optado por laborar en la producción de carbón vegetal, el cual presenta un rendimiento promedio de 3 a 4 toneladas por horno. Así, el objetivo de este trabajo fue determinar la calidad del carbón vegetal elaborado con especies tropicales en un horno tipo media-naranja modificado en base a las normas internacionales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio y características del horno

El carbón vegetal se elaboró en el mes de Julio del 2018 en el Ejido Río Escondido, municipio Othón Pompeyo Blanco, estado de Quintana Roo, con coordenadas 18° 52' 32" N, 88° 44' 59" W. El horno fue de tipo media-naranja modificado, se dividió en tres estibas de 1 m de longitud cada una: en la primera se lleva a cabo el encendido y en las estibas dos y tres es donde se presenta la mayor producción de carbón vegetal. La selección de las especies se basó en aquellas establecidas como de mejor calidad según la clasificación empírica de los productores, las especies fueron *Caesalpineia platyloba* (chacté), *Eugenia origanoides* (guayabillo), *Esembeckya berlandierii* (gusano), *Trichilia minutiflora* (limonaria), *Lonchocarpus castilloi* (machiche), *Brosimum alicatrum* (pupiste), *Bucidas buceras* (pupté), *Diphysa carthaginensis* (ruda), *Alseis yucatanensis* (tabaquillo) y *Pouteria unilocularis* (zapotillo).

Se seleccionaron para su carbonización tres muestras de madera de cada especie con medidas similares, las cuales fueron distribuidas en la parte media del horno.

Una vez terminada la pirólisis se colectaron las muestras de carbón vegetal y fueron trasladadas al laboratorio de Silvicultura e Industria de la Madera de la Universidad Juárez del Estado de Durango (ISIMA-UJED).

### Análisis proximales

Los análisis se realizaron según la norma internacional ASTM D 1762 – 84 (ASTM, 2001), se realizaron tres repeticiones de cada especie carbonizada, cada muestra se introdujo en un molino de corte SM 300 a una velocidad de 1 500 revoluciones por minuto (rpm), se tamizó por 5 minutos a una velocidad de 100 rpm en una saranda analítica AS 200, separando el tamaño de partícula de 850 µm (malla 20) y utilizando el resto de material <420 µm (malla >40). El contenido de humedad se determinó al moler y cribar 1.0 g de carbón, la muestra se colocó en una estufa MAPASA HDO 334 por dos horas a 105 °C, donde:

$$CH = \left[ \frac{A - B}{A} \right] \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde: CH: contenido de humedad (%), A: masa inicial de la muestra molida y cribada (g), B: masa de la muestra después de someterla a 105 °C (g).

El material volátil se obtuvo en base a una muestra de carbón libre de humedad, se colocó en una mufla MARSA AR-340 a 950 °C durante 11 minutos. El porcentaje del material volátil se estimó por diferencia de peso entre la masa del carbón anhidro y la masa de la muestra después de exponerla a la temperatura ya mencionada, donde:

$$MV = \left[ \frac{B - C}{B} \right] \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde: M: material volátil (%), B: masa de la muestra después de someterla a 105 °C (g), C: masa de la muestra después de someterla a 950 °C (g).

El contenido de cenizas se obtuvo con la muestra libre de humedad y material volátil, se introdujo en la mufla a 750 °C durante 7 h, después se enfrió y pesó.

$$CC = \left[ \frac{D}{B} \right] \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde: CC: contenido de cenizas (%), B: Masa de la muestra después de someterla a 105 °C (g), D: Masa del residuo (g).

El carbono fijo se estimó al restar el contenido de humedad, material volátil y cenizas a la masa del carbón molido y tamizado:

$$CF = 100 - CH - MV - CC \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde: CF: carbono fijo (%), CH: contenido de humedad (%), CC: contenido de cenizas (%), MV: material volátil (%).

El poder calorífico se determinó mediante un calorímetro isoperibólico semiautomático modelo AC600 LECO, mediante la norma española UNE-EN 14918:2009 utilizando 1 g de muestra con un tamaño menor a 1 mm, los valores obtenidos se expresaron en megajulios de energía por un kilogramo de carbón ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ).

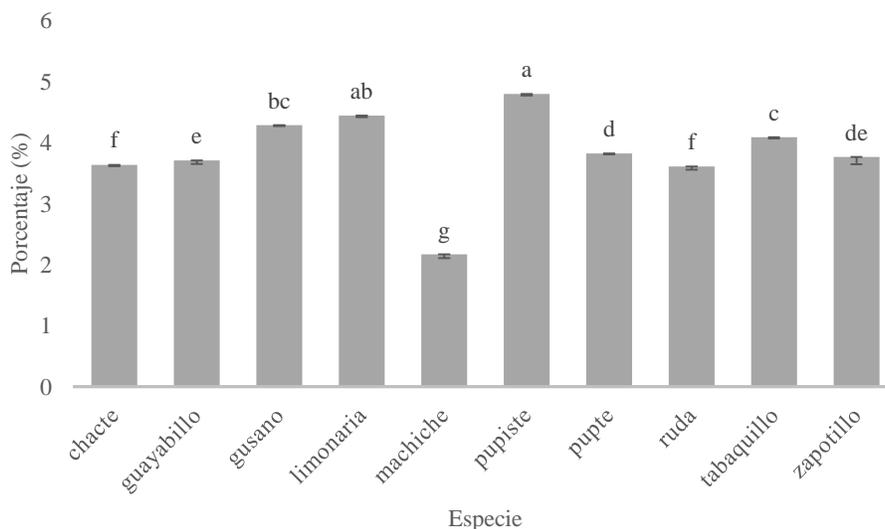
### Análisis estadístico

Las variables se analizaron estadísticamente con un diseño completamente al azar. Se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, resultando un valor de  $p < 0.05$ , por lo que se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis, en todas las pruebas se consideró una significancia de  $\alpha = 0.05$ . Los procedimientos se realizaron con el/los paquete(s) y función(es) en el sistema estadístico Rstudio® (2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido de humedad

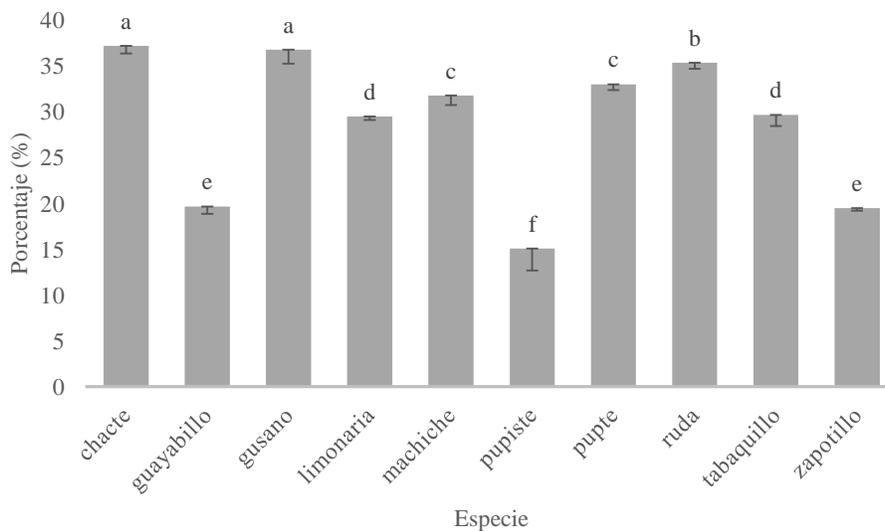
El contenido de humedad presentó diferencias estadísticas entre las especies ( $p < 0.05$ ), sin embargo, todos los valores fueron menores al 5% lo cual es lo recomendable por las normas internacionales DIN 51749, GOST 7657-84, EN 1860-2 Y FAO (1983); el menor porcentaje de humedad lo presentó *Lonchocarpus castilloi* (machiche) con 2.16%, mientras que el mayor fue en el carbón de *Brosimum alicatrum* (pupiste) con 4.79% (Figura 1). Estos valores coinciden con lo reportado por Canul-Tun (2013), en donde las especies *Piscidia piscipula* y *Lonchocarpus castilloi* presentaron una humedad menor al 5%.



**Figura 1.** Contenido de humedad medio del carbón vegetal de especies tropicales. Letras iguales representan valores similares estadísticamente (Kruskal Wallis, 0.05). Líneas verticales indican la desviación estándar.

## Material volátil

El porcentaje de material volátil presentó diferencias estadísticas entre especies ( $p < 0.05$ ), la FAO (1983) sugiere un valor menor a 30%, la mitad de las especies son aceptadas a excepción de *Caesalpinea platyloba* (chacte), *Esembeckya berlandierii* (gusano), *Lonchocarpus castilloi* (machiche), *Bucidas buceras* (pupete) y *Diphysa carthaginensis* (ruda) cuyos valores fueron mayores al 30% (Figura 2); por otra parte, si se considera la norma internacional DIN 51749 (material volátil < 16%) solo sería aceptable la especie *Brosimum alicatrum* (pupiste), la cual presentó un porcentaje de 15%, esto debido a que las especies tropicales se caracterizan por tener un alto contenido de extractivos (Quiroz-Carranza y Magaña-Alejandro, 2015) que necesitan de altas temperaturas durante el proceso para lograr volatilizarse (Cano *et al.*, 2003); la temperatura durante la pirólisis en este tipo de hornos esta entre los 500 y 550 °C, razón por la cual no se elimina gran parte del material volátil. Antal-Jerry & Gronli (2003) y la FAO (1983) mencionan que el carbón vegetal para uso residencial debe de tener un material volátil de 20 a 30%, Pereira-Corradi *et al.* (2012) reportaron un porcentaje para especies de *Eucalyptus* spp de 24.23 a 26.72%, mientras que Bustamante-García *et al.* (2013) obtuvieron un porcentaje de 23% para ramas de *Quercus sideroxyla* y 17.86% para leña en un horno colmena brasileño.

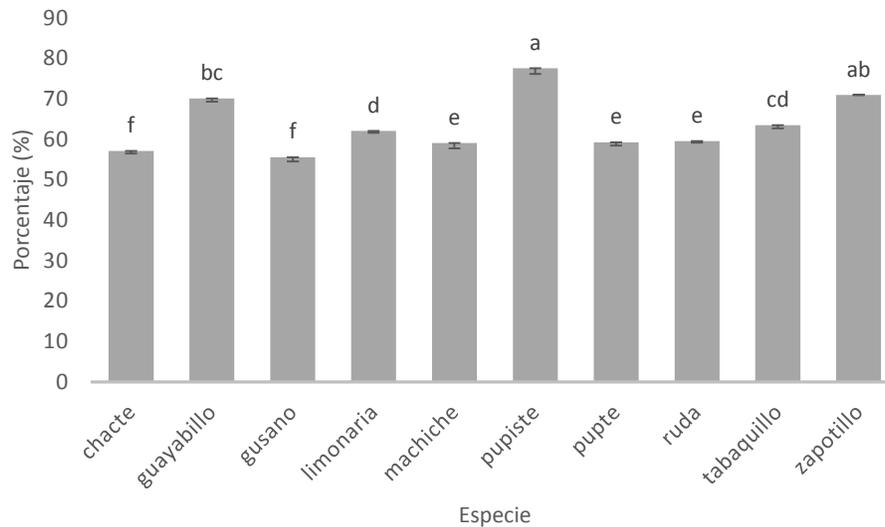


**Figura 2.** Contenido de material volátil medio (%) del carbón vegetal de especies tropicales. Letras iguales representan valores similares estadísticamente (Kruskal Wallis, 0.05). Líneas verticales indican la desviación estándar.

## Carbono fijo

El porcentaje de carbono fijo presentó diferencias entre especies ( $p < 0.05$ ), la FAO (1983) sugiere un porcentaje mayor al 60%, la mitad de las especies están en los estándares a excepción de *Caesalpinea platyloba* (chacte), *Esembeckya berlandierii* (gusano), *Lonchocarpus castilloi* (machiche), *Bucidas buceras* (pupete) y *Diphysa carthaginensis* (ruda). La especie *Brosimum alicatrum* (pupiste) fue la única en presentar el valor dentro los estándares internacionales con un porcentaje de 77.63% (Figura 3), la norma EN 1860-2 pide un valor superior a 75.00% y GOST 7657-84 mayor a 77.00%. Canul-Tun (2013) presentó porcentajes para las especies tropicales

*Piscidia piscipula* y *Lonchocarpus castilloi* de 63.30% y 68.40% respectivamente; por su parte Carrillo-Parra *et al.* (2013) presentaron porcentajes para las especies *Prosopis laevigata* y *Ebenopsis ebano* en horno tipo fosa de 70.80% y 68.40%, respectivamente. Bautista-Vargas *et al.* (2017) obtuvieron porcentajes de 73.17, 73.88 y 77.69% para la especie de *Quercus* spp, en un horno similar al media naranja argentino, ellos mencionan que en la parte alta del horno es donde se produce el carbón vegetal de mejor calidad (mayor carbono fijo) que en la parte media y baja, en esta investigación el carbón vegetal se elaboró en la parte media.



**Figura 3.** Contenido de carbono fijo medio (%) del carbón vegetal de especies tropicales. Letras iguales representan valores similares estadísticamente (Kruskal Wallis, 0.05). Líneas verticales indican la desviación estándar.

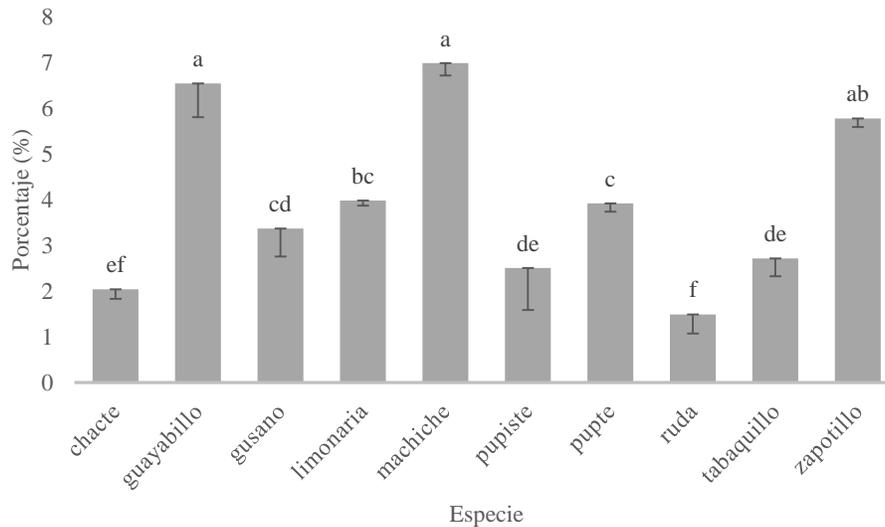
### Contenido de cenizas

El porcentaje de cenizas presentó diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre especies (Figura 4), los porcentajes de todas las especies coinciden con lo reportado por Canul-Tun (2013) para especies tropicales, estos valores se encuentran dentro de lo establecido en la norma EN 1860-2 ( $< 8\%$ ), mientras que para la norma DIN 51749 ( $< 6\%$ ) solo se excluyen las especies *Eugenia organoides* (guayabillo) con 6.53% y *Lonchocarpus castilloi* (machiche) con 6.97%, y de acuerdo a la norma GOST 7657-84 ( $< 3\%$ ) solo son aceptables los valores de las especies *Caesalpinea platyloba* (chacte) con 2.04%, *Diphysa carthaginensis* (ruda) 1.49% y *Alseis yucatanensis* (tabaquillo) con 2.71%.

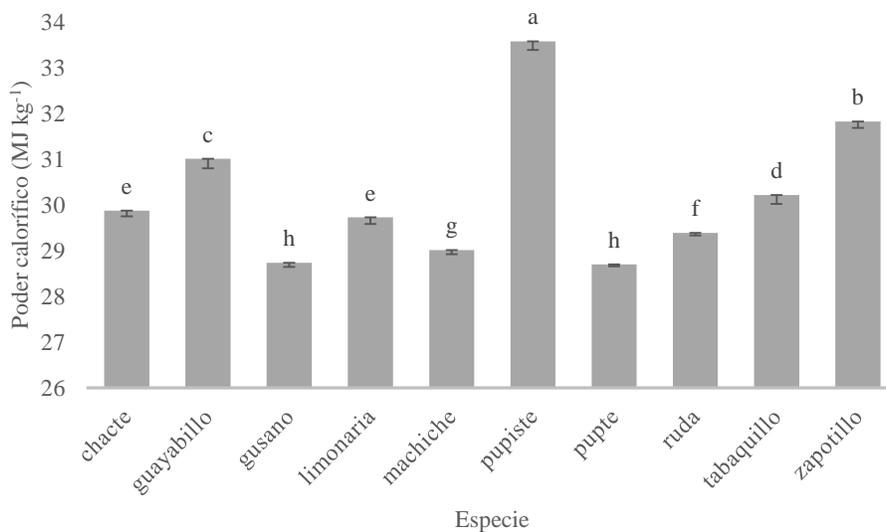
### Poder calorífico

El poder calorífico presentó diferencias estadísticas entre especies ( $p < 0.05$ ), la especie *Brosimum alicatrum* (pupiste) obtuvo el mayor valor ( $33.57 \text{ MJ kg}^{-1}$ ), mientras que las especies *Esembeckya berlandierii* (gusano) y *Bucidas buceras* (pupte) presentaron los menores valores con 28.69 y  $28.69 \text{ MJ kg}^{-1}$ , respectivamente (Figura 5). Canul-Tun (2013) reportó un poder

calorífico para las especies tropicales *Piscidia piscipula* y *Lonchocarpus castilloi* de 27.21 y 28.74 MJ kg<sup>-1</sup>, Bautista-Vargas *et al.* (2017) presentaron valores superiores a los 30 MJ kg<sup>-1</sup> para *Quercus* spp.



**Figura 4.** Contenido de cenizas medio (%) del carbón vegetal de especies tropicales. Letras iguales representan valores similares estadísticamente (Kruskal Wallis, 0.05). Líneas verticales indican la desviación estándar.



**Figura 5.** Poder calorífico medio (MJ Kg<sup>-1</sup>) del carbón vegetal de especies tropicales. Letras iguales representan valores similares estadísticamente (Kruskal Wallis, 0.05). Líneas verticales indican la desviación estándar.

## CONCLUSIÓN

El carbón vegetal de las 10 especies tropicales carbonizadas en el horno tipo media-naranja modificado presenta heterogeneidad en sus características físico-químicas que lo ubican dentro de estándares internacionales de calidad. El contenido de humedad es aceptado por las normas internacionales comparadas previamente. La FAO sugiere estándares menos exigentes que las normas internacionales por lo que en el contenido de cenizas de todas las especies cumplen los estándares, en cambio si se considera el material volátil y carbono fijo solo las especies *Eugenia organoides* (guayabillo), *Trichilia minutiflora* (limonaria), *Brosimum alicatrum* (pupiste), *Alseis yucatanensis* (tabaquillo) y *Pouteria unilocularis* (zapotillo) son las que cumplen con los valores. Debido a las condiciones de carbonización en el horno media naranja modificado, la especie *Brosimum alicatrum* (pupiste) fue la de mejores características, siendo aceptada por las normas internacionales DIN 51749 y EN 1860-2. El poder calorífico en las especies carbonizadas mostró valores altos por lo que la elaboración de carbón vegetal mediante especies de origen tropical es una opción viable, siendo respaldado por los estándares de la FAO en donde varias de las especies son aceptadas para su aprovechamiento doméstico.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del Fondo de Sustentabilidad Energética a través del proyecto SENER CONACYT 2014 246911 Clúster de Biocombustibles Sólidos para la Generación Térmica y Eléctrica por el apoyo brindado para realizar la colecta y el análisis de las muestras en laboratorio.

## LITERATURA CITADA

- Antal-Jerry M. & M. Gronli. 2003. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Ind. Eng. Chem.* 42: 1619-1640.
- Arias-Chalico T. 2015. Tecnologías de producción de carbón vegetal. Naturaleza y Desarrollo NYDE AC. <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2015/01/Curso-BCS-7.pdf>.
- ASTM. D 1762-84. 2001. Standard method for chemical analysis of wood charcoal. Philadelphia, ASTM International. Pa. U.S.A. 2 p.
- Balagurumurthy-Bhavaya, Twinkle-Oza, Thallada-Bhaskar & Dilip-Adhikari. 2013. Renewable hydrocarbons through biomass hydrolysis process: *Journal of Material Cycles and Waste Management.* 15: 9-15.
- Bautista-Vargas U., F. Ruiz-Aquino, W. Santiago-García y W. Santiago-Juárez. 2017. Evaluación de la calidad del carbón vegetal elaborado a partir de madera de encino en horno de ladrillo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas.* 4 (2): 127-137.
- Bustamante-García V., A. Carrillo-Parra, H. González-Rodríguez, R. G. Ramírez-Lozano, J. J. Corral-Rivas & F. Garza-Ocañas. 2013. Evaluation of a charcoal production process from forest residues of *Quercus sideroxyla* Humb., & Bonpl. in a Brazilian beehive kiln. *Industrial Crops and Products.* 42: 169-174.
- Bustamante-García V., A. Carrillo-Parra., J. A. Prieto-Ruiz., J. J. Corral-Rivas y J. C. Hernández-Díaz. 2016. Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales.* 7 (38): 5-24.
- Cano, R. M., O. R. Armendáriz y T. P. Juárez. 2003. Carbón de encino. Una alternativa de producción para las zonas forestales. Folleto Científico No 1. Campo Experimental Madera. INIFAP – SAGAR. Chihuahua, México. 13 p.

- Canul-Tun S.A. 2012. Evaluación del proceso de producción de carbón vegetal elaborado en horno tipo fosa con subproductos forestales de *Piscidia piscipula* (L) Sarg y *Lonchocarpus castilloi* Standl. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Seminario de Posgrado.
- Carrillo-Parra A., R. Foroughbakhch-Pournavab y V. Bustamante-García. 2013. Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes elaborado en horno tipo fosa. Rev. mex. de cienc. Forestales. 62-71.
- Chum-Faaij, H., J. Moreira, G. Berndes, P. Dhamija, H. Dong & S. Ribeiro. 2011. Bioenergy. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 209-332.
- Collard-François, J. & J. Blin. 2014. A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 38: 594-608.
- Dhyani-Vaibhav. & Bhaskar-Thallada. 2018. A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. Renewable Energy. 129: 695-716.
- DIN 51749 1989. Testing of solid fuels- Grill charcoal and grill charcoal briquettes: Requirements and test methods. Deutsches Institut für Normung. Taschenbuch 31. Berlin, Beuth Verlag. Germany. 4 p.
- Dufourny, A., L. De Steene, G. Humbert, D. Guibal, L. Martin & J. Blin. 2019. Influence of pyrolysis conditions and the nature of the wood on the quality of charcoal as a reducing agent. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 137: 1-13.
- EN 1860-2. Appliances, solid fuels and firelighters for barbecuing - Part 2: Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes- Requirements and test methods. The British Standards Institution European Norm. London, UK. (2005) 27.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio FAO: Montes 41. Roma, Italia. 154 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2017. The charcoal transition. Rome, Italy. 179 p.
- Ghilardi A., G. Guerrero & O. Maser. 2009. A GIS-based methodology for highlighting fuelwood supply/ demand imbalances at the local level: A case study for Central Mexico. Biomass and Bioenergy. 33: 957-972.
- IEA (International Energy Agency). 2018. Market analysis and forecast from 2018 to 2023. <https://www.iea.org/renewables2018/>
- Inga-Rivera, P. y M. Castillo-Uceda. 2014. Características físico - químicas de la madera y carbón de once especies forestales de la amazonia peruana. Revista forestal del Perú. 14 (2): 1-8.
- Oliveira-Vilela A., E. Silva-Lora, Q. Roman-Quintero, R. Antonio-Vicintin & T. Paceli-Silva. 2014. A new technology for the combined production of charcoal and electricity through cogeneration. Biomass and Bioenergy. 69: 222-240.
- Pereira-Corradi B. L., A. Oliveira-Costa, A. M. Carvalho-Ladeira, A. Carneiro-Oliveira, L. Santos-Carvalho & B. Vital-Rocha. 2012. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus elones* for ironmaster use. International Journal of Forestry Research. 1-8.
- Petrović, S. & G. Glavonjić. 2011. Standards and certificates for charcoal and charcoal briquettes in the function of harmonization of their quality and market development. Faculty of Forestry University of Belgrade.

- Protásio-Paula T., P. Trugilho-Fernando, S. Mirmehhdi & M. Silva. 2014. Quality and energetic evaluation of the charcoal made of babassu nut residues used in the steel industry. *Ciência e Agrotecnologia*. 38 (5): 435-444.
- Quiroz-Carranza J. A. y M. A. Magaña-Alejandro. 2015. Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. 21: 171-183.
- Ríos-Badran, I. M., J. Santos-Cruz y C. Gutiérrez-Antonio. 2017. Biocombustibles sólidos: una solución al calentamiento global. *Revista Ciencia*. 68 (4): 1-17.
- RStudio. 2015. Desarrollo integrado para R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>. (2015).
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p.
- Salinas-Callejas E y V. Gasca-Quezada. 2009. Los biocombustibles. *El Cotidiano*. 157: 75-82. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009>
- SEMARNAT.2016. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. México. 1-36.
- Serrano-Medrano M., T. Arias-Chalico, A. Ghilardi & O. Masera. 2014. Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*. 19: 39-46.
- UNE-EN 14918. 2009. Biocombustibles sólidos. Determinación del poder calorífico. Una norma Española-European Norm.

## CARBONO AÉREO EN PLANTACIÓN DE *Pinus patula* BAJO ACLAREO AL NORTE DE OAXACA<sup>1</sup>

### [ABOVEGROUND CARBON IN *Pinus patula* PLANTATION UNDER THINNING AT NORTHERN OAXACA]

Gerardo Rodríguez-Ortiz<sup>§</sup>, José Raymundo Enríquez-del Valle, Gisela Virginia Campos-Ángeles, Vicente Arturo Velasco-Velasco, Judith Ruíz-Luna

TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C. P. 71230. Tel. 01(951) 5 17 07 88. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (grodriguez.itvo@yahoo.com).

### RESUMEN

Los tratamientos silvícolas afectan la acumulación de biomasa y la captura de carbono (C) en plantaciones forestales. El objetivo fue estimar el C aéreo almacenado en plantación de *Pinus patula*, bajo diferentes intensidades de aclareo (IA) en Ixtlán, Oaxaca. En 2011, en una plantación establecida en 1995, se seleccionaron aleatoriamente y derribaron, 30 árboles provenientes de parcelas aclareadas (número de árboles extraídos de la densidad inicial plantada) desde 2004 más una parcela testigo. La biomasa aérea se estimó mediante ecuaciones alométricas determinadas para la especie y sitio, y la biomasa en el piso forestal, por estimación directa. Los análisis de C se realizaron por componente aéreo. El C aéreo se distribuyó: 93.2, 4.5 y 2.3 % para madera con corteza, ramas y hojas, respectivamente. La plantación acumuló  $136.32 \pm 36.9$  t C ha<sup>-1</sup> a 16 años de su establecimiento. A nivel árbol, la cantidad de C en madera con corteza, ramas, acículas y total aéreo fue mayor ( $p \leq 0.02$ ) en parcelas con IA alta ( $109.18 \pm 29.7$ ,  $6.24 \pm 3.7$   $3.06 \pm 1.7$  y  $116.73 \pm 33.0$  kg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Para el componente total de C aéreo por árbol, así como en cualquiera de sus componentes por unidad de superficie, no se encontraron efectos del aclareo.

**Palabras clave:** Biomasa aérea, densidad de plantación, intensidad de aclareo, muestreo destructivo, piso forestal.

### ABSTRACT

Silvicultural treatments affect the accumulation of biomass and carbon (C) sequestration in forest plantations. The objective was to estimate the aboveground C stored in *Pinus patula* plantation under different thinning intensities (TI) in Ixtlán, Oaxaca. In a plantation established in 1995, 30 trees from thinned plots (number of trees harvested from the initial planting density) since 2004 and a control, were randomly selected and felled in 2011. Aboveground biomass was estimated by allometric equations, determined for the species and site, and biomass on forest floor, by direct estimation. Carbon analyzes were made by each aboveground component. The

---

<sup>1</sup> Recibido: 15 de enero 2019

Aceptado: 05 de junio 2019

aboveground C was distributed 93.2, 4.5 and 2.3 % for wood with bark, branches and needles, respectively. Planting accumulated  $136.32 \pm 36.9$  t C ha<sup>-1</sup>. At tree level, the amount of C in wood with bark, branches, needles and total aboveground was higher ( $p \leq 0.02$ ) in plots with high TI ( $109.18 \pm 29.7$ ,  $6.24 \pm 3.7$  and  $3.06 \pm 1.7$  and  $116.73 \pm 33.0$  kg C ha<sup>-1</sup>, respectively). On the other hand, no thinning effects were found in total C per tree and in any other component per unit area.

**Index words:** Aboveground biomass, planting density, thinning intensity, destructive sampling, forest floor.

## INTRODUCCIÓN

*Pinus patula* Schl. et Cham. es una pinácea mexicana que genera madera de buena calidad, a tasas de crecimiento excelentes. Es la especie de clima templado, nativa del sur de México, más utilizada en el establecimiento de plantaciones comerciales afín de producir madera para celulosa, aserrío y otros usos (Dvorak *et al.*, 2001; Malabadi *et al.*, 2006).

Uno de los beneficios importantes de las plantaciones, ante el problema del cambio climático, es la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la captura de C. Sitios dañados o no ocupados en el bosque natural pueden ser utilizados para plantaciones forestales y de esta forma, incrementar los niveles de captura de C de la vegetación. Al usar especies de rápido crecimiento (caso *P. patula*), este beneficio se potencializa y diversifica, generando ingresos por servicio ambiental y producción. De esta manera, las plantaciones forestales comerciales constituyen un componente importante del esfuerzo mundial para la reducción de CO<sub>2</sub> (Návar *et al.*, 2004).

El C contenido en todo los compartimentos aéreos y suelo son importantes en el ciclo biogeoquímico, en donde es necesario tener conocimiento específico de las tasas de acumulación de C y de los factores que la afectan (Chávez-Pascual *et al.*, 2017). A este respecto, múltiples esfuerzos se han realizado, pero aún son insuficientes o nulos (Díaz-Franco *et al.*, 2007). El punto medular es la estimación precisa de biomasa aérea y subterránea y de su tasa de incorporación, para determinar adecuadamente el potencial de secuestro de C. Entre la diversidad de factores que inciden en los niveles de C en una plantación, el manejo mediante el aclareo, es uno de los más importantes. Con él se abren espacios de crecimiento entre los árboles, los individuos residuales tienden a ampliar su copa, a engrosar diámetros de rama y de tallo, aumentan su área foliar y de albura y volumen, entre otras características (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2011a). Al modificar estas tasas de crecimiento, el aclareo tiene un efecto en la estructura de la plantación, en la acumulación de biomasa y, probablemente, en la captura de C (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2011b).

En Ixtlán, Oaxaca, *P. patula* es la especie más importante en área basal, densidad y superficie, que la convierten con alto potencial de secuestro de C (Hernández *et al.*, 2003; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008). Por ello, el objetivo de este trabajo fue estimar el C almacenado en la biomasa estructural aérea (fuste con corteza, ramas y follaje) y piso forestal de *Pinus patula*, plantado bajo diferentes intensidades de aclareo en Ixtlán, Oaxaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La plantación de *P. patula* se estableció en 1995 en 5 ha de la comunidad de Ixtlán, Oaxaca. El sitio tiene pendientes menores a 40 %, altitud de 2550 m y localizado a 17° 22' 38.69" LN y 096° 28' 44.8" LO. La preparación del terreno para plantación se realizó con maquinaria pesada y se plantó a densidades entre 3600 y 5675 árboles ha<sup>-1</sup>. En 2004, se establecieron seis parcelas de 20 x 20 m incluyendo un testigo (parcela intacta). Se aplicaron aclareos en diferentes intensidades (entre 40 y 69 % de árboles extraídos con respecto a la densidad inicial de plantación) y frecuencias (2004, 2006, 2008 y 2011).

### Estimación de biomasa

En 2011 se midió, en los árboles de cada parcela, diámetro normal (DN, cm) con forcípula, altura total (AT, m) con clinómetro digital. Se utilizó muestreo destructivo de 30 árboles, utilizando una motosierra marca Husqvarna® modelo 2009 (Estocolmo, Suecia). Los árboles derribados fueron elegidos aleatoriamente (cinco por parcela) y se les midió, con cinta métrica: diámetro de copa viva (DCV, cm) y longitud de copa viva (LCV, m); la copa se separó en tres secciones de igual longitud y en cada una de ellas se midió, con vernier marca Scala 222A®, diámetro basal de rama (DBR, mm) y altura de inserción de la rama (AR, m). Con estas variables se determinó la biomasa contenida en cada componente aéreo, utilizando los modelos de biomasa desarrollados por Rodríguez-Ortiz *et al.* (2011a) para la misma especie y lugar de este estudio. Esta metodología integra la biomasa de acículas por rama individual y la biomasa en ramas y en madera con corteza a nivel árbol (Rodríguez-Ortiz, 2010):

$$BAR = 2.70 - 32.24 \times ABR + 3.36 \times ABR \times AR + 17.72 \times (ABR \times X_1) + 15.53 \times (ABR \times X_2)$$

$$BR = 0.0028 \times DCV^{2.66} \times LCV^{0.44}$$

$$BM = 0.004 (DN \times AT)^{1.841}$$

Donde: BAR = biomasa de acículas por rama (g). ABR = área basal de rama (cm<sup>2</sup>), igual a  $0.7854 \times DBR^2$ . AR = altura de rama, desde el suelo (m).  $X_i = 1$  rama de la sección inferior de copa,  $X_i = 2$  rama de la sección media. BR = biomasa de ramas (sin acículas) por árbol (kg). DCV = diámetro de inicio de la copa viva (cm). LCV = longitud de copa viva (m). BM = biomasa de madera con corteza por árbol (kg). DN = diámetro normal (cm). AT = altura total (m).

Para la biomasa en el piso forestal, se tomaron cinco muestras de cada parcela, en cuadros de 20x20 cm; los cuadrados se localizaron equidistantes en forma de cruz, uniendo los límites de cada parcela. Las muestras se colectaron en bolsas de papel identificadas y se llevaron a laboratorio, donde se pesaron en verde (PV, g) y en seco (PS, g) en balanza analítica marca Scout Pro Ohaus de 400 g. El secado se realizó en estufa a 75 °C hasta obtener peso constante. El factor de conversión de biomasa se obtuvo al relacionar PS/PV promedio por parcela.

## Estimación del contenido de carbono y análisis de datos

Muestras de aproximadamente 250 g por cada componente (madera con corteza, ramas, follaje y materia orgánica en el suelo) y nivel de aclareo fueron obtenidas aleatoriamente (24 total). La biomasa se obtuvo de la parte media de cada componente, formando muestras compuestas (de varios árboles o cuadrados de muestreo). Todas las muestras de biomasa se molieron finamente y se enviaron al Laboratorio Central Universitario de Chapingo, México, para la determinación del contenido de C por el método de Walkey y Black.

El contenido de C se analizó por componente, a nivel árbol y por unidad de superficie (ha), mediante la densidad residual de cada parcela (Cuadro 1). En los datos, se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para realizar análisis de varianza y pruebas de comparación de medias. Se utilizaron los procedimientos UNIVARIATE, ANOVA y MEANS del SAS (Statistical Analysis System [SAS] Institute Inc., 2004).

**Cuadro 1.** Contenidos de carbono (%) en compartimentos aéreos de *Pinus patula* en Ixtlán, Oaxaca.

Aclareo (%) <sup>¶</sup>	Acículas	Tallo	Corteza <sup>¶¶</sup>	Ramas <sup>¶¶</sup>
65.3	55.51 ± 0.16	57.75 ± 0.06		
39.7	55.41 ± 0.54	57.78 ± 0.14		
68.7	51.95 ± 5.49	57.43 ± 0.40	16.55	57.07
64.0	55.90 ± 0.36	57.77 ± 0.11		
58.0	52.94 ± 4.56	57.80 ± 0.09		
Testigo	52.98 ± 4.50	57.65 ± 0.27		

<sup>¶</sup>Porcentaje de árboles extraídos con respecto a la densidad inicial de plantación. Los valores se incluyen ± desviación estándar. <sup>¶¶</sup>Determinaciones únicas por el método de calcinación (Laboratorio Central Universitario-UACH, Chapingo, México).

## RESULTADOS

### Carbono a nivel árbol

El contenido de C en el componente madera con corteza, fue afectado por el aclareo ( $p \leq 0.02$ ). Las parcelas con mayor intensidad de aclareo (68.7 y 65.3 %) acumularon 109.18 y 99.67 kg C/árbol, respectivamente, mientras que el testigo sólo acumuló 42.35 kg C/árbol. Sin embargo, la prueba de separación de medias no detectó diferencias debido a la alta variabilidad encontrada en las parcelas de mayor IA (desviación estándar hasta de 63). Resultados similares se encontraron en el C aéreo total por árbol (madera con corteza, ramas y follaje), donde las mayores intensidades de aclareo (IA) (68.7 y 65.3 %) acumularon 116.73 y 108.96 kg, respectivamente, siendo las de mayor variabilidad (Cuadro 2).

En ramas, el contenido de C fue superior ( $p \leq 0.02$ ) en la parcela con IA de 65.3 % que en el testigo (6.235 vs. 1.688 kg/árbol, respectivamente). Parcelas de mayor IA presentaron, por lo general, mayor variabilidad en el contenido de C. Comportamiento similar se encontró en follaje, donde la misma IA (65.3 %) fue superior ( $p \leq 0.02$ ) al testigo (3.056 vs. 0.810 kg C/árbol, respectivamente). Todos los árboles bajo aclareo mostraron, mayor cantidad de C en acículas (1.936 kg/árbol,  $p \leq 0.05$ ) que el testigo (Cuadro 2).

En los árboles de *P. patula*, el C se distribuyó 93.2, 4.5 y 2.3 % en madera con corteza, ramas y follaje, respectivamente.

**Cuadro 2.** Carbono aéreo por árbol y hectárea en los diferentes componentes de *Pinus patula* bajo aclareo en Ixtlán, Oaxaca, México.

