

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 30 NÚM. 98 112 p. MÉXICO, D. F. JUL-DIC 2005

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN

CONTENIDO

Pág.

EDITORIAL

3

COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA
GENERAR INFORMACIÓN CLIMÁTICA EN ANÁLISIS DE APTITUD
DEL TERRENO

9

Antonio González Hernández, Gustavo M. Cruz Bello,
Francisco Moreno Sánchez y Efraín Velasco BautistaCOMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CUATRO ESPECIES
DEL GÉNERO *Quercus*

25

Roberto Bautista Hernández y José Amador Honorato Salazar

CARACTERIZACIÓN Y DINÁMICA DE LA ESTRUCTURA DIAMÉTRICA
DE UN BOSQUE TROPICAL SECUNDARIO EN CAMPECHE, MÉXICO

51

Jorge Luis López Torres y Juan Carlos Tamarit Urias

EVALUACION BIOLÓGICA E IDENTIFICACIÓN DE DOS PRINCIPIOS
ACTIVOS DE EXTRACTOS DE ORÉGANO (*Lippia berlandieri* Schauer)

73

Blanca Estela Serrato Barajas, José Cirilo Calderón Mugica,
Rafael Salgado-Garciglia y Carlos Leonardo Céspedes AcuñaÁREAS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus*
undatus (Haw.) Britt. & Rose) EN EL SUR DEL ESTADO DE MÉXICO

87

Erasto Domingo Sotelo Ruiz, Ceferino Ortiz Trejo
y Matilde I. Rizo ArellanoACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA *CIENCIA*
FORESTAL EN MÉXICO

99

CONSEJO ARBITRAL

103

CONSEJO EDITORIAL

107

COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS PARA GENERAR INFORMACIÓN CLIMÁTICA EN ANÁLISIS DE APTITUD DEL TERRENO

Antonio González Hernández¹, Gustavo M. Cruz Bello¹,
Francisco Moreno Sánchez¹ y Efraín Velasco Bautista¹

RESUMEN

Durante los últimos años, en México se han aplicado varios métodos para determinar el potencial agrícola o forestal de una región con base en las condiciones climáticas. Sin embargo, a éstos no se les han realizado los ajustes necesarios para hacerlos más precisos a efecto de ubicar zonas aptas para diferentes especies. En el presente estudio dichos territorios fueron delimitados para tres especies forestales: *Pinus leiophylla*, *Pinus greggii* y *Pinus ayacahuite*, en la Cuenca Alta del Río Balsas modificando el método de zonificación más usado; así, se calculó la probabilidad al 80% para la temperatura y la precipitación pluvial por medio de una distribución normal y una distribución acumulativa. Las áreas con potencial productivo identificadas con cada una de ellas fueron comparadas contra las generadas con los valores promedio de ambas variables. Los resultados indican diferencias significativas entre las áreas delimitadas mediante los datos probabilísticos comparados con las derivadas de los datos promedio. Con la distribución normal se pudieron definir las zonas menos aptas para los tres pinos. La superficie forestal se ha reducido en 90%, aproximadamente, al considerar la aptitud potencial que tiene la cuenca para *P. leiophylla*, respecto a la obtenida con el uso de suelo del 2002.

Palabras clave: Aptitud, *Pinus ayacahuite*, *Pinus greggii*, *Pinus leiophylla*, probabilidad acumulativa, probabilidad normal.

Fecha de recepción: 12 de julio de 2005.

Fecha de aceptación: 07 de marzo de 2006.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (GENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: gonzalez.antonio@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Several methods have been applied to determine the agrological and forest potential of a region based on the climatic conditions in the last years in Mexico. However, those methods have not been modified to make them more precise to locate suitable areas for different species. In the present study suitable areas were delimited for three forest species *Pinus leiophylla*, *Pinus greggii* and *Pinus ayacahuite* in the High Balsas Watershed, by modifying the method used more frequently for zone location, by calculating the probability at 80% for temperature and precipitation, through a normal distribution and an accumulative distribution. The suitable zones obtained with each distribution were compared with those resulting from the average values of both variables. Significant differences were found between them; with the normal distribution the smaller suitable areas for the three pine species were obtained. The forest area has been around 90% approximately if the suitability potential that the watershed has for *P. leiophylla* is considered compared with the land use of 2002.

Key words: Aptitude, *Pinus ayacahuite*, *Pinus greggii*, *Pinus leiophylla*, cumulative probability, normal probability.

INTRODUCCIÓN

El manejo sostenible de los recursos naturales requiere de políticas y una planificación basada en el conocimiento de su demanda y usos, así como de las interacciones entre ellos. En ella, los estudios de zonificación permiten separar áreas homogéneas con similares aptitudes y limitaciones para llevar a cabo acciones de acuerdo a sus características climáticas, edafológicas y de manejo, entre otras.

En este contexto, "aptitud" se refiere a la capacidad del territorio para el desempeño de una actividad, por ejemplo la agricultura de regadío, agricultura de secano, pastoreo de ganado, silvicultura, recreo o desarrollo humano; o un uso de la tierra más específico como la producción de arroz en regadío o de madera de *Acacia* sp. Para cada tipo de uso se evalúa y se clasifica separadamente la idoneidad del terreno (Urbano y Rojo, 1992).

La relevancia de los análisis de aptitud radica en que para practicar una silvicultura o agricultura menos vulnerable, es necesario producir en los lugares que satisfagan los requerimientos agroecológicos de los cultivos, ya que cultivar una especie fuera de su ámbito natural, incrementa los costos y la demanda de tecnología, reduce el rendimiento y la calidad del producto. Por lo tanto, conocer las condiciones ambientales en las zonas de producción y delimitar el espacio geográfico de los cultivos permitirá ubicar con precisión los sitios con mayor

potencial de producción para los taxa vegetales de importancia agrícola, pecuaria y forestal (Meza y Reygadas, 2001).

Existen diversas formas de regionalización del terreno para alcanzar un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. En los últimos años se han aplicado y adaptado diferentes métodos en México, para determinar el potencial agroclimático de una región, si bien la mayoría de ellos se basa en el propuesto por FAO (1981) y se han ejecutado a nivel nacional, estatal, regional o inclusive municipal.

Se sabe que las condiciones de temperatura, precipitación y algunos atributos del suelo son los elementos fundamentales que rigen la distribución espacial de las plantas y que en las zonas áridas y semiáridas, la disponibilidad del agua es el factor más importante que controla la supervivencia de las plantas y su producción. Así, el uso potencial se puede considerar como la aptitud o capacidad del terreno determinado por las características climáticas, topográficas y edáficas; relacionado a esta capacidad de uso de la tierra; y desde el punto de vista agronómico de las especies, se diagnostica el potencial productivo, que se refiere a la producción total de materia seca o rendimiento que un cultivo puede expresar en condiciones óptimas de clima, suelo y sanidad bajo términos económicos de sustentabilidad del suelo (Lozano, 1996).

La delimitación de áreas potenciales con base en la temperatura u otra variable relacionada como la altitud es más sencilla que con la precipitación. La zonificación se puede hacer más completa si se estiman las probabilidades de temperatura extremas para las etapas en que las especies son más sensibles a este factor. La ubicación de zonas aptas por precipitación es más complicada que la correspondiente a la temperatura, debido al carácter aleatorio de la distribución de la lluvia en tiempo y espacio (Ortiz y Ruiz, 1987).

El conocimiento de la cantidad de precipitación diaria, mensual y anual en un lugar en particular, conlleva a la planificación y programación de forma adecuada cualquier actividad agrícola, pecuaria o forestal que se pretenda realizar (Castro y Arteaga, 1993).