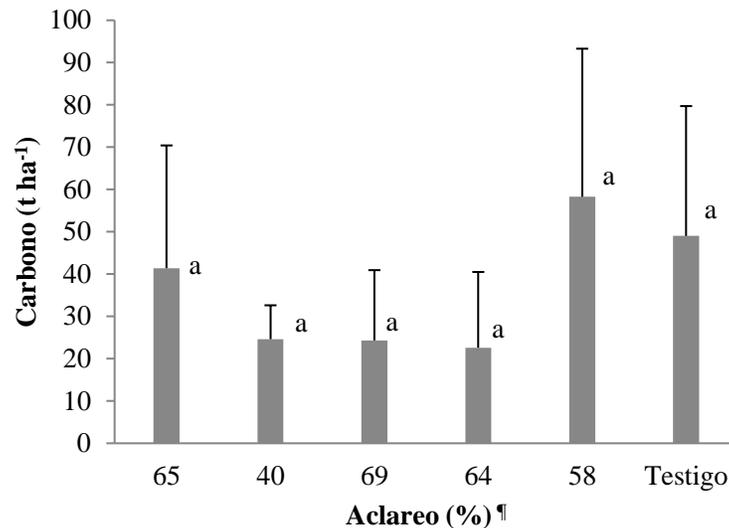
Característica	Parcela					
Aclareo (%) <sup>¶</sup>	65.3	39.7	68.7	64.0	58.0	Testigo
Densidad residual (árboles ha <sup>-1</sup> )	1175	1925	1700	1675	1600	3450
Diámetro normal (cm)	21.9±4.7	12.7±3.2	20.4±0.7	13.6±3.2	18.5±0	10.5±3.4
Altura total (m)	16.4±0.7	14.8±2.0	18.1±2.0	16.7±0.0	17.9±0.4	14.8±0.5
Carbono por árbol (kg)						
Tallo con corteza	99.67±63.0a	42.46±19.2a	109.18±29.7 a	70.40±22.3a	72.51±25.3a	42.35±28.8a
Rama	6.24±3.7a	2.53±1.7ab	5.20±2.6 ab	2.43±1.7ab	2.97±1.4 ab	1.69±1.4b
Follaje	3.06±1.7a	1.29±0.8ab	2.35±0.9 ab	1.34±0.5ab	1.65±0.9 ab	0.81±0.5b
Total	108.96±68.1a	46.27±19.3a	116.73±33.0 a	74.17±23.6a	77.13±27.2 a	44.84±30.5a
Carbono total (t ha <sup>-1</sup> )						
Madera con corteza	117.11±74.1a	81.73±36.9a	185.60±50.6 a	117.93±37.4a	116.02±40.5a	146.1±99.6a
Rama	7.33±4.4a	4.87±3.3a	8.84±4.4 a	4.07±2.9a	4.76±2.3 a	5.82±5.0a
Follaje	3.59±2.0a	2.48±1.6a	4.00±1.6 a	2.24±0.9a	2.64±1.4 a	2.79±1.8a
Total	128.03±80a	89.07±37.2a	198.44±56.2a	124.23±39.5a	123.41±43.6a	154.72±105.4 a

<sup>¶</sup>Porcentaje de árboles extraídos con respecto a la densidad inicial de plantación. El valor numérico después de ± indica la desviación estándar. Medias con la misma letra, en filas, son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### Carbono por unidad de superficie y en piso forestal

El C contenido por unidad de área en todos los componentes aéreos fue el mismo ( $p \geq 0.18$ ) en las diferentes IA. El tallo con corteza, ramas y follaje acumularon en total 127.41, 5.95 y 2.96 t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, generando un total de 136.32 t C ha<sup>-1</sup>. En todos los casos, el testigo mostró la mayor variabilidad y la menor se encontró en IA entre 39.7 y 64.0 % (Cuadro 2).

El C contenido en el piso forestal (ocochal, ramas y materia orgánica en descomposición) fue similar ( $p \geq 0.12$ ) entre las IA, generando en promedio 36.71 t C ha<sup>-1</sup> (Figura 1). De esta manera, el total de la parte aérea de la plantación, acumula 173.03 t C ha<sup>-1</sup> a una edad de 16 años, generando una tasa de 10.81 t C ha<sup>-1</sup>/año.



**Figura 1.** Carbono en el piso forestal de parcelas bajo aclareo y testigo de *Pinus patula* en Ixtlán, Oaxaca, México. Líneas verticales sobre barras representan la desviación estándar. Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes, (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ‡Número de árboles cortados con respecto a la densidad inicial de plantación.

## DISCUSIÓN

La acumulación de C en el componente aéreo de este estudio, difiere con los valores encontrados para *P. patula* de Tlaxcala, donde el C se distribuyó 83.9, 7.5 y 8.6 % en fuste, ramas y follaje, respectivamente, teniendo una concentración de C promedio de 0.503 (en Tlaxcala) y de 0.510 (en Hidalgo); valores inferiores al encontrado en esta plantación (0.52) (Díaz-Franco *et al.*, 2007; Aguirre-Salado *et al.*, 2009). Al aplicar aclareos, las bajas densidades residuales (IA de 68.7 y 65.3 %) proporcionan a los árboles, mayor cantidad de luz solar y espacio de crecimiento; con ello, incrementan el tamaño de copa, grosor de ramas y área foliar. Estas características facilitan el proceso de fotosíntesis, y por consecuencia, se genera mayor cantidad de C por árbol (Graciano *et al.*, 2006; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2011a, 2011b).

El contenido de C por unidad de superficie fue el mismo en las diferentes intensidades de aclareo aplicadas en la plantación. Estos resultados son superiores a los encontrados en bosques naturales de *P. patula* bajo manejo en Hidalgo, México, donde el secuestro aproximado fue de 83.3 t C ha<sup>-1</sup> a una edad de 24 años (Figueroa-Navarro *et al.*, 2010). Sin embargo, se han encontrado valores mayores (183.2 t C ha<sup>-1</sup>) para la misma especie en bosques naturales (Acosta-Mireles *et al.*, 2009).

El C contenido en el piso forestal (ocochal, ramas y materia orgánica en descomposición) fue similar ( $p \geq 0.12$ ) entre las IA, generando en promedio  $36.71 \text{ t C ha}^{-1}$  (Figura 1). Resultados diferentes se encontraron en *P. contorta* var. *latifolia* de 24 años, donde había menor cantidad de C en el piso forestal en rodales bajo aclareo ( $29.5 \text{ t C ha}^{-1}$ ) que en el testigo ( $37.5 \text{ t C ha}^{-1}$ ), cuyo valor es cercano al promedio encontrado en este estudio (Tan *et al.*, 2008).

La tasa de acumulación de  $10.81 \text{ t C ha}^{-1}/\text{año}$  encontrada en el área de estudio (plantación) fue inferior a la encontrada en rodales naturales de *P. patula* de Hidalgo, México, donde se determinó una tasa mayor de  $25 \text{ t C ha}^{-1}/\text{año}$  a edades de 20 a 24 años, sin incluir el C en el piso forestal (Aguirre-Salado *et al.*, 2009). El efecto inexistente del aclareo, al evaluar el C por unidad de superficie en las parcelas estudiadas, podría deberse al hecho que los incrementos en la densidad arbórea en un sitio, generalmente aumentan la adquisición y uso de nutrientes y agua, al reducir su espacio de crecimiento. Esto genera que el incremento medio anual por hectárea tienda a aumentar, aunque descienda la tasa de crecimiento de árboles individuales, la cual se ve favorecida con el aclareo hasta un periodo de tiempo en que éstas se igualan (McDowell *et al.*, 2006; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2011b).

## CONCLUSIONES

A nivel árbol, la intensidad de aclareo (IA) de 65.3 % (medida en número de árboles extraídos con respecto a la densidad inicial de plantación), generó la mayor acumulación de carbono (C) en ramas y follaje ( $6.232$  y  $3.056 \text{ kg/árbol}$ , respectivamente). El efecto del aclareo en el componente madera con corteza y total del árbol no es claro, debido a la alta variabilidad en el contenido de C encontrada. El contenido de C por unidad de área no fue afectado por el aclareo, en cualquiera de sus componentes, total del árbol y piso forestal. Por esta razón, el aclareo no se justifica cuando la finalidad es únicamente producir biomasa con fines de captura de C. Los árboles de *Pinus patula* acumulan en su biomasa aérea  $136.32 \text{ t C ha}^{-1}$  y en el piso forestal  $36.71 \text{ t C ha}^{-1}$  (tasa de  $10.81 \text{ t C ha}^{-1}/\text{año}$ ) a la edad de 16 años. El C aéreo total se distribuye en: madera con corteza 73.4 % ( $127.06 \text{ t ha}^{-1}$ ), piso forestal 21.2 % ( $36.71 \text{ t ha}^{-1}$ ), ramas 3.6 % ( $6.13 \text{ t ha}^{-1}$ ) y follaje 1.8 % ( $3.14 \text{ t ha}^{-1}$ ).

## AGRADECIMIENTOS

A los Servicios Técnicos forestales, bajo la responsabilidad del Ing. Julio Aurelio Ruíz-Aquino y autoridades comunales de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca México por permitir el desarrollo de la presente investigación. Y por ser una comunidad pionera al sur de México en el desarrollo de los proyectos REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación), apoyados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-México).

## LITERATURA CITADA

- Acosta-Mireles, M., F. Carrillo-Anzures, & M. Díaz L. 2009. Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Terra Latinoamericana* 27: 105-114.
- Aguirre-Salado, C. A., J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H. M. De Los Santos-Posadas, R. Haapanen & A. I. Aguirre-Salado. 2009. Mapeo de Carbono aéreo en bosques manejados de pino *Patula* en Hidalgo, México. *Agrociencia* 43: 209-220.
- Castellanos-Bolaños, J. F., E. J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, M. Musalem-Santiago & R. López-Aguillón. 2008. Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14: 51-63.
- Chávez-Pascual, E. Y., G. Rodríguez-Ortiz, J. R. Enríquez-del Valle, V. A. Velasco-Velasco & M. Gómez-Cárdenas. 2017. Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus oaxacana* bajo tratamientos silvícolas. *Madera y Bosques* 23(3):147-161.
- Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala & J. D. Etchevers-Barra. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y Carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13: 25-34.
- Dvorak, W. S., A. P. Jordan, J. L. Romero, G. R. Hodge & B. J. Furman. 2001. Quantifying the geographic range of *Pinus patula* in southern Mexico using morphologic and RAPD marker data. *Southern African Forestry Journal* 192: 19-30.
- Figueroa-Navarro, C. M., G. Ángeles-Pérez, A. Velázquez-Martínez & H. M. De Los Santos-Posadas. 2010. Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1: 105-112.
- Graciano, C., J. J. Guimet, & J. F. Goya. 2006. Fertilization and water stress interactions in young *Eucalyptus grandis* plants. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1028-1035.
- Hernández L., I., C. Flores L., H. Cornejo E. & S. Valencia M. 2003. Crecimiento de tres especies de pino en una plantación establecida en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Saltillo, Coah. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Malabadi, R. B., P. N. Hills & J. V. Standen. 2006. RAPD assessment of clonal identity of somatic seedlings derived from vegetative shoot apices of mature *Pinus patula* trees. *South African Journal of Botany* 72: 181-183.
- McDowell, N. G., H. D. Adams, J. D. Barley, M. Hess, & T. E. Kolb. 2006. Homeostatic maintenance of ponderosa pine gas exchange in response to stand density changes. *Ecology Applied* 16: 1164-1182.
- Návar C., J. J., N. González B., J. J. Graciano L., V. Dale & B. Parresol. 2004. Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, México. *Madera y Bosques* 10: 17-28.
- Rodríguez-Ortiz, G. 2010. Efecto de aclareos en el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* en Ixtlán, Oaxaca. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados, Texcoco.
- Rodríguez-Ortiz, G., A. Aldrete, V.A. González-Hernández, H. M. De Los Santos-Posadas, A. Gómez-Guerrero & A. M. Fierros-González. 2011a. ¿Afectan los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de *Pinus patula*? *Agrociencia* 45: 719-732.
- Rodríguez-Ortiz, G., V. A. González-Hernández, A. Aldrete, H. M. De Los Santos-Posadas, A. Gómez-Guerrero & A. M. Fierros-González. 2011b. Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 205-212.

SAS Institute Inc. 2004. *SAS/STAT 9.1 User's guide*. Cary, NC. USA.

Tan, X., S. X. Chang, P. G. Comean & Y. Wang. 2008. Thinning effects on microbial biomass, N mineralization and tree growth in a mid-rotation fire origin lodgepole pine stand in the lower foothills of Alberta, Canada. *Agriculture* 54: 465-474.

Wesenbeeck, V., K. Bregje, V. Mourik, T. Duivenvoorden, F.C. Joost & M. Antoine. 2003. Strong effects of a plantation with *Pinus patula* on Andean subparamo vegetation: a case study from Colombia. *Biological Conservation* 114: 201-219.

## ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN SAN ESTEBAN ATATLAHUCA, OAXACA<sup>1</sup>

### [ZONING OF PRIORITY PROTECTION AREAS AGAINST FOREST FIRES IN SAN ESTEBAN ATATLAHUCA, OAXACA]

Luis Alberto Gutiérrez López<sup>§</sup>, Octavio Lopez Bautista, Rosalino Ortiz Barrios, Alejandro Garzón Trinidad, Octavio Lemuel Cruz Santiago

<sup>1</sup>Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande (ITSMIGRA). Km. 1.2 carretera a Morelos, San Miguel el Grande, Tlaxiaco, Oaxaca., C.P.71140. Teléfono-Fax: 01 953 50 3 91 34, ext. 104. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (alberto.luis210595@gmail.com).

#### RESUMEN

Los incendios forestales destruyen grandes extensiones de cobertura forestal. El trabajo de investigación tuvo como objetivo generar cartografías temáticas para determinar áreas prioritarias contra incendios forestales en la comunidad de San Esteban Atatlahuca. Para generar la cartografía temática de áreas prioritarias, se aplicaron geoprocetos a las variables de riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial adaptada a una escala de 1:24,000 y se le asignó un valor de ponderación por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se obtuvieron cartografías temáticas de áreas prioritarias de riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial. De igual manera, la cartografía de áreas prioritarias contra incendios forestales. El mapa de áreas prioritarias permite identificar las zonas de mayor importancia para la asignación de recursos económicos y humanos para la prevención de los incendios forestales.

**Palabras clave:** Daño potencial, riesgo de ignición, peligro de propagación, SIG.

#### ABSTRACT

The forest fires destroy large extensions of forest cover. The research work had as objective generate thematic cartographies to determine priority areas against forest fires in the community of San Esteban Atatlahuca. In order to generate the thematic cartographic of priority areas, geoprocesses were applied to the variables of risk of ignition, danger of spread and potential damage adapted to a scale of 1:24,000 and he assigned a weighting value through a geographic information system (GIS). Thematic cartographies were obtained from priority areas of ignition risk, danger of spreading and potential damage. At the same time, cartography of priority areas against forest fires. The map of priority areas allows identifying the most important areas for the allocation of economic and human resources for the prevention of forest fires.

**Index words:** Potential damage, ignition risk, propagation danger, GIS.

---

<sup>1</sup> Recibido: 14 de mayo de 2019.  
Aceptado: 30 de junio de 2019

## INTRODUCCIÓN

Los bosques de un país son relevantes para las comunidades por su potencial de producción maderable y no maderable, los bosques y selvas son una fuente de empleo e ingreso para la población que se localiza dentro o cerca de las áreas arboladas (Chapela, 2012). Frecuentemente se ven amenazados por la deforestación como: cambio de uso del suelo, tala ilegal, plagas y enfermedades forestales, incremento demográfico, incendios forestales, etc. (CONAFOR, 2013).

Los incendios son un riesgo latente para los ecosistemas forestales, debido a que cuando estos se salen de control, destruyen grandes extensiones de cobertura forestal, causando la pérdida de biodiversidad, la fragmentación y la degradación de los ecosistemas (Moraga-Peralta, 2010; Xelhuanzi-Carmona *et al.*, 2011; Umaña-Ramírez, 2017; Sandoval-García *et al.*, 2018).

Se calcula que las actividades humanas ocasionan el 99% de los incendios forestales y sólo 1% tiene como causa por fenómenos naturales como: descargas eléctricas y erupción de volcanes. La mitad de estos incendios se producen por actividades agropecuarias y de urbanización, junto con las acciones intencionadas y los descuidos de personas que no apagan bien sus cigarrillos o fogatas (Bautista Rentería-Anima *et al.*, 2005; CONAFOR, 2010b; Cibrian-Tovar *et al.*, 2014; SEMARNAT, 2018).

De acuerdo, a la serie anual de incendios forestales de la CONAFOR (2018) correspondiente al periodo 2013-2017, se estima que en México se registran cada año en promedio 7,351 incendios forestales y afectan en promedio 331,064.75 ha.

Ante la problemática, la Comisión Nacional Forestal en 2010, desarrolló una estrategia para la definición de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales. Esta estrategia parte del análisis de diversas variables, agrupadas en tres criterios: riesgo, peligro y daño potencial o valor a escala nacional. Esto se hace a través de un sistema de información geográfica, basándose en la información disponible de las variables, lo que permite obtener cartografía temática, en la que se establecen áreas con distinto nivel de prioridad para su protección contra incendios forestales (Macias-Muro, 2016; Flores-Garnica *et al.*, 2017a; Flores-Garnica *et al.*, 2017b).

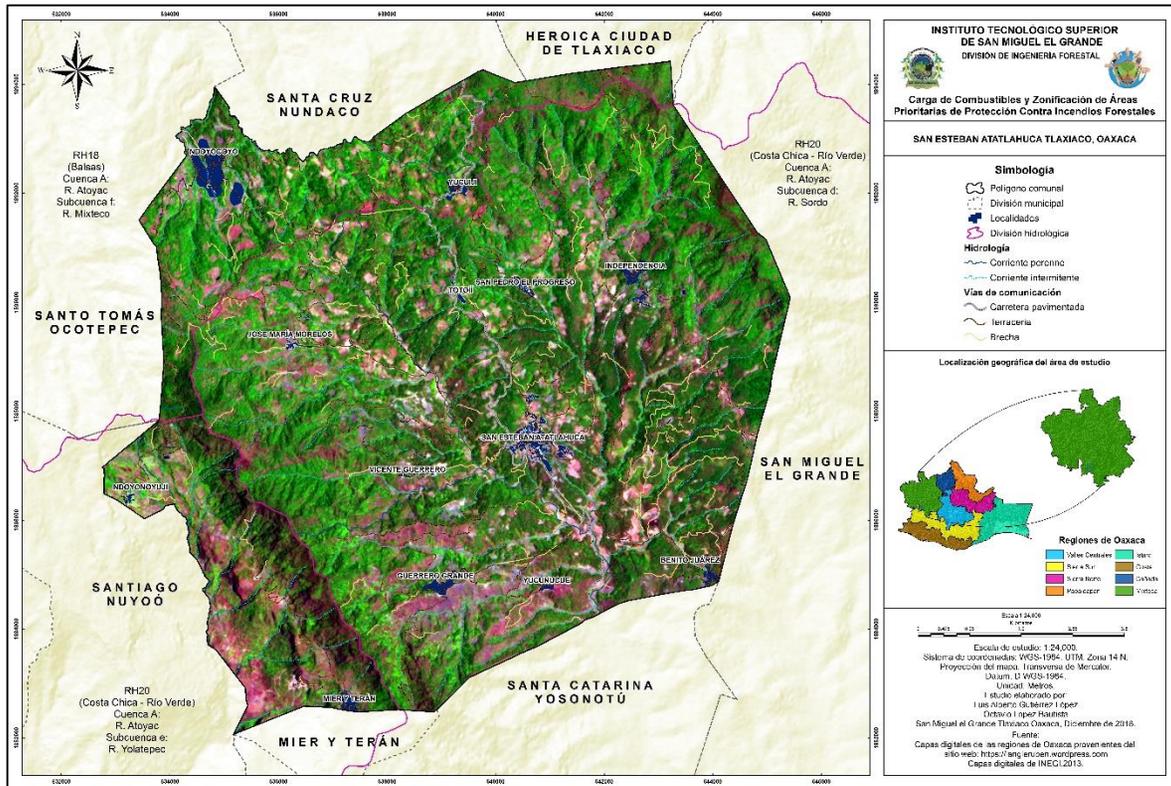
Asimismo, para alcanzar una mayor precisión en la elaboración de la cartografía es necesario realizarlo a una escala municipal que sirva de apoyo para la designación de recursos económicos y humanos para la prevención de los incendios forestales (Arias-Murcia, 2016; Ibarra-Montoya y Huerta-Martínez (2016); Flores-Garnica *et al.*, 2017a; Flores-Garnica *et al.*, 2017b). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue generar cartografías temáticas para determinar áreas prioritarias contra incendios forestales en la comunidad de San Esteban Atlatlahuca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

San Esteban Atlatlahuca se ubica en la región Mixteca, pertenece al distrito de Tlaxiaco del estado de Oaxaca, entre las coordenadas: 17°00' y 17°09' de latitud norte, 96°37' y 97°46' de longitud oeste, con rangos de altitud de 1,900 a 3,400 m (Figura 1). La comunidad está conformada con clima C (w2) templado subhúmedo y Cb' (w2) semifrío subhúmedo, con precipitaciones medias

anuales que fluctúa entre 800 a 1500 mm, con temperaturas que oscilan entre 10 a 16°C (INEGI, 2008). La vegetación que posee son bosque de oyamel, bosque de pinos y bosque de pino encino.



**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio.

### Zonificación de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales

Para la zonificación del presente proyecto de investigación, se utilizó la metodológica de CONAFOR (2010a), IDEAM y CAR (2014), Arias-Murcia (2016) y Rodenes (2016). Estas fueron enriquecidas y adaptados a una escala de 1:24,000.

Se aplicaron geoprocursos a cada una de las variables de riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial. Los geoprocursos se realizaron a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) denominado ArcMap 10.6, utilizando capas en formato vectorial y ráster (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Información utilizada para el riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial.

	Variable	Formato	Fuente
Riesgo de ignición	Antecedentes de incendios	Vectorial, Ráster	Sentinel-2
	Localidades y áreas agrícolas	Vectorial	Google Earth Pro
	Vías de comunicación	Vectorial	Google Earth Pro
	Líneas eléctricas	Vectorial	INEGI

	Temperatura media anual	Raster	NEO
	Precipitación media anual	Raster	NEO
	Radiación solar media anual	Raster	NEO
	Exposición del terreno	Raster	Alaska Facility
Peligro de propagación	Carga total de combustibles forestales	Vectorial	Inventario de combustibles forestales
	Cantidad de vegetación	Raster	Sentinel-2
	Comportamiento del fuego en los ecosistemas	Vectorial	INEGI
	Altitud	Raster	Alaska Facility
	Pendiente del terreno	Raster	Alaska Facility
	Viento	Vectorial	INIFAP
Daño potencial	Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS)	Vectorial	CONABIO
	Áreas para la conservación de la biodiversidad	Vectorial	Programa de Manejo Forestal Maderable
	Áreas de importancia hidrológicas	Vectorial	INEGI
	Regiones Terrestres Prioritarias	Vectorial	CONABIO
	Efecto del fuego en los ecosistemas	Vectorial	INEGI
	Áreas de importancia religiosa y arqueológica	Vectorial	Programa de Manejo Forestal Maderable
	Áreas agrícolas	Vectorial	Google Earth Pro
	Áreas de colecta de hongo	Vectorial	Programa de Manejo Forestal Maderable
	Área de ecoturismo	Vectorial	Programa de Manejo Forestal Maderable
	Valor maderable	Vectorial	INEGI
	Áreas de aprovechamiento maderable	Vectorial	Programa de Manejo Forestal Maderable
Existencias reales totales de bosque natural	Vectorial	Programa de Manejo Forestal Maderable y CONAFOR	

### Integración de variables

Para la obtención del mapa final de riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial, se utilizó la metodología descrita por Flores-Garnica *et al.* (2016d), en la cual se convirtió cada variable a formato raster con una resolución de pixel de 5x5 m, cabe señalar también, que el polígono del área de estudio se convirtió a raster asignándole un valor de 0, después se reclasificó cada variable asignándole su valor de ponderación correspondiente, de igual manera el polígono se reclasificó asignándole un valor de ponderación de 0 (guardado por Default), posteriormente se realizó la integración del raster reclasificado del polígono y el raster reclasificado de la variable, utilizando la herramienta Mosaic to New Raster (Pixel type =5, Number of Bands=1) y finalmente se realizó la sumatoria de todos los mosaicos con la herramienta Raster Calculator y se reclasificó en 5 intervalos iguales (Equal Interval).

## Áreas prioritarias

El mapa de áreas prioritarias contra incendios forestales, se obtuvo aplicando la sumatoria del raster de riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial con la herramienta Raster Calculator, después se reclasificó en 5 intervalos iguales y se convirtió a polígono asignándole un nivel de prioridad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cartografías temáticas de áreas prioritarias de protección e ignición contra incendios forestales

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la realización del mapa de áreas prioritarias contra incendios forestales, en la cual se incluye el riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial para la comunidad de San Esteban Atlatluuca.

De acuerdo a la suma de las variables utilizadas del riesgo de ignición, mediante el álgebra de mapas, el valor máximo obtenido fue de 34 y mínimo de 8, se realizó una división en 5 niveles de riesgo y se obtuvo intervalos cada 5.2. El mapa de riesgo de ignición se muestra en la Figura 2, la comunidad presenta un nivel de 12.24 % (muy baja), 50.63 % (baja), 28.41 % (moderada), 8.12 % (alta) y 0.60 % (muy alta). De acuerdo a lo anterior, se identificaron áreas con su nivel de riesgo, en la cual consiste en la probabilidad para que se inicie un incendio forestal (Chuvienco *et al.*, 2007; Flores-Garnica *et al.*, 2016a; Flores-Garnica *et al.*, 2016b; Prats, 2016; Flores-Garnica *et al.*, 2017a; Flores-Garnica *et al.*, 2017b; Flores-Garnica *et al.*, 2019).

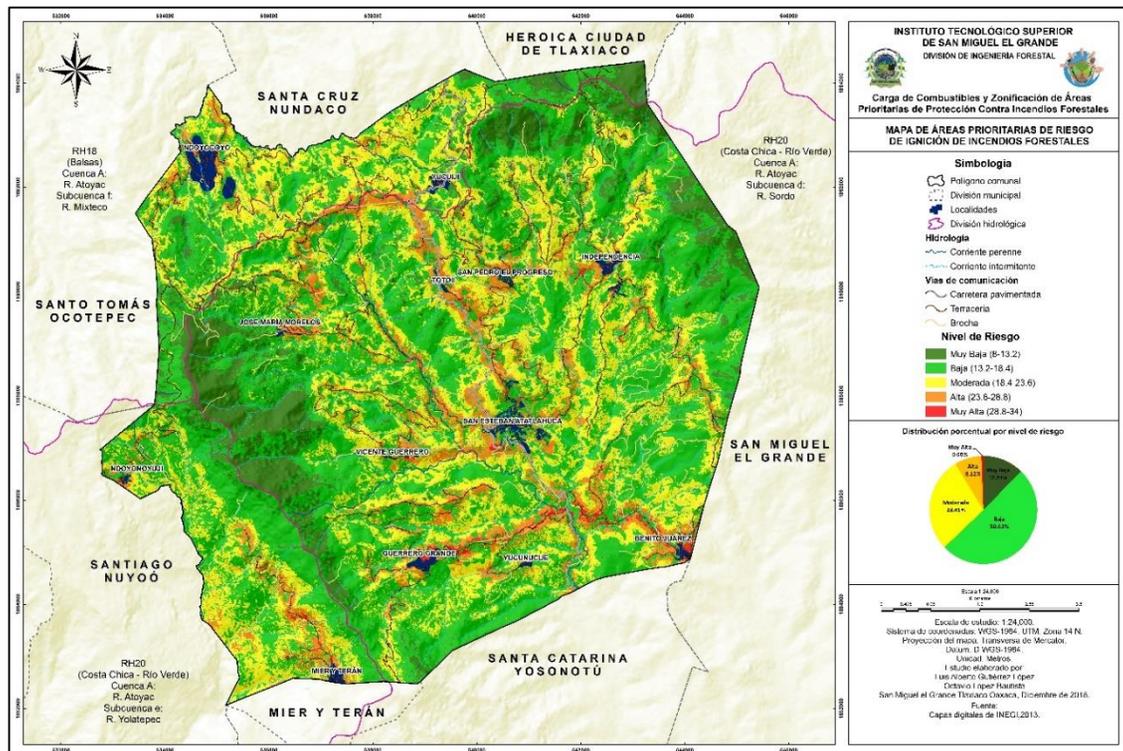
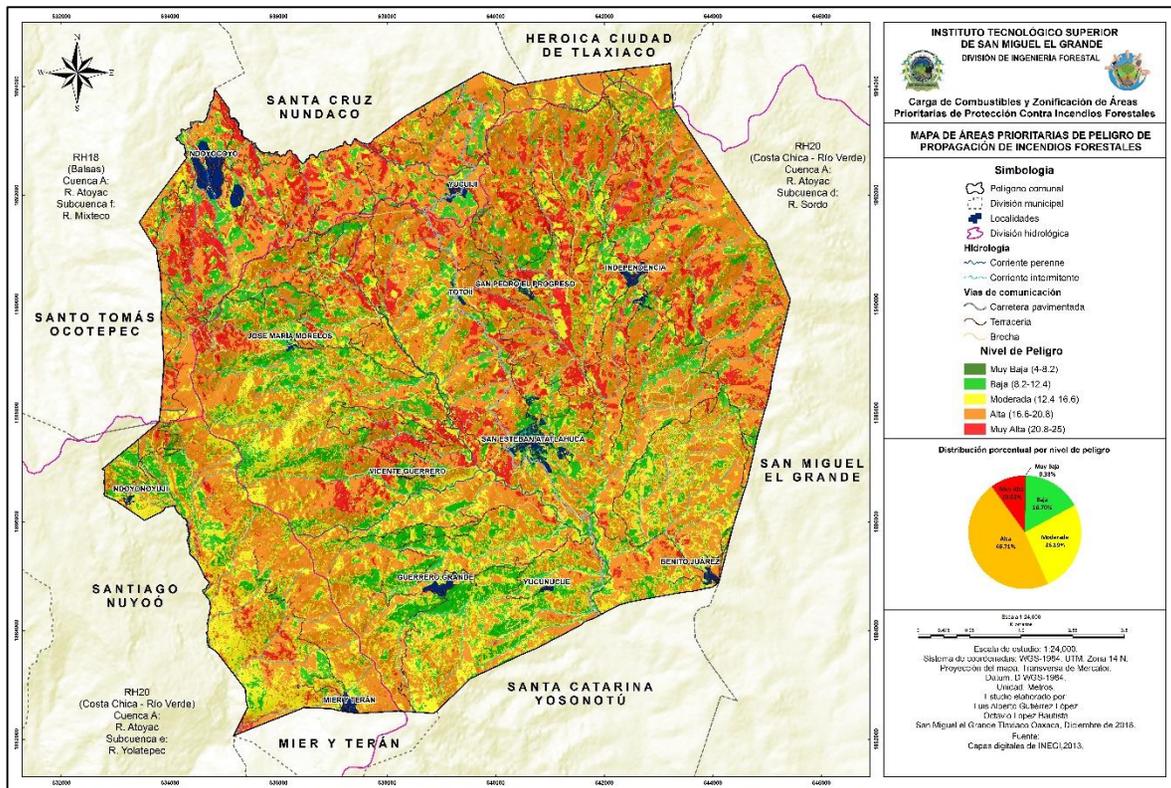


Figura 2. Mapa de áreas prioritarias de riesgo de ignición de incendios forestales.

## Áreas prioritarias de peligro de propagación de incendio forestal

De acuerdo a la suma de las variables utilizadas del peligro de propagación, mediante el álgebra de mapas, el valor máximo obtenido fue de 25 y mínimo de 4, se realizó una división en 5 nivel de peligro y se obtuvo intervalos cada 4.1.

El mapa de peligro de propagación se muestra en la Figura 3, la comunidad presenta un nivel de 0.38 % (muy baja), 16.70 % (baja), 26.19 % (moderada), 46.71 % (alta) y 10.02 % (muy alta). De acuerdo a lo anterior, se identificaron áreas con su nivel de peligro, en la cual consiste en la probabilidad para que un incendio se propague (Chuvienco *et al.*, 2007; Flores-Garnica *et al.*, 2016b; Flores-Garnica *et al.*, 2016e; Prats, 2016; Flores-Garnica *et al.*, 2017a; Flores-Garnica *et al.*, 2017b; Flores-Garnica *et al.*, 2019).



**Figura 3.** Mapa de áreas prioritarias de peligro de propagación de incendios forestales.

## Áreas prioritarias de daño potencial de incendio forestal

De acuerdo a la suma de las variables utilizadas del daño potencial, mediante el álgebra de mapas, el valor máximo obtenido fue de 49 y mínimo de 0, se realizó una división en 5 nivel de daño potencial y se obtuvo intervalos cada 9.8.

El mapa de daño potencial se muestra en la Figura 4, la comunidad presenta un nivel de 23.92 % (muy baja), 34.46 % (baja), 37.78 % (moderada), 3.51 % (alta) y 0.34 % (muy alta). De acuerdo a lo anterior, se identificaron áreas con su nivel de daño, en la cual representan zonas de interés para la protección de los efectos ocasionados por los incendios forestales (Chuvienco *et al.*, 2007;

Flores-Garnica *et al.*, 2016c; Flores-Garnica *et al.*, 2016e; Flores-Garnica *et al.*, 2017a; Flores-Garnica *et al.*, 2017b; Flores-Garnica *et al.*, 2019).

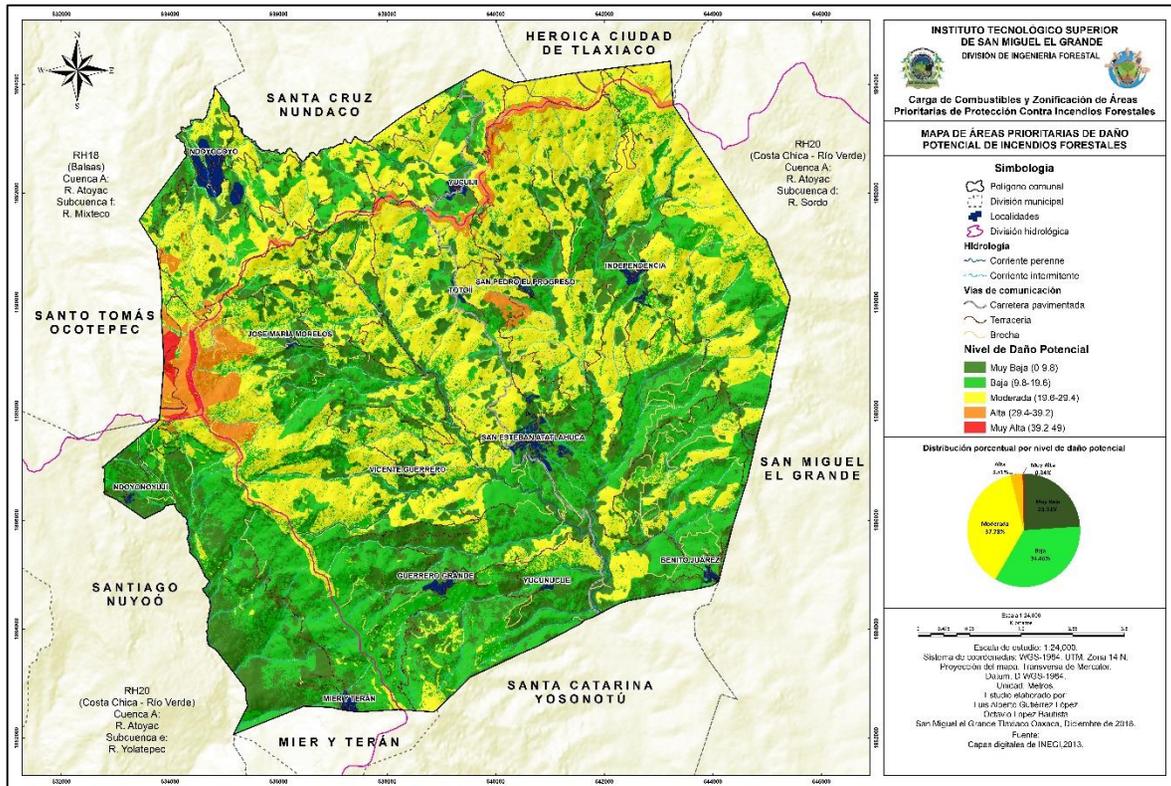
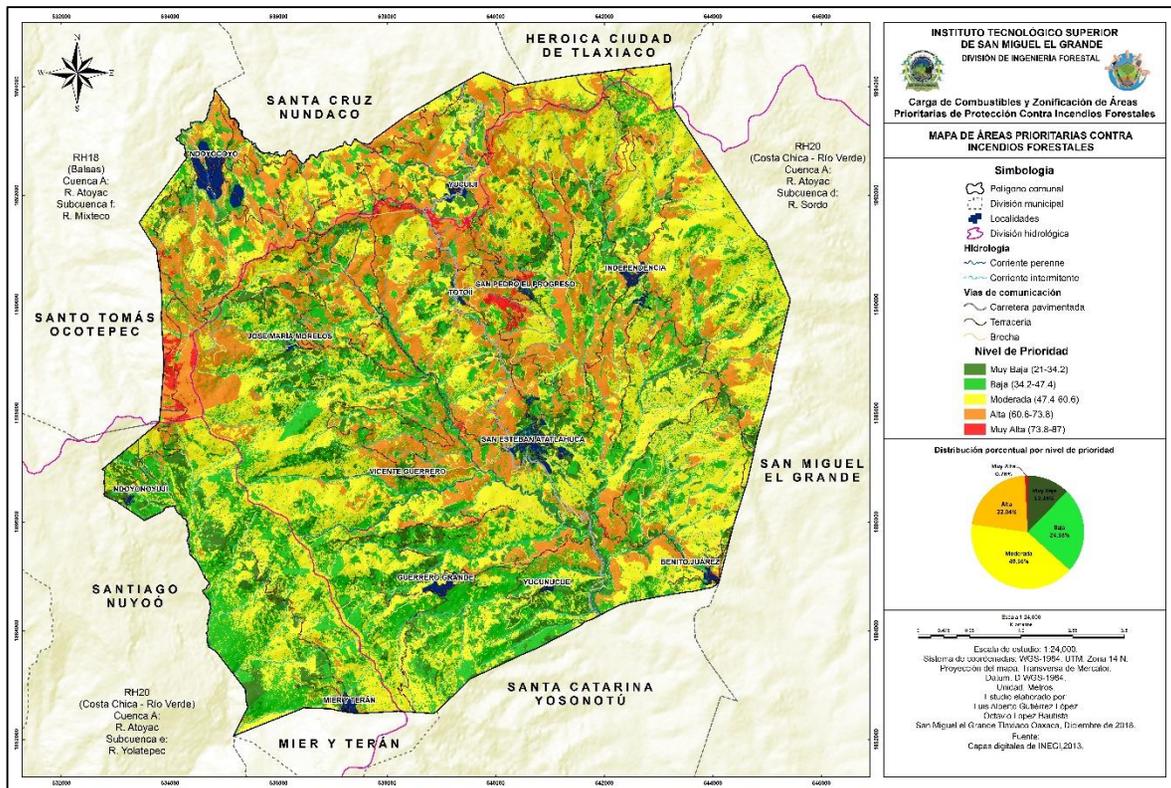


Figura 4. Mapa de áreas prioritarias de daño potencial de incendios forestales.

### Áreas prioritarias contra incendios forestales

De acuerdo a la suma del riesgo de ignición, peligro de propagación y daño potencial, mediante el álgebra de mapas, el valor máximo obtenido fue de 87 y mínimo de 21, se realizó una división en 5 nivel de prioridad y se obtuvo intervalos cada 13.2.

El mapa de áreas prioritarias se muestra en la Figura 5, la comunidad presenta un nivel de 12.24 % (muy baja), 24.38 % (baja), 40.56 % (moderada), 22.04 % (alta) y 0.78 % (muy alta). De acuerdo a lo anterior, se priorizaron zonas contra incendios forestales y sirva de apoyo para la designación de recursos económicos y humanos para la prevención de los incendios forestales (CONAFOR, 2010a; Flores-Garnica *et al.*, 2017a; Flores-Garnica *et al.*, 2017b; Flores-Garnica *et al.*, 2019).



**Figura 5.** Mapa de áreas prioritarias contra incendios forestales.

## CONCLUSIONES

El mapa de riesgo de ignición permite identificar áreas con nivel de riesgo para el inicio de un incendio forestal, el mapa de peligro de propagación permite identificar áreas con nivel de peligro para la propagación de un incendio forestal y el mapa de daño potencial permite identificar áreas de interés de protección de los efectos ocasionados por los incendios forestales. El mapa de áreas prioritarias permite identificar las zonas de mayor importancia para la asignación de recursos económicos y humanos para la prevención de los incendios forestales. Los Sistemas de información Geográfica son indispensables para el manejo y procesamiento de datos espaciales, constituyéndose en una herramienta de gran importancia para el desarrollo de cada una de las variables.

## LITERATURA CITADA

- Arias-Murcia, K. Y. 2016. Zonificación de amenazas por incendios forestales en el sector rural del municipio de Tota Boyacá con el empleo de SIG. Tesis Profesional. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia. 88 p.
- Bautista Rentería-Anima, J., E. J. Treviño-Garza, J. Navar-Chaidez, O. Aguirre-Calderón, I. Cantú-Silva. 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1): 51-56.
- Chapela, F. 2012. Estado de los bosques en México. Consejo Civil Mexicano Para la Silvicultura Sostenible A.C. (CCMSS). [en línea]. [Fecha de consulta: 04 de enero de 2018]. Disponible en: [http://www.ccmss.org.mx/descargas/Estado\\_de\\_los\\_bosques\\_en\\_Mexico\\_final.pdf](http://www.ccmss.org.mx/descargas/Estado_de_los_bosques_en_Mexico_final.pdf)

- Chuvienco E., Aguado I, Yebra M, Nieto, H, Martín, M. P, Vilar, L, Martínez, J, Padrón, D, Martín, S, Salas, J. 2007. Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. Ed. Martin, ISBN: 978-987-543-126-3: 19-26.
- Cibrian-Tovar, J., R. Martínez-Domínguez y A. Raygoza-Martínez. 2014. Incendios forestales. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) Serie Fascículos. Secretaria de Gobernación. CONAFOR. México. 44 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010a. Procedimiento para elaboración de un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales. Comisión Nacional Forestal. México. 47 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010b. Incendios forestales Guía práctica para comunicadores. Comisión Nacional Forestal. 3a ed. Col. San Juan de Ocotán Zapopan, Jalisco, México. 54 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Bosques, cambio climático y REDD+ en México Guía básica. Segunda edición. Col. San Juan de Ocotán Zapopan, Jalisco, México. 87 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2018. Serie Histórica anual de Incendios Forestales. (Consultado: 09/12/2018). Disponible en: <http://187.218.230.4/OpenData/Incendios/>
- Flores-Garnica, J. G., J. D. Benavides-Solorio, C. Valdez-Ramírez, D. G. Vega-Montes de Oca y U. D. Casillas-Díaz. 2016a. Descripción de variables para definición de riesgo de incendios forestales en México. Folleto Técnico. Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 61 p.
- Flores-Garnica, J. G., J. D. Benavides-Solorio, H. J. Leal-Aguayo, D. G. Vega-Montes de Oca, C. Valdez-Ramírez y U. D. Casillas-Díaz. 2016b. Descripción de variables para definición de Peligro de Incendios Forestales en México Núm.3. INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 58 p.
- Flores-Garnica, J. G., J. D. Benavides-Solorio, L. L. Ramírez-Godínez, D. G. Vega-Montes de Oca, C. Valdez-Ramírez, H. J. Leal-Aguayo y U. D. Casillas-Díaz. 2016c. Variables del criterio de valor para priorizar zonas contra incendios forestales en México. Folleto Técnico. Num.4. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 60 p.
- Flores-Garnica, J. G., J. D. Benavides-Solorio, A. Gallegos-Rodríguez, E. Hernández-Álvarez, U. D. Casillas-Díaz y H. J. Leal-Aguayo. 2016d. Manual para la elaboración de mapas de riesgo de incendios forestales usando ArcGis 10. Libro Técnico. Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 123 p.
- Flores-Garnica, J. G., J. D. Benavides-Solorio, A. Macías-Muro, D. G. Vega-Montes de Oca, E. L. Núñez-Galaviz, A. Gallegos-Rodríguez y E. Hernández-Álvarez. 2016e. Fichas descriptivas de las variables utilizadas para la priorización de áreas contra incendios forestales. Folleto Técnico. Núm. 1 INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 44 p.
- Flores-Garnica, J. G., J. D. Benavides-Solorio, U. D. Casillas-Díaz, J. M. García-Bernal, H. J. Leal-Aguayo, A. Gallegos-Rodríguez y E. Hernández-Álvarez. 2017a. Cartografía temática para determinar áreas contra incendios forestales Jalisco. Libro Técnico. Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 89 p.
- Flores-Garnica, J. G., J. D. Benavides-Solorio, D. G. Vega-Montes de Oca, E. L. Núñez-Galaviz, H. J. Leal-Aguayo, A. Macías-Muro, K. Fuentes-Mendoza, A. Gallegos-Rodríguez y E. Hernández-Álvarez. 2017b. Análisis participativo para la definición de áreas prioritarias contra incendios forestales en Jalisco. Folleto Técnico. Núm.3. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 73 p.
- Flores-Garnica, J. G., U. D. Casillas-Díaz y A. Muro-Macías. 2019. Proceso Estandarizado Para Generar Cartografía de Áreas Prioritarias Contra Incendios Forestales. Memorias del quinto

- simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los incendios forestales: servicios ambientales e incendios forestales. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-261, (Español). Albany, CA: Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste: 201-216.
- Ibarra-Montoya, J. L., y F. M. Huerta-Martínez. 2016. Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. *Revista Ambiente y Agua* 11 (1): 35-49.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 2014. Memoria técnica Mapa de zonificación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal – Escala 1:100,000. Bogotá, Colombia. 109 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2008. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Esteban Atatláhuca Tlaxiaco, Oaxaca. (Consultado: 09/08/2017). Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/20/20269.pdf>
- Macías-Muro, A. 2016. Validación de áreas prioritarias de riesgo de incendios forestales. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. División de ciencias agronómicas. Zapopan, Jalisco., México. 91 p.
- Moraga-Peralta, J. C. 2010. Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del río Tempisque, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* 2 (45): 33-64.
- Prats Palomares, A. 2016. Cartografiado de riesgo de incendio forestal en la Valldigna. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia. España. 161 p.
- Rodenas Bou, G. 2016. Estudio del peligro de incendio forestal en el Parque Natural de Els Ports (Tarragona). Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia. España. 110 p.
- Sandoval-García, R., F. Manzano-Méndez, C. Macías-Caballero, G.B. Baltazar-Mendoza, E. Martínez-Ovando, E. Hernández-Molina, E. Castillejos-Castellanos, A. Vázquez-Vázquez, L. A. Álvarez-Márquez, C. Cortes-Montaña, A. Vargas-Guillén y C. A. Santiago-León. 2018. Guía para la inclusión de criterios de conservación de la biodiversidad y manejo forestal en la sierra madre de Chiapas, México. México. 111 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Incendios Forestales. (Consultado: 26/05/2018). Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/incendios-forestales-148160>
- Umaña-Ramírez, D. E. 2017. Zonificación de amenaza a incendios forestales en el municipio de Riohacha, la Guajira. Tesis de Maestría. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. 20 p.
- Xelhuantzi-Carmona, J., J. G. Flores-Garnica y A. A. Chávez-Durán. (2011). Comparative analysis of fire loads in forest ecosystems disturbed by fire. *Revista mexicana de ciencias forestales* 2 (3): 37-52.

## DIVERSIDAD GENÉTICA EN CATORCE POBLACIONES DE *Pinus arizonica* Y SU RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES<sup>1</sup>

### [GENETIC DIVERSITY IN FOURTEEN POPULATIONS OF *Pinus arizonica* AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL VARIABLES]

Miguel Ricardo Hernández-Velazco<sup>1</sup>, Marcos de Almeida-Souza<sup>1</sup>, Jose Ciro Hernández-Díaz<sup>2</sup>, Jonathan Gabriel Escobar-Flores<sup>3</sup>, Carlos Antonio López-Sánchez<sup>4</sup>, Christian Anton Wehenkel<sup>2§</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Durango, Durango, México. <sup>2</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera-UJED. <sup>3</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango, Durango, México. <sup>4</sup>Universidad de Oviedo, España. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (wehenkel@ujed.mx).

#### RESUMEN

En México el género *Pinus* representa el recurso forestal de mayor importancia económica en las zonas templadas. Sin embargo, factores antropogénicos y biológicos pueden causar la pérdida de diversidad genética dentro del género. En este estudio, se determinaron tres índices de diversidad genética ( $v_2$ , %Poly, DW) en 14 poblaciones de *Pinus arizonica* Engelm. ubicadas en el estado de Chihuahua, México, utilizando polimorfismos en la longitud de los fragmentos amplificados (AFLP). Además, se analizaron sus relaciones con siete variables de clima, seis de suelo y tres geográficas, mediante análisis de correlación y regresión. Para evaluar la importancia de estos tres grupos de variables como predictores de la diversidad genética, se realizó un análisis de redundancia (RDA). La diversidad genética detectada en las 14 poblaciones de *P. arizonica* estudiadas fue alta. Dentro de los modelos *glmStepAIC* Zn (ppm) fue la variable predictora más significativa de la diversidad genética ( $R^2 = 0.53 - 0.76$ ). El RDA con los tres grupos de variables explicó el 66% ( $p = 0.005$ ) de los tres índices de diversidad genética. Futuros análisis de diversidad genética en especies forestales deben implementar métodos que permitan explicar la relación de las variables ambientales y los niveles de diversidad genética.

**Palabras clave:** Aprendizaje automático, forward, partición de la variación, porcentaje de polimorfismo.

#### ABSTRACT

In Mexico, the genus *Pinus* represents the most economically important forest resource in temperate zones. However, anthropogenic and biological factors can cause loss of genetic diversity within the genus. In this study, three indices of genetic diversity ( $v_2$ , %Poly, DW) were determined in 14 populations of *Pinus arizonica* Engelm. located in the state of Chihuahua, Mexico using polymorphisms in the length of amplified fragments (AFLP). In addition, their relationships with

---

<sup>1</sup> Recibido: 26 de abril 2019

Aceptado: 17 de junio 2019

7 climate, 6 soil and 3 geographic variables were analyzed through correlation and regression analysis. In order to evaluate the importance of these three groups of variables as predictors of genetic diversity, a redundancy analysis (RDA) was carried out. The genetic diversity detected in the populations of *P. arizonica* was high. Within the *glmStepAIC* models Zn (ppm) was the most significantly predictor variable of genetic diversity ( $R^2 = 0.53 - 0.76$ ). The RDA with the three groups of variables explained 66% ( $p = 0.005$ ) of the three indices of genetic diversity. Future analyses of genetic diversity in forest species should implement methods to explain the relationship of environmental variables and levels of genetic diversity.

**Index words:** forward, machine learning, partitioning the variation, percentage of polymorphism.

## INTRODUCCIÓN

En México el género *Pinus* representa el recurso forestal de mayor importancia económica en las zonas templadas (Sáenz-Romero *et al.*, 2003; Sánchez-González, 2008). La diversidad genética es la base fundamental para la adaptación de las especies forestales (Wehenkel *et al.*, 2017). Su pérdida puede disminuir la capacidad de los individuos para contrarrestar los efectos de plagas, enfermedades y factores ambientales (Alfaro *et al.*, 2014). Sin embargo, factores antropogénicos y biológicos pueden causar desde disminución de la diversidad genética dentro del género hasta la pérdida de este recurso

Las condiciones ambientales, la distribución geográfica y los factores biológicos determinan los niveles y la distribución de la diversidad genética (Schierenbeck, 2016). Para implementar el manejo y la conservación de la diversidad genética de las especies forestales de importancia ecológica y económica, se requiere información sobre los patrones de variación genética entre y dentro de las poblaciones (Sáenz-Romero *et al.*, 2003).

Se ha reconocido la relación entre la distribución de las especies arbóreas con las condiciones climáticas y las características del suelo (Huston, 1980; Martínez-Antúnez *et al.*, 2017). El suelo brinda nutrientes para el desarrollo de las plantas, además su disponibilidad se ha relacionado con la productividad y la diversidad de especies en los ecosistemas (Wassen *et al.*, 2005; Lambers *et al.*, 2008; Laliberté *et al.* 2013; Xu *et al.*, 2016). Sin embargo, el efecto de las propiedades del suelo sobre la diversidad genética ha sido poco estudiado.

Los marcadores moleculares se han utilizado para analizar la diversidad genética en especies forestales (Porth y El-Kassaby, 2014). Entre ellos los marcadores multi-locus AFLP (Polimorfismos en la Longitud de los Fragmentos Amplificados) (Vos *et al.*, 1995) que destacan por ser altamente reproducibles y no requerir información previa sobre la secuencia de ADN del organismo en estudio (El-Esawi *et al.*, 2016).

*Pinus arizonica* Engelm. se distribuye en México a través de la Sierra Madre Occidental, en rango de alturas desde los 2200 a 3000 m. Esta especie destaca por su abundancia y alto valor económico en el estado de Chihuahua, México. En este estudio se determinaron los niveles de diversidad genética en catorce poblaciones de *P. arizonica* ubicadas en el estado de Chihuahua, México con el uso de marcadores AFLP. Además, se analizaron la relación entre la diversidad genética y variables geográficas, clima y suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Para determinar la diversidad genética de *Pinus arizonica*, se consideró un total de 14 poblaciones naturales ubicadas en diferentes municipios del estado de Chihuahua, México (Cuadro 1). Durante el año 2014, en cada población se tomaron muestras de aproximadamente 50 g de acículas de cada uno de 35 árboles al azar, que para su transporte al laboratorio se colocaron en tubos Eppendorf (15 ml). Al llegar al laboratorio se conservaron en refrigeración a -4 °C hasta su uso.

**Cuadro 1.** Localización de las 14 poblaciones de *Pinus arizonica* en el estado de Chihuahua, México.

Municipio	Paraje	Clave	Longitud (W)	Latitud (N)	Altura (msnm)
Balleza	Cebollas	PC	-106.48	26.54	2600
Balleza	Bigueño	PB	-106.42	26.56	2690
Balleza	Entronque Jacales	J3	-106.42	26.36	2700
Balleza	Ultima Agua	PA2	-106.33	26.36	2680
Balleza	San Carlos	J1	-106.54	26.62	2765
Guachochi	Mesa de Joya	MJ	-107.04	26.81	2420
Guachochi	La Gallina	AGLL	-107.17	26.74	2480
Guadalupe y Calvo	Entronque de Gallinas	AG	-106.91	26.07	2657
Guadalupe y Calvo	El Muertecito	AM	-107.05	26.02	2669
Madera	Mesa de Seis	PS	-108.19	29.37	2587
Madera	Mesa Rancho Mario	MC	-108.22	29.22	2398
Temohachi	Cienega Blanca	PACB	-108.26	28.71	2499
Temohachi	Puerto Grande	PCT	-108.30	28.73	2629
Temosachi	Bajío del Cochi	BT	-108.27	28.62	2670

### Extracción de ADN y marcadores genéticos

Se realizaron la extracción de ADN y la técnica Polimorfismos en la Longitud de los Fragmentos Amplificados (AFLP) de acuerdo al protocolo descrito por Vos *et al.* (1995) y modificado por Ávila-Flores *et al.* (2016). Se obtuvieron una matriz binaria de AFLP, a partir de la presencia (código 1) o ausencia (código 0) en la posición de un fragmento probable. Loci con menos de cinco fragmentos dominantes fueron excluidos del análisis.

## **Determinación de la diversidad genética**

La matriz binaria AFLP se utilizó para calcular tres índices de diversidad genética: porcentaje de polimorfismo (%Poly), valor del marcador de frecuencia ponderada baja (DW) (utilizado para medir variantes raras) (Schönswetter y Tribsch, 2005) y la diversidad genética media ( $v_2$ ) (Gregorius, 1978).

## **Variables de clima, suelo y geografía**

Siete variables climáticas se obtuvieron del servidor del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (<https://forest.moscowfsl.wsu.edu/>) que modela información de aproximadamente 6,000 estaciones climatológicas de México, Guatemala, Belice, Cuba y sur de Estados Unidos (Rehfeldt, 2006; Sáenz-Romero *et al.*, 2010). Para solicitar esta información fue necesario contar con tres variables geográficas: latitud, longitud y elevación (msnm) de cada población. De cada rodal se tomaron 40 submuestras de 50 gr de suelo a una profundidad de 0 cm a 15 cm. Posteriormente se mezclaron para obtener una muestra de 2 kg por población. Siguiendo el método de Castellanos *et al.* (2000) se determinaron a cada muestra de suelo las concentraciones de Mg (ppm), Cu (ppm), Zn (ppm) y pH (CaCl<sub>2</sub> 0.01M). El contenido de materia orgánica (MO) se obtuvo con el método de León y Aguilar (1987) y de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (kg/ha) por el método de Baker (1967). En el Cuadro 2 se muestra el resumen de las 16 variables consideradas en este estudio.

## **Análisis estadístico**

Para evaluar la importancia de los tres grupos de variables (clima, suelo, geográfica) como predictores del grupo de los tres índices de diversidad genética, se realizó un análisis de redundancia y partición de la variación (RDA) con el paquete “vegan” (Oksanen *et al.*, 2013). Con una selección forward se identificaron las variables significativas ( $p < 0.05$ ) dentro de cada grupo con las funciones “ordisep” y “rda”, mientras que la partición de la variación se llevó a cabo con la función “varpart”, la significancia de las particiones y fracciones se probó con la función “anova.cca”.

Con la finalidad de identificar las variables predictoras más significativas de cada índice de diversidad genética se implementaron modelos lineales generalizados que utilizan el método de selección paso a paso (glmStepAIC), con las funciones “train” y “glmStepAIC” del paquete “caret” (Kuhn, 2008). caret proporciona una interfaz para acceder a muchos algoritmos de aprendizaje automático que permiten generar modelos predictivos de alta precisión, incluso cuando existen relaciones complejas entre variables (Bhattacharya, 2015). Adicionalmente se realizó una correlación de Pearson entre las variables ambientales y los índices de diversidad genética, además de una corrección de Bonferroni para ajustar el nivel de significancia, el nuevo valor de  $p$  ajustado fue 0.001. Las relaciones significativas entre los índices de diversidad genética y las variables ambientales se visualizaron gráficamente con el paquete y la función “ggplot2” (método = “gam”) (Wickham, 2016). Todas las rutinas de análisis se realizaron con el programa computacional R (versión 3.3.4) (R Development Core Team, 2017).

**Cuadro 2.** Descripción de tres variables geográficas, siete variables de clima y seis de suelo en 14 localidades en que desarrolla *Pinus arizonica*.

Variable		MIN	MAX	MEAN	SD
ELEV	Elevación (msnm)	1820	3062	2496	274.8
Lon (O)	Longitud (Oeste)	-108.3	-106.33	-107.27	0.81
Lat (N)	Latitud (Norte)	26.02	29.37	27.34	1.26
MAT	Temperatura media anual (°C)	8.3	15.6	10.8	1.5
MTCM	Temperatura media del mes más frío (°C)	2.3	9.4	5	1.4
D100	Suma de días en el que se acumulan 100 grados día > 5°C	21	90	57.1	14
MMAX	Temperatura media máxima del mes más cálido (°C)	22.2	30.5	25.3	2.1
FFP	Promedio de duración libre de heladas (día)	78	203	129.1	28.1
MAP	Precipitación media anual (mm)	625	1318	905.8	187
SMRPB	Balance de precipitación de verano (julio+agosto+septiembre/abril+mayo+junio)	4	7.1	4.9	0.8
NO3-	Nitratos (kg/ha)	9.61	164.09	41.08	43.22
MO	Materia orgánica (%)	1.23	20.44	8.97	4.84
pH	pH	4.61	5.63	5.1	0.27
Mg	Magnesio (ppm)	61.75	822.25	271.61	182.92
Zn	Zinc (ppm)	0.3	6.74	2.76	1.71
Cu	Cobre (ppm)	0.16	0.88	0.38	0.16

MIN = Valor mínimo, MAX = Valor máximo, MEAN = Promedio, SD = Desviación estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La combinación de los primers de AFLP resultó en 308 bandas polimórficas de 75-450 pb para los individuos de *Pinus arizonica*. Los niveles de diversidad genética detectados en las 14 poblaciones de *P. arizonica* fueron altos (Cuadro 3), un resultado similar para esta especie fue reportado por Wehenkel *et al.* (2015) que encontraron un  $v_2$  de 1.36 en promedio. En México las especies de *Pinus* estudiadas han mostrado una alta diversidad genética (Favela, 2010; Fuentes-Amaro *et al.*, 2019). En especies forestales con amplia distribución y poca fragmentación se han reportado resultados similares, posiblemente a un constante flujo genético y tamaño efectivo poblacional grande que permiten contrarrestar los efectos de la deriva genética y endogamia, contrario a lo que sucede en especies con poblaciones fragmentadas, aisladas y restringidas (Petit *et al.*, 2004).

El método *forward* seleccionó una variable significativa como predictora de la diversidad genética dentro de cada grupo: Clima = MTCM, Suelo = Zinc (ppm), Geografía = Latitud (N). La variación total de la diversidad genética de *P. arizonica* explicada por el modelo con los tres grupos fue de 66% ( $p = 0.005$ ) (Figura 1). Sin embargo, al analizar las fracciones individuales, sólo el suelo fue significativo ( $p = 0.02$ ). Huang *et al.* (2016) utilizaron un RDA para evaluar la contribución de factores ambientales sobre la diversidad genética de *Caragana microphylla*, donde seis variables

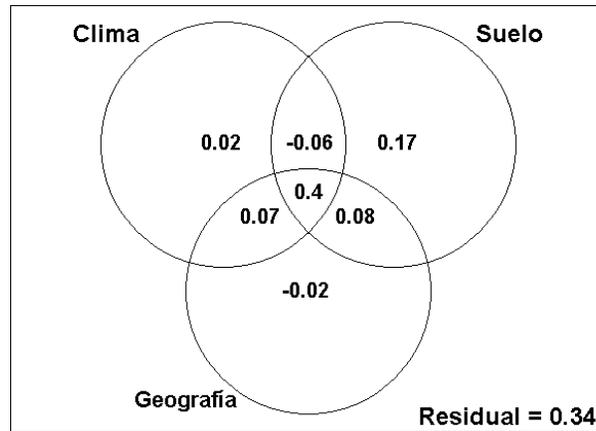
del clima: temperatura promedio anual, rango de temperatura anual, precipitación promedio anual, índice de frío, índice de calor e índice de síntesis hidrotermal, explicaron 78.4% de la variación de la diversidad genética. Además, seis variables del suelo: 1) disponibilidad de Fosforo, 2) disponibilidad de Nitrógeno, 3) carbono orgánico del suelo, 4) carbono orgánico del suelo/disponibilidad de nitrógeno, 5) carbono orgánico del suelo/disponibilidad de Fosforo y 6) disponibilidad de Fosforo/disponibilidad de Nitrógeno, fueron significativas explicando un 88.6% de la variación genética.

**Cuadro 3.** Parámetros de tres índices de diversidad genética de las 14 poblaciones de *P. arizonica*.

<b>Clave</b>	<b>v<sub>2</sub></b>	<b>%Poly</b>	<b>DW</b>
<b>PC</b>	1.43	0.91	0.70
<b>PB</b>	1.43	0.87	0.72
<b>J3</b>	1.39	0.89	0.74
<b>PA2</b>	1.42	0.91	0.77
<b>J1</b>	1.39	0.83	0.56
<b>MJ</b>	1.37	0.83	0.52
<b>AGLL</b>	1.40	0.86	0.74
<b>AG</b>	1.49	0.90	1.01
<b>AM</b>	1.43	0.92	0.73
<b>PS</b>	1.39	0.86	0.61
<b>MC</b>	1.35	0.72	0.38
<b>PACB</b>	1.36	0.83	0.53
<b>PCT</b>	1.33	0.75	0.38
<b>BT</b>	1.37	0.77	0.46
<b>Promedio</b>	1.40	0.85	0.63
<b>SD</b>	0.04	0.06	0.17
<b>Min</b>	1.33	0.72	0.38
<b>Max</b>	1.49	0.92	1.01

Clave = Población, v<sub>2</sub> = Diversidad genética media, %Poly = Porcentaje de polimorfismo, DW = valor del marcador de frecuencia ponderada baja, SD = Desviación estándar, Min = Valor mínimo, Max = Valor máximo.

Los resultados de las correlaciones entre los índices de diversidad genética y las variables en estudio para las 14 poblaciones de *P. arizonica* fueron significativas ( $p < 0.05$ ) con D100, FFP, SMRPB, MTCM, NO<sub>3</sub>- (Kg/ha), Zn (ppm), Cu (ppm), Latitud y Longitud (Cuadro 4). Sin embargo, después de la corrección de Bonferroni únicamente las correlaciones entre los índices v<sub>2</sub> y DW con la variable Zn (ppm) fueron significativas ( $p < 0.001$ ) (Figura 2). Zn fue la variable predictora más significativa dentro de los modelos *glmStepAIC* de diversidad genética (Cuadro 5), esto implica que Zn es favorable (al menos indirectamente) para variantes genéticas más raras.



**Figura 1.** Porcentaje total de variación de la diversidad genética ( $v_2$ , %Poly y DW) explicada por el clima (MTCM), el suelo (Zn (ppm)) y la geografía (latitud).

**Cuadro 4.** Correlación entre tres índices de diversidad genética y variables ambientales.

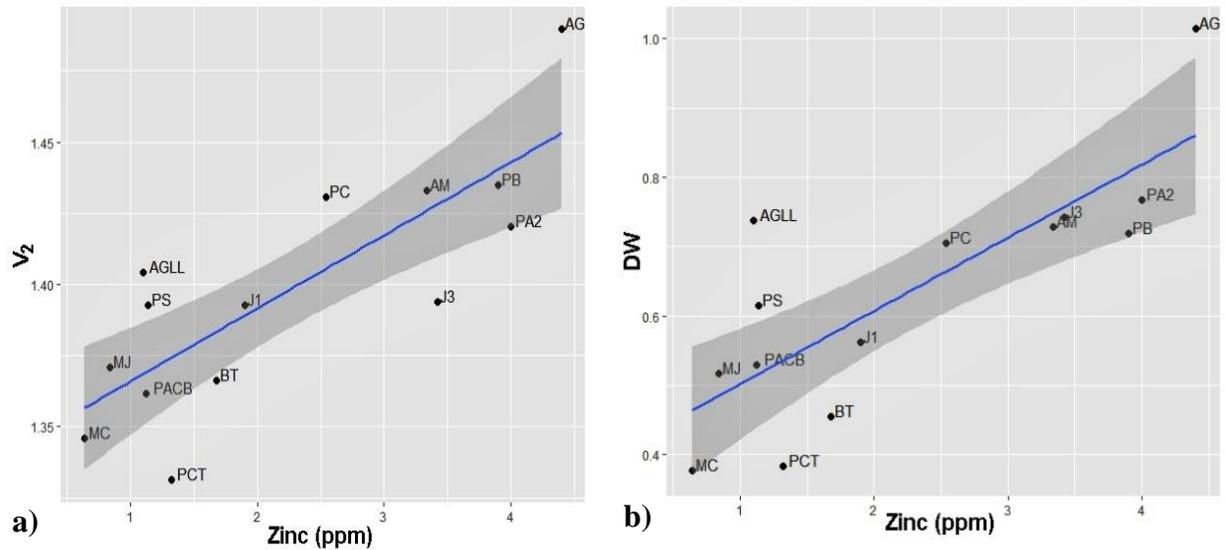
	$v_2$		%Poly		DW	
	$r_{xy}$	$P$	$r_{xy}$	$p$	$r_{xy}$	$P$
Longitud	0.67	0.0084	0.74	0.0025	0.67	0.0082
Latitud (N)	-0.74	0.0023	-0.77	0.0014	-0.75	0.0020
MTCM	0.67	0.0083	0.68	0.0077	0.69	0.0066
D100	-0.70	0.0049	-0.72	0.0040	-0.72	0.0041
FFP	-0.62	0.0185	-0.56	0.0384	-0.64	0.0138
SMRPB	-0.60	0.0223	-0.68	0.0078	-0.62	0.0178
NO <sub>3</sub> -	0.61	0.0196	---	---	0.60	0.0219
Zinc	0.81	0.0005*	0.71	0.0044	0.80	0.0006*
Cobre	0.56	0.0371	0.36	0.2030	0.54	0.0477

\* = Correlaciones significativas después de la corrección de Bonferroni.

**Cuadro 5.** Modelos *glmStepAIC* para la predicción de tres índices de diversidad genética.

	Coefficientes		Pr(> t )	RMSE	$R^2$
$v_2$	Intercept	1.34	2.00E-16	0.027	0.53
	Zn (ppm)	0.026	4.61E-04		
%Poly	Intercept	0.77	8.82E-13	0.05	0.63
	Zn (ppm)	0.034	4.37E-03		
DW	Intercept	0.396	2.18E-05	0.124	0.76
	Zn (ppm)	0.106	6.04E-04		

RMSE = Raíz del Error Cuadrático Medio,  $R^2$  = Coeficiente de Determinación.



**Figura 2.** Correlaciones significativas después de la corrección de Bonferroni ( $p = 0.001$ ): a) Diversidad genética media ( $v_2$ ) vs Zinc (ppm), b) Valor del marcador de frecuencia ponderada baja (DW) vs Zn (ppm). La media estimada (línea azul) y la desviación estándar (área gris) se basan en un modelo aditivo generalizado (GAM).

Se ha reconocido la importancia de los factores climáticos y edafológicos, como condiciones de presión de selección en los niveles de diversidad en especies arbóreas, además de las posibles repercusiones a futuro debido al cambio climático (Loo *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2016). Silva-Flores *et al.* (2014) analizaron la relación entre la diversidad de especies arbóreas ( $v_a$ ) con factores climáticos en la Sierra Madre Occidental donde se incluyó a *Pinus arizonica*, encontrando relaciones significativas y negativas con variables de precipitación y temperatura, además de una relación positiva con la densidad (número de individuos por parcela). Martínez-Antúnez *et al.* (2013) encontraron una asociación entre el promedio de duración libre de heladas (FFP) y el número de individuos por parcela de *P. arizonica* en diferentes sitios del estado de Durango, México, destacando la tolerancia de esta especie a las bajas temperaturas. Se ha sugerido la relación entre la diversidad de especies y la diversidad genética en arboles debido al efecto paralelo de características ambientales en ambos niveles de diversidad (Vellend y Gerber, 2005; Kahilainen *et al.*, 2014) mientras que la densidad puede indicar la calidad del hábitat o las condiciones ambientales adecuadas para una especie determinada (Gram y Sork, 1999).

Por otra parte, el Zn es un micronutriente esencial que participa en diversos procesos enzimáticos y fisiológicos, que en niveles adecuados es condición para el desarrollo saludable en las plantas (Broadley *et al.*, 2007; Tsonev y Cebola, 2012; Tripathi, 2015). Se ha encontrado que el Zn estimula la resistencia de las plantas a la sequía, altas temperaturas, enfermedades bacterianas y fúngicas a través de enzimas antioxidantes como por ejemplo el ascorbato peroxidasa, superóxido dismutasa y antioxidantes no enzimáticos como carotenoides y ácido ascórbico (Lee *et al.*, 2007; Mihăiescu *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013; Herrera-Flores *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

Los niveles de diversidad genética presentes en las 14 poblaciones de *Pinus arizonica* fueron altos, lo cual concuerda con resultados encontrados en otras especies de pino en México. La calidad del hábitat influyó en los niveles de diversidad genética en algunas poblaciones de *P. arizonica*. Futuros análisis de diversidad genética en especies forestales deben implementar métodos que permitan explicar la relación de las variables ambientales y los niveles de diversidad genética, esta información permitirá desarrollar estrategias de conservación y uso de los recursos genéticos en función del cambio ambiental previsto.

## LITERATURA CITADA

- Alfaro, R. I, B. Fady, G. G. Vendramin, I. K. Dawson, R. A. Fleming, C. Sáenz-Romero, R. A. Lindig, T. Murdock, B. Vinceti, C. M. Navarro, T. Skrøppa, G. Baldinelli, Y. A. El-Kassaby and J. Loo. 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management* 333: 76-87.
- Ávila-Flores, I. J., J. C. Hernández-Díaz, M. S. González-Elizondo, J. Á. Prieto-Ruíz and C. Wehenkel. 2016. Degree of Hybridization in Seed Stands of *Pinus engelmannii* Carr. in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Plos One* 11(4): e0152651.
- Baker, A.S. 1967. Colorimetric determination of nitrate in soil and plant extracts with brucine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 17: 802-806.
- Bhattacharya, M. 2015. Bioclimatic modelling: a machine learning perspective. In: T. Sobh and K. Elleithy (Eds.) *Innovations and Advances in Computing, Informatics, Systems Sciences, Networking and Engineering*. Springer, Cham. pp. 415-421.
- Broadley, M. R., P. J. White, J. P. Hammond, I. Zelko and A. Lux. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist* 173(4): 677-702.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura; México. 201 p.
- El-Esawi, M. A., K. Germaine, P. Bourke and R. Malone. 2016. AFLP analysis of genetic diversity and phylogenetic relationships of *Brassica oleracea* in Ireland. *Comptes Rendus Biologies* 339(5-6): 163-170.
- Favela-Lara, S. 2010. Population variation in the endemic *Pinus culminicola* detected by RAPD. *Polibotánica* 30: 55-67.
- Fuentes-Amaro, S. L., J. P. Legaria-Solano y C. Ramírez-Herrera. 2019. Estructura genética de poblaciones de *Pinus cembroides* de la región central de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(1): 57-65.
- Gram, W. K. and V. L. Sork. 1999. Population density as a predictor of genetic variation for woody plant species. *Conservation Biology* 13(5): 1079-1087.
- Gregorius H.R. 1978. The concept of genetic diversity and its formal relationship to heterozygosity and genetic distance. *Mathematical Biosciences* 41(3-4): 253-432.
- Herrera-Flores, T. S., J. Ortiz-Cereceres, A. Delgado-Alvarado, A. Galleros and J. Alberto. 2014. Contenido de osmoprotectores, ácido ascórbico y ascorbato peroxidasa en hojas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5): 859-870.