La estimación de probabilidades de precipitación permite determinar la lluvia esperada a largo plazo; sin embargo, no existe un método conveniente para establecer la variación espacial de la precipitación, para lo cual es esencial la densidad y ubicación de las estaciones meteorológicas. En general, a menor precipitación media anual, mayor variación en la distribución espacial de la lluvia, lo que no significa que una zona con mayor precipitación tenga una mejor distribución espacial (Ortiz y Ruiz, 1987).

A través del cálculo de probabilidades de lluvia y temperatura es posible fijar y optimizar actividades como: fechas de siembra y cosecha, duración del período

húmedo, selección de especies tolerantes a sequía, prácticas de captación de agua de lluvia, dosis y fechas de aplicación de fertilizante, entre otras (Villalpando, 1985).

Con frecuencia los porcentajes de probabilidad que se adopten dependen de consideraciones económicas, es decir se acepta que una especie fracase uno de cada cinco años ó uno de cada diez años dependiendo de su rentabilidad. Las consecuencias de estos análisis son evidentes en las prácticas de manejo, una vez que se conoce la demanda mínima de lluvia de una especie, se pueden evaluar rápidamente los riesgos de establecerla en una región (Ortiz, 1987).

Resulta impreciso relacionar los valores medios anuales, mensuales y decenales de la precipitación con los requerimientos hídricos de cierta especie. Una mejor forma de utilizar la precipitación es en términos de probabilidad con fines de predicción a largo plazo, a fin de estimar la frecuencia de ocurrencia de un valor específico. Con este análisis se evalúan los riesgos de introducir cierta planta en una región (Rivera, 2003).

Sin embargo, en México existen pocos estudios de zonificación para el área forestal donde se empleen datos probabilísticos para precipitación y temperatura, por lo que el presente estudio tuvo como objetivo comparar las zonificaciones para tres especies de pinos utilizando datos de precipitación y temperatura generados con diferentes distribuciones probabilísticas, contra datos promedio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Cuenca Alta de Río Balsas, situada en los estados de Puebla y Tlaxcala dentro de la región administrativa IV Balsas y constituye una de las subregiones hidrológicas en que está dividida la región hidrológica 18 de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2004). Se ubica entre los 18° 52' 12" y 19° 31' 12" de latitud norte y los 98° 43' 12" y 98° 01' 48" de longitud oeste, con un área de 243 468 ha y un perímetro de 375.40 km (Figura 1).

La cuenca forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, litológicamente constituida por rocas volcánicas de los períodos Terciario y Cuaternario. La morfología del paisaje se caracteriza por la presencia de diferentes tipos de estructuras volcánicas, que por ser relativamente jóvenes están bien conservadas.

Con base en la clasificación de Köppen modificada por García (1973), los climas que predominan en el lugar son: C(w₂), templado subhúmedo con lluvias de verano de 5 al 10.2% anual; C(w₁), templado subhúmedo con lluvias de verano de 5 al 10.2% anual; Cb'(w₂), templado semifrío con verano fresco largo subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2% anual; E(T)Chw, frío con lluvias de verano en las intermediciones de los volcanes Iztaccihuatl y La Malinche.