- Huang, W., X. Zhao, X. Zhao, Y. Li and J. Lian. 2016. Effects of environmental factors on genetic diversity of *Caragana microphylla* in Horqin Sandy Land, northeast China. *Ecology and Evolution* 6(22): 8256-8266.
- Huston, M. 1980. Soil nutrients and tree species richness in Costa Rican forests. *Journal of Biogeography* 7(2): 147-157.
- Kahilainen, A., M. Puurtinen and J. S. Kotiaho. 2014. Conservation implications of species–genetic diversity correlations. *Global Ecology and Conservation* 2: 315-323.
- Kuhn, M. 2008. Building predictive models in R using the caret package. *Journal of Statistical Software* 28(5): 1-26.
- Laliberté, E., J. B. Grace, M. A. Huston, H. Lambers, F. P. Teste, B. L. Turner and D. A. Wardle. 2013. How does pedogenesis drive plant diversity?. *Trends in Ecology & Evolution* 28 (6): 331-340.
- Lambers, H., J. A. Raven, G. R. Shaver and S. E. Smith. 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution* 23(2): 95-103.
- Lee, S. H., N. Ahsan, K. W. Lee, D. H. Kim, D. G. Lee, S. S. Kwak, S. Y. Kwon, T. H. Kim and B. H. Lee. 2007. Simultaneous overexpression of both CuZn superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in transgenic tall fescue plants confers increased tolerance to a wide range of abiotic stresses. *Journal of Plant Physiology* 164(12): 1626-1638.
- León A.R. y A. S Aguilar. 1987. Materia orgánica. In: A. Aguilar, J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos. (Eds). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*. Publicación especial No. 1 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo; Chapingo, Estado de México: 1987. pp. 85-91.
- Li, X., Y. Yang, L. Jia, H. Chen and X. Wei. 2013. Zinc-induced oxidative damage, antioxidant enzyme response and proline metabolism in roots and leaves of wheat plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 89: 150-157.
- Loo, J., B. Fady, I. Dawson, B. Vinceti and G. Baldinelli. 2015. Forest genetic resources and climate change. In: FAO. (Eds.). *Coping with Climate Change - The Roles of Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome, Italy. pp. 41–53.
- Martínez-Antúnez, P., C. A. Wehenkel, J. C. Hernández-Díaz, M. González-Elizondo, J. J. Corral-Rivas and A. Pinedo-Álvarez. 2013. Effect of climate and physiography on the density of tree and shrub species in Northwest Mexico. *Polish Journal of Ecology* 61(2): 283-295.
- Martínez-Antúnez, P., C. Wehenkel, C. A. López-Sánchez and J. C. Hernández-Díaz. 2017. The role of climatic variables for estimating probability of abundance of tree species. *Polish Journal of Ecology* 65(3): 324-338.
- Mihăiescu, T., G. Goji and F. Dinulică. 2011. Bioaccumulation of cadmium and zinc in the fruits of some forestry species of sanogenic and economical importance from the area of Copșa Mică. *Bulletin of the Transylvania University of Brașov* 4(53): 59-64.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs, H. Wagner and M. J. Oksanen. 2013. Package 'vegan'. *Community Ecology Package version 2.5-3*.
- Petit, R.J., R. Bialozyt, P. Garnier-Gereand and A. Hampe. 2004. Ecology and genetics of tree invasions: from recent introductions to Quaternary migrations. *Forest Ecology Management* 197(1-3): 117–137.
- Porth, I. and Y. El-Kassaby. 2014. Assessment of the genetic diversity in forest tree populations using molecular markers. *Diversity* 6(2): 283-295.
- R Development Core Team. 2017. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

- Rehfeldt, G. E. 2006. A spline model of climate for the western United States. General Technical Report RMRS-GTR-165. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, Colorado, USA. 21 p.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, P. Duval, R. St-Amant, J. Beaulieu and B. A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102(3-4): 595-623.
- Sáenz-Romero, C., A. E. Snively and R. Lindig-Cisneros. 2003. Conservation and restoration of pine forest genetic resources in México. *Silvae Genetica* 52(5-6): 233-236.
- Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1): 107-120.
- Schierenbeck, K. A. 2016. Population-level genetic variation and climate change in a biodiversity hotspot. *Annals of Botany* 119(2): 215-228.
- Schönswetter P. and A. Tribsch. 2005. Vicariance and Dispersal in the Alpine Perennial *Bupleurum stellatum* L. (*Apiaceae*). *Taxon* 54: 725-732.
- Silva-Flores, R., G. Pérez-Verdín and C. Wehenkel. 2014. Patterns of tree species diversity in relation to climatic factors on the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Plos One* 9(8): e105034.
- Tripathi, D. K., S. Singh, S. Singh, S. Mishra, D. K. Chauhan and N. K. Dubey. 2015. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(7): 139.
- Tsonev, T. and F. J. Cebola Lidon. 2012. Zinc in plants-An overview. *Emirates Journal of Food & Agriculture* 24(4): 322-333.
- Vellend, M. and M. A. Geber. 2005. Connections between species diversity and genetic diversity. *Ecology Letters* 8(7): 767-781.
- Vos, P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. Van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper and M. Zabeau. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Resource* 23(21): 4407-4414.
- Wassen, M. J., H. O. Venterink, E. D. Lapshina and F. Tanneberger. 2005. Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437(7058): 547-550.
- Wehenkel, C., S. del Rocío Mariscal-Lucero, J. P. Jaramillo-Correa, C. A. López-Sánchez, J. J. Vargas-Hernández and C. Sáenz-Romero. 2017. Genetic diversity and conservation of Mexican forest trees. In *Biodiversity and Conservation of Woody Plants* 7: 37-67.
- Wehenkel, C., S. L. Simental-Rodríguez, R. Silva-Flores, J. C. Hernández-Díaz, C. A. López-Sánchez & P. Antúnez. 2015. Discrimination of 59 seed stands of various Mexican pine species based on 43 dendrometric, climatic, edaphic and genetic traits. *Forstarchiv* 86(6):194-201.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis (Use R)*. Springer. 224 p.
- Wu, S., C. Hu, Q. Tan, L. Li, K. Shi, Y. Zheng and X. Sun. 2015. Drought stress tolerance mediated by zinc-induced antioxidative defense and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Acta Physiologiae Plantarum* 37(8): 167.
- Xu, W., L. Liu, T. He, M. Cao, L. Sha, Y. Hu, Q. Li and J. Li. 2016. Soil properties drive a negative correlation between species diversity and genetic diversity in a tropical seasonal rainforest. *Scientific Reports* 6: 20652.

## MÓDULO DINÁMICO DE MADERA LAMINADA DETERMINADO CON VIBRACIONES LONGITUDINALES<sup>1</sup>

### [DYNAMIC MODULUS OF LAMINATED WOOD DETERMINED WITH LONGITUDINAL VIBRATIONS]

Javier Ramón Sotomayor Castellanos<sup>§</sup>

<sup>1</sup>Profesor, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH, Morelia, México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (madera999@yahoo.com).

#### RESUMEN

La fabricación de madera laminada permite beneficiar especies poco aprovechadas en aplicaciones prácticas, como es el caso de las vigas de empleo estructural. La hipótesis de trabajo de esta investigación es que, en comparación con la madera sólida, la densidad aparente y el módulo dinámico de la madera laminada mantienen su magnitud y se reduce su variación. El objetivo de la investigación fue determinar la densidad aparente y el módulo dinámico de la madera sólida en las especies *Abies religiosa*, *Fraxinus uhdei* y *Alnus acuminata*; así como conocer las magnitudes de ambos parámetros en madera laminada que combine estas especies. Para ello, se determinó el contenido de humedad de la madera y su densidad aparente; se realizaron pruebas de vibraciones longitudinales y se establecieron los módulos dinámico y efectivo. La madera laminada, fabricada con laminillas de especies diferentes, incrementa la densidad aparente de sus componentes y aumenta el módulo dinámico de la madera laminada en comparación al de la madera sólida. La madera laminada disminuye la variabilidad de la densidad aparente y del módulo dinámico; sin embargo, los distintos tipos de especies de madera presentan diferencias entre los módulos dinámicos y efectivo.

**Palabras clave:** *Abies religiosa*, *Alnus acuminata*, densidad aparente, *Fraxinus uhdei*, módulo efectivo.

#### ABSTRACT

The manufacture of laminated wood allows the benefit of species little used in practical applications, as is the case of beams for structural use. The working hypothesis of this research is that, compared to solid wood, the apparent density and the dynamic modulus of the laminated wood maintain their magnitude and their variation is reduced. The objective of the research was to determine the apparent density and dynamic modulus of solid wood in the species *Abies religiosa*, *Fraxinus uhdei* and *Alnus acuminata*; as well as knowing the magnitudes of both parameters in laminated wood that combines these species. For this, the moisture content of the wood and its apparent density were determined; longitudinal vibration tests were performed and dynamic and

---

<sup>1</sup> Recibido: 17 de junio de 2018.  
Aceptado: 15 de marzo de 2019

effective modules were established. Laminated wood, made with lamellae of different species, increases the apparent density of its components and increases the dynamic modulus of laminated wood compared to that of solid wood. Laminated wood reduces the variability of apparent density and dynamic modulus; however, the different types of wood species present differences between the dynamic and effective modules.

**Index words:** *Abies religiosa*, *Alnus acuminata*, apparent density, effective module, *Fraxinus uhdei*.

## INTRODUCCIÓN

La fabricación de madera laminada permite beneficiar especies poco aprovechadas en aplicaciones prácticas como son las vigas de empleo estructural (López *et al.*, 2013), así como componentes de muebles de uso cotidiano (Ilce *et al.*, 2015). La madera laminada se define como un material de ingeniería fabricado a partir de placas unidas con adhesivo, orientadas en la dirección paralela al eje longitudinal de las piezas (Stark *et al.*, 2010). De esta forma, la geometría irregular, que es natural al tronco de un árbol, se puede transformar en un material de ingeniería con una gran variedad de formas y características de resistencia. Las características mecánicas de la madera laminada son determinadas con pruebas normalizadas que estudian elementos estructurales con dimensiones de empleo, por ejemplo, la norma ASTM D7341-14 (American Society of Testing and Materials International, 2014). Un enfoque diferente para determinar la resistencia mecánica de la madera laminada es el estudio de probetas de pequeñas dimensiones con procedimientos igualmente normalizados, como son las normas ISO 13061-3:2014 (International Organization for Standardization, 2014c) e ISO 13061-4:2014 (International Organization for Standardization, 2014d). De esta manera se puede ahorrar material, tiempo y costos al evitar pruebas con aparatos especializados. Es posible, incluso, estudiar y promocionar especies con potencial para transformarse eventualmente en piezas comerciales de madera laminada.

El módulo dinámico es un parámetro utilizado en la caracterización mecánica de la madera, con una aplicación práctica en ingeniería estructural (Malesza, 2017). Este es determinado con pruebas de vibraciones longitudinales en probetas de pequeñas dimensiones (Ilic, 2003). El módulo dinámico de la madera laminada puede ser establecido experimentalmente por medio de vibraciones transversales (Rahayu *et al.*, 2015). Además, se puede estimar su módulo efectivo a partir de los módulos dinámicos de las especies que conforman las piezas en cuestión (Yang *et al.*, 2008).

Las especies *Abies religiosa* (Kunth Schltl. et Cham.), *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh y *Alnus acuminata* Kunth son endémicas de México y Centroamérica. Su descripción esta reseñada en documentos oficiales de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y en documentos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), ambas instituciones mexicanas. Así mismo, existen investigaciones que informan sobre las características físicas y mecánicas de la madera sólida de estas especies (Tamarit y López, 2007; Silva *et al.*, 2010; Sotomayor, 2015). Por su parte, Sotomayor y Ruiz (2017) reportan módulos dinámicos determinados por medio de ultrasonido y ondas de esfuerzo con madera laminada de las mismas especies estudiadas aquí. Estos datos previos servirán para compararlos con los resultados de la

presente investigación. Sin embargo, no se encontró información sobre el módulo dinámico de madera laminada, elaborada con las especies en cuestión, que haya sido determinado por medio de vibraciones longitudinales.

Con la finalidad de promover el empleo de la madera como material de ingeniería estandarizado, uno de los principales desafíos en tecnología de la madera es reducir la variabilidad intrínseca que se da entre las especies en cuanto a su densidad (Ibanez *et al.*, 2017) y módulo dinámico (Ponnet *et al.*, 2014). Una estrategia empleada es, precisamente, la elaboración de piezas de madera laminada (Liew y Singan, 2016). La hipótesis propuesta para esta investigación plantea que, en comparación con la madera sólida, la densidad aparente y el módulo dinámico de la madera laminada mantienen su magnitud y se reduce su variación. Esta hipótesis se restringe a pruebas de vibraciones longitudinales, realizadas en probetas de pequeñas dimensiones que fueron fabricadas combinando especies, cada una con diferentes magnitudes en cuanto a estos parámetros, así como a las condiciones experimentales particulares de esta investigación.

El objetivo general de la investigación fue determinar, la densidad aparente y el módulo dinámico en la dirección longitudinal, tanto de la madera sólida de las especies *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata*, como de la madera laminada fabricada con la combinación de estas especies. Entre los objetivos específicos de la investigación se propuso comparar ambos parámetros y los coeficientes de variación, entre la madera sólida y la madera laminada.

## MATERIALES Y DISCUSIÓN

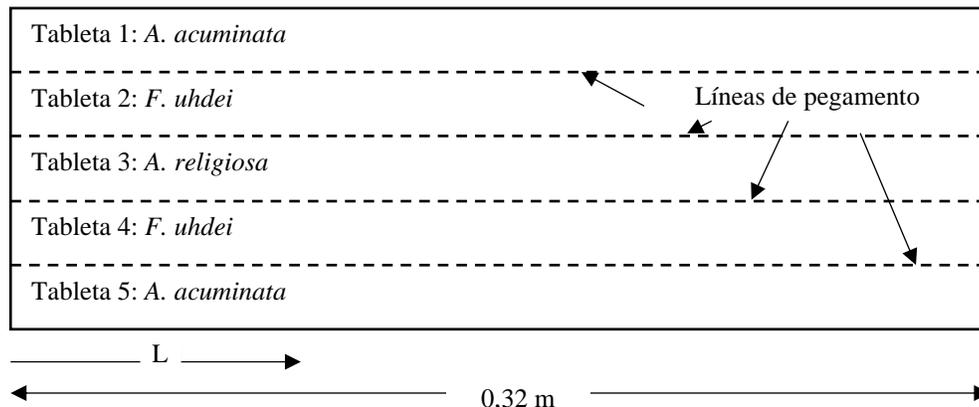
El material experimental y el procedimiento para fabricar la madera laminada son iguales a los que se utilizaron en otras investigaciones (Sotomayor y Osvaldová, 2017; Sotomayor y Ruiz, 2017). La madera de las especies *A. religiosa*, *F. uhdei* y *A. acuminata* se recolectó en aserraderos del Estado de Michoacán, México (19° 10' 07" Latitud norte, 101° 53' 59" Longitud oeste). Se prepararon 32 probetas de cada especie, las cuales se definen como madera sólida. La madera se almacenó durante 24 meses en una cámara de acondicionamiento con una temperatura de 20 °C ( $\pm$  1 °C) y una humedad relativa del aire de 65% ( $\pm$  2%), hasta que el peso de la madera fue constante. Las dimensiones de estas probetas fueron de 0,02 m  $\times$  0,02 m de sección transversal y con longitud de 0,5 m en las direcciones radial, tangencial y longitudinal, respectivamente; lo anterior conforme a la norma ISO 3129:2012 (International Organization for Standardization, 2012).

Para la determinación de la densidad aparente de la madera se adaptó la norma ISO 13061-2:2014 (International Organization for Standardization, 2014b) y para establecer su contenido de humedad se siguieron las indicaciones de la norma ISO 13061-1:2014 (International Organization for Standardization, 2014a). Para la realización de estas pruebas, se prepararon tres lotes adicionales de 32 probetas correspondientes a cada una de las especies, con dimensiones de 0,02 m  $\times$  0,02 m  $\times$  0,06 m. Estas probetas tuvieron características similares y provenían del mismo lote de madera que se destinó para el tratamiento. La madera no contenía anomalías estructurales ni defectos de crecimiento. Para fines de comparación, se consideró que la humedad fue constante; en consecuencia, este factor no influyó en los resultados. Una vez fabricadas las probetas de madera

laminada, se calcularon su densidad aparente y su contenido de humedad de conformidad con las normas anteriormente citadas.

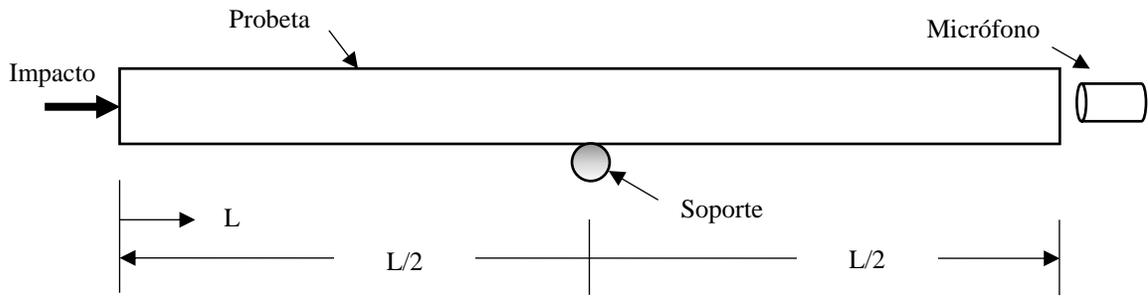
La estrategia experimental consistió en determinar la densidad aparente de la madera, así como realizar pruebas de vibraciones longitudinales, primeramente, en probetas de madera sólida. Después de fabricar madera laminada, se determinó nuevamente la densidad y se realizó una segunda serie de pruebas de vibraciones longitudinales. Una vez realizada la primera serie de pruebas con probetas de madera sólida, las probetas se recortaron en laminillas con espesor de 0,00327 m, con un ancho de 0,01765 m y largo de 0,49 m en la dirección longitudinal.

Para la fabricación de las probetas de madera laminada, las tabletas se posicionaron de acuerdo a la estructura mostrada en la Figura 1 (Sotomayor y Ruiz, 2017). Para adherir las tabletas se aplicaron  $2,5 \text{ kg m}^{-2}$  de pegamento de contacto a base de resina de poliacetato de vinilo; esta cantidad fue repartida en las cuatro caras interiores de las probetas, correspondientes al plano longitudinal-radial. Una vez armadas las probetas, se colocaron en un dispositivo *ad hoc* y se prensaron en la dirección tangencial, hasta que las viguetas alcanzaron una altura y espesor uniforme de 0,017 m. Con el objetivo de que el adhesivo solidificara, el tiempo de prensado fue de 48 horas en ambiente de laboratorio (temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  y humedad relativa del aire de 65%). Finalmente, las probetas de madera laminada se almacenaron durante tres meses en la cámara de acondicionamiento con las condiciones de temperatura y de humedad relativa del aire antes citadas, hasta que su peso fue constante.



**Figura 1.** Estructura de las probetas de madera laminada. L: dirección longitudinal (Sotomayor y Ruiz, 2017).

Las pruebas de vibraciones longitudinales consistieron en proporcionar un impacto en un extremo de la probeta y medir su frecuencia con la ayuda de un micrófono posicionado cerca del extremo opuesto (Figura 2). El micrófono se encuentra conectado al aparato *Grindosonic*® que mide la frecuencia natural de la probeta de madera, apoyada en el nodo del primer modo de vibración (Figura 2).



**Figura 2.** Modelo de la probeta en vibración. L = Dirección longitudinal y largo de la probeta (Kubojima *et al.*, 2017).

Se cuenta con las hipótesis de que el momento de inercia y sección transversal son uniformes a lo largo de la probeta, así como el supuesto de que su módulo dinámico y de rigidez son igualmente constantes respecto a su volumen. En este sentido, los teoremas del análisis dinámico pueden ser utilizados y así determinar el módulo dinámico en vibraciones longitudinales con la fórmula (1) (Kubojima *et al.*, 2017):

$$E_{vl} = 4 L^2 \rho_{CH} f_{vl}^2 \quad (1)$$

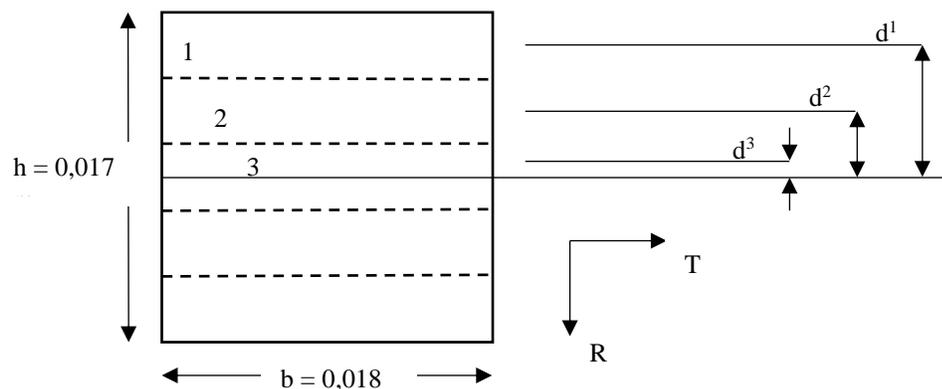
Donde:

$E_{vl}$  = Módulo dinámico en vibraciones longitudinales ( $MN\ m^{-2}$ )

L = Longitud de la probeta (m)

$\rho_{CH}$  = Densidad aparente para un contenido de humedad CH ( $kg\ m^{-3}$ )

$f_{vl}$  = Frecuencia natural en vibraciones longitudinales (Hz)



**Figura 3.** Configuración y geometría para el cálculo del módulo efectivo. h = Altura y espesor de la probeta; b = Base o ancho de la probeta; T = Dirección tangencial; R = Dirección radial (Sotomayor *et al.*, 2015).

El módulo dinámico efectivo (Teles *et al.*, 2017) se calculó con los valores experimentales del módulo dinámico de cada una de las especies. La configuración para el cálculo del módulo efectivo se presenta en la Figura 3.

El módulo dinámico efectivo se calculó con la fórmula (2) propuesta por Teles *et al.* (2017):

$$E_{ef} = \frac{2}{I} \sum_{i=1}^n E^i \left[ I_0^i + A^i d^{i^2} \right] \quad (2)$$

Donde:

$E_{ef}$  = Módulo dinámico efectivo (N m<sup>-2</sup>)

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal de la probeta (m<sup>4</sup>)

$E^i$  = Módulo dinámico de cada tableta  $i$  (N m<sup>-2</sup>)

$I_0^i$  = Momento de inercia de la sección transversal de cada tableta  $i$  (m<sup>4</sup>)

$A^i$  = Área de la sección transversal de cada tableta  $i$  (m<sup>2</sup>)

$d^i$  = Distancia del centroide de cada tableta  $i$  al centroide de la probeta (m)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

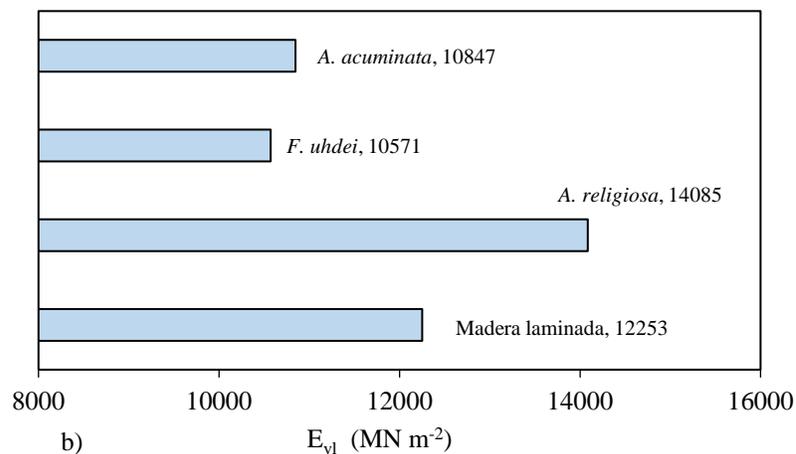
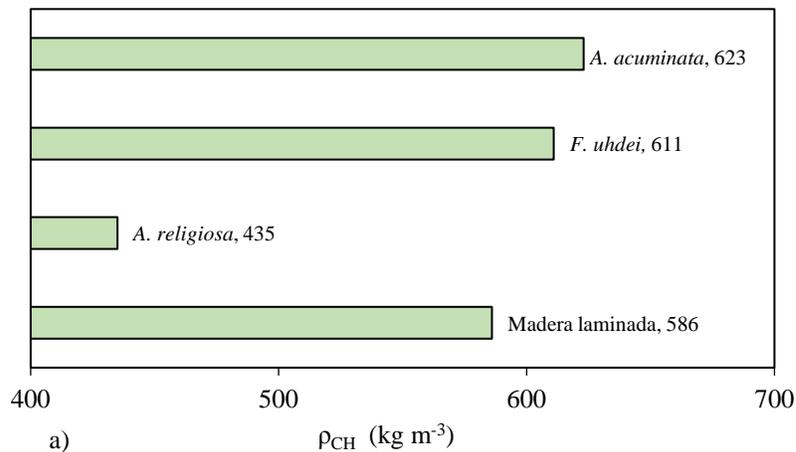
El contenido de humedad de la madera sólida y laminada fluctuó entre 11,2% y 11,6%, con un coeficiente de variación del 4.1%. Dichos resultados coinciden con los reportados por Sotomayor y Osvaldová (2017), ya que el material experimental de esta investigación fue igual al utilizado por estos autores. Retomando sus resultados, se consideró que este parámetro de referencia fue uniforme en todas las muestras estudiadas y sin influencia en el análisis de los resultados.

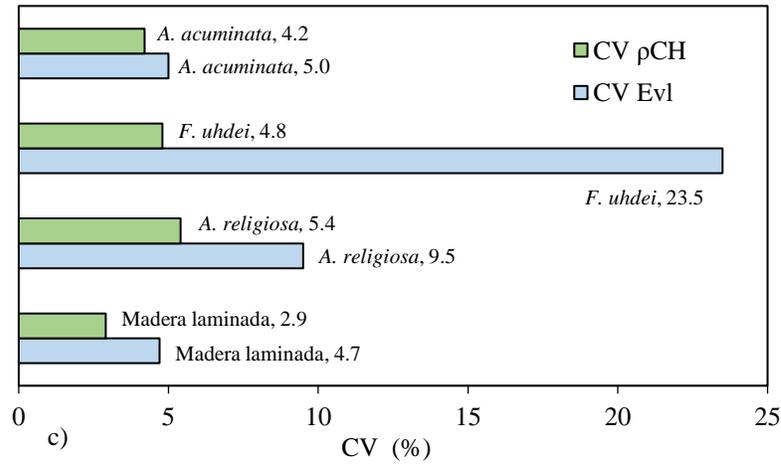
La densidad aparente de la madera laminada incrementó su magnitud 5.4%, en comparación con la del promedio de la densidad aparente en la madera sólida (556 kg m<sup>-3</sup>) de las tres especies (Figura 4a). En este aumento de la densidad aparente está incluido el peso del pegamento incorporado, una vez solidificado y seco. Sin embargo, la densidad aparente de la madera laminada fue menor a la de la madera sólida de *A. acuminata* (5,9%) y de *F. uhdei* (4.1%), pero mayor a la de *A. religiosa* (34,7%). De esta forma, una sola tableta de madera de *A. religiosa* logró disminuir su densidad aparente, la cual representó una quinta parte del volumen de una probeta de madera laminada (Figura 1), pero con una proporción del 30% de la masa de una probeta.

El módulo dinámico de la madera laminada incrementó su magnitud en 3,5% en comparación con el módulo dinámico promedio de la madera sólida (11834 MN m<sup>-2</sup>) de las tres especies (Figura 4b). Sin embargo, el módulo dinámico de la madera laminada fue menor al de la madera sólida de

*A. religiosa* (13%); en contraste, fue mayor comparativamente al de *A. acuminata* (13%) y al de *F. uhdei* (15,9%). Contrario a la discusión antes mencionada, son los bajos valores de los módulos dinámicos de *A. acuminata* y *F. uhdei* los que disminuyeron el valor promedio de la madera laminada, en comparación con el valor del módulo dinámico de *A. religiosa*.

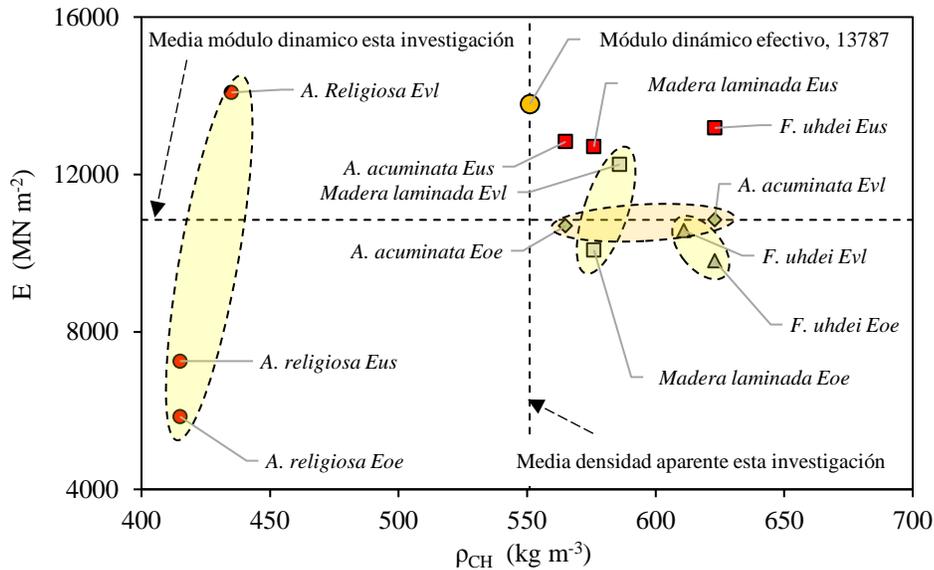
El coeficiente de variación de la densidad aparente de la madera laminada disminuyó en comparación con el de la madera sólida de las tres especies estudiadas (Figura 4c). Para *A. acuminata* la reducción fue de 31%; para *F. uhdei* 39,6%; y para *A. religiosa* 46,3%. El coeficiente de variación del módulo dinámico de la madera laminada disminuyó igualmente para las tres especies; esto en relación con el módulo dinámico de la madera sólida, donde los porcentajes fueron: *A. acuminata* (6%), *F. uhdei* (80%) y *A. religiosa* (13%). Por lo tanto, la combinación de especies en la configuración de las probetas de madera laminada disminuyó la variabilidad particular de cada una de las especies en cuestión.





**Figura 4.** a) Densidades aparentes ( $\rho_{CH}$ ); b) Módulos dinámicos ( $E_{vl}$ ); c) coeficientes de variación (CV).

Los módulos dinámicos determinados en esta investigación se presentan en la Figura 5. Así mismo, los datos reportados por Sotomayor y Ruiz (2017) sobre el módulo efectivo calculado y los módulos dinámicos determinados por ondas de esfuerzo son presentados en el Cuadro 1. Los parámetros se posicionan en relación con la densidad aparente. En el caso de los datos de los autores citados, los parámetros de referencia fueron determinados en las mismas probetas con las que se trabajó en esta investigación.



**Figura 5.** Posicionamiento de los módulos dinámicos  $E_{vl}$  (Esta investigación) y  $E_{oe}$  (Sotomayor y Ruiz, 2017) (Cuadro 1); y del Módulo efectivo ( $E_{ef}$ , Fórmula 4). Todos en relación a la densidad aparente ( $\rho_{CH}$ ).

**Cuadro 1.** Densidad aparente y módulos dinámicos de la bibliografía (Sotomayor y Ruiz, 2017).

Especie	$\rho_{CH}$ ( $\text{kg m}^{-3}$ )	$E_{oe}$ ( $\text{MN m}^{-2}$ )
Madera laminada	576	10081
<i>A. religiosa</i>	415	5849
<i>F. uhdei</i>	623	9802
<i>A. acuminata</i>	565	10694

$\rho_{CH}$  = Densidad aparente;  $E_{oe}$  = Módulo dinámico por ondas de esfuerzo.

Tanto los módulos dinámicos de la madera laminada como los de la madera sólida de *A. acuminata* y de *F. uhdei*, que fueron determinados por medio de vibraciones longitudinales ( $E_{vl}$ ) y por ondas de esfuerzo ( $E_{oe}$ ), se agrupan en torno a la línea que representa los valores medios de esta investigación (Figura 5). Caso diferente son los módulos dinámicos de *A. religiosa*, los cuales se sitúan relativamente lejos de esta línea. En ese sentido, el módulo dinámico efectivo es mayor y se diferencia del grupo en cuestión. No obstante que se observa una coherencia en la magnitud de los resultados, la tendencia es particular a cada especie de madera estudiada, al tipo de madera fabricada y según el carácter de la prueba realizada.

En el caso de las vibraciones longitudinales y de las ondas de esfuerzo, la sollicitación mecánica fue similar y orientada según el eje principal de las probetas, correspondiente a la dirección longitudinal de la madera. Por otra parte, el módulo efectivo igualmente se calculó con los parámetros correspondientes a la misma dirección de transmisión de onda. Aunado a esto, la influencia de factores que pudieron intervenir en esta variación de resultados se limitó en lo posible. Por ejemplo, el pegamento y el procedimiento de fabricación de la madera laminada fueron los mismos en la presente investigación y en la de Sotomayor y Ruiz (2017). El contenido de humedad de la madera fue igualmente uniforme.

## CONCLUSIONES

Se determinaron, la densidad aparente y el módulo dinámico en la dirección longitudinal, tanto de la madera sólida de las especies *Abies religiosa*, *Fraxinus uhdei* y *Alnus acuminata*, como de la madera laminada fabricada con la combinación de estas especies. Así, se logró comparar estos parámetros y los coeficientes de variación entre los dos tipos de materiales estudiados. En la madera laminada, fabricada con laminillas de especies diferentes, se incrementa la densidad aparente y aumenta el módulo dinámico, respecto de la madera sólida de sus componentes. Así mismo, en la madera laminada disminuye la variabilidad de la densidad aparente y del módulo dinámico. Sin embargo, cada tipo de madera o especie presentan diferencias entre los módulos dinámicos y efectivo.

## AGRADECIMIENTOS

A los alumnos de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, por su trabajo en el laboratorio. El profesor Juan Zárate Medina facilitó el aparato para efectuar las pruebas dinámicas. La investigación estuvo patrocinada por la Coordinación de la Investigación Científica de la misma Universidad.

## LITERATURA CITADA

- American Society of Testing and Materials International (ASTM). 2014. ASTM D7341-14. Standard Practice for Establishing Characteristic Values for Flexural Properties of Structural Glued Laminated Timber by Full-Scale Testing. American Society of Testing and Materials International. USA. 5 p.
- Ibanez, T., J. Chave, L. Barrabé, E. Blanchard, T. Boutreux, S. Trueba, H. Vandrot, P. Birnbaum & S. Roxburgh. 2017. Community variation in wood density along a bioclimatic gradient on a hyper-diverse tropical island. *Journal of Vegetation Science* 28(1): 19-33.
- Ilce, A. C., M. Budakci, S. Ozdemir & M. Akkus. 2015. Analysis of Usability in Furniture Production of Wood Plastic Laminated Board. *Bioresources* 10(3): 4300-4314.
- Ilic, J. 2003. Dynamic MOE of 55 species using small wood beams. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61(3): 167-172.
- International Organization for Standardization (ISO). 2012. ISO 3129:2012. Wood. Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens. International Organization for Standardization. Switzerland. 9 p.
- International Organization for Standardization (ISO). 2014a. ISO 13061-1:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization. Switzerland. 4 p.
- International Organization for Standardization (ISO). 2014b. ISO 13061-2:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization. Switzerland. 5 p.
- International Organization for Standardization (ISO). 2014c. ISO 13061-3:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 3: Determination of ultimate strength in static bending. International Organization for Standardization. Switzerland. 5 p.
- International Organization for Standardization (ISO). 2014d. ISO 13061-4:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 4: Determination of modulus of elasticity in static bending. International Organization for Standardization. Switzerland. 5 p.
- Kubojima, Y., S., Sonoda & H. Kato. 2017. Practical techniques for the vibration method with additional mass: effect of specimen moisture content. *Journal of Wood Science* 63(6): 568-574.
- Liew, K. C. & G. Singan. 2016. Engineered wood composite of laminated veneer lumber: Physical and mechanical properties. *Materials Science Forum* 842: 103-128.

- López Y., F. N., C. Polanco T. & J. C. Bermúdez E. 2013. Caracterización mecánica estructural para veinte combinaciones de madera laminada encolada. *Colombia Forestal* 16(2): 138-157.
- Malesza, J. 2017. Effective Model for Analysis of Wood-Framed Timber Structures. *Archives of Civil Engineering* 63(2): 99-112.
- Ponneth, D., A. E. Vasu, J. C. Easwaran, A. Mohandass & S. S. Chauhan. 2014. Destructive and non-destructive evaluation of seven hardwoods and analysis of data correlation. *Holzforschung* 68(8): 951-956.
- Rahayu, I., L. Denaud, R. Marchal & W. Darmawan. 2015. Ten new poplar cultivars provide laminated veneer lumber for structural application. *Annals of Forest Science* 72(6):705-715.
- Silva G., J. A., F. J. Fuentes T., R., Rodríguez A., P. A., Torres A., M.G., Lomelí R., J., Ramos Q., C. Waitkus & H. G. Richter. 2010. Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Comisión Nacional Forestal. México. 208 p.
- Sotomayor C., J. R. 2015. Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 65 p.
- Sotomayor C. J. R., I. Carmona D., I., Cervantes M., D., Garduño S., D. Z. Jiménez G., R., Lemus D., D., Maldonado C., A., Pérez T., M. A. Vaca H. & O. Valdez V. 2015. Madera laminada de *Pinus pseudostrobus*. Caracterización dinámica con métodos no destructivos. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 11(3): 4-34.
- Sotomayor C., J. R. & L. M. Osvaldová. 2017. Resistencia al fuego de madera laminada. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 13(3): 4-21.
- Sotomayor C., J. R. & F. Ruiz A. 2017. Caracterización dinámica de madera laminada. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 13(3): 22-44.
- Stark, N., Z. Cai & C. Carll. 2010. Wood-based composite materials panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-non wood composite materials. *In: Wood handbook: wood as an engineering material*. Forest Products Laboratory. USA. pp. 11-1-11-26
- Tamarit U., J. C. & L. J. López T. 2007. Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 264 p.
- Teles, R. F., C. H. S. Del Menezzi, F. De Souza & M. R. De Souza. 2013. Theoretical and experimental deflections of glued laminated timber beams made from a tropical hardwood. *Wood Material Science & Engineering* 8(2): 89-94.
- Yang, T-H., S-Y. Wang, C-J. Lin & M-J. Tsai. 2008. Evaluation of the mechanical properties of Douglas-fir and Japanese cedar lumber and its structural glulam by nondestructive techniques. *Construction and Building Materials* 22(4): 487-493.

## EFFECTO DEL MANEJO FORESTAL EN BIOMASA Y CARBONO EN BOSQUES DE DURANGO<sup>1</sup>

### [EFFECT OF FOREST MANAGEMENT ON BIOMASS AND CARBON IN FORESTS OF DURANGO]

Laura Araceli Lira-Tuero<sup>1§</sup>, José Javier Corral-Rivas<sup>2</sup>, Jaime Roberto Padilla-Martínez<sup>2</sup>, Pablito M. López-Serrano<sup>3</sup>, Marín Pompa-García<sup>2</sup>, Francisco Cruz-Cobos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Agropecuarias y Forestales, <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Durango, México. <sup>3</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera-UJED. <sup>4</sup>Instituto Tecnológico de El Salto. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (lt.laura.1911@gmail.com).