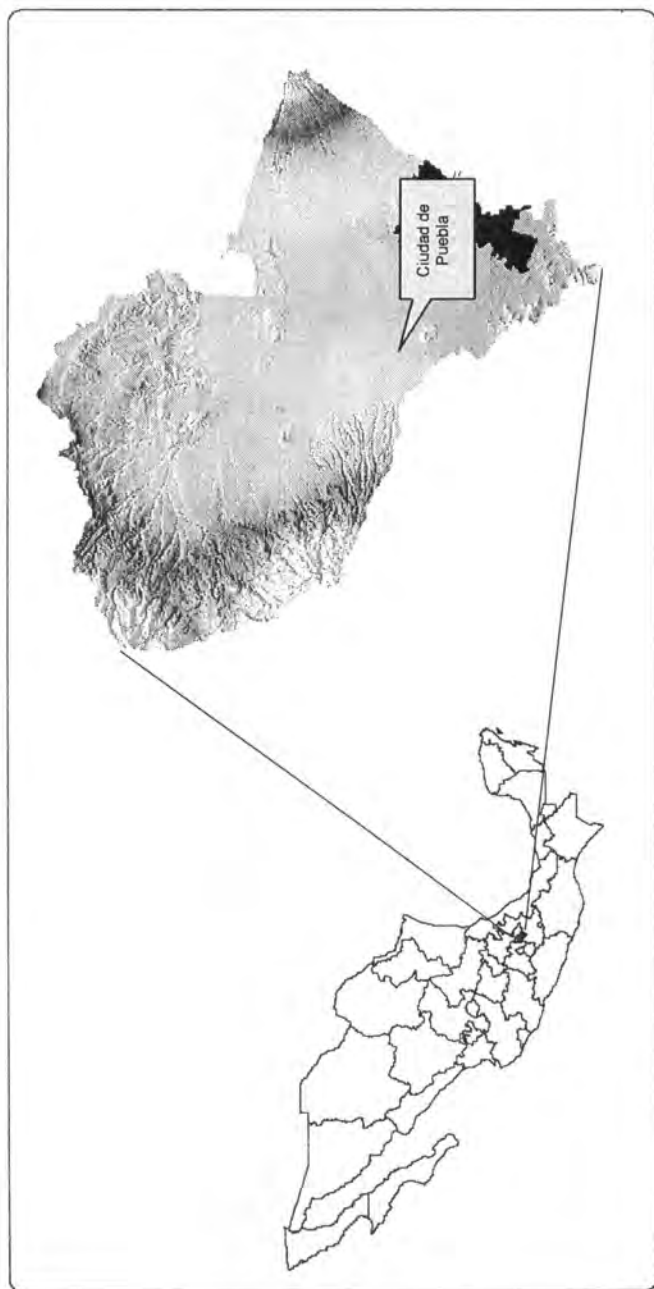


Figura 1. Área de estudio correspondiente a la Cuenca Alta del Río Balsas.

El límite de la cuenca se derivó a partir del modelo de elevación digital y el programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool; DiLuzio *et al.*, 2002). Para la región se consideraron las exigencias ambientales de dos pinos de distribución local (*Pinus leiophylla* Schiede & Deppe y *P. ayacahuite* Ehrenberg & Schlttdl.) y otro introducido (*P. greggii* Engelm.) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Requerimientos por especie de los pinos estudiados.

Variable	<i>Pinus leiophylla</i>	<i>Pinus ayacahuite</i>	<i>Pinus greggii</i>
Precipitación total anual (mm)	600-1500	700-1000	700-1000
Temperatura media anual (°C)	10-17	12-16	13-18
Altitud (msnm)	2000-3000	2500-3000	2200-2600
Suelo	Delgado	Delgado	Delgado

El estudio consistió en comparar la zonificación para dichas especies forestales, con base en sus requerimientos climáticos y edáficos, estimando las variables de precipitación y temperatura mediante:

- a) El promedio de los datos
- b) La probabilidad al 80% para un valor \geq por medio de la distribución acumulativa, a partir de la fórmula para datos ordenados (Ortiz, 1987):

$$F = \frac{N}{n + 1}$$

Donde:

N = número de orden en la serie ordenada

n = número de años

F = probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia mayor o igual a un valor establecido.

- c) La probabilidad al 80% para un valor \geq con la distribución normal, de acuerdo a la función:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma \cdot 2\pi} e^{-1/2(X-\bar{X})^2/\sigma^2}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

\bar{X} = Media

e = Base de los logaritmos neperianos

π = 3.1416

Para el inventario climático se seleccionaron 35 estaciones meteorológicas en la zona de influencia de la cuenca, con más de 20 años de datos regulares. Con los datos de las estaciones meteorológicas se generaron capas continuas de temperatura media anual y precipitación total anual; se aplicó el método de interpolación Inverso de la Distancia al cuadrado (IDW2) con el apoyo de seis estaciones cercanas mediante el programa de ARC/INFO 8.3, debido a que es el de tiene menor error en la interpolación de este tipo de variables.