#### RESUMEN

El estado de Durango es la primera reserva forestal nacional y el que tiene mayor superficie certificada por su manejo forestal sustentable, por lo tanto la buena administración de este recurso es importante porque representa el sustento de cientos de familias. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los cambios en los almacenes de biomasa y de carbono como consecuencia del manejo forestal practicado durante un periodo de diez años en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. Para la estimación de las existencias de biomasa y el carbono se utilizó información de 7,931 sitios de 1000 m<sup>2</sup> de un primer inventario y de 8,174 de un segundo, con un intervalo de 10 años de separación. El arbolado predominante corresponde al género de *Pinus* con 55.40% y el resto se conforma de encinos, coníferas y hojosas. El promedio de las existencias de biomasa fueron de 69.36 y 81.48 t ha<sup>-1</sup> para el primero y segundo inventario, respectivamente. Para el caso del carbono se observó el mismo comportamiento, con un mayor promedio para el segundo inventario. La prueba de Kruskal-Wallis utilizada para comparar los promedios de biomasa y carbono de ambos inventarios indico la existencia de diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en los almacenes de biomasa y carbono evaluados, por lo que se concluye que las actividades silvícolas han contribuido a aumentar los almacenes de estas variables dasométricas.

**Palabras clave:** Ciclo de corta, inventario forestal, manejo forestal sustentable, servicios ambientales, tratamientos silvícolas.

#### ABSTRACT

The state of Durango is the first national forest reserve and the place in Mexico where more surface is certified for sustainable forest management, therefore, a good management of this resource is important because it represents the livelihoods of hundreds of families. The objective of this work was to evaluate the changes in the biomass and carbon stocks as a consequence of the forest management practiced during a period of ten years in the ejido Pueblo Nuevo, Durango. For the estimation of biomass and carbon stocks, data of 7,931 sampling plots of 1000 m<sup>2</sup> in size of a first forest inventory and of 8,174 of second forest inventory, with an interval of 10 years were used. The predominant woodland corresponds to tree species of the genus of pine with 55.40% and the rest is made up of oaks, others conifers and broadleaf. The average biomass stocks were 69.36 and 81.48 t ha<sup>-1</sup> for the first and second inventory, respectively. In the case of carbon, the same behavior was observed, with a higher average for the second inventory. The Kruskal-Wallis test used to compare the biomass and carbon averages of both inventories indicated the existence of significant differences ( $p < 0.01$ ) in the biomass and carbon stock, thus, it is concluded that silvicultural activities have contributed to increasing the stocks of these dasometric variables.

**Index words:** Cutting cycle, forest inventory, sustainable forest management, environmental services, silvicultural treatments.

#### INTRODUCCIÓN

Los bosques son sistemas que cumplen múltiples funciones, y en la actualidad se entiende con mayor claridad que los servicios que brindan los bosques son mucho más importantes que los

---

<sup>1</sup> Recibido: 26 de abril de 2019.  
Aceptado: 20 de junio de 2019

recursos propiamente madereros (Herrero-Echeverría *et al.*, 2005). El manejo forestal sustentable es un principio que asegura la producción de diversos bienes y servicios a partir de los ecosistemas forestales. Las prácticas de aprovechamiento de madera se desarrollaron principalmente como respuesta a la demanda de mercados nacionales e internacionales, ignorando en muchos casos otros aspectos importantes como los servicios ambientales que brindan (principalmente la captura de dióxido de carbono), así como otras implicaciones sociales, económicas y ambientales derivadas del manejo de los ecosistemas forestales (Aguirre-Calderón, 2015).

El cambio climático es consecuencia del incremento en la atmósfera de las concentraciones de gases de efecto invernadero, constituye junto con la deforestación, la degradación de los ecosistemas y la pérdida de biodiversidad, el problema ambiental más trascendente en la actualidad (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013). Entre las causas del cambio climático destacan dos; 1) el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) de los cuales el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el más dominante (Orr *et al.*, 2005) y; 2) la pérdida de sumideros naturales de carbono resultado de la deforestación de selvas y bosques (Yáñez-Sandoval, 2004).

Durante el proceso de fotosíntesis el CO<sub>2</sub> es fijado en moléculas orgánicas y constituye aproximadamente el 50% de su biomasa seca (Gayoso y Schlegel, 2001; Figueroa *et al.*, 2005). Se deduce que la velocidad de fijación de CO<sub>2</sub> es directamente proporcional a la tasa de crecimiento e incremento de biomasa. Paradójicamente, el CO<sub>2</sub> es el principal componente gaseoso responsable del efecto invernadero que origina el cambio climático (Dixon *et al.*, 1994).

Los inventarios forestales son usados como herramientas para entender la respuesta de los bosques a los distintos cambios globales, ya que recogen información espacialmente explícita de una elevada diversidad de especies pertenecientes a un amplio abanico de grupos taxonómicos y por lo tanto muestran contrastadas estrategias funcionales (Godoy y Rueda, 2016). La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que esta permite determinar los almacenes de carbono existentes en cada uno de sus componentes y así mismo representa la cantidad de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown, 1997).

Los tratamientos silvícolas que se aplican en el ejido de Pueblo Nuevo, Durango son cortas selectivas en los bosques irregulares, el principal tratamiento silvícola del Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y en las masas regulares manejados a través del Método de Desarrollo Silvícola (MDS) los aclareos, y las cortas de regeneración y de liberación. Los bosques que son manejados bajo tratamientos silvícolas tienden a incrementar la biomasa área total hacia los componentes estructurales de los árboles, tanto en términos de productividad maderable como en la reactivación de diversos procesos ecosistémicos (Chávez-Aguilar *et al.*, 2016). La expansión de biomasa aérea total depende de la especie, las condiciones ambientales, la densidad y edad de la vegetación, entre otros aspectos (Silva-Arredondo y Nívar-Cháidez, 2010).

Una forma de evaluar cambios en la biomasa y carbono de los bosques bajo manejo es mediante el análisis y el procesamiento de datos de un inventario forestal realizado dos veces consecutivas durante un periodo de tiempo (uno o más ciclos de corta). Dicho análisis puede proporcionar información clave sobre la sustentabilidad del manejo forestal que se practica en los bosques con fines de producción de bienes y de servicios ambientales (Corral-Rivas *et al.*, 2009).

Con la finalidad de estudiar la contribución potencial del manejo silvícola de los bosques de Durango para mitigar los efectos del cambio climático, el objetivo de la presente investigación fue evaluar los cambios en los almacenes de biomasa y carbono como consecuencia del manejo forestal practicado durante un periodo de diez años en el ejido Pueblo Nuevo, Durango, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

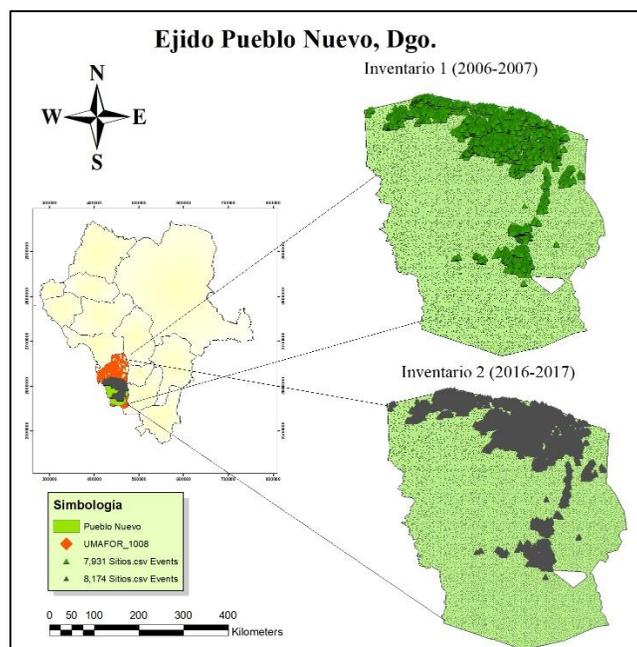
La investigación se desarrolló en la parte sur de la UMAFOR 1008, en el ejido Pueblo Nuevo, Durango, México. Específicamente el área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y Cañones Duranguenses. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004), el clima se puede distribuir en cuatro tipos: semicálido subhúmedo (A) C (W1) (subtipos de humedad media), semicálido subhúmedo (A) C (W2) (subtipos más húmedos), templado subhúmedo C (W2) y semifrío subhúmedo C (E) (W2) siendo éste último el clima con mayor representatividad (Meraz-Alemán, 2012). Los tipos de suelos presentes son regosol, litosol, cambisol y feozem.

Las comunidades vegetales más importantes del predio están compuestas por bosques mezclados con especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas, siendo los tipos de vegetación más representativos los bosques de pino-encino (39.66%), coníferas (24.65%), bosque de encino (21.18%), selvas altas y medianas (0.06%), selvas bajas (12.20%) y otros usos no forestales (2.24%) (Meraz-Alemán, 2012). La altitud promedio en el área de estudio es de 2,200 a 2,500 m. El ejido se encuentran dentro de la Región Hidrológica No. 11 (Presidio-San Pedro), dentro del ejido existe una gran cantidad de arroyos que en su mayoría llevan agua sólo en época de lluvias (CONAGUA, 2015).

## Datos

Se utilizaron datos de dos inventarios forestales consecutivos realizados en el área estudio durante los años 2006-2007 (primer inventario) y 2016-2017 (segundo inventario). Los datos consistieron en 1,806 subrodales con un total de 7,931 sitios de muestreo para el primer inventario y 8,174 sitios, para el segundo. Solo se analizaron aquellos subrodales donde los dos inventarios coincidieran para posteriormente realizar comparaciones válidas para el ciclo de corta estudiado (Figura 1). Los sitios de muestreo consistieron en parcelas circulares de 1,000 m<sup>2</sup>, establecidas mediante una distribución sistemática estratificada a nivel subrodal, con una intensidad de muestreo promedio del 3%. Dentro de cada sitio de muestreo se colectó información de todos los árboles inventariables (aquellos con diámetro normal  $\geq 7.5$  cm), especie botánica, diámetro normal (cm) y altura total (m).

La información de los sitios del primer inventario se obtuvo de una base de datos electrónica proporcionada por el Departamento de Servicios Técnicos del propio ejido, mientras que la del segundo inventario se descargó con la autorización de los propietarios del Sistema de Planeación Forestal para Bosque Templado (SiPlaFor), un software de libre acceso, disponible en internet, para la elaboración y ejecución de programas de manejo forestal sustentable en los bosques templados de México (<http://fcfposgrado.ujed.mx/spf>). Los sitios comprenden datos de especies del género *Pinus*, encinos, otras coníferas y otras hojosas, además cubrieron todo rango de edades, calidades de estación, densidades existentes en el área bajo manejo forestal del ejido Pueblo Nuevo, Durango.



**Figura 1.** Sitios de muestreo del primer y segundo inventario del ejido Pueblo Nuevo.

## Métodos

Para la cuantificación de los almacenes de biomasa y de carbono en los periodos de evaluación, se usaron ecuaciones alométricas y factores de carbono generadas por Vargas-Larreta *et al.* (2017). Estas ecuaciones consisten en estimar la biomasa en función de variables de fácil medición tales como diámetro normal (dn), y altura (h), a nivel individuo, y posteriormente por unidad de superficie. En seguida, a la biomasa obtenida se transformó contenido de carbono usando la fracción de carbono reportada por los mismos autores para las especies estudiadas.

La comparación estadística entre los valores de las medianas por hectárea a nivel de subrodal y predio de los almacenes biomasa y de contenido de carbono de las especies entre los dos tiempos estudiados, se realizó a través del uso de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis, 1952), debido a que ésta no asume como supuestos de partida la normalidad de los datos ni la homogeneidad de varianzas. La significancia de la diferencias entre las medianas se determinó considerando un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ). El análisis se realizó mediante el uso del software Rstudio (2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estadísticas descriptivas para el primer y segundo inventario

Para el caso de los almacenes de biomasa y carbono para el primer inventario se estimó en promedio de 69.36 t ha<sup>-1</sup> y 33.69 tC ha<sup>-1</sup> y para el segundo inventario 81.48 t ha<sup>-1</sup> y 39.15 tC ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En ambos casos y debido a la alta relación que existen entre la biomasa y el carbono, se observó que los valores medios por hectárea los almacenes más altos se presentan para el segundo inventario. Estos resultados son consistentes con otras investigaciones, en las cuales las áreas bajo aprovechamiento incrementaron los almacenes de biomasa y carbono a través del tiempo, tal es el caso de la investigación reportada por Del Águila-Martínez (2014), quién a través del uso de ecuaciones alométricas en bosques tropicales del Perú mostro incrementos en las existencias de biomasa y carbono ocasionados por el manejo forestal, con almacenes de biomasa de 56.93, 222.26 y 301.50 t ha<sup>-1</sup> y 35.30, 137.80 y 186.93 tC ha<sup>-1</sup>, para plantaciones de 27, 35 y 43 años. Figueroa-Navarro *et al.* (2010) determinaron que los bosques bajo manejo funcionan eficientemente como fijadores y sumideros de carbono. Torres-Torres *et al.* (2017) mostraron que el contenido de carbono de los bosques aumenta con la edad, debido a que a que los árboles, al crecer, absorben carbono de la atmósfera y lo fijan en su madera. Concluyen que los tratamientos silvícolas utilizados en plantaciones o bosques bajo manejo contribuyen a incrementar de manera significativa los almacenes de biomasa y carbono, y por consecuencia a aumentar los niveles de captura de CO<sub>2</sub>.

**Cuadro 1.** Estadísticas descriptivas para las variables número de árboles (N, ha<sup>-1</sup>), altura total (h, m), área basal (G, m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), diámetro medio cuadrático (Dg, cm), biomasa (W, t ha<sup>-1</sup>) y carbono (C, tC ha<sup>-1</sup>).

Variable	Inventario <sup>†</sup>	media	mediana	Desviación estándar	min	max	Coefficiente de variación	Varianza
N (ha <sup>-1</sup> )	1	298.52	260	172.82	10	1650	57.89	29868.48
	2	331.38	290	194.06	10	1860	58.56	37661.08
h (m)	1	11.56	11.33	2.78	3.73	25.20	24.00	7.70
	2	10.64	10.38	2.90	3.33	28.50	27.28	8.42
G (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	1	13.24	12.06	6.78	0.31	50.66	51.20	45.95
	2	13.47	12.01	7.64	0.06	53.99	56.67	58.31
Dg (cm)	1	24.67	23.95	5.45	10.54	52.84	22.08	29.68
	2	23.37	22.73	5.56	8.50	65.52	23.79	30.93
W (t ha <sup>-1</sup> )	1	69.36	59.38	43.94	0.84	360.94	63.35	1930.77
	2	81.48	68.59	53.32	0.19	379.25	65.44	2843.28
C (tC ha <sup>-1</sup> )	1	33.69	28.69	21.70	0.41	179.37	64.42	471.04
	2	39.15	32.86	25.85	0.09	193.16	66.03	668.23

<sup>†</sup>Inventario 1=periodo 2006-2007 e inventario 2= periodo 2016-2017.

Para el caso del ejido Pueblo Nuevo se observaron incrementos entre 17 y 16 por ciento en los promedios de la biomasa y el carbono durante el periodo de 10 años, respectivamente. Lo anterior indica que la silvicultura que se practicó durante el ciclo de corta estudiado ocasionó un incremento significativo en los almacenes de biomasa y carbono, trayendo consigo también un aumento en la capacidad de secuestro de CO<sub>2</sub> para estos bosques. López-Reyes *et al.* (2016), realizaron una comparación de las medias del contenido de carbono almacenado en plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) en edades de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años, reportando un contenido de carbono aéreo almacenado en la plantación de 51 años de 257.07 tC ha<sup>-1</sup>, mientras que en la plantación de 5 años los valores fueron 16.65 tC ha<sup>-1</sup>, señalando que las plantaciones de *H.*

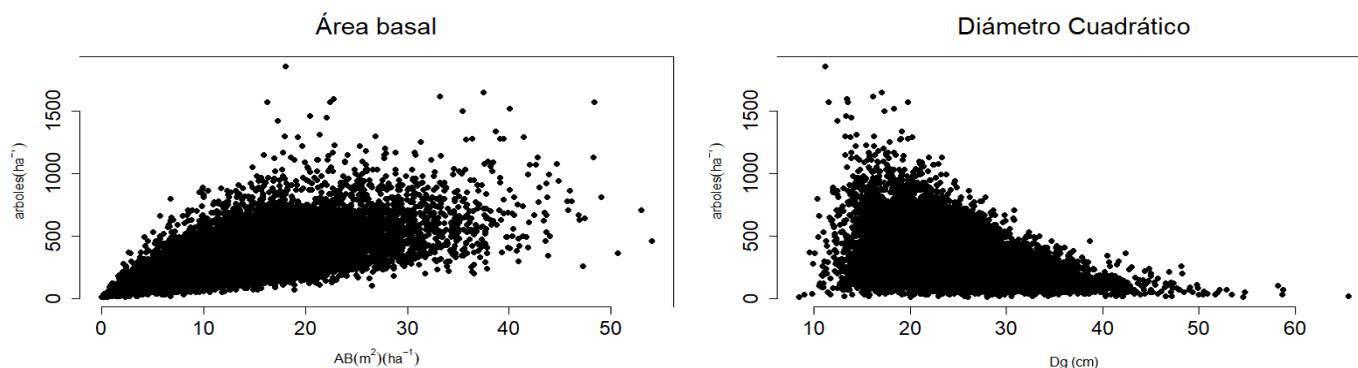
*brasiliensis* silvícolamente bien manejadas pueden considerarse como una fuente potencial de mitigación del cambio climático. Buendía-Rodríguez *et al.* (2015) determinaron que un bosque bajo manejo genera mejores características estructurales y dinámicas, a diferencia de un bosque sin aprovechamiento que estabiliza en algún momento su crecimiento.

En el segundo inventario el número de árboles por hectárea aumentó en 33 árboles, situación que es consistente con el incremento de los almacenes de biomasa y carbono, esto indica que en los sitios intervenidos durante el primer muestreo había árboles que no se contabilizaron por tener diámetro normal menor a 7.5 cm y que en el transcurso de los 10 años posteriores hasta el segundo muestreo, éstos árboles alcanzaron el diámetro mínimo para ser contabilizados. Návar-Cháidez y Domínguez-Calleros (2018) indican que incremento del número de árboles es indicio de que el bosque aún está en recuperación de su densidad natural, después del disturbio a que fue sometido; además del incremento en especies secundarias de la sucesión que pueden ocupar espacios debajo de las pioneras. Los promedios de la variable altura total mostraron una pequeña disminución ocasionada por el efecto de las cortas selectivas, que se caracterizan por el aprovechamiento del arbolado maduro, que son el principal tratamiento silvícola de la región de El Salto.

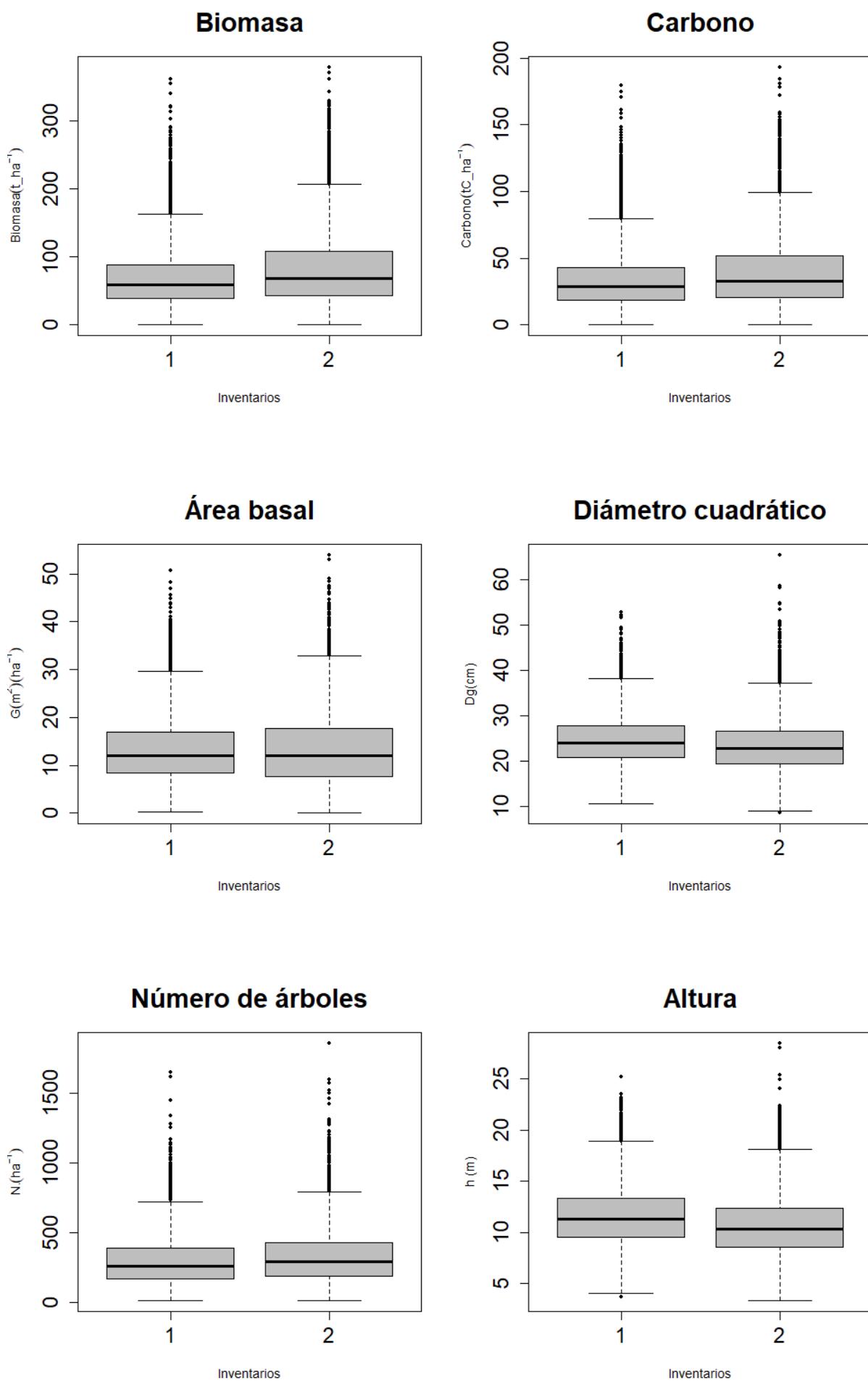
El área basal y diámetro cuadrático determinan la competencia por espacio, por lo tanto cuando se tiene mayor número de árboles en una hectárea, el área basal y diámetro cuadrático por árbol disminuye (Pérez-González *et al.*, 2012), así, son variables que representan directamente el nivel de ocupación del espacio y se utilizan en el manejo forestal como medidas de densidad (Husch *et al.*, 1993). La Figura 2 muestra la relación de estas variables con el número de árboles por hectárea de los sitios de muestreo utilizados como fuente de datos en este estudio. En ella se observa que los sitios cubren satisfactoriamente el amplio rango de edades y densidades presentes en el área de estudio, existiendo sitios dentro de rodales con áreas basales cercanas a  $1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , y también sitios con áreas basales excesivas o mayores a  $50 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . En el presente estudio el área basal media para los bosques del ejido Pueblo Nuevo mostró valores de 13.24 y  $13.47 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , para el inventario 1 y 2, observándose un incremento mínimo de 1.73%. Este aumento en el área basal es consistente con los aumentos observados en las variables número de árboles por hectárea, biomasa y carbono, los cuáles a su vez son ocasionados por la aplicación de los tratamientos silvícolas. El efecto de las prácticas silvícolas después de un determinado tiempo muestran que las masas forestales incrementan el área basal (Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009; Hernández-Salas *et al.*, 2018).

Respecto a la variable diámetro cuadrático se observó al igual que en la variable altura total una disminución en su valor promedio pasando de 24.67 cm en el primer inventario a 23.37 cm durante el segundo inventario, sin embargo a pesar de que la altura promedio disminuyó 8% la biomasa. $\text{ha}^{-1}$  incrementó a lo que se atribuye al aumento de la densidad. Estos resultados coinciden con los reportados por Hernández-Salas *et al.* (2018), quienes mostraron diferencias significativas entre evaluaciones donde el promedio de la variable diámetro cuadrático resultó estadísticamente menor.

Las diferencias observadas en estas variables muestran un comportamiento lógico y consistente que ha sido observado en bosques manejados de manera responsable técnicamente hablando (Corral-Rivas *et al.*, 2009), situación que nos permite deducir que las áreas en aprovechamiento del ejido Pueblo Nuevo se manejan de manera sustentable debido a las técnicas silvícolas que se implementan buscan favorecer la regeneración para mejorar la calidad de la madera y el crecimiento del rodal.



**Figura 2.** Relación del área basal ( $G, \text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) y el número de árboles por hectárea (izquierda) y del diámetro cuadrático ( $Dg, \text{cm}$ ) y el número de árboles por hectárea (derecha), usados como indicadores del rango de densidades estudiado en los bosques del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.



**Figura 3.** Diagramas de caja Box-plot para biomasa, carbono, área basal, diámetro cuadrático, número de árboles y la variable altura, durante un periodo de 10 años en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo. Las líneas dentro de la caja representan la estimación de mediana de cada variable. Las cajas representan los rangos intercuartílicos. Las estimaciones de los valores mínimo y máximo se representan para cada variable a través de las líneas horizontales superior e inferior que cruzan al eje vertical, respectivamente.

## **Diagramas de caja y ejes (Box-plot) para las variables biomasa, carbono, área basal, diámetro cuadrático, número de árboles y altura**

En la Figura 3 se muestran diagramas de caja y ejes estimados para seis variables en este trabajo. Los gráficos de estas variables muestran una comparación de los valores medios y de la dispersión de los datos para los dos inventarios. En ellos la línea negra de la caja de color gris nos muestra la mediana para cada variable, para el caso de la biomasa, carbono, área basal y número de árboles, se observa un incremento para el segundo inventario que corresponde a un 16%, 17%, 1.73% y 11%, respectivamente, lo que indica un aumento significativo en estas variables de rodal. Estos resultados son consistentes con el trabajo de Chávez *et al.* (2016) quienes encontraron que la biomasa área total aumentó con el tiempo después de la cosecha, reportando también diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.0001$ ). Para el caso de la altura promedio y el diámetro medio cuadrático observó una disminución del 11% y 5.58% para el segundo inventario, respectivamente (Cuadro 1). Así mismo para cada variable se visualiza la existencia de valores atípicos propios de las masas forestales, estos pueden ser indicadores de datos que pertenecen a una población diferente al resto de las muestras.

## **Valores de biomasa y carbono comparados mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis a nivel subrodal**

Se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los 1,806 subrodales, mediante la comparación de las medianas de biomasa y carbono, dio como resultado que para 1,142 subrodales (63%) no existieron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ), mientras que en 664 subrodales si se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). En 411 subrodales, las diferencias significativas observadas en los almacenes de biomasa y carbono fueron mayores las cantidades de biomasa y carbono durante el segundo inventario. Para el resto de unidades de manejo (253 casos), las diferencias significativas fueron causadas por una menor cantidad de biomasa registrada durante el inventario 2. Estos resultados indican que en el 63% de los subrodales analizados no se presentaron diferencias significativas, indicando que el aprovechamiento de los recursos naturales de 10 años no ha cambiado de manera significativa los almacenes de biomasa y carbono, sin embargo analizando las medias estadísticas de los subrodales se mostró un incremento para el segundo inventario en el 58% de los subrodales, mientras que en el 42% restante, se observó una disminución en la biomasa y carbono.

Al revisar con mayor detalle los subrodales que registraron una disminución en sus existencias de biomasa y carbono, se encontró que la mayoría de ellos aún estaban lejos de cumplir con su ciclo de corta, ya que habían sido aprovechados por última vez hace menos de 5 años. Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados se puede aseverar que el manejo forestal que se practica en el ejido está contribuyendo de manera significativa a incrementar la cantidad de biomasa y carbono de sus bosques. Paipa y Triana (2018) estimaron el carbono almacenado en la biomasa de un bosque húmedo tropical en Paimadó, en la cabecera municipal de Río Quito y el análisis estadístico determinó que todas las variables presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), lo que indica que la estructura y composición y el grado de disturbio de la especie, están relacionados con la cantidad de biomasa almacenada en la vegetación.

## **Valores de biomasa y carbono comparados mediante prueba no paramétrica Kruskal-Wallis a nivel de predio**

La comparación estadística a nivel predio, es decir las medianas estimadas a partir de los sitios de muestreo disponibles para el primer inventario y segundo inventario con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, arrojó como resultado un valor de  $p = 2.2e-16$ , tanto para la biomasa como carbono. Estos resultados indican diferencias significativas en los almacenes medios de biomasa y carbono estimados para los dos inventarios (mediana de la biomasa del inventario 1 =  $59.38 \text{ t ha}^{-1}$  y mediana de la biomasa del inventario 2 =  $68.59 \text{ t ha}^{-1}$ ), observándose mayores valores durante en segundo inventario, los cuales pueden ser atribuidos al manejo forestal responsable que se practica en el ejido, y a las técnicas silvícolas que se aplican en el ejido con el objetivo de favorecer la calidad de la madera, crecimiento del rodal y el nivel de productividad del sitio, y por ende tiende a incrementar los almacenes de biomasa y carbono. Estos hallazgos son consistentes con el trabajo de Rubilar *et al.* (2013), quienes encontraron una mayor producción de biomasa como consecuencia del uso de la silvicultura. Al igual que Galicia *et al.* (2015) quienes encontraron un aumento en los bosques luego de un año de aprovechamiento por lo que es un componente que puede transformarse en un sumidero de  $\text{CO}_2$  atmosférico a largo plazo.

## CONCLUSIONES

El estudio de las áreas boscosas que se encuentran bajo aprovechamiento permiten generar información sobre el efecto que tienen diferentes esquemas de manejo sobre de los recursos naturales un lapso tiempo determinado. En este estudio se analizaron los almacenes de biomasa y carbono a nivel subrodal y predio a partir de datos de dos inventarios (inicio y final de un ciclo de corta de 10 años) en un ejido bajo aprovechamiento forestal sustentable. Los cambios que se presentaron en el ejido fue un incremento para el segundo tiempo en los almacenes de biomasa y carbono del 17 y 16%, respectivamente. Los promedios de la biomasa y carbono a nivel de subrodal indicaron que en la mayoría de los subrodales analizados, un 58% presentaron un incremento en el segundo inventario, y el 42% presento un decrecimiento, dicha disminución presente en los subrodales se atribuye a que las unidades de manejo estaban lejos de cumplir con el ciclo de corta. Los resultados de esta investigación indican que el manejo forestal sustentable ha contribuido a incrementar los almacenes de biomasa y carbono en sus unidades de manejo, debido a las practicas silvícolas aplicadas en dicho ejido que contribuyen a mejorar el grado de utilización de la calidad del sitio por los árboles y por consecuencia aumentar los almacenes de biomasa y carbono. Los bosques del ejido Pueblo Nuevo representan sumideros de gran importancia para la mitigación de gases de efecto invernadero.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre-Calderón, O.A. 2015. Manejo Forestal en el Siglo XXI. Madera y Bosques 21: 17-28.
- Brown, S. 1997. Estimación de biomasa y cambio de biomasa de bosques tropicales: una introducción. FAO Forestry Paper 134, Rome: Por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Buendía-Rodríguez, E., E. Trevino-Garza, O. Aguirre-Calderón, R. E. Alanís y M. Acosta-Mireles. 2015. Contenido de carbono en dos masas forestales con diferente historial de uso. En G. J. C. Wong, & P. F. Paz (Eds.), VI Simposio Internacional del Carbono en México. Programa Mexicano de Carbono. Villahermosa, Tabasco. pp. 54.
- Castellanos-Bolaños, J. F., M. Gómez-Cárdenas, J. R. Contreras-Hinojosa y R. González-Cubas. 2013. Metodologías para cuantificar biomasa y carbono en bosques. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca, México. 101 p.
- Chávez-Aguilar, G., G. Ángeles-Pérez, M. Pérez-Suárez, M.A. López-López, E. García-Moya y C. Wayson. 2016. Distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México. Madera y Bosques 22(3): 23-36.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).2015. Atlas del Agua en México 2015. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.2015. (Consultado: 01/04/2019). Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/ATLAS2015>.
- Corral-Rivas, J.J., B. Vargas-Larreta, C.H. Wehenkel, O. Aguirre-Calderón, G.J. Álvarez y A. Rojo. 2009. Guía para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del estado de Durango. Durango, Dgo.: Editorial de la Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Del Águila-Martínez, C. 2014. Secuestro de CO<sub>2</sub> y almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo": En tres edades diferentes en el Ciefor - Puerto almendra, Rio Nana y, Iquitos – Perú. Tesis de licenciatura en Ecología de Bosques Tropicales. Universidad Nacional De La Amazonía Peruana. Perú. 58 p.
- Dixon, R.K., S. Brown, A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler & J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 186-191.
- Figueroa-Navarro, C., G. Ángeles-Pérez, A. Velázquez-Martínez y H. De los Santos-Posadas. 2010. Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 1 (1), 105-112.
- Figueroa-Navarro, C., J. D. Etchevers-Barra, A. Velázquez-Martínez y M. Acosta-Mireles. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. Terra Latinoamericana 23 (1): 57-64 .
- Galicia, L., V. Saynes y J. Campo. 2015. Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. Botanical Sciences 93 (3): 473-484.

- García, E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. (Consultado: 01/10/2018). Disponible en: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf)
- Gayoso, J y B. Schlegel. 2001. Proyectos forestales para mitigación de gases de efecto invernadero. *Ambiente y desarrollo XVII* (1): 41-49.
- Godoy, O y M. Rueda, M. 2016. El uso de inventarios forestales para entender la evolución, el mantenimiento, y el funcionamiento de la diversidad de especies. *Ecosistemas* 25 (3): 80-87.
- Hernández-Salas, J., O.A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. J. Treviño-Garza, M.A. González-Tagle, C. Luján-Álvarez, J. M. Olivas-García, L. A y P.A Domínguez-Pereda. 2018. Dinámica del crecimiento de un bosque templado bajo manejo en el noroeste de México. *Madera y Bosques* 24(2): 1-10.
- Herrero-Echeverría, J., L.M. Gómez, G. Díaz-Quintero y J.A. Bravo. 2005. Criterios e indicadores de manejo forestal sostenible una visión de futuro. La Habana, Cuba: Agrinfor. 53 p.
- Husch, B., Miller, C. & Beers, T. 1993. *Forest Mensuration*. Krieger Publishing Company, Third Edition Malabar, Florida.402 p.
- Kruskal, W.H & A. Wallis. 1952. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260):583-621.
- López-Reyes, L., M. Domínguez-Domínguez, P. Martínez-Zurimendi, J. Zavala-Cruz, A. Gómez-Guerrero y S. Posada-Cruz. 2016. Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y Bosques* 22: 49-60.
- Meraz-Alemán, R. 2012. Programa de Manejo Forestal Sustentable Ejido Pueblo Nuevo, Pueblo Nuevo, Durango. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Durango, Dgo. 1-169 p.
- Návar-Cháidez, J.J y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* (27): 71-87.
- Návar-Cháidez, J.J. y P. A. Domínguez-Calleros. 2018. Modelo de incremento y rendimiento: ejemplos y aplicaciones para bosques templados mexicanos. *Revista mexicana de ciencias forestales* 4(18): 8-27.
- Orr, J.C., V.J. Fabry, O. Aumont, L. Boop, S.C. Doney, R.A. Feely, A. Gnanadesikan, N. Gruber, A. Ishida, F. Joos, R.M Key, K. Lindsay, E. Maier-Reimer, R. Matear, P. Monfray, A. Mouchet, R.G. Najjar, G.K. Plattner, K.B. Rodgers, C.L. Sabine, J.L. Sarmiento, R. Schiltzer, R.D. Slater, I.J. Totterdell, M.F. Weirig, Y. Yamanaka & A. Yool. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437: 681-686.
- Paipa-Ríos, N.A y M.A. Triana-Gómez. 2018. Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque húmedo tropical en Paimadó. Chocó. *Ingenierías USBMed* 9 (1): 18-29.
- Pérez González, G., M. Domínguez-Domínguez, P. Martínez-Zurimendi & J. D. Etchevers, B. 2012. Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y bosques* 18(1): 7-24.
- RStudio (2015). *RStudio: Desarrollo integrado para R*. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Rubilar, R., T. Albaugh, H. Allen, J. Álvarez, T. Fox & J. Stape, J. 2013. Influences of silvicultural manipulations on above- and belowground biomass accumulations and leaf area in young *Pinus radiata* plantations, at three contrasting sites in Chile. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 86: 27–38.
- Silva-Arredondo, F. M y J.J Navar Cháidez. 2010. Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista mexicana de ciencias forestales* 1 (1): 55-62
- Torres-Torres, J.J., V.E. Mena-Mosquera y E. Álvarez-Dávila. 2017. Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Entramado* 25: 200-209.
- Vargas-Larreta, B., C.A. López-Sánchez, J.J. Corral-Rivas, J.O. López-Martínez, C.G. Aguirre-Calderón & J. G. Álvarez-González. 2017. Allometric Equations for Estimating Biomass and Carbon Stocks in the Temperate Forests of North-Western México. *Forest*: 269: 1-20.
- Yáñez-Sandoval, A. 2004. La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica* 70: 5-18.

## **IDENTIDAD FEMENINA Y EMPODERAMIENTO INDIVIDUAL, UNA RELACIÓN PARA EL DESARROLLO LOCAL EN SAN BLAS ATEMPA, OAXACA<sup>1</sup>**

### **[FEMALE IDENTITY AND INDIVIDUAL EMPOWERMENT, A RELATIONSHIP FOR LOCAL DEVELOPMENT IN SAN BLAS ATEMPA, OAXACA]**

**Marbella Sánchez Soriano<sup>1§</sup>, Blasa Celerina Cruz Cabrera<sup>2</sup>, Gisela M. Santiago Martínez<sup>3</sup>, Patricia S. Sánchez Medina<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Estudiante de maestría, <sup>2</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación -Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO). Monte Albán 2013, C.P. 68030 Oaxaca, Oax. <sup>3</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación, (ITVO) Ex Hacienda Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. <sup>4</sup>CIIDIR Oaxaca, (IPN), Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, 71230. Oaxaca. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (la.marbella.sasor@gmail.com).