Además, se creó un inventario edáfico mediante la digitalización en el programa ARC/INFO versión 4.1 de 11 cartas edafológicas 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de los años 1982 y 1983. En la parte sur de la cuenca, donde no existió información a esta escala, se utilizó una carta 1:250,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática correspondiente a 1983. La información incluida fue: unidad de suelo, textura, fases químicas y físicas.

Otras variables consideradas en la determinación de zonas aptas, fueron la altitud, tomada directamente del modelo de elevación digital (MED), del INEGI con un píxel de 50 x 50 m y la pendiente derivada del MED.

Una vez realizados los inventarios climáticos y edáficos, se procedió a delimitar las áreas Muy Aptas (MA). Esto se llevó a cabo por medio de sobreposición de los mapas de aptitud del clima con los mapas de aptitud del suelo de acuerdo a los requerimientos de cada especie (Cuadro 1) mediante los sistemas de información geográfica ARCGIS 8.3 y ARCVIEW 3.2. Finalmente las áreas de aptitud de cada una de las especies evaluadas se superpusieron con la carta del

uso de suelo del 2002 (López, 2005), generada en un estudio simultáneo para evitar recomendar alguna especie en un territorio que tenga otro uso.

Con la finalidad de conocer si existían diferencias entre las áreas aptas de cada especie de pino por tipo de distribución se hizo un análisis de varianza y una prueba de medias por Tukey, en el que se tomaron las distribuciones como tratamientos y la superficie de cada especie como repetición.

Se realizó una comparación para *P. leiophylla* entre el área potencial para su establecimiento y el uso del 2002, con la finalidad de determinar cuanta área forestal se ha perdido por cambio de uso.

RESULTADOS

Las superficies aptas para las tres especies de pino se ubicaron principalmente en las faldas de los volcanes (Popocatepetl, Ixtaccihualtl y La Malinche) y, de acuerdo al análisis de varianza, siempre fueron significativamente mayores (al 5%) cuando se utilizaron valores promedio de temperatura y precipitación (cuadros 2 y 3); lo que indica que el área apta varía cuando se calculan la temperatura y la precipitación mediante distribuciones probabilísticas y datos promedio, sobreestimándose con esta última debido a que los datos promedio anuales no reflejan los cambios que se presentan a través de los años, o durante el ciclo de vida de un taxón.

Los resultados de la prueba de medias por Tukey para las áreas de alta aptitud fueron estadísticamente iguales para las dos distribuciones usadas, pero diferentes a los valores obtenidos con la media, en las variables de temperatura y precipitación (Cuadro 4).

En general, los datos de precipitación estimados a una probabilidad del 80% con las distribuciones tuvieron valores más bajos que redujeron las áreas al regionalizar. Algo similar ocurrió con la temperatura al utilizar las distribuciones, lo que hace más restrictiva la zonificación; como ejemplo se muestra *P. ayacahuite* (Figuras 2, 3 y 4).

Los resultados de zonas aptas para las variables calculadas por probabilidad al 80%, mediante la distribución normal siempre estuvieron por abajo de las estimadas con la distribución acumulativa. Sin embargo, para *P. leiophylla* la superficie muy apta determinada con la distribución acumulativa fue solamente superior en 20 ha, que representó menos de 0.1%, lo cual hace posible inferir que no importa la distribución que se use, la zonificación de *P. leiophylla* es muy similar; una posible explicación para dicho comportamiento es el amplio rango en los requerimientos ambientales de esta especie (Cuadro 1).

Cuadro 2. Superficies muy aptas para las especies forestales evaluadas.