### **RESUMEN**

Para las mujeres la igualdad de género todavía es un desafío, sin embargo el empoderamiento individual se encuentra presente y se vincula a la identidad femenina, aun con los obstáculos que implica la interacción social en ciertos contextos donde ambos elementos contribuyen al desarrollo en las comunidades. La investigación tiene como propósito analizar la relación entre la identidad femenina y el empoderamiento individual desde la concepción del desarrollo local comunitario. Se utilizó un proceso metodológico mixto mediante el método deductivo-inductivo y descriptivo-correlacional. Se seleccionó una muestra de 73 mujeres con rango de edad  $\geq 20 \leq 59$  años en el municipio de San Blas Atempa, en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, se aplicaron entrevistas y cuestionarios semiestructurados de carácter exploratorio, con escala dicotómica. Los datos se analizaron a partir de tablas de contingencia con las dimensiones autoconcepto, cuerpo social, roles y atributos personales de la variable Identidad Femenina (IF) y con las dimensiones intrapersonal, cognitivo y conductual de la variable. Empoderamiento Individual (EI). Se utilizó la prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) y el coeficiente de contingencia (c) para la comprobación de las hipótesis. Se concluye que existe una correlación altamente significativa entre la IF y el EI con posibilidades de uso en iniciativas para el desarrollo local.

**Palabras clave:** género, potencial cognitivo, potencial conductual, potencial intrapersonal.

### **ABSTRACT**

For women, gender equality is still a challenge, but individual empowerment is present and linked to the feminine identity, even with the obstacles that social interaction implies in certain contexts where both elements contribute to development in the communities. The purpose of the research is to analyze the relationship between female identity and individual empowerment from the conception of local community development. A mixed methodological process was used through the deductive-inductive and descriptive-correlational method. A sample of 73 women with age range  $\geq 20 \leq 59$  years was selected in the municipality of San Blas Atempa, in the

---

<sup>1</sup> Recibido: 14 de mayo de 2019.  
Aceptado: 10 de junio de 2019

Isthmus of Tehuantepec region, Oaxaca. Semi-structured interviews and questionnaires of an exploratory nature were applied, with a dichotomous scale. The data were analyzed from contingency tables with the dimensions of self-concept, social body, roles and personal attributes of the variable Feminine Identity (IF) and with the intrapersonal, cognitive and behavioral dimensions of the variable Individual Empowerment (EI). The Chi-square (test was used in addition to the contingency coefficient) for the verification of the hypotheses. It is concluded that there is a significant and strong correlation between the FI and the IS with possibilities of use in initiatives for local development.

**Index words:** gender, cognitive potential, behavioral potential, intrapersonal potential.

## INTRODUCCIÓN

La palabra empoderamiento proviene del verbo en inglés: *to empower* (empoderar). Para formar el sustantivo *empowerment* (empoderamiento). En 1976; el empoderamiento apareció por vez primera en la obra de Barbara Bryant Solomon titulada “Black Empowerment”. Posteriormente se presentaron metodologías de trabajo con comunidades afroamericanas marginadas. Durante las últimas décadas, mundialmente lo promueven mediante programas hacia las mujeres en todas las esferas de la vida ya que es un proceso que dota a un individuo, comunidad o grupo social de un conjunto de herramientas para fortalecer sus capacidades y habilidades en términos sociales, políticos, económicos y productivos (Rappaport, 1981; Zimmerman y Perkins, 1995; Kuokkanen y Leino-Kilpi, 2000, Landeros, 2016).

El concepto del empoderamiento individual es respaldado por la teoría del poder (Foucault, 2012). Esta teoría concibe a la persona como el medio y el generador del poder. Para el estudio se aborda la teoría del empoderamiento en su nivel individual de análisis (Rappaport, 1981; Zimmerman y Perkins, 1995) por su distinción e influencia en los niveles organizacional y comunitario que la misma teoría señala dado que este primer nivel considera la capacidad de responsabilidad y protagonismo en la vida de las personas, solas o en grupos.

El empoderamiento individual se observa a través de formas singulares de conducta, para ello se considera el enfoque de la teoría psicosocial del desarrollo (Kuokkanen y Leino-Kilpi, 2000). En este sentido la variable empoderamiento individual se dimensiona en tres componentes el intrapersonal que incluye la percepción de las personas acerca de sus capacidades y limitaciones (Zimmerman y Perkins, 1995; Buelga, 2007; García, 2009; Delgado-Piña, Zapata-Martelo, Martínez-Corona y Alberti-Manzanares, 2010; Ramos-Vidal y Maya, 2014).

El componente cognitivo que se refiere a la comprensión de las personas acerca de sus capacidades, destrezas analíticas e influencia en su entorno (Conger-Jay y Kanungo-Rabindra, 1988; Banda-Castro y Morales-Zamorano, 2015) y el componente conductual que se refiere a las acciones de influencia de las personas sobre sus resultados, el entorno social y político (Silva y Martínez, 2004; León, 2007; García, 2009; Barker *et al.*, 2017; Blanco y Sainz-de Baranda, 2017). Otro aspecto es que la teoría del empoderamiento individual reconoce los atributos de las personas, tales como los ingresos, el nivel de estudios y la participación en la fuerza laboral como elementos empoderadores por los efectos en los resultados de las personas (Kuokkanen y Leino-

Kilpi, 2000).

El análisis del empoderamiento individual al plantearse en relación a las características de las personas conectadas a la cultura e historia de su entorno, permite conjugarlo con la identidad femenina desde el enfoque de la teoría microsociedad de género, que indica que las mujeres y los hombres son iguales desde su nacimiento, sin embargo, es en la interacción social cuando surge la asignación sociocultural diferenciada a partir de su sexo y que la convierte en desigualdad social, dicho de forma simple, se habla de la persona pero en su pertenencia a un grupo con el que se identifica basado en su conducta, forma de ser y pensar (Delgado-Piña *et al.*, 2010; Rocha-Sánchez, 2013; Landeros, 2016).

En específico estas nociones dimensionan a la identidad femenina a partir del autoconcepto (Gutiérrez-Saldaña *et al.*, 2007; Pérez y Navarro, 2011; Casalo-Ariño, 2014; Cornejo, 2014; Erkaya *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2014) el cuerpo social (Contreras, 2000; Matalinares *et al.*, 2009; Hurtado de Mendoza-Zalbagoitia, 2015; Ávila-Alfaro, 2016; UNICEF, 2018) y los roles (García, 2006; León, 2007). Asimismo, de acuerdo con la teoría del desarrollo local, las capacidades y habilidades de las personas son el capital intangible ya que mediante la concepción de su realidad y la alteración de los procesos que reproducen la posición de cada uno de los actores, adquieren niveles de empoderamiento que contribuye a la superación de los obstáculos para lograr la equidad de género (Bouzada-Fernández, 1995; Boisier, 1999, Massolo, 2006). De ahí que la identificación relación entre la identidad femenina y el empoderamiento individual es clave para promover el desarrollo local (Massolo, 2006).

Por lo anterior, la investigación establece el objetivo de relacionar la identidad femenina y el empoderamiento individual desde la concepción del desarrollo local comunitario, además que el estudio busca respuesta a la hipótesis H1 planteada: La identidad femenina se relaciona positiva y significativamente con el empoderamiento individual desde la concepción del desarrollo local comunitario en San Blas Atempa, Oax.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló con las mujeres del municipio de San Blas Atempa, municipio que se localiza en la región del Istmo de Tehuantepec, al sureste del estado de Oaxaca, en las coordenadas 95°13' longitud oeste, 16°19' latitud norte, a una altura de 40 metros sobre el nivel del mar. En este municipio las mujeres representan el 50% de su población, distinguidas en la región por sus conocimientos y habilidades comerciales famosas en todo México (Campbell y Green, 1999). De las cuales, el 78% participa laboralmente, se dedican a la comercialización de productos típicos de la región que se ofertan en los mercados, plazas, parques, afuera de sus viviendas y en las principales avenidas del municipio.

Esta investigación se desarrolló bajo un proceso metodológico mixto, con enfoque deductivo-inductivo, de corte transversal para determinar la relación entre la identidad femenina y el empoderamiento individual. El tipo de muestreo fue no probabilístico. A través de la fórmula de poblaciones finitas (error del 5 % y nivel de confianza del 95 %) con base en la población total femenina del municipio de San Blas Atempa de rango de edad  $\geq 20 \leq 59$  años (INEGI, 2017), se

obtuvo una muestra de 73 cuestionarios, aplicados bajo criterios cualitativos como que las mujeres fueran originarias del municipio y hablaran español

El cuestionario se integró por 76 preguntas dividido en cuatro secciones, Sección A: datos demográficos, Sección B: identidad femenina, conformada por autoconcepto, cuerpo social, y roles, Sección C: empoderamiento individual conformado por elementos intrapersonal, cognitivo y conductual D: lenguaje (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Variables, dimensiones e indicadores de las mujeres en San Blas Atempa, Oaxaca.

Variables	Dimensiones	Indicadores
Identidad femenina (IF). Rasgos propios de la mujer como su autoconcepto, cuerpo social, roles y atributos construidos socialmente.	-Autoconcepto. Es la percepción propia de la mujer con base en sus experiencias, la relación con los demás y su conducta.	-Imagen corporal: -Valores interpersonales. -Habilidades sociales. -Autoestima.
	-Cuerpo social. Son las actividades de la mujer derivado del aprendizaje social y cultural.	-Sexualidad. -Alimentación -Salud. -Lenguaje
	-Rol. Son las funciones que desempeña la mujer determinadas culturalmente.	-Familiar -Económico. -Sociopolítico
Empoderamiento individual (EI). Es un proceso conformado por elementos intrapersonal, cognitivo, y conductual mediante el cual la mujer logra control sobre sus asuntos.	-Atributos personales. Cualidad propia de la mujer especialmente esencial.	-Nivel educativo. -Nivel socioeconómico. -Participación en la fuerza laboral.
	-Intrapersonal. Es la percepción de la mujer acerca de sus capacidades y limitaciones.	-Control personal -Autoeficacia -Motivación de competencia
	-Cognitiva. Es la comprensión de la mujer de su capacidad para utilizar sus destrezas analíticas e influir en su entorno.	-Conocimiento crítico -Toma de decisiones -Resolución de problemas
	-Conductual. Las acciones de la mujer para influir directamente en los resultados del entorno social y político.	-Participación ciudadana en actividades comunitarias -Evaluar el funcionamiento institucional.

Fuente: elaboración propia con base en (Rappaport, 1981; Zimmerman y Perkins, 1995; Contreras, 2000; Kuokkanen y Leino-Kilpi, 2000; Silva y Martínez, 2004; García, 2006; León, 2007; Delgado-Piña *et al.*, 2010; Esteban, 2013; Rocha-Sánchez, 2013; Ramos-Vidal y Maya, 2014; Banda-Castro y Morales-Zamorano, 2015).

Las estadísticas descriptivas se generaron a partir de los datos recopilados con Microsoft Excel®. Los resultados de las estadísticas inferenciales Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) y el coeficiente (c) de contingencia se calcularon utilizando un software estadístico denominado paquete estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS), Versión 22 y la significación estadística se estableció en ( $p < 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Correlación de Chi cuadrado y fuerza de asociación coeficiente de contingencia

Con base al análisis de correlación de las pruebas de Chi-cuadrado y el coeficiente de contingencia se encontró una relación altamente significativa entre la identidad femenina y el empoderamiento individual en San Blas Atempa ( $\chi^2=445.988$ ,  $p\leq.001$ ), ( $C=0.927$ ). Esto se debe a que la identidad de las mujeres se relaciona con el empoderamiento individual en sus tres componentes (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Dependencia entre las dimensiones de la identidad femenina y las dimensiones del empoderamiento individual en San Blas Atempa, Oax.

		$\chi^2$	C
<b>Identidad femenina</b>	<b>Empoderamiento individual</b>	<b>445.988**</b>	0.927
<b>Autoconcepto</b>	<b>Intrapersonal</b>	124.384*	0.794
Imagen corporal (ImC)	Control personal (Cp)		
Valores (Val)	Autoeficacia (Aef)		
Habilidades (Hab)	Motivación de competencia (Mcm)		
Autoestima (Aest)			
<b>Cuerpo social</b>	<b>Cognitivo</b>	<b>100.481**</b>	0.761
Sexualidad (Sex)	Conocimiento crítico (Ccr)		
Alimentación (Alim)	Toma de decisiones (Tdd)		
Salud (Sal)	Resolución de problemas (Rprb)		
Lenguaje (Lng)	<b>Conductual</b>	47.339 <sup>ns</sup>	
	Participación ciudadana en la comunidad (Pcc)		
	Evaluar el funcionamiento institucional (Efi)		
	<b>Cognitivo</b>	108.729*	0.774
	Conocimiento crítico (Ccr)		
	Toma de decisiones (Tdd)		
<b>Roles</b>	Resolución de problemas (Rprb)		
Familiar (Fam)			
Económico (Ecn)	<b>Conductual</b>	77.002 <sup>ns</sup>	
Sociopolítico (Spol)	Participación ciudadana en la comunidad (Pcc)		
	Evaluar el funcionamiento institucional (Efi)		

Prueba de independencia de bondad y ajuste ( $\chi^2$ ,  $\alpha=0.05$ ). \*, \*\* Significativo  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ , respectivamente, <sup>ns</sup> no significativo, C=Coeficiente de contingencia

A nivel de dimensiones (Cuadro 1 y 2) se aprecian tres relaciones con mayor significancia y fuerza, la primera se da entre el cuerpo social y el empoderamiento cognitivo ( $\chi^2=100.481$ ,  $p\leq 0.01$ ), ( $C=0.761$ ) que se atribuye a las actividades de las mujeres relacionadas con su sexualidad, alimentación, salud y lenguaje derivado del aprendizaje social y cultural que se asocia a la comprensión de la mujer en cuanto a su capacidad para utilizar sus destrezas analíticas e influir en su entorno, mediante su conocimiento crítico, la toma de sus decisiones y la capacidad de resolución de problemas.

Esto implica que el empoderamiento cognitivo de las mujeres blaseñas está en función a la utilización de sus destrezas analíticas para influir en su entorno y con las personas para desempeñarse con éxito dentro de la comunidad (Zimmerman y Perkins, 1995). A esto se suma que las mujeres blaseñas conocen muy bien los bienes y servicios que se producen en su

comunidad, a las autoridades que las representan, los problemas y las tradiciones, este conocimiento crítico de acuerdo con Zimmerman y Perkins (1995) permite que las mujeres entiendan su contexto, consigan esos recursos y las destrezas para manejarlos. Además, consideran que pueden tomar decisiones, planean sus actividades, buscan ayuda de sus familiares o amigos cuando tienen problemas, e incluso tienen fortaleza para enfrentar sus problemas.

La segunda relación es el autoconcepto y el componente intrapersonal del empoderamiento individual ( $\chi^2=124.384$ ,  $p\leq 0.05$ ), ( $C=0.794$ ) identidad de las mujeres a partir de su imagen corporal, valores interpersonales, habilidades sociales y autoestima se relaciona con la percepción de la mujer acerca de sus capacidades y limitaciones como su control personal, autoeficacia y motivación de competencia. De lo anterior, el empoderamiento intrapersonal de las mujeres en San Blas Atempa se deriva de su percepción de elementos como el sentido de control personal, lo que coincide con los informes de Zimmerman y Perkins (1995), Buelga (2007), Ramos-Vidal y Maya (2014), ya que ayuda a las personas a definirse, así las mujeres blaseñas consideran que tienen todo el control para cumplir con sus planes, sobre lo que les pasa y sobre su cuerpo, incluso saben qué esperar de la vida en su comunidad, sin embargo estiman que en ocasiones no toman serenamente las situaciones difíciles que en caso contrario a Rappaport (1981) y García (2009) y se trata de una creencia de complejidad por las fuerzas que las rodean.

Finalmente, la relación de roles y el empoderamiento cognitivo ( $\chi^2= 108.729$ ,  $p\leq 0.05$ ), ( $C=0.774$ ) derivado de las funciones que desempeñan las mujeres en actividades referidas a lo familiar, económico y sociopolítico constituidas culturalmente se relacionan con la comprensión de la mujer de su capacidad para utilizar sus destrezas analíticas e influir en su entorno. En efecto en cada papel que desempeñan las mujeres utilizan sus conocimientos, toman decisiones relevantes y resuelven problemas según los hallazgos de Rappaport (1981), Zimmerman y Perkins (1995), Buelga (2007) y García (2009). Además, esto tiene relación con los hallazgos de León (2007), Rocha (2013) y Landeros (2016), en que las mujeres priorizan las relaciones y se especializan en la satisfacción de los deseos ajenos. Por lo anterior este estudio permitió identificar que la manera tradicional es la forma en que las mujeres han sido encaminadas a la reproducción, las labores domésticas y el cuidado de los otros.

El rol familiar de las mujeres es el que mayormente se manifiesta en el hogar. En el caso de las mujeres casadas o en unión libre consideran que cuentan con el apoyo de su pareja en las actividades del hogar. Además, en general las mujeres consideran que su deseo es formar una familia para convertirse en madres, dado que en la sociedad de San Blas Atempa se les considera matriarcas (Campbell y Green, 1999). En consecuencia, la interacción diaria con la sociedad tal como lo establece el autor Ritzer (2002) y Guzmán (2007) con el enfoque del interaccionismo simbólico los padres no dan la identidad a los niños, sino el entorno exterior. En esta comunidad de acuerdo con la información obtenida de la muestra analizada la figura materna influye en la mentalidad de los hijos, puesto que desde pequeños los niños otorgan el valor a las mujeres, además las niñas adquieren seguridad al inculcarles que son ellas las que mandan.

En cuanto al rol económico las mujeres en San Blas Atempa consideran que de ellas depende la educación de sus hijos, porque realizan actividades productivas para el beneficio de su familia, a este punto se relaciona con las investigaciones hechas por García (2006) donde se encontró que las mujeres son más proclives a destinar el ahorro a favor de las necesidades básicas o en desarrollo de los hijos. Además son quienes toman la iniciativa para hacerse de un patrimonio al

invertir en oro, lo que coincide con investigaciones de León (2007) donde las mujeres son más adversas al riesgo y tienden a invertir en forma más productiva.

En cuanto a su roles políticos las mujeres blaseñas consideran que tienen dificultades en su comunidad para incorporarse a los grupos políticos. Además opinan que las mujeres que consiguen posicionarse en un puesto político o administrativo en su comunidades tienen más posibilidades de ocupar un cargo representativo, pero que aún no es suficiente para desempeñar funciones políticas y acceder al poder.

**Cuadro 3.** Dependencia entre la dimensión de atributos personales de la identidad femenina y las dimensiones del empoderamiento individual en San Blas Atempa, Oaxaca.

Atributos personales	Empoderamiento individual			
	Intrapersonal $\chi^2$	Cognitivo $\chi^2$	Conductual $\chi^2$	C
Participación en la fuerza laboral (Pflz)	13.870 <sup>ns</sup>	16.559 <sup>ns</sup>	17.55*	0.440
Nivel socioeconómico (Nsoc)	59.57*	49.797 <sup>ns</sup>	48.388 <sup>ns</sup>	0.670
Nivel Educativo (Ned)	76.788*	81.893 <sup>ns</sup>	75.233 <sup>ns</sup>	0.716

Prueba de independencia de bondad y ajuste ( $\chi^2$ ,  $\alpha=0.05$ ). \*, \*\* Significativo  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ , respectivamente, <sup>ns</sup> no significativo, C=Coefficiente de contingencia

En relación a los atributos personales (Cuadro 3) las relaciones con mayor fuerza se encontraron en la participación en la fuerza laboral y el empoderamiento conductual ( $\chi^2= 17.55$ ,  $p \leq 0.05$ ), (C=0.440) bajo 2 supuestos, el primero se reflejó en las mujeres que trabajan, y el segundo donde las mujeres no lo hacen. El factor tiempo les da oportunidad para influir en situaciones distintas. De acuerdo con Zimmerman y Perkins (1995) este atributo influye en los resultados, aunque en este caso sea únicamente en un plano familiar. Este hallazgo se diferencia del encontrado por la autora Kuokkanen y Leino-Kilpi (2000) en el que este atributo personal de las mujeres se relacionó con el empoderamiento intrapersonal otorgándoles mayor autoeficacia y motivación de competencia.

En relación al atributo socioeconómico se encontró que se asocia significativa y fuertemente con el empoderamiento intrapersonal ( $\chi^2=59.57$ ,  $p \leq 0.05$ ), (C=0.670), dado que las mujeres experimentan control personal, autoeficacia en sus actividades y motivación de competencia, de acuerdo con sus ingresos. En este sentido, investigaciones de Speer *et al.* (2013) y Banda-Castro y Morales-Zamorano (2015) han reportado de igual manera que el empoderamiento intrapersonal y cognitivo se da en grupos con diversidad de ingresos económicos, sin embargo, en San Blas Atempa esta relación se da únicamente con el empoderamiento intrapersonal y quienes lo experimentan son aquellas mujeres con ingresos bajos, con percepción mensual entre \$1,000.00 a \$3,000.00 pesos, y mujeres con ingresos altos y muy altos de entre \$6,000.00 a \$10,000.00 pesos y más de \$10,000.00 pesos respectivamente.

En cuanto al atributo del nivel educativo en las mujeres blaseñas se encontró que existe relación significativa con el empoderamiento intrapersonal ( $\chi^2=76.788$ ,  $p \leq 0.05$ ), (C=0.716) en aquellas mujeres que tenían un nivel de estudios hasta secundaria terminada debido a que las dota

de autoeficacia y motivación de competencia, sin embargo en cuanto a su control personal sienten que es menor en relación a las mujeres con un nivel educativo de licenciatura terminada que también experimentan un empoderamiento intrapersonal lo que se semeja a las investigaciones realizadas por Pérez y Guerrero (2012), donde la población estudiada asume que a mayor nivel de estudios mayor será su nivel de empoderamiento. Lo anterior, con base en las aportaciones teóricas y empíricas de varios estudios la investigación permitió comprobar que la identidad femenina a partir del autoconcepto, el cuerpo social, los roles y los atributos personales se relaciona positiva y significativamente con el empoderamiento individual en sus tres componentes: intrapersonal, cognitivo y conductual en San Blas Atempa Oaxaca, desde la concepción del desarrollo local comunitario.

Así mismo, de la entrevista aplicada para conocer el lenguaje de las mujeres respecto a su vida sexual y amorosa, el estudio permitió identificar que el lenguaje verbal forma parte fundamental de su identidad al ser una construcción simbólica que las caracteriza y las condiciona en su comunidad, este hecho está en línea con los hallazgos de Ávila-Alfaro (2016), Esteban (2013) y Heras (1994) donde el comportamiento sexual y amoroso determinan la realidad de las mujeres manifestado a través del léxico empleado. El estudio encontró que las mujeres en San Blas Atempa nombran ciertos comportamientos sexuales y amorosos con apelativos y palabras altisonantes tales como: que las mujeres sean infieles por ser un hecho inmoral, incorrecto y mal visto por la sociedad de la comunidad, salir a bailar con ropa provocativa porque pone al descubierto su cuerpo así como tener muchas parejas sexuales. Finalmente las mujeres nombran positivamente el hecho de mantenerse vírgenes hasta el matrimonio ya que aprueban y reconocen esa decisión. Lo anterior, da evidencia que el lenguaje verbal confirma la identidad de género en las mujeres de San Blas Atempa Oaxaca.

## CONCLUSIONES

El estudio se abordó desde la perspectiva del desarrollo local comunitario. Desde esta concepción los resultados muestran que la identidad femenina se relaciona significativamente con el empoderamiento individual. A nivel de dimensiones el estudio encuentra que las relaciones altamente significativas y fuertes se observaron entre el cuerpo social y el empoderamiento cognitivo; el autoconcepto y el empoderamiento intrapersonal; los roles y el empoderamiento cognitivo. En el caso de los atributos personales el nivel educativo y el nivel socioeconómico, se relacionaron con el empoderamiento intrapersonal mientras que la participación en la fuerza laboral se relacionó con el empoderamiento conductual. Asimismo, se encontró que el lenguaje verbal respecto al comportamiento sexual y amoroso de las mujeres confirma su identidad de género.

El estudio concluye que las mujeres en San Blas Atempa conocen la satisfacción del poder dado que experimentan altos niveles de empoderamiento intrapersonal y cognitivo gracias a su identidad femenina. Sin embargo el estudio da pauta para señalar que las necesidades familiares son sus prioridades de acuerdo a los intereses prácticos de género, esto provoca que su participación ciudadana en la esfera política sea limitada reflejado en la escasa relación con su empoderamiento conductual. Finalmente dichos comportamientos de las mujeres se trasladan al desarrollo local que al mostrar niveles de empoderamiento añadidos al impulso de estrategias y acciones gubernamentales benefician a la superación de los obstáculos que impiden la equidad entre géneros.

## LITERATURA CITADA

- Ávila-Alfaro, V. 2016. Caracterización de los estereotipos sexuales en los adolescentes chilenos: un análisis de su comportamiento lingüístico. Tesis de maestría en Lingüística con Mención en Lengua Español, Universidad de Chile. Santiago de Chile. 149 p.
- Banda-Castro A. L. y M. A. Morales-Zamorano. 2015. Empoderamiento psicológico: un modelo sistémico con componentes individuales y comunitarios. *Revista de Psicología y Ciencias del Comportamiento de la U.A.C.J.S.* 33(1): 3-20.
- Barker, M., J. Baird, T. Tinati, C. Vogel, S. Strömer, T. Rose and D. Nutbeam. 2017. Translating developmental origins: Improving the health of women and their children using a sustainable approach to behaviour change. *Healthcare* 5(17): 3-13.
- Blanco, M. y C. Sainz-de Baranda. 2017. Investigación joven con perspectiva de género. Instituto de Estudios de Género, Universidad Carlos III de Madrid, España. 179 p.
- Boisier, S. 1999. Desarrollo local. ¿De qué estamos hablando? *Revista Transformaciones globales instituciones y políticas de desarrollo local* 3: 141-147.
- Bouzada-Fernández, X. 1995. Elementos teóricos relativos al desarrollo comunitario local y a su práctica en la comunidad autónoma de Galicia. *Acteurs et actions de developpement local* 45(1): 81-100.
- Buelga, S. 2007. El empowerment: la potenciación del bienestar desde la psicología comunitaria. *Revista Psicología social y bienestar.* 154-173.
- Campbell, H. and S. Green. 1999. Historia de las representaciones de la mujer zapoteca del Istmo de Tehuantepec. *Revista estudio sobre las culturas* 5 (9):89- 112.
- Casaló-Ariño. S. 2014. Autoconcepto, autoestima y habilidades sociales en la adolescencia Influencia de la educación emocional para la mejora de la base de las habilidades sociales. Tesis de Maestría en orientación educativa. Universidad de Zaragoza. España. 210 p.
- Conger-Jay. A. and N. Kanungo-Rabindra. 1988. The Empowerment Process: Integrating Theory and Practice. *Academy of Management* 13(3): 471-482.
- Contreras. R. 2000. Empoderamiento campesino y desarrollo local. *Revista Astrual de Ciencias Sociales* 4: 55-68.
- Cornejo, S. 2014. Cuerpo, imagen e identidad. Una relación imperfecta. *Revista Cine y Moda. Cuerpo, Arte y Diseño* 58: 157-177.
- Delgado-Piña. D., E. Zapata-Martelo, C. Martínez-Corona y P. Alberti-Manzanares. 2010. Identidad y empoderamiento de mujeres en un proyecto de capacitación. *Revista Ra Ximhai* 6(3): 456-467.
- Erkaya, R., O. Karabulutlu and K. C. Yeşilçiçek. 2018. The effect of maternal obesity on self-esteem and body image. *Revista Saudi Journal of Biological Sciences* 25 (6):1079-1084.
- Esteban, M. L. 2013. *Antropología del cuerpo* by Edicions Balleterra-issuu (2a ed.).Barcelona España. 85 p.
- Foucault, M. 2012. *El poder, una bestia magnífica.* Editorial Gallimard y Siglo Veintiuno Editores S.A. Argentina. 210 p.
- García, A. 2009. *Género y desarrollo humano: una relación imprescindible.* Editorial Estudio botero. México. 9 p.
- García, S. N. 2006. El papel de la mujer en la economía. *El país economía.* (Consultado 12/10/2018). Disponible en: [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2006/11/08/economia/1163102145\\_850215.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2006/11/08/economia/1163102145_850215.html).

- Gutiérrez- Saldaña, P., N. Camacho-Calderón y M. L. Martínez- Martínez. 2007. Autoestima, funcionalidad familiar y rendimiento escolar en adolescentes. *Atención Primaria*. 39(11): 597–603.
- Guzmán, M. 2007. La teoría de género y su principio de demarcación científica. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* 30: 283- 295.
- Heras, A.B. 1994. La construcción social del cuerpo de la mujer en el deporte. *Revista española de investigaciones sociológicas*. (68): 97-118.
- Hurtado de Mendoza- Zalbagoitia. M. T. 2015. La sexualidad femenina. *Revista alternativas psicología* 1: 113-120.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI.2014. Encuesta Intercensal 2015. (Consultado: 13/06/ 2018). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/?ps=Microdatos>.
- Kuokkanen, L. and H. Leino-Kilpi. 2000. Power and empowerment in nursing: three theoretical approaches. *Revista Leading global nursing research* 1(31): 45- 231.
- Landeros, I. 2016. La identidad y el empoderamiento de las mujeres gambianas narrada a través de discursos fotográficos. *Revista Nomadías* (22): 101–123.
- León, M. 2007. Poder y empoderamiento de las mujeres. Editorial Tercer mundo S.A. Santa Fé de Bogotá, Colombia. 328 p.
- Liu, Y., Z. Wang, C. Zhou, and T. Li. 2014. Affect and self-esteem as mediators between trait resilience and psychological adjustment. *Personality and Individual Differences* 66: 92–97.
- Massolo, A. 2006. El desarrollo local en la perspectiva de género. *Revista Agricultura, sociedad y desarrollo* 3(1): 1-18.
- Matalinares, M.L., L. M. Sotelo, L I. C. Arenas, A. G. Díaz y F. C. Pareja. 2009. Juicio moral y valores interpersonales en estudiantes de secundaria de las ciudades Lima y Jauja. *Revista IIPSI facultad de Psicología* 12 (2): 115-132.
- Pérez, R. L. y B. A. Guerrero. 2012. Empowerment, un análisis desde el perfil demográfico. *Revista panorama administrativo* 6 (11): 5-18.
- Pérez, N., y I. Navarro. 2011. *Psicología del desarrollo humano: del nacimiento a la vejez*. Editorial Club Universitario. España. 14 p.
- Ramos-Vidal, I. y J. I. Maya. 2014. Sentido de comunidad, empoderamiento psicológico y participación ciudadana en trabajadores de organizaciones culturales. *Revista Psychosocial intervention* 23(3): 169–176.
- Rappaport, J. 1981. In praise of paradox: A social policy of empowerment over prevention, *Revista American Journal of Community Psychology* 9(1): 1-25.
- Rocha-Sánchez, T. E. 2013. *Mujeres en transición: reflexiones teórico empíricas en torno a la sexualidad, la pareja y género*. Universidad Iberoamericana, México D.F. México. 246 p.
- Silva, C. y M. L. Martínez. 2004. Empoderamiento: proceso, nivel y contexto. *Psykhé* (Santiago) 13(2): 29–39.
- Speer, P., N. Peterson, T. Armstead and C. Allen. 2013. The influence of participation, gender and organizational sense of community on Psychological Empowerment: The moderating effects of income. *American Journal of Community Psychology*, 51(2): 103-113.
- UNICEF, M. 2018. UNICEF México - México Home page. (Consultado 31/05/2018). Disponible en <https://www.unicef.org/mexico/spanish/>.
- Zimmerman, M. A. and D.D. Perkins. 1995. Empowerment theory, research and application. *American Journal Of community Psychology* 23(5): 569-579.

## **PATRONES ALIMENTARIOS Y PERCEPCIÓN DE SALUD EN SANTA LUCÍA MIAHUATLÁN, OAXACA, UN MUNICIPIO DE ALTO GRADO DE MARGINACIÓN<sup>1</sup>**

## **FOOD PATTERNS AND HEALTH PERCEPTION IN SANTA LUCÍA MIAHUATLÁN, OAXACA, A MUNICIPALITY WITH HIGH DEGREE OF MARGINALIZATION**

Ana Laura Vera-Guzmán<sup>1</sup>, José Luis Chávez-Servia<sup>2§</sup>

<sup>1</sup>Nutrición, Universidad Regional del Sureste, *Campus* “El Rosario”, Libramiento Sur 100 Esq. Hornos Ex-hacienda el Rosario, C.P. 68150, San Sebastián Tutla, Oaxaca, México (anaverag\_94@hotmail.com). <sup>2</sup>CIIDIR-Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Hornos 1003, C.P. 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (jchavez@ipn.mx).

### **RESUMEN**

Por décadas Oaxaca, Chiapas y Guerrero son los estados con mayor número de municipios en alto grado de marginación, alta migración, rezago educativo, pobreza, alto número de comunidades indígenas y bajo índice de desarrollo humano a pesar de la constante implementación de programas gubernamentales de apoyo o subsidio a comunidades marginadas. Dos elementos básicos para supervivencia de las comunidades son la seguridad alimentaria y salud familiar, entre las complejidades que enfrenta día a día de una familia en el contexto territorial de Oaxaca. Se estableció como objetivo describir los patrones alimentarios de un municipio oaxaqueño de alto grado de marginación, y percepciones sobre la salud familiar. Se aplicó una entrevista a través de un cuestionario semiestructurado a 157 mujeres cabeza de familia de Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca, con preguntas sobre consumo, acceso o producción, diversidad y patrones de ingesta de alimentos, y percepciones de la salud familiar y nutrición en niños. La economía se sustenta en actividades agropecuarias y parte del ingreso económico proviene de subsidios gubernamentales o venta de mano de obra. Los hogares padecen inseguridad alimentaria, la producción de maíz, frijol y otros productos es insuficiente para satisfacer las necesidades familiares. Se producen hasta 42 especies vegetales y carne de siete especies animales pero no se refleja en una dieta diversa. Existe una transición alimentaria entre productos tradicionales y transformados o procesados, y se refleja en enfermedades crónicas degenerativas en adultos y alta vulnerabilidad en niños para contraer enfermedades respiratorias, gastrointestinales y problemas de crecimiento.

**Palabras clave:** Hábitos alimentarios, inseguridad alimentaria, pobreza, subsidios, Zapotecos.

### **ABSTRACT**

During decades Oaxaca, Chiapas and Guerrero are the states with major number of municipalities with high degree of marginalization, educational lag, poverty, high number of indigenous communities and low human development index, in spite of a constant implementation of

---

<sup>1</sup> Recibido: 15 de mayo de 2019  
Aceptado: 28 de junio de 2019

governmental program supports or subsidies to marginalized communities. Two elements seems basic to surviving of the communities such as food security and familiar health, within complex scheme that confront every day each family in the Oaxaca territorial context. The objective was describe the food patterns of an Oaxaca municipality with high degree of marginalization, and the local perceptions on familiar health. A survey by a semistructured questionnaire for 157 women head of family was applied in communities of the municipality of Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca, with questions on food consumption, access or production, diversity and intake patterns, and perceptions on familiar health and nutrition in children. Agricultural and livestock activities support the local economy and part of the incomes came from governmental subsidies or labor sales. Households have food insecurity because the production of corn, beans and other products are insufficient to satisfy the food needs of the family. Forty-two plant species and meat of seven animal species are produced in the municipality territory but such diversity is not reflected in a diverse diet. A food transition was observed at household level between traditional products and food processed o industrially transformed, which enhance the chronic degenerative diseases in adults and high vulnerability of children to get respiratory and gastrointestinal diseases as well as growth problems.

**Index words:** Eating habits, food insecurity, poverty, subsidies, Zapotecs.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios ocurridos por factores climáticos como regímenes de temperatura, intensidad de radiación solar, cantidad y distribución de lluvia, entre otros, tienen un efecto significativo en la producción de alimentos y seguridad alimentaria (Nelson *et al.*, 2016). En México, además del problema de producción de alimentos en cantidad y calidad suficiente, 69.5% de los hogares tienen algún tipo de inseguridad alimentaria con mayor incidencia en el sur del país (Mundo-Rosas *et al.*, 2018), cifras que generan un 14% de menores en edad preescolar con baja talla o índice de masa corporal (desnutrición crónica o emaciación) y es más grave en poblaciones indígenas con 33.1% (Urquía-Fernández, 2014). Por todo esto, las entidades gubernamentales, a través de las políticas y programas, tienen como principio activar la disponibilidad, acceso y utilización sostenible de alimentos a través del tiempo, tarea difícil de cumplir en corto y mediano plazo para todas las comunidades en inseguridad alimentaria (Simón-Barquera *et al.*, 2001; Shamah-Levy *et al.*, 2014).

En México, durante 2013, la desnutrición y otras deficiencias nutricionales fueron una de las 20 principales causas de muerte (1.3%), situación que cambio a 2018 donde se reconocieron 95,857 decesos asociados a desnutrición leve, media o severa (Soto-Estrada *et al.*, 2016; Escodrigas *et al.*, 2019). Entre otros efecto de malnutrición o desnutrición implica la disminución de la esperanza de vida; por ejemplo, en Oaxaca, Guerrero y Chiapas, estados con problemas severos de desnutrición, la esperanza de vida es inferior a la media nacional (75 años), (Soto-Estrada *et al.*, 2016). En contraposición, la alimentación desequilibrada y/o malnutrición ha desencadenado sobrepeso, obesidad, anemia, enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico y otras enfermedades, tanto en niños como en adultos (Rivera *et al.*, 2014). Así, en hogares con inseguridad alimentaria prevalece la anemia de niños en edad preescolar y adultos mayores.

En la inseguridad alimentaria inciden diversos factores como las características socioeconómicas de la familia, pobreza o marginación, ingreso, etnia o hablantes de lenguas indígenas, educación, hogares con una cabeza de familia, hogares con padres divorciados, un miembro de la familia con discapacidad o capacidades diferentes, hogares con niños y otros factores, y hasta ahora prevalece alta incidencia en los estados de Tabasco, Guerrero, Chiapas, Oaxaca y Campeche alta proporción de hogares en inseguridad alimentaria moderada y severa (Mundo-Rosas *et al.*, 2013; Shamah-Levy *et al.*, 2014; Magaña-Lemus *et al.*, 2016). Esto es, los grupos socioeconómicos más vulnerables son los que se encuentran en diferentes condiciones de inseguridad alimentaria, incluyendo las comunidades rurales de moderado a alto grado de marginación.

La población mexicana es dinámica en perfiles epidemiológicos y condiciones de salud, existe una mayor proporción de habitantes en zonas urbanas (78.8%) que en comunidades rurales, los que están influenciados por actividades socioeconómicas u organización para el trabajo, procesos industriales, esquemas de producción, formas de comercialización, distribución demográfica, migración campo-ciudad, sistemas de comunicación, acceso a productos de mercado, estructura del gasto en hogar y servicios de salud, entre otros factores, condicionan los patrones alimentarios comunitarios e indirectamente el estado de salud de las personas. Por ejemplo, en años recientes se tiene un ingesta calórica mínima de 3,130 kcal/persona/día (Moreno-Altamirano *et al.*, 2014). Aunado al hecho de que el nivel de ingreso repercute considerablemente en la desnutrición y malnutrición; por ejemplo, en comunidades marginadas se tiene bajo acceso a alimentos nutricionalmente adecuados o capacidad económica limitada para adquirirlos, y genera una mayor vulnerabilidad (Marcial-Romero *et al.*, 2019).

En todas las poblaciones existen patrones culturales alimentarios adquiridos y transformados por su entorno agroecológico, sociocultural y económico, circunstancias en las que no son ajenas las comunidades indígenas de alto grado de marginación (Calderón-Martínez *et al.*, 2017). En México la cultura alimentaria es de origen pre-hispánico relacionadas con costumbre y tradiciones y mezclada con diversas influencias externas (colonial, independiente y moderna), pero todas influyen en el estado de salud de los consumidores (Gómez y Velázquez, 2019). El conocimiento de la cultura alimentaria de una comunidad ayudará a diseñar estrategias de mejoras nutricionales como parte de un entorno sociológico particular en términos de alimentos consumidos en entornos de identidad étnica, simbolismo cultural, dinámica social local, relaciones de poder, estructura y organización social, genero, modernidad e introducción de comportamiento ‘civilizatorios’ (Neuman, 2019). En este contexto, se planteó el objetivo describir los patrones alimentarios de un municipio oaxaqueño de alto grado marginación, y sus relaciones con percepciones de la salud en hogares con niños, mujeres embarazadas y adultos mayores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Municipio de estudio

El estudio se desarrolló en el municipio de Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca, localizado en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur, se integra por 12 centros poblados o comunidades, incluyendo la cabecera municipal, donde habitan 3,361 personas. Geográficamente se localiza

entre 16° 07' y 16° 15' LN, 96° 34' y 96° 40' LO, altitudes de 900 a 2800 m, clima templado subhúmedo y una fracción de semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, las temperaturas promedio oscilan entre 12 y 22 °C, precipitaciones medias anuales de 700 a 2000 mm y 70.9% de la superficies es ocupada por bosques de pino-encino. Los agricultores poseen terrenos comunales de cultivo de escasa profundidad, suelos de tipo leptosol-luvisol-regosol, pendientes pronunciadas (lomeríos), baja fertilidad y alto grado de erosión hídrica, técnicamente no aptos para agricultura pero se siembra preponderantemente maíz, frijol y chilacayote. El municipio es de alto grado de marginación y migración, de 24 a 32% de la población presenta carencias en acceso a alimentos, son hablantes de la lengua Zapoteca, el promedio de miembro por familia son 5, 18.1% de los hogares son encabezados por mujeres, 3.5 grados de escolaridad en personas de 15 años o más, 74.9% o más de los hogares tienen viviendas de mala calidad, insuficiente espacio o con hacinamientos y sin servicios básicos (INEGI, 2010 y 2015). No obstante, hasta 2018 operaban en el municipio todos los programas gubernamentales de subsidio y apoyo al desarrollo de comunidades de alta marginación y pobreza como comedores comunitarios, fondos de aportaciones para la infraestructura social, coinversión social, empleo temporal, etc.

### **Obtención de información sobre patrones alimentarios y percepciones de salud**

INEGI en 2015 reportó un total de 788 viviendas en el municipio de Santa Lucía Miahuatlán, y con base en ese total, se tomó una muestra del 20% de hogares a entrevistar. No obstante que, durante el recorrido por la comunidad se verificó que había cerca de 700 hogares habitados debido a que algunas familias son migrantes circulares en los estados del norte de México. El municipio presenta varios rezagos a nivel de hogares: 81.3% sin drenaje, 46.6% con inseguridad alimentaria de leve a severa, 31.0 con piso de tierra, 24.4% con muros precarios, 21.3 con hacinamiento, de 4.1 a 9.8% sin sanitarios, electricidad, agua potable y sin cocina (INEGI, 2015).

Con el propósito de identificar los patrones de consumo, se diseñó un cuestionario semiestructurado con 28 preguntas agrupada en tres secciones: aspectos sociodemográficos de la jefa de familia y hogar, acceso y consumo de alimentos, y procesamiento/aprovechamiento de alimentos. La encuesta fue aplicada a mujeres cabezas de familia, excepcionalmente a hombre cabezas de familia, encargados de preparar los alimentos y en hogares donde había niños menores de 12 años, mujeres embarazadas y/o adultos mayores. Este en foque con el objetivo de incluir a los sectores más vulnerables en términos de necesidades alimentarias y nutricionales. Las preguntas sobre acceso y consumo de alimentos se orientaron a discernir la variedad y cantidad de alimentos que producen o compran, consumen y necesitan para satisfacer las necesidades de familia, y si algún miembro de la familia padece alguna enfermedad diagnosticada o no clínicamente. Posteriormente, se hicieron preguntas acerca de los medios para cocinar, cuantas comidas hacen al día y percepciones de algún niño con desnutrición. Todo esto ayudó a entender la cultura alimentaria, disponibilidad, acceso y utilización de alimento, patrones alimentarios y relaciones con salud en el hogar (Peña-Reyes *et al.*, 2010, Galván-Portillo, 2018; Rivera-Dommarco y Shamah-Levy, 2018; Gómez y Velázquez, 2019).

### **Análisis de información**

A partir de las respuestas de los entrevistados a las preguntas realizadas, se integró una base de datos de respuestas de 157 observaciones o entrevistados, y se realizaron análisis descriptivos univariantes y posteriormente un análisis multivariante de componentes principales con

información cuantitativa de consumo de alimentos en hogares. Esto último en el paquete estadístico SAS (2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde la perspectiva de seguridad o inseguridad alimentaria y relaciones con la percepción de salud, se realizó una encuesta de consumo de alimentos en el municipio de Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca. En el contexto municipal de alta marginación y pobreza, satisfacer las necesidades de alimentos en cantidades suficientes y calidades adecuadas (disponibilidad), tener la posibilidad de recursos económicos o naturales adecuados para acceder (acceso), poseer una condición biológica que ayude a hacer biodisponible todos los elementos nutricionales (utilización) y tener acceso en todo momento (estabilidad), implica diversos retos comunitarios y de país, en términos de infraestructura, recursos naturales, recursos económicos, acceso a agua, sanidad y atención médica, entre otros (Headey y Ecker, 2013). Las políticas y programas gubernamentales de atención social en México, en su diversas modalidades, tienen como foco de atención los municipio de alta marginación como Santa Lucía y podría esperarse que han superado esta línea de inseguridad alimentaria pero los resultados en el hogar no son predecibles para mejorar el nivel de vida en su conjunto, como fue evidenciado en otros estudios (Behrman y Hoddinott, 2005; Molyneux, 2006).

Entre las características sociodemográficas de los entrevistados y su hogares se destaca que, 32.5% del total de 157 entrevistadas, no tuvieron instrucción formal en una escuela y se consideran analfabetas. Esto es relevante porque para la interpretación de una receta médica, lectura de documentos de identidad, transacciones comercial y de cualquier tipo de documento, requiere de ayuda. En el otro extremo, solo un 2.6% terminaron la instrucción del nivel bachillerato. Las actividades económicas de la familia se sustentan en la agricultura, venta de productos agrícolas y de mano de obra (87.9%) y además un 91.1% de los hogares reciben un subsidio de los programas gubernamentales denominados '60 y más', 'Prospera' y 'Liconsa'. Adicionalmente, también se observó que en los hogares predominantemente (90.4%) viven hasta seis miembros de la familia (Cuadro 1).

San Lucía Miahuatlán tiene un contexto sociocultural zapoteca y su origen se refleja en su cultura alimentaria o forma de alimentación con raíces prehispánicas. En este sentido, la alimentación se fundamenta en maíz, frijol y calabaza, productos de la milpa. El maíz transformado en tortilla, frijol y calabaza cocida a veces con algún otro ingrediente, determina la principal fuente alimentaria. No obstante, aunque no en todos los hogares se tiene acceso a verdura como cilantro, rábano, lechuga, chayote, ejote, tomate, cebolla y otros productos más, el porcentaje es inferior a 40% de todos los hogares. Esto hace pensar que las especies introducidas o no nativas como verdura no siempre son del agrado para el paladar de los habitantes de Santa Lucía. La fruta más consumida es durazno de clima templado y algunos de los hogares poseen un árbol en el traspatio, le siguen lima, níspero, plátano, naranja y manzana, entre otros. En la comunidad se puede tener acceso, aunque limitado, a 42 productos vegetales diferentes. La carne más consumida es de gallina/pollo, chivo, cerdo y borrego, entre otros (Cuadro 2). En este sentido debe remarcarse que las porciones de carne por individuo y por semana no superan los 200 g.

**Cuadro 1.** Características sociodemográficas e ingresos de la familia mediante programas gubernamentales, en Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca.

Preguntas y respuestas	Frec. (% del total)	Preguntas y respuestas	Frec. (% del total)
<i>Escolaridad del entrevistado:</i>		<i>Integrantes de la familia:</i>	
Sin instrucción formal	51 (32.5)	≤ 3	38 (24.2)
Primaria incompleta	34 (21.7)	4 a 6	104 (66.2)
Primaria completa	33 (21.0)	> 6	15 (9.6)
Secundaria incompleta	4 (2.6)		
Secundaria completa	31 (19.8)		
Bachillerato	4 (2.6)		
<i>Fuente de ingreso:</i>		<i>Subsidio que reciben:</i>	
Solo agricultura	38 (24.2)	No recibe	14 (8.9)
Venta de productos agrícolas	21 (13.4)	60 y más	1 (0.6)
Venta de mano de obra	79 (50.3)	Prospera	102 (65.0)
Servicios	15 (9.6)	Liconsa	1 (0.6)
Otros	4 (2.6)	Dos o más programas	39 (24.8)

**Cuadro 2.** Variedad de productos vegetales y carne producidos en las comunidades del municipio de Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca.

Productos	Frec. (% del total)	Productos	Frec. (% del total)
<i>De origen vegetal</i>		<i>De origen vegetal</i>	
Maíz	148 (94.3)	Níspero	17 (10.8)
Frijol	139 (88.5)	Plátano	16 (10.2)
Haba	2 (1.3)	Naranja	14 (8.9)
Calabaza	67 (42.7)	Manzana	10 (6.4)
Rábano	63 (40.1)	Aguacate	9 (5.7)
Cilantro	53 (33.8)	Pera	9 (5.7)
Lechuga	24 (15.3)	Anona	7 (4.5)
Chayote	22 (14.0)	Granada	6 (3.8)
Col	20 (12.7)	Guayaba	6 (3.8)
Cebolla	14 (8.9)	Mandarina	3 (1.9)
Tomate	11 (7.0)	Mango	1 (0.6)
Ejote de frijol	6 (3.8)	Papaya	1 (0.6)
Limón	6 (3.8)	Tejocote	1 (0.6)
Zanahoria	4 (2.6)	<i>De origen animal:</i>	
Guías de calabaza	3 (1.9)	Gallinas	82 (52.2)
Chepil	2 (1.3)	Chivos	28 (18.8)
Chícharo	2 (1.3)	Cerdos	25 (15.9)
Nopal	1 (0.6)	Pollos	21 (13.4)
Chile	1 (0.6)	Borregos	21 (13.4)
Durazno	43 (27.4)	Guajolotes	14 (8.9)
Chilacayote	25 (15.9)	Patos	4 (2.5)
Lima	18 (11.5)		

En la encuesta se registró que potencialmente se puede tener acceso a 42 productos de origen vegetal y siete variantes de carne de origen animal (Cuadro 2). Sin embargo, esto no se refleja directamente en diversidad de la dieta diaria, ya que usualmente se consume maíz, frijol y productos transformados o procesados como azúcar, pastas, aceite, harinas refinadas y otros productos que se adquieren en las tiendas locales (Cuadro 3). Estas observaciones indican que es reducida la diversidad de la dieta en cada hogar de Santa Lucía, y probablemente es producto de la falta de recursos económico para comprar la diversidad de productos que se requieren o bien no hay estímulos para autogenerar esos productos en los traspatios o parcelas de producción. Las observaciones de campo en la comunidad sugieren que también el sistema de trueque de productos entre vecinos se está perdiendo.

**Cuadro 3.** Acceso a alimentos producidos y externos o procesados, base de la alimentación en Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca.

Preguntas y respuestas	Frec. (% del total)	Preguntas y respuestas	Frec. (% del total)
<i>Núm. bultos de maíz cosechados:</i>		<i>Productos de mayor frecuencia de compra y consumo</i>	
Hasta 4 bultos	148 (94.3)	Azúcar	75 (47.8)
Más de 4	9 (5.7)	Arroz	72 (45.9)
<i>Consumo de maíz o tortilla (kg)/semana:</i>		Verduras	64 (40.8)
≤ 9	42 (26.7)	Pasta/galletas	51 (32.5)
10 o más	115 (73.3)	Aceite	46 (29.3)
<i>Núm. costales de frijol cosechado/año:</i>		Frutas	41 (26.1)
No obtuvo cosecha	6 (3.8)	Huevos	37 (23.6)
1	147 (93.6)	Frijol	24 (15.3)
2	3 (1.9)	Pan/harinas	16 (10.2)
3	1 (0.6)	Sal	14 (8.9)
<i>Consumo de frijol (kg) por semana:</i>		Leche	14 (8.9)
Sin respuesta	5 (3.2)	Café	9 (5.7)
1	69 (44.0)	Queso	6 (3.8)
2	59 (37.6)	Maíz	6 (3.8)
3	16 (10.2)	Bebidas procesadas	4 (2.6)
4	5 (3.2)	Lentejas	2 (1.3)
6	2 (1.3)	Productos enlatados	1 (0.6)
7	1 (0.6)	<i>Realiza venta de productos:</i>	
<i>Mano de obra en la producción:</i>		No vende	144 (91.7)
Esposo	130 (82.8)	Si vende	13 (8.3)
Esposa	7 (4.5)	<i>Núm. comidas por día</i>	
Hijos	16 (10.2)	Sin respuesta	15 (9.6)
Otro	4 (2.55)	Dos veces	55 (35.0)
<i>Combustible para cocinar:</i>		Tres veces	87 (55.4)
Leña	145 (92.4)		
Leña y estufa de gas	12 (7.6)		

Respecto a los mecanismos de acceso a los alimentos a través de la producción en parcelas de cultivo o traspatio, se observó que son insuficientes para satisfacer las necesidades anuales de cada familia. Por ejemplo, 94% del total de familias entrevistadas (n = 157) cosechan hasta 4 bultos o costales de maíz. Si asumimos que de cada bulto de mazorca se obtienen de 20 a 25 kg de grano, entonces se estima que se producen de 80 a 100 kg de grano para utilizarse o procesarse en todo el año por familia, el que es insuficiente porque se consume más de 1.6 kg de maíz/día/familia. Es el mismo caso del frijol, los entrevistados señalan que pueden cosechar de 1 a 3 bultos por cosecha y año pero se consumen de 1 a 7 kg por semana según el número de integrantes de la familia. Esto hace que la producción de los alimentos básicos sea insuficiente para satisfacer los requerimientos anuales de una familia, razón por la que se produce básicamente para autoconsumo. Adicionalmente, la mano de obra utilizada en la producción es esencialmente familiar (Cuadro 3). En términos de inseguridad alimentaria, de acuerdo con las categorías de inseguridad alimentaria descritas por Shamah-Levy *et al.* (2018), todos los hogares descritos estarían en un nivel severo.

Las familias siguen utilizando preponderantemente leña para procesar su alimentos (92.4%) porque se infiere que no poseen recursos económicos para comprar periódicamente gas y realizan de dos a tres comidas por día. Las modificaciones o transformaciones en la dieta han hecho que se compre usualmente azúcar, aceite, arroz y verduras que no se producen en la comunidad, galletas y pastas, pan o harinas; además como la producción de maíz y frijol no cubre las necesidades anuales también compran maíz y frijol. Esto hace que el gasto económico en alimentos semanales sea alto, en relación al nivel de percepciones locales que se tienen por venta de mano de obra u otra actividad, incluso la reciben de los programas gubernamentales (Cuadro 3).

En relación a la percepción de salud en la familia se tienen dos perspectivas, la primera desde las etnoenfermedades o conocimiento local y desde un diagnóstico clínico realizado por la unidad médica localizada en la cabecera municipal de Santa Lucía. Entre gripa/gripe, fiebre, diarrea, tos y su combinaciones, se concentra un 82.2% de los padecimientos más frecuentes entre niños. En forma opuesta se encuentra las enfermedades más frecuentes entre adultos, en este caso se reconocen los problemas de sobrepeso y obesidad, gastritis, diabetes, hipertensión y artritis, entre otras. Aunque también se identifica al ‘latido’ como una etnoenfermedad que puede estar asociado con hipertensión o un cuadro de síndrome metabólico. A pesar de esto, en 66.2% de los hogares se percibe como sanos o que no existen enfermedades visibles. Esta percepción se contrastó con las enfermedades que han padecido en la familia, donde se remarca la hipertensión, diabetes y artritis como los padecimientos más comunes, y un 77.1% de hogares saludables. En Santa Lucía, 94.9% de los hogares visitados están adscritos al programa de ‘seguro popular’ o servicio de salud (Cuadro 4).

En función de las respuestas de los entrevistados, en 77.1% de los hogares perciben que los niños no tiene problemas de enfermedades o de desarrollo, y cuando lo perciben indica que tienen un menor crecimiento (10.2%), sufren mareo, desmayo o combinaciones de estos síntomas. A la pregunta específica; ¿si los niños presentan desnutrición?, 39.5% perciben que si padecen y 14.7% desconocen si hay problemas de desnutrición o no (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Percepción de los estados de salud en la familia y desnutrición en niños de Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca.

VARIABLES EVALUADAS	Frec. (% del total)	VARIABLES EVALUADAS	Frec. (% del total)
<i>Enfermos frecuentes en la familia:</i>		<i>Enfermedades en niños:</i>	
No visibles o asintomáticos	104 (66.2)	No visibles los síntomas	27 (17.2)
Diabetes	3 (1.9)	Gripa	30 (19.1)
Hipertensión	8 (5.1)	Fiebre (temperatura elevada)	44 (28.0)
Sobrepeso y obesidad	17 (10.8)	Diarrea	8 (5.1)
Dislipidemias	2 (1.3)	Gripa y fiebre	15 (9.6)
Artritis	6 (3.8)	Gripa y tos	6 (3.8)
Gastritis	9 (5.7)	Fiebre y diarrea	12 (7.6)
Anemia	1 (0.6)	Tos, fiebre y diarrea	3 (1.9)
HTA y DM2	1 (0.6)	Tos y fiebre	5 (3.2)
Latido	5 (3.2)	Tos, gripa y fiebre	6 (3.8)
Desnutrición	1 (0.6)	Anemia	1 (0.6)
<i>Enfermedades que ha padecido la familia:</i>		<i>Problemas de desarrollo o enfermedad en niños:</i>	
No visibles o asintomáticos	121 (77.1)	No visibles o no se perciben	121 (77.1)
Hipertensión	15 (9.5)	Menor crecimiento	16 (10.2)
Diabetes	9 (5.7)	Desmayo	3 (1.9)
Artritis	7 (4.5)	Mareo	13 (8.3)
Gastritis	2 (1.3)	Tres síntomas anteriores	1 (0.6)
Parkinson	2 (1.3)	Desmayo y mareo	2 (1.3)
Sobrepeso y obesidad	1 (0.6)	Mareo y menor crecimiento	1 (0.6)
<i>Derecho habiente o servicio de salud:</i>		<i>Precepción de desnutrición en niños:</i>	
Ninguno	8 (5.1)	Desconoce	23 (14.7)
Seguro popular	149 (94.9)	Sí	62 (39.5)
		No	72 (45.9)

Pelcastre-Villafuerte *et al.* (2006) determinaron que la diarrea y temperatura elevada (‘calentura’) fueron los principales padecimientos más frecuentes de los niños de tres comunidades indígenas de Guerrero, en nuestro municipio de estudio los padecimientos fueron semejantes (Cuadro 4). En consecuencia de estas coincidencias, se puede señalar que la diarrea es un padecimiento constante entre comunidades rurales e indígenas del sureste de México. No obstante para propósitos de salud de la niñez, la diarrea derivada de parásitos intestinales conduce a la mortalidad y debe ser atendida por los servicios de salud (Quihui-Cota *et al.*, 2004; Duarte-Gómez *et al.*, 2015).

En términos de salud, además de la cantidad y calidad de alimento consumido es importante los tiempos entre alimento y alimento, número de veces de ingesta al día y cantidad de agua consumida, entre otros aspectos. En Santa Lucía los entrevistados señalan que el almuerzo (comida de media mañana), la comida principal (de 2 a 4 pm) o bien las tres comidas son importantes. En este sentido, se observó que no en todos los hogares se hacen tres comidas, y durante la entrevista se registraron dos comidas con mayor frecuencia, y la tortilla es el principal alimento de consumo aunque no existan otros alimentos. Entre uno a tres vasos de agua al día se consumen por persona, la que se estima en alrededor de 1 L por día, quizás un poco menos del recomendable pero también depende del gasto calórico y energético que tiene cada persona. Desde la perspectiva del trabajo realizado por los niños, los entrevistados respondieron que diariamente trabajan entre media y tres horas

(Cuadro 5), aunque parece poco pero según el trabajo que realizan los niños, el gasto energético puede ser alto. Por ejemplo, en la comunidad es común ver a niños cargando leña, la cosecha, en actividades agrícolas o pastoreando animales, entre otras actividades.

**Cuadro 5.** Patrones de consumo de alimentos, agua y horas de trabajo en niños de Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca.

Preguntas y respuestas	Frec. (% del total)	Preguntas y respuestas:	Frec. (% del total)
<i>Comida más importante:</i>		<i>Número de comidas por día:</i>	
Sin respuesta	1 (0.6)	Sin respuesta	15 (9.6)
Desayuno	13 (8.3)	Una	55 (35.0)
Almuerzo	43 (27.4)	Dos veces	87 (55.4)
Comida	40 (25.5)	<i>Número de vasos de agua por día:</i>	
Cena	5 (3.2)	Sin respuesta	16 (10.1)
Tres comidas	39 (24.8)	Un vaso	40 (25.4)
Almuerzo y comida	16 (10.2)	Un vaso y medio	1 (0.6)
<i>Número de horas de trabajo del niños/día:</i>		Dos vasos	42 (26.7)
Sin respuesta	80 (50.9)	Tres vasos	33 (21.0)
Media hora	31 (19.7)	Cuatro vasos	19 (12.1)
Una hora	26 (16.5)	Cinco vasos	4 (2.5)
Dos horas	17 (10.8)	Más de cinco vasos	2 (1.2)
Tres horas	3 (1.9)		

En función de todo lo que consumen los miembros de la familia, se hizo una estimación de la aportación energética en calorías, proteína, carbohidratos y grasas. En esta estimación se observó que, un miembro de la familias de Santa Lucía Miahuatlán tiene un ingesta promedio de 3,007.3 kcal, 75.7 g de proteínas principalmente de origen vegetal, 583.0 g de carbohidratos y 67.9 g en grasas por día. Por cultura, la principal fuente de carbohidratos o calorías es por consumo productos derivados del maíz como tortilla y bebidas calientes, las que contribuye con cierta cantidad de proteína en función de los volúmenes consumidos (> 15 kg/mes). En este caso, es baja la ingesta de proteína derivada de alimentos de origen animal. Otro elemento que trastorna los patrones alimentarios es el alto consumo de azúcar y contrastante ingesta de pocas verduras y frutas (Cuadro 6).

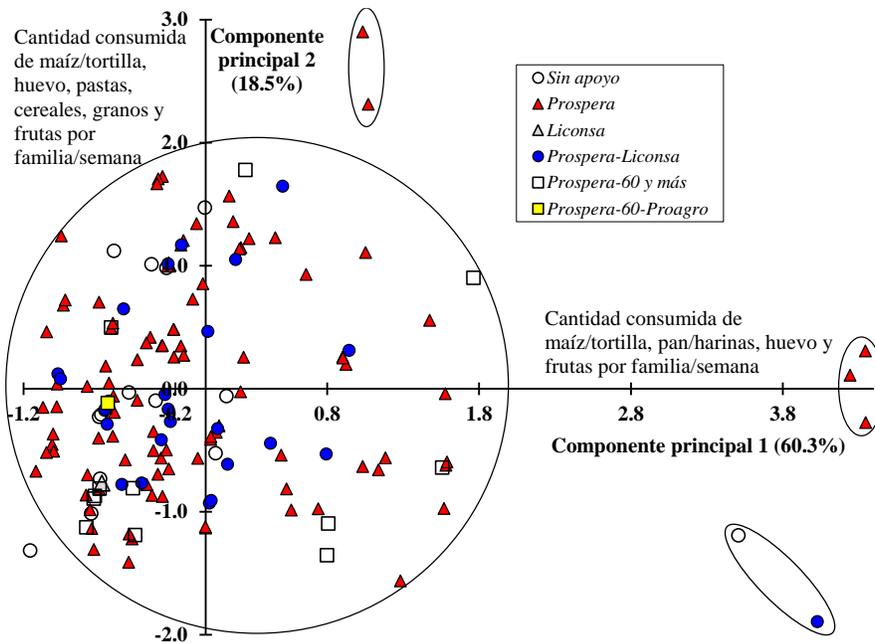
La ingesta calórica mínima reportada por Moreno-Altamirano *et al.* (2014) fue de 3,130 kcal/persona/día, y en este trabajo se estimó ligeramente abajo (3,007.3 kcal/persona/día), las cifras sugieren que en varios hogares de Santa Lucía Miahuatlán, con personas de alto desgaste energético en actividades agropecuarias o venta de mano de obra, requieren mayor cantidad de kcal. En consecuencia, la hipótesis que surge es que el desgaste energético por el desarrollo de actividades del campo conducen a problemas de desnutrición y quizás envejecimiento. Marcial-Romero *et al.* (2019) establece que las personas de comunidades de alta marginación son más vulnerables tanto a incrementar su malnutrición o padecimiento de enfermedades por baja ingesta calórica o malnutrición.

**Cuadro 6.** Estimación de ingesta energética y de macronutrientes por individuo, con base en las cantidades o volúmenes de alimento consumido y compilado en la encuesta aplicada en Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca.

Alimento	Ingesta individual por día		Proteínas (g)	Hidratos de carbono (g)	Grasas (g)
	en g	en kcal			
<i>Productos de origen vegetal y bebidas carbonatadas:</i>					
Frutas	100.0	35.8	-	8.9	-
Verduras	71.4	16.0	1.3	2.6	-
Pasta	200.0	680.0	19.0	146	1.0
Pan/harinas	42.9	177.6	4.7	22.7	7.6
Arroz	42.9	154.3	2.8	34.1	0.2
Maíz	542.9	1,158.1	25.3	246.1	9.0
Frijol	57.1	194.3	12.4	35.5	28.6
Aceite	14.3 <sup>a</sup>	125.7	-	-	14.3
Azúcar	71.4	294.6	-	68.0	-
Bebidas carbonatadas	57.1 <sup>a</sup>	12.9	-	6.0	-
<i>Alimentos de origen animal:</i>					
Huevos	14.3	18	1.6	-	1.3
Carne de pollo	0.9	0.1	0.1	-	-
Carne de res	0.4	0.1	0.1	-	-
Leche de vaca	114.3 <sup>a</sup>	70.5	3.8	5.3	3.8
Leche Liconsa	157.1 <sup>a</sup>	69.4	4.8	7.7	2.1
Total	1,489.7	3,007.3	75.7	583.0	67.9

<sup>a</sup>Volumen expresado en mL.

En México, durante las últimas décadas han sido constantes los subsidios a los hogares de comunidades con alta marginación, pobreza o rezago social, y se espera que esos programas tenga un efecto significativo en resolver las diversas carencias. En Santa Lucía, un municipio con las características indicadas, se podría esperar que ya hubiera tenido algún efecto positivo pero no es así. En el análisis de componentes principales por cantidades de alimentos consumidos en el hogar, se determinó que una fracción pequeña de los hogares (< 12%) están consumiendo mayor cantidad de alimento pero no presenta una relación directa con algún subsidio específico ya que se combinan los programas de ‘Prospera’, ‘60 y más’ y ‘Liconsa’ para la adquisición de leche, cuadrante superior derecho de la Figura 1. No obstante, en el extremo opuesto de inseguridad alimentaria, cuadrante inferior izquierdo de la Figura 1, existen un número importante de hogares. Todo esto a través de los patrones de comportamiento de 157 hogares entrevistados de Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca.



**Figura 1.** Dispersión de hogares en función de los primeros componentes principales, con base en respuestas cuantitativas de consumo de alimentos.

### CONCLUSIONES

La información recopilada de Santa Lucía Miahuatlán refleja parte de la compleja problemática que enfrentan todos los municipios considerados de alta marginación o bajo desarrollo humano de Oaxaca, en relación a seguridad o inseguridad alimentaria y su relación con la salud familiar. La economía local se sustenta en las actividades agropecuarias para el autoconsumo, parte o a veces su principal ingreso económico proviene de subsidios gubernamentales (p.ej. Prospera, 60 y más, etc.) y venta de mano de obra; un 32.5% de los entrevistados manifestaron no tener instrucción formal en educación y son considerados en la estadísticas oficiales como analfabetas, los hogares padecen inseguridad alimentaria porque la producción de maíz, frijol y de otros productos, es insuficiente para satisfacer las necesidades de una familias que consta de 4 a 6 integrantes en promedio, y tampoco poseen recursos económicos para adquirir alimentos. Los agricultores del municipio producen hasta 42 especies vegetales y carne de sietes especies animales pero no se refleja en una mayor diversidad de la dieta. También se presenta un transición alimentaria entre productos tradicionales y transformados o procesados (p.ej. azúcar, aceite, pastas, harinas, etc.), la que se refleja en enfermedades crónico degenerativas en adultos y alta vulnerabilidad en niños para contraer enfermedades respiratorias, gastrointestinales, y percepción de problemas de desnutrición, crecimiento o desarrollo.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al financiamiento recibido de CONACYT a través de proyecto PN2015-1-1119 y del Instituto Politécnico Nacional mediante el proyecto multidisciplinario 1922 y módulo 20196672.

## LITERATURA CITADA

- Behrman, J.R. and J. Hoddinott. 2005. Programme evaluation with unobserved heterogeneity and selective implementation: The Mexican PROGRESA impact on child nutrition. *Oxford Bull. Econ. Stat.* 67:547-569.
- Calderón-Martínez, M.E., O.R. Taboada-Gaytán, A. Argumedo-Macías, E. Ortiz-Torres, P.A. López y C. Jacinto-Hernández. 2017. Cultura alimentaria: clave para el diseño de estrategias de mejoramiento nutricional de poblaciones rurales. *Agric. Soc. Desarr.* 14, 303-321.
- Duarte-Gómez, M.B., R.M. Nuñez-Urquiza, J.A. Restrepo-Restrepo y V.L. Richardson-López-Collada. 2015. Determinantes sociales de la mortalidad infantil en municipios de bajo índice de desarrollo humano en México. *Bol. Med. Hosp. Infant. Mex.* 72(3):181-189.
- Escodrillas, C., M. Torres, E.D. Barrón, M.I. Martínez y M.C. Ojeda, 2019. Anuario de morbilidad 1984–2018. Secretaría de Salud, Ciudad de México. <http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/creditos.html>. (consultado: 02/07/2019).
- Galván-Portillo, M., E. Sánchez, L.M. Cárdenas-Cárdenas, R. Karam, L. Claudio, M. Cruz and A.I. Burguete-García. 2018. Dietary patterns in Mexican children and adolescents: Characterization and relation with socioeconomic and home environment factors. *Appetite* 121:177-187.
- Gómez, Y. y E.B. Velázquez. 2019. Salud y cultura alimentaria en México. *Revista Digital Universitaria*, 20(1). DOI: 10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a6.
- Headey, D. and O. Ecker. 2013. Rethinking the measurement of food security: from first principles to best practice. *Food Security* 5:327-343.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>. (Consultado: 04/07/2019).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Encuesta Intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>. (Consultado: 04/07/2019).
- Magaña-Lemus, D., A. Ishborj, C.P.R. Ill and J. Lara-Álvarez. 2016. Determinants of household food insecurity in Mexico. *Agric. Food Econ.* 4:10. DOI: 10.1186/s40100-016-0054-9.
- Marcial-Romero, N., D.M. Sangerman-Jarquín, M. Hernández-Juárez, A. León-Moreno y M.J. Escalona-Maurice. 2019. Vulnerabilidad alimentaria en hogares rurales y su relación con la política alimentaria en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10(4):935-945.
- Molyneux, M. 2006. Mother at the service of the new poverty agenda: ProgresA/Oportunidades, Mexico's conditional transfer programme. *Soc. Pol. Admin.* 40:425-449.
- Moreno-Altamirano, L., D. Hernández-Montoya, M. Silberman, S. Capraro, J.J. García-García, G. Soto-Estrada and E. Sandoval-Bosh. 2014. La transición alimentaria y doble carga de malnutrición: cambios en los patrones alimentarios de 1961-2009 en el contexto socioeconómico mexicano. *Arch. Latinoam. Nutr.* 64(4), 231-240.
- Mundo-Rosas, V., T. Shamah-Levy y T.A. Shamah-Levy. 2013. Epidemiología de la inseguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México* 55(supl. 2):S206-S213.
- Mundo-Rosas, V., N.I. Vizuet-Vega, J. Martínez-Domínguez, M.C. Morales-Ruán, R. Pérez-Escamilla y T. Shamah-Levy. 2018. Evolución de la inseguridad alimentaria en los hogares mexicanos: 2012-2016. *Salud Pública de México* 60(3):309-318.
- Nelson, M.C., S.E. Ingram, A.J. Dugmore, R. Streeter, M.A. Peoples, T.H. McGovern, M. Hegmon, J. Arneborg, K.W. Kintigh, S. Brewington, K.A. Spielmann, I.A. Simpson, C. Strawhacker, L.E.L. Comeau, A. Torvinen, C.K. Madsen, G. Hambrecht, K. Smiarowski. 2016.

- Climate challenges, vulnerabilities, and food security. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113(2):298-303.
- Neuman, N. 2019. On the engagement with social theory in food studies: cultural symbols and social practices. *Food Cult. Soc.* 22(1):78-94.
- Pelcastre-Villafuerte, B., F. Riquer-Fernández, V. de León-Reyes, H. Reyes-Morales, G. Gutiérrez-Trujillo y M. Bronfman. 2006. ¿Qué se hace para no morir de hambre? Dinámicas domésticas ya alimentación en la niñez en un área rural de extrema pobreza de México. *Salud Pública de México* 48:490-497.
- Peña-Reyes, M.E., G. Bali-Chávez, B.B. Little and R.M. Malina. 2010. Community well-being and growth status of indigenous school children in rural Oaxaca. Southern Mexico. *Econ. Hum. Biol.* 8:177-187.
- Quihui-Cota, L., M.E. Valencia, D.W.T. Crompton, S. Phillips, P. Hagan, S.P. Diaz-Camacho y A. Triana-Tejas. 2004. Prevalence and intensity of intestinal parasitic infections in relation to nutritional status in Mexican schoolchildren. *Trans. Rotal Soc. Trop. Med. Hyg.* 98:653-659.
- Rivera, J.A., L.S. Pedraza, R. Martorell and A. Gil. 2014. Introduction to the double burden of undernutrition and excess weight in Latin America. *An. J. Clin. Nutr.* 100(suppl.):1613s-1616s.
- Rivera-Dommarco, J.A. y T. Shamah-Levy. 2018. Carencia por acceso a la alimentación: medición y evaluación de acciones para superarla. *In: G. Hernández, R. Aparicio y F. Mancini (Coords.), Pobreza y derechos sociales en México. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social y Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.* pp: 493-552.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STAT User's Guides. Release 9.0. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA, p. 4424.
- Shamah-Levy, T., V. Mundo-Rosas y J.A. Rivera-Dommarco. 2014. La magnitud de la inseguridad alimentaria en México: su relación con el estado de nutrición y con factores socioeconómicos. *Salud Pública de México* 56(supl. 1):S79-S85.
- Simón-Barquera, M.D., J. Rivera-Dommarco y A. Gasca-García. 2001. Políticas y programas de alimentación y nutrición en México. *Salud Pública de México* 43(5):464-477.
- Soto-Estrada, G., L. Moreno-Altamirano y D. Pahua-Díaz. 2016. Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. *Rev. Fac. Med. UNAM* 59(6):8-22.
- Urquía-Fernández, N. 2014. La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México* 56(1):592-598.

## CONDICIÓN FITOSANITARIA DEL ARBOLADO DE LA TERCERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC<sup>1</sup>

### [WOODED PHYTOSANITARY CONDITION OF THE THIRD SECTION OF THE CHAPULTEPEC FOREST]

Misael Cervantes Bautista<sup>§1</sup>, Rosalino Ortiz Barrios<sup>1</sup>, José Francisco Reséndiz Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante y profesor-Ingeniería Forestal-Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande Oaxaca (ITSMIGRA). C.P. 71140, Tel: (953) 155 71 58. <sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF/INIFAP) CDMX, México. <sup>§</sup>Correo para correspondencia: (misa\_11mb@hotmail.com).

#### RESUMEN

El Bosque de Chapultepec está conformado por tres secciones en su conjunto, tienen una superficie de 686.01 hectáreas, lo que la hace el área verde urbana de mayor extensión en la Ciudad de México. La tercera sección, cuenta con un total de 243.9 ha, fuente importante de beneficios hidrológicos-ambientales para la CDMX. El objetivo fue realizar un diagnóstico fitosanitario del arbolado urbano, tomando en cuenta la etapa de desarrollo (juvenil, maduro, senil y muerto); condición sanitaria del tronco y copa (bueno, regular, malo y pésimo). Se llevó a cabo un muestreo sistemático, registrándose un total de 1731 árboles, conformado por 25 especies y 16 familias. El 50.5% del arbolado se encuentra en mala condición; mientras que el 49.5% estuvo sano; el 46.5% se encontró en la etapa de desarrollo juvenil, el 13% fue arbolado muerto; la condición sanitaria del tronco y copa están dominados por categorías bueno con 37% y 33% regular del arbolado de la zona de estudio. Los principales árboles con mayor frecuencia son: *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Buddleja cordata* H. B. K, *Ligustrum lucidum* Ait. F.; las principales plagas que atacan al arbolado fueron la conchuela (*Glycaspis brimblecombei* Moore), chinche (*Tropidosteptes Chapingoensis* Carvalho), agalla.

**Palabras clave:** Arbolado urbano, área natural protegida, enfermedades, plagas.

#### ABSTRACT

The Chapultepec forest is made up of three sections as a whole, with an area of 686.01 ha, which makes the largest urban green area in Mexico City. The third section, has a total of 243.9 ha, an important source of hydrological-environmental benefits for the CDMX. The aim was to realize a phytosanitary diagnosis of urban trees, taking into account the stage of development (juvenile, mature, senile and dead); sanitary condition of stem and crown (good, regular, bad and the worst); for this, a systematic sampling was carried out, registering a total of 1731 trees, consisting of 25 species and 16 families. 50.5% of the trees are in poor condition; while 49.5% were healthy; 46.5% were found in the youth development stage, 13% were dead trees; the sanitary condition of the trunk and canopy are dominated by good categories with 37% and 33% regular of the trees of the study area. The main trees most frequently are: *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Buddleja cordata* H. B. K, *Ligustrum lucidum* Ait. F.; the main pests that attack

---

<sup>1</sup> Recibido: 25 de abril de 2019  
Aceptado: 25 de junio de 2019

the trees were the conchuela (*Glycaspis brimblecombei* Moore), chinche (*Tropidosteptes Chapingoensis* Carvalho), gall.

**Index words:** Urban trees, protected natural área, diseases, pests.

## INTRODUCCIÓN

Las ciudades constituyen un sistema social y físico, por lo tanto, su desarrollo produce cambios en el ambiente de la zona donde se establecen; asimismo, se consideran como los ecosistemas más artificiales sustentados por el hombre. En México, como en otros países, el crecimiento del área urbana carece de una planificación capaz de equilibrar los diversos aspectos de su crecimiento, lo cual origina los problemas ambientales que son padecidos dentro de las ciudades (Carreiro *et al.*, 2008 y Santacruz, 2008)

Las zonas verdes en las ciudades aminoran los impactos al ecosistema que las actividades urbanas generan, tales como el alto consumo de energía para la producción de bienes y servicios, la intensificación del transporte, la generación de desechos, así como la formación de islas de calor, ruido, contaminación del aire y de los mantos freáticos; efectos que representan riesgos para la salud humana. Una ciudad arbolada contribuye a la biodiversidad, que es un importante indicador de ciudad ecológicamente sostenible (Pérez y López, 2015).

El rápido crecimiento urbano y la naturaleza globalizada de las ciudades presentan desafíos y oportunidades en el diseño de ciudades más habitables, saludables y resilientes (Elmqvist *et al.*, 2015). El arbolado urbano se define como aquella masa arbolada que se encuentra dentro de los límites de la ciudad, el cual está conformado por dos grandes componentes; la primera, tiene arbolado de alineación, ubicado a lo largo de las banquetas de calles, avenidas y camellones y la segunda, posee áreas verdes urbanas, las cuales por lo general pueden ser parques, jardines y glorietas, pero también se incluyen otros espacios abiertos con vegetación como pueden ser cementerios, derechos de vías, barrancas, riberas de ríos y arroyos que surgen de la ciudad, así como las grandes masas arboladas, naturales o inducidas, que se encuentran dentro de los linderos de la ciudad y que comúnmente en México suele dominarse bosques (Benavides, 1989; Martínez, 2008).

En las ciudades, la exposición crónica a la contaminación atmosférica, los daños asociados al vandalismo y los sitios de plantación incorrectos son factores que disminuyen la vitalidad del arbolado y lo hacen vulnerable al ataque de plagas y enfermedades (Zaragoza *et al.*, 2015). Razón por la cual es importante conocer las características y condiciones de las masas arboladas que lo conforman, particularmente en aquellas Áreas Verdes Urbanas (AVU) sujetas a una fuerte presión de uso como es el caso del Bosque de Chapultepec, CDMX. Por lo antes descrito la salud y bienestar forestal se ha enfocado en el análisis de los factores bióticos y abióticos que afectan el vigor y la productividad, y que se manifiestan a través de síntomas en las estructuras que conforman al árbol (Chacalo y Corona, 2009; PAOT, 2010; PAOT, 2011; Koeser *et al.*, 2013).

La evaluación del daño causado por insectos, patógenos u otros agentes es muy importante, pues con base en ella se pueden tomar decisiones acerca de la conveniencia de combatirlo. En todos los casos, los daños económicos pueden ser cuantiosos, tanto por la pérdida directa de productos como

por los costos de tratamiento (Méndez *et al.*, 2008). Estos bosques interactúan con el resto de los componentes bióticos y abióticos del ecosistema urbano y favorecen el aumento en la calidad de vida de la población y del ambiente ciudadano (Suárez y Robles, 2008).

En este contexto, en el arbolado urbano el mayor impacto procede del ataque de plagas y patógenos, así como los daños de origen abiótico (elementos físicos, químicos y mecánicos) que afectan su desarrollo, y que deben considerarse primero en caso de detectarse algún problema en el arbolado. Por ejemplo, en los Estados Unidos de América los daños de este tipo se asociaron con pérdidas de hasta 20% en algunos rodales, ya que predispusieron al arbolado al ataque por enfermedades en el sitio (Cibrián *et al.*, 2007). Por la importancia que conlleva realizar un diagnóstico fitosanitario en este trabajo se tuvo como objetivo identificar, localizar y determinar los principales agentes plaga que dañan y causan problemas de salud, en el arbolado de la tercera sección del Bosque de Chapultepec, CDMX.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño de muestreo

La investigación se llevó a cabo en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, ubicado en la alcaldía Miguel Hidalgo, CDMX, durante el periodo agosto 2018 a enero 2019. Con el propósito de estimar los diferentes parámetros de interés para este estudio, se utilizó un diseño de muestreo sistemático por medio de una red cuadrangular de puntos equidistantes uno de otro cada 100 m; con sitios circulares de 500 m<sup>2</sup>, con una intensidad de muestreo del 3%, con precisión a dos metros y un error de muestreo menor a cinco metros. Dichas unidades fueron localizadas en las zonas de trabajo mediante un geoposicionador marca Garmin, modelo Global Positioning System (GPS) 12XL.

De los árboles que presentaron signos o síntomas de algún problema fitosanitario se tomaron muestras patológicas y entomológicas, las cuales fueron colocadas en bolsas ziploc con sus respectivos datos de colecta, fecha, lugar, sitio, número de muestra, especie y coordenadas.

### Evaluación fitosanitaria, colecta de material entomológico y patológico

Dentro de las variables cuantitativas, la altura se midió con un altímetro, pistola Haga (W-Germany), mientras que para obtener el diámetro normal (Dn) se ocupó una cinta diamétrica (Richter). Benavides, (2015) de acuerdo a la metodología, se evaluaron las variables cualitativas, etapa de desarrollo, condición sanitario de la tronco (CST) y copa (CSC) (Cuadro 1 y 2).

Se realizó una colecta directa al azar, consistió en localizar los organismos o daños evidentes en hojas, tallos y tronco. Para conservar las muestras de insectos colectados, se colocaron en tubos tipo viales con alcohol al 70%, previamente identificados con datos del sitio, número y especie del árbol hospedante. Las colectas se trasladaron al Laboratorio de Sanidad Forestal del CENID-COMEF/INIFAP de la CDMX, donde se seleccionaron y se registraron por orden entomológico de acuerdo con bibliografía especializada (Cibrián *et al.*, 1995).

En la colecta de muestras patológicas, consistió en identificar signos y síntomas de estructuras vegetales (hojas, ramas, corteza, etc.) que pudiesen referir como causantes a microorganismos patógenos (principalmente hongos), se utilizó tijeras para cortar las muestras con evidencia de daño, se colocaron en bolsas ziploc. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Fitopatología y Entomología del CENID-COMEF/INIFAP, posteriormente se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de 4°C para su conservación y evitar su desecación.

**Cuadro 1.** Características generales para la toma de datos en campo de la etapa de desarrollo del arbolado urbano de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

<b>Etapa de desarrollo</b>	<b>Característica</b>
Juvenil	Árboles de 5 a 20 cm de diámetro normal. La altura del árbol frecuentemente estará ubicada entre los 6 y 10 m. Individuos de especies precoces pueden presentar estructuras reproductivas.
Maduro	Diámetro normal mayor a 20 cm y altura superior a 10 m dependiendo de la especie. Los individuos presentan estructuras reproductivas.
Senil	Árboles que presentan una disminución de su vigor como respuesta a un proceso natural o por el efecto de algún factor biótico o abiótico que acelera esta etapa. Las copas presentan ausencia parcial o casi total de follaje; por lo general se observan ramas muertas en la parte superior, los troncos pueden presentar ausencia de corteza e incluso pudrición. En algunas especies esta situación se asocia con diámetro de tamaño considerable.
Muerto	Condición independiente de la edad del árbol, se caracteriza por la pérdida total del follaje, posible ausencia o separación de la corteza y posible presencia de pudrición en tronco y ramas.

**Cuadro 2.** Características de la toma de datos en campo de condición sanitaria del tronco y copa del arbolado urbano.

<b>Categoría de la CST</b>	<b>Característica</b>	<b>Severidad</b>
Bueno	No hay afectación, ataque, evidencia o alguna sintomatología que permita suponer la presencia de algún patológico u organismo plaga en el tronco.	0%
Regular	Presencia o evidencia del ataque o afectación incipiente a moderada de microorganismos patógenos, pudrición o plaga en una superficie del tronco.	1-50%
Malo	Parencia o evidencia del ataque o afectación considerable de microorganismos patógenos, pudrición o plagas en la superficie del tronco.	51-80%
Pésimo	Presencia o evidencia de afectación del ataque o afectación severa de microorganismos patógenos, pudrición o plaga en la superficie del tronco.	81-100%
<b>CSC</b>		
Bueno	Follaje de color uniforme y sin muestras de ataque de alguna plaga, enfermedad o clorosis.	0%
Regular	Ligeros daños producidos por plagas o enfermedades.	1-50%
Malo	Evidente presencia de plagas o enfermedades en la copa.	51-75%
Pésimo	Ausencia de follaje en gran parte de la copa, mismo con clorosis, plaga, enfermedad o presencia de manchas café-rojizas.	76-100%

### **Determinación botánica, entomológica y patológica**

Los árboles fueron identificados con ayuda de la guía de Rodríguez y Cohen (2003) y Martínez (2008).

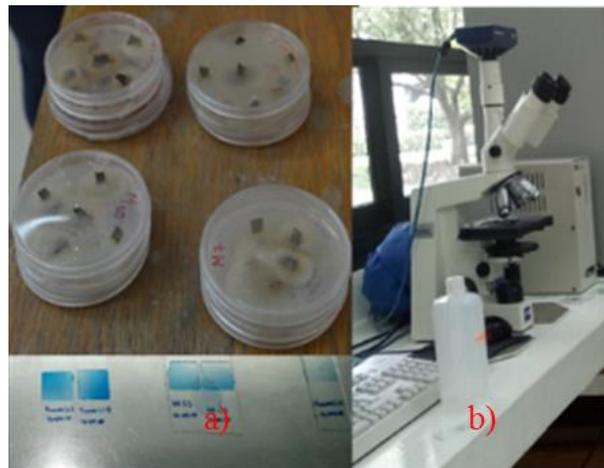
Los insectos colectados se observaron en microscopio estereoscópico *Carl Zeiss, Stemi-2000*, lente 30x y microscopio electrónico de barrido, *Evo, Carl Zeiss, Austria*, con una resolución 3nm.

Se le tomaron fotos para su identificación. La determinación taxonómica se efectuó a nivel de familia, género y especie mediante el apoyo de las claves taxonómicas de Peterson (1973), Triplehorn y Johnson (2005), Bautista (2006) y Unruh y Gullan (2008).



**Figura 1.** a) Preparación de medio de cultivo y siembra de fragmentos patológicos. b) Medio de cultivo PDA listo para ser incubados para su crecimiento.

Los micromicetos desarrollados se colocaron en porta objetos con el colorante azul-lactofenol para su observación y se identificaron con ayuda de claves taxonómicas (Figura 2) Ellis (1971), Barnett y Hunter (1972), Ainsworth (1973), Domsch *et al.* (1980) y Cibrián *et al.* (2007)



**Figura 2.** a) Aislamiento de hongos y preparación con azul-algodón-lactofenol, b) identificación de patógenos en el microscopio óptico.

Para las muestras patológicas, una vez seleccionadas las partes que presentaron algún daño patológico, se realizaron disecciones aproximadamente de 1 cm de área, para ser sembrados en medio de cultivo PDA (papa-dextrosa-agar). Una vez desarrollados los cuerpos fructíferos se observaron estructuras fúngicas en el microscopio óptico *Carl Zeiss Axiostar Plus*, lente 20x, para su identificación. Para la muestra de *Quercus* sp con una pinza se efectuó un raspado de cenicilla detectada en la hoja, se raspo sobre la hoja donde se encontraba el material fungió y posteriormente se colocó sobre una laminilla con una gota de azul-algodón-lactofenol y un cubre objetos, para observar las estructuras fúngicas en el microscopio óptico.

Los fragmentos de las muestras se colocaron en vasos de precipitado previamente esterilizados con una solución de hipoclorito de sodio al 2.5% durante 3 minutos para asepticarlos; posteriormente se enjuagaron tres veces por un minuto con agua destilada estéril y se colocaron en cajas Petri con papel filtro ambos previamente esterilizados para absorber la mayor cantidad de residuos de agua, una vez secas las muestras se sembraron cinco fragmentos patológicas por caja Petri en medio PDA (Figura 1). Se incubaron a una temperatura entre 25 y 28 °C, por 7 días hasta que se observó algún crecimiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición arbórea

De acuerdo con el muestreo realizado en la Tercera Sección el Bosque de Chapultepec se registró un total de 1731 árboles, conformado por 25 especies de las cuales 9 especies son nativas y 16 exóticas; respecto a la permanencia del follaje se tiene que el 56% de las especies son perennes y 44% caducifolias. Estas especies se agrupan en 16 familias botánicas; las especies más abundantes: *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh (48%), *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, (27%), *Buddleja cordata* H. B. K (9%) y *Cupresus lusitánica* (4%).

Alanís-Flores *et al.* (2004) y Alvarado-Vázquez *et al.* (2004) coinciden que en las áreas verdes urbanas se encuentra una gran diversidad de especies; sin embargo, dominan solo unas cuantas, pertenecientes, en general a los géneros *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Fraxinus* (Wenzig) Lingelsh, *Casuarina* y *Ligustrum lucidum* Ait. F., comúnmente de origen exótico, debido a la falta de información, el crecimiento lento, los costos elevados y la dificultad para conseguir las especies nativas son algunos motivos por los cuales se prefieren especies exóticas.

Suárez y Robles (2008) registraron que 52.98% de las áreas verdes urbanas del municipio de Oaxaca de Juárez estaba integrado por: *Ficus benjamina* L, *Jacaranda mimosifolia*, *Ficus retusa* L., *Cnidocolus chamayamansa* McVaugh, *Populus tremuloides* Michx. y *Casuarina equisetifolia*. Ese mismo año, Santacruz (2008) determinó que en el conjunto formado por la Plaza de la Constitución y la Plaza Xicohtécatl, en el centro de la ciudad de Tlaxcala, 84.1% de la población arbórea analizada pertenecía a tres especies: *Ligustrum lucidum* Ait. F., *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh y *Ficus retusa* L. Cabe destacar que de igual forma se coincide con un 84% de bosque de la Tercera Sección está integrada por tres especies: *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh y *Buddleja cordata* H. B. K.

Guzmán-Díaz (2011) llevó a cabo un censo registrando un total de 3758 árboles, conformado por 30 especies, de los cuales: *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Populus tremuloides*, *Pinus radiata* var. *binata*, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Schinus molle*, y *Cupressus lusitanica* fueron las más abundantes.

Chacalo y Arriaga (2011) identificaron 93 taxa en las áreas verdes de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco; de ellas, 61.2% corresponde a: *Jacaranda mimosifolia*, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Ficus retusa* L, *Erythrina americana* Mill, *Ficus benjamina* L, *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Thuja occidentalis* L. y *Ligustrum lucidum* W. T. Aiton. A

partir de las revisiones anteriores, es evidente que las áreas verdes urbanas tienen una diversidad florística pobre, lo cual significa un riesgo potencial ante el ataque de plagas y enfermedades.

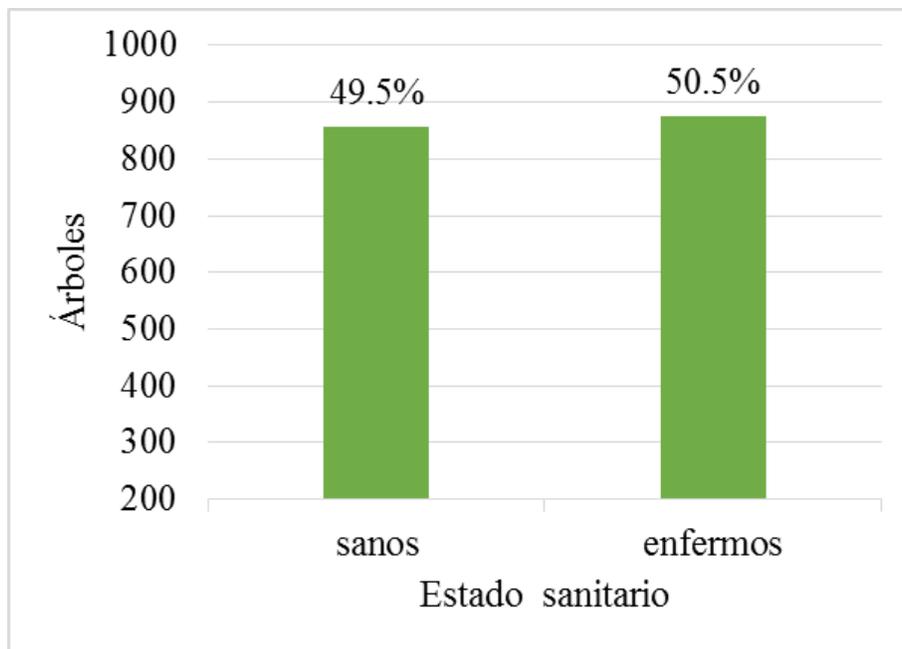
López y Benavides (2014) el ensayo de seis especies arbóreas para la reforestación de la Segunda sección del Bosque de Chapultepec, y el informe del PUEC-UNAM (2002) consignó que *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh y *Ligustrum lucidum* Ait. F. fueron las especies más abundantes y de mayor distribución. Igualmente, el INIFAP-DBCh (2009), registró que en la zona existen 38,825 individuos arbóreos y arbustivos pertenecientes a 131 taxa: *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Ligustrum lucidum* Ait. F., *Thuja occidentalis*, *Pinus radiata*, *Casuarina equisetifolia* y *Cupressus lusitanica*, reúnen el mayor número de ejemplares que en su conjunto conforman 76.8 % del arbolado total. Por tanto, durante el estudio las especies encontradas fueron: *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Ligustrum lucidum* Ait. F. y *Cupressus lusitanica* en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec concuerdan con lo reportado sobre especies arbóreas en los estudios hechos anteriormente.

Román *et al.* (2019) contabilizaron un total de 7539 árboles, distribuidos en 38 familias, 88 géneros y 114 especies; benjamina (*Ficus benjamina*) almendro (*Terminalia catappa*) conforman 52.9% de todos los árboles, lo que indica que existe poca diversidad arbórea en la ciudad. El 74% de los individuos son introducidos y 24% son nativos, lo que nos indica que en las diferentes ciudades de México se encuentra más arbolado de origen exótico

### **Evaluación fitosanitaria**

De las 25 especies, 856 (49.5%) árboles fueron sanos, mientras que 875 (50.5%) árboles presentaron algún tipo de daño (Figura 3). Para la etapa juvenil le corresponde el 46.5% y el 13% son árboles muertos; el 37% fue bueno en condición sanitario del tronco y 14% malo; finalmente la condición sanitaria de la copa (CSC) el 33% regular y el 20 % pésimo (Cuadro3).

Se determinó que *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh fue la especie más dañada (78.1%), correspondiendo a 524 árboles y con 21.9% individuos sanos. Los árboles muertos fueron con un total de 225, se desconoce la especie de cada uno debido a que fue complicado identificarlos.



**Figura 3.** Estado sanitario del arbolado urbano de la Tercera Sección.

**Cuadro 3.** Categorías del arbolado, CST y CSC con su respectivo número de árboles y porcentaje del arbolado urbano.

#	Categoría	Árboles	Porcentaje (%)
<b>Etapas de desarrollo</b>			
1	Juvenil	805	46.5
2	Maduro	534	30.8
3	Senil	167	9.6
4	Muerto	225	13
<b>Condición Sanitaria del Tronco</b>			
1	Bueno	636	37
2	Regular	576	33
3	Malo	239	14
4	Pésimo	280	16
<b>Condición Sanitaria Copa</b>			
1	Bueno	364	21
2	Regular	566	33
3	Malo	454	26
4	Pésimo	347	20

Velasco *et al.* (2013) contabilizaron 88 especies, de las cuales siete representan un 73.67% de los árboles. La etapa de desarrollo más común corresponde a árboles maduros (58.33%), seguida por la etapa juvenil (41.18%). En cuanto a la condición de vigor 59.95% corresponde a individuos vigorosos y 28.72% a declinación incipiente, mientras que el estado sanitario de tronco y copa están denominados por categorías: bueno y regular, los bosques urbanos muestran baja diversidad de especies; sin embargo la condición general del bosque de San Juan de Aragón se admite como buena; mientras que para el bosque de la Tercera Sección de Chapultepec su condición es mala debido que es una área en abandono, erosionada, compactada, poca de diversidad de especies y las autoridades no le dan mantenimiento, siendo una área natural protegida.

Román *et al.* (2019) en relación con el estado sanitario del tronco de los árboles, el 46% se está dentro de la categoría de sano, mientras que las copas presentaron condición sana 66%; los daños y problemas asociados a los árboles, 35.6% mostro raíz expuesta; 18.25% con tronco pintado y el 39% con evidencias de desmoche.

### Organismos macro y microscópicos que afectan al arbolado de la zona de estudio

Plagas y enfermedades encontradas en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec (BCh) (Cuadro 4) donde el *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh y *Prunus serotina* subsp. *capulli* fueron las más afectadas por dichos patógenos e insectos fitófagos, siendo el follaje la parte más vulnerable del arbolado.

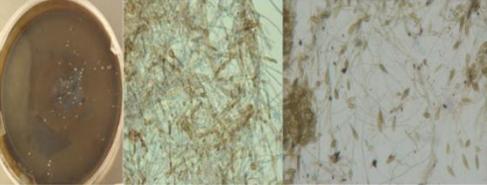
**Cuadro 4.** Principales organismos que afectan al arbolado de la zona de estudio.

Especies	Parte atacada	Insecto (entomológico)	Patógenos
<i>Cupressus lusitanica</i> y <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Denhnh	Follaje	<i>Atta</i> spp. y (Formicidae, HYM)	-
<i>Quercus</i> sp	Follaje	-	Cenicilla
<i>Ligustrum lucidum</i> y <i>Acacia angustissima</i> Mill Kuntze.	Ramas	-	<i>Agalla</i>
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Denhnh	Follaje	<i>Glycaspis brimblecombei</i> Moore.	<i>Kirramyces epicicloides</i>
<i>Acacia retinoides</i> .	Ramas	-	<i>Icerya purchasi</i>
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig) Lingelsh	Follaje	<i>Hylesinus aztecus</i>	-
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig) Lingelsh, <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Denhnh, <i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capulli</i> .	Ramas	<i>Cladocolea loniceroides</i>	-
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig) Lingelsh.	Follaje y ramas	<i>Tropidosteptes Chapingoensis</i> Carvalho.	<i>Septobasidium</i> sp
<i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capulli</i> .	Follaje	-	<i>Tranzschelia pruni-spinosae</i> , Roya.
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig) Lingelsh, <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Buddleja cordata</i> H. B. K	Fuste	-	Cancro
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Denhnh. <i>Pinus radiata</i> , <i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capulli</i> .	Follaje	<i>Chionaspis</i> sp.	-

La plaga que se encontró en *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh fue *Glycaspis brimblecombei* Moore, atacando severamente al árbol, los estadíos que se determinaron fueron huevecillos y ninfas; mientras que en *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Prunus serotina* subsp. *capulli* se encontró el muérdago verdadero (*Cladocolea loniceroides*) atacando a ramas.

Respecto a los hongos identificados en el análisis de muestras patológicas, se determinaron tres especies de micromicetos distribuidos en tres órdenes, siendo los *Sphaeropsidales*, *Moniliales*, *Melancoliales* (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Principales patógenos encontrados en tres especies de árboles en el Bosque de la Tercera Sección de Chapultepec.

N <sup>o</sup>	Árbol	Tipo de tejido sembrado	Patógeno identificado	Orden	Daño
1	<i>Yucca elephantipes</i>	Hojas	<i>Phoma</i> 	<i>Sphaeropsidales</i>	Necrosis descendente de los tejidos en desarrollo.
2	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Hojas	<i>Alternaría</i> 	<i>Moniliales</i>	Manchas circulares de color café frecuentemente rodeadas de un lado amarillo.
3	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzig) Lingelsh	Hojas	<i>Pestalotia</i> 	<i>Melancoliales</i>	Forma manchas grises plateadas en el haz y café en el envés.

PAOT (2011) en la Alameda Oriente también observó indicios de la presencia de *Glycaspis brimblecombei* Moore y de pájaros carpinteros. Adicionalmente, la combinación de las altas densidades de plantas y el acceso poco restringido a las instalaciones, contribuyen a un debilitamiento de los árboles y pérdidas importantes de follaje; mientras que *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh fue la especie más atacada por la misma plaga.

Benavides y Fernández (2012) en la segunda sección encontró *Glycaspis brimblecombei* Moore en *E. camaldulensis*, por lo mismo, la mayoría de sus copas son pocas frondosas por la declinación ocasionada por el insecto chupador.

Guzmán-Díaz (2011) llevó a cabo un censo registrando un total de 3758 árboles, conformado por 30 especies. La etapa de desarrollo más frecuente fue la adulta con un 84%; de los micromicetos se reportaron 14 especies incluidas en 9 géneros y 7 familias, de los cuales 10 especies fueron patógenos obligados y 4 saprobios facultativos; el género *Fusarium* sp. el más relevante reportado en: *Cupressus lusitanica*, *Pinus radiata* var. *binata*, *Erythrina coralloides*, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh y *Prunus persica*. De igual forma, en la investigación realizada el BChp de la Tercera Sección se obtuvo a *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh como la especie más abundante, y patógeno *Fusarium* sp en *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh.

Pildain y Errasti (2011) mencionan que los hongos son los principales agentes causantes de enfermedades forestales pudiendo atacar diferentes partes de las plantas afectando su funcionamiento en varias formas, por ejemplo, aquellos hongos que causan defoliación provocan una disminución en la tasa fotosintética; los causantes de canchales debilitan el tronco o reducen el transporte desde y hacia las raíces; los pudridores de raíz incrementan el riesgo a la caída por viento reduciendo la absorción de agua y minerales. Por ello, la importancia de saber el comportamiento del patógeno, la interacción con el huésped y ambiente.

Zaragoza-Hernández *et al.* (2015) afirman que el principal problema identificado en los tres lugares del parque de la Alameda es el vandalismo. Tanto en la Alameda norte como en la Alameda sur se registró un número elevado de árboles muertos en pie. Las actividades antropogénicas y el escaso mantenimiento se relacionaron con las afectaciones detectadas más importantes, independientemente de la diversidad de especies. Los valores altos de Índice de Severidad de Daño (ISD) se observaron en árboles invadidos por muérdago, mientras que los más bajos, en árboles con señales de vandalismo. Sin embargo, en este trabajo se encontró daños de vandalismo dado que la Tercera Sección es un parque abandonado por las autoridades de lugar, y los árboles muertos en pie son el hábitat de las diferentes aves que se encuentran.

Los daños producidos por el vandalismo (las heridas en los fustes) funcionan como entradas para agentes patógenos como hongos, o para insectos barrenadores, chupadores y es frecuente en áreas verdes urbanas (Martínez, 2008). Los daños de vandalismo que se encontraron fueron grafitis, machetazos, clavos, rallones, descortezados, etc.

La vulnerabilidad en árboles urbanos se relaciona con las condiciones de sitio en que sobreviven: estrés crónico, escasa fertilización, baja disponibilidad de agua, vandalismo y contaminación (Sandoval y Gutiérrez, 2006; García, 2008; Martínez, 2008; Alvarado, 2012). Esto confirma la generalización de un problema de salud forestal que hace que el control de dichos factores abióticos sea prioritario en los programas de manejo en las delegaciones de la CMDX, debido que en la mayoría de los parques son terrenos compactados.

## CONCLUSIONES

La información recopilada constituye un registro de los agentes que afectan al arbolado urbano de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, con ello se puede determinar que la condición fitosanitaria en que se encuentra el arbolado de la zona de estudio es mala, debido a que el bosque es decadente, ya que se encuentra más insectos fitófagos que dañan la estructura vegetativa del mismo. Dentro de los principales daños que se encontraron son: ataque de insectos fitófagos y micromicetos, sin embargo, el daño mecánico, falta de mantenimiento, alto porcentaje de arbolado,

erosión causada por los visitantes, daños por factores bióticos, abióticos y falta de riego son un problema que necesita atención.

Las especies más dañadas por agentes abióticos y bióticos fueron: *Eucalyptus camaldulensis* Denhnh, *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh y *Buddleja cordata* H. B. K. Las principales plagas que se encontraron en el arbolado son: *Glycaspis brimblecombei* Moore, plantas parásitas (*Cladocolea loniceroides*) y *Tropidosteptes Chapingoensis* Carvalho.

### AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), CENID-COMEF, de la Ciudad de México, por haber permitido que el trabajo se realizara en la institución.

### LITERATURA CITADA

- Ainsworth. S., S. 1973. The fungi Taxonomic Review with keys: Basidiomycetes an lower fungi. Vol. IVB. Academic Prees. E.U.A. 504 p.
- Alanís-Flores, G. J., R. Foroughbakhch-Pournavab, M. A. Alvarado-Vázquez y A. Rocha-Estrada. 2004. Árboles ornamentales del Área Metropolitana de Monterrey (AMM). *Revista Arborea*. 6 (11): 23-26.
- Alvarado R., D. 2012. Enfermedades de actualidad en los bosques y arbolado urbano de la Ciudad de México. *In:de Bauer, M. L. I. (comp.). Deforestación, desertificación y reforestación. Comité de Acción para Saneamiento del Ambiente (CASA). México, D. F., México. pp. 55-74.*
- Alvarado V., M. A., A. Rocha E., M. A. Guzmán L., R. Foroughbakhch P y T. E. Torres C. 2004. Plantas nativas en Nuevo León con potencial ornamental y de reforestación en Monterrey, NL. *In: Foroughbakhch, R., M., A. Alvarado, V. Vázquez, T. E. Torres. C. y J. S. Marroquín de la F. (eds). Tópicos Selectos de Botánica 1. Etnobotánica, sistemática, fisiología y plantas en ambientes urbanos. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, NL. México. 245 p*
- Barnett, H. and B. Hunter. 1972. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 3 ed. Estados Unidos: Burgess Publishing Company. 241 p.
- Bautista M., N. 2006. *Insectos plaga una guía ilustrada para su identificación*. Colegio de Posgraduados. Bayer Cropscience. 343 p.
- Benavides M., H. M. 1989. Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. *In: memoria del congreso forestal mexicano. Tomo II. Toluca, Edo. de México. 19 al 22 de julio de 1989. Gobierno del Estado de México y academia de ciencias forestales, A. C. Estado de México, México. Pp 966-992.*
- Benavides M., H. M. 2015. Metodología para el diagnóstico de áreas verdes urbanas e inventarios de su arbolado. Libro técnico No. 8. CENID-COMEF, INIFAP. México, D.F., México. 114 p.
- Benavides M., H.M. y D. Y. Fernández G. 2012. Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosque*. 18(2). 21 p.
- Carreiro M., M., Y. C. Song and J. Wu. 2008. *Ecology, planning and management of urban forests. International perspectives*. Springer Publishers. New York, NY. USA. 468 p.
- Chacalo H., A. y L. Arriaga R. 2011. Inventario del arbolado de la UAM Azcapotzalco. *Aleph Suplemento Ambiental* 15(4): 2.
- Chacalo H., A. y V. Corona N. E. 2009. *Árboles y arbustos para ciudades*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. México, D. F., México. 600 p.

- Cibrián T. D., D. Alvarado R. y S. E. García D. 2007. Enfermedades forestales en México/Forest Diseases in México. Universidad Autónoma Chapingo; CONAFOR-SEMANRNAT, México; forest Service USDA, EUA; NRCAN Forest Service, Canadá y Comisión Forestal de América del Norte, COFAN, FAO. Chapingo, México. 587 p.
- Cibrián T. D., T. J. Méndez M., R. Campos B., Y Harry O. y J. Flores L. 1995. Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. 450 p.
- Domsch, K., W. Gams and T. Anderson. 1980. Compendium of soil fungi. USA, Academic Press. v. 1, 859 p.
- Ellis, M. B. 1971. *Acrogenospora sphaerocephala* (Berk. Y *Broome*) dematiaceous hyphomycetes: 114 p.
- Elmqvist, T., Setälä, H., S. N. Handel., S. van der Ploeg., J. Aronson., J. N. Blignaut., E. Gomez B., D. Nowak., J. Kronenber and de R. Groot. 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:101-108.
- García O., M. N. 2008. Evaluación de la infección por muérdago en el arbolado de Av. Reforma, D. F. ArbolAMA No. 2.
- Guzmán-Díaz, L. 2011. Diagnóstico fitosanitario del arbolado del parque Tezozómoc, Azcapotzalco. D.F. Tesis profesional. UNAM-fesiztacala. Edo. de México. 175 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Dirección del Bosque de Chapultepec. INIFAP-DBCh. 2009. Informe final del proyecto. Diagnóstico y caracterización de la 2ª sección e inventario total de su arbolado. Informe de uso Interno. s/p.
- Koeser, A., R. Hauer., K. Norris and R. Krouse. 2013. Factors influencing longterm street tree survival in Milwaukee, WI, USA. *Urban Forestry and Urban Greening*.
- López L., S. S., y H. M. Benavides M. 2014. Ensayo de seis especies arbóreas para la reforestación de la Segunda. Sección del Bosque de Chapultepec. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 5(21): 24-39.
- Martínez G., L. 2008. Árboles y áreas verdes urbanas. Fundación Xochitla. México, D. F., México. 549 p.
- Méndez M., T. J., S. García S., B. Don Juan M., y L. Ángel A. 2008. Diagnóstico fitosanitario en plantaciones forestales comerciales en las Choapas, Veracruz y Huimanguillo, Tabasco. Comisión Nacional Forestal, Universidad Autónoma Chapingo.
- Pérez, S. y I. López. 2015. Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. xv, núm. 47, 1-32.
- Peterson, A. 1973. Larvae of insects an introduction to Nearctic species. Part 1. Lepidoptera and a Plant Infesting Hymenoptera. Columbus, Ohi. United States of America.
- Pildain, M. y A. Errasti, 2011. Hongos patógenos de Pinos en la Patagonia y su asociación con plagas entomológicas.
- Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT). 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. México, D. F., México. 260 p.
- Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT). 2011. Diagnóstico fitosanitario del arbolado de Alameda Oriente. Gobierno del Distrito Federal. México, D. F., México. 31 p.
- PUEC-UNAM. 2002. Programa de universidad de estudios sobre la ciudad. Universidad Autónoma de México (UNAM). 5 p.
- Rodríguez S., L. M. y E. J. Cohen F. 2003. Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la ciudad de México. Remuceac. México D.F. 451 p.

- Román G., L. M., C. Orantes G., C.C. del Carpo P., M. S. Sánchez C., M. L. Ballinas A. y O. Farrera S. 2019. Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera y Bosque* 25(1): 1-13.
- Sandoval C., L. y M. V. Gutiérrez G. 2006. Plantas parásitas del arbolado urbano. *Arborea* 8(18-19): 23-32
- Santacruz G., N. 2008. Situación del arbolado del Parque Nacional Xicohtécatl, Tlaxcala, México. *Revista Forestal Latinoamericana* 23(1): 69-89
- Suárez A., S. y E. F. Robles Q. 2008. Dasonomía Urbana del Municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca. *Observatorio de la economía Latinoamericana*. 97 p.
- Triplehorn, C. A. and F. Johnson, N. 2005. *Borror and DeLong's Introduction to the Study of insects*. 7th edition. United States of America.
- Unruh, M. C. & P. Gullan, J. 2008. Identification guide to species in the scale insect tribe Iceryni (Coccoidea: Monophlebidae). *Zootaxa* 1803:1-106 p.
- Velasco, B. E., E. N Cortes, B., A. Gonzales H., F. Moreno S. y H. M. Benavides M. 2013. Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan Aragón. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. 10 p.
- Zaragoza-Hernández, A. Y., V. M. Cetina-Alcalá, M. A. López-López, A. Chacalo-Hilú, M. L. Isla-Bauer, D. Alvarado-Rosales y H. Gonzales-Rosas. 2015. Identificación de daños en el arbolado de tres parques del Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6 (32): 63-82.