Distribución	<i>Pinus leiophylla</i>		<i>Pinus greggii</i>		<i>Pinus ayacahuite</i>	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Promedio	4,028	1.7	6,371	2.6	6,891	2.8
Acumulativa	3,543	1.5	1,891	0.8	1,378	0.6
Normal	3,523	1.4	1,684	0.7	825	0.3

Cuadro 3. Análisis de varianza entre datos promedio y distribuciones.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio total	Cuadrado medio del error	Probabilidad F.	R ²
Modelo	2	26,350,871.24	13,175,435.62	0.0256	0.70
Error	6	11,012,597.95	18,355,432.99		
Total	8	37,363,469.20			

Significancia: $\alpha = 0.05$.

Cuadro 4. Prueba de medias por método para obtener valores de precipitación y temperatura.

Método	Media	Grupo
Promedio	5,763	A
Distribución acumulativa	2,271	B
Distribución normal	2,011	B

Valores con la letra similar son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

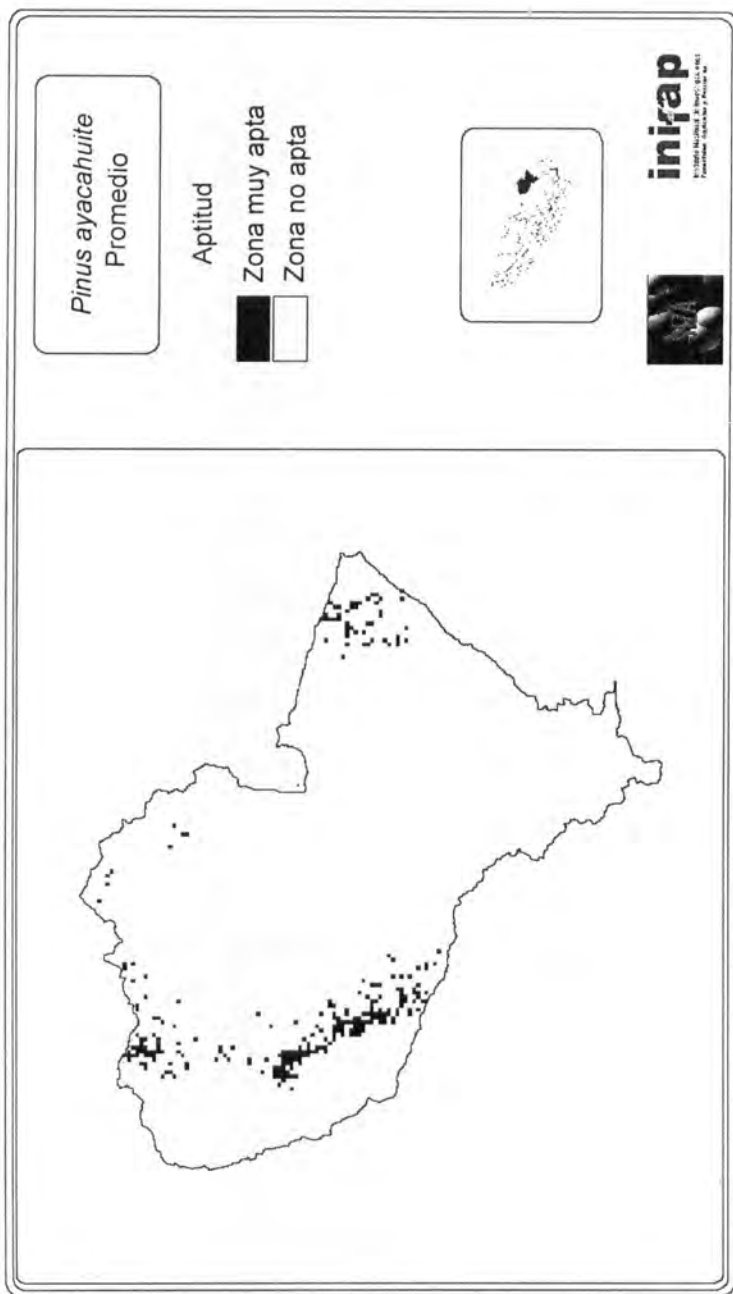


Figura 2. Zonas aptas para *Pinus ayacahuite* con datos promedio.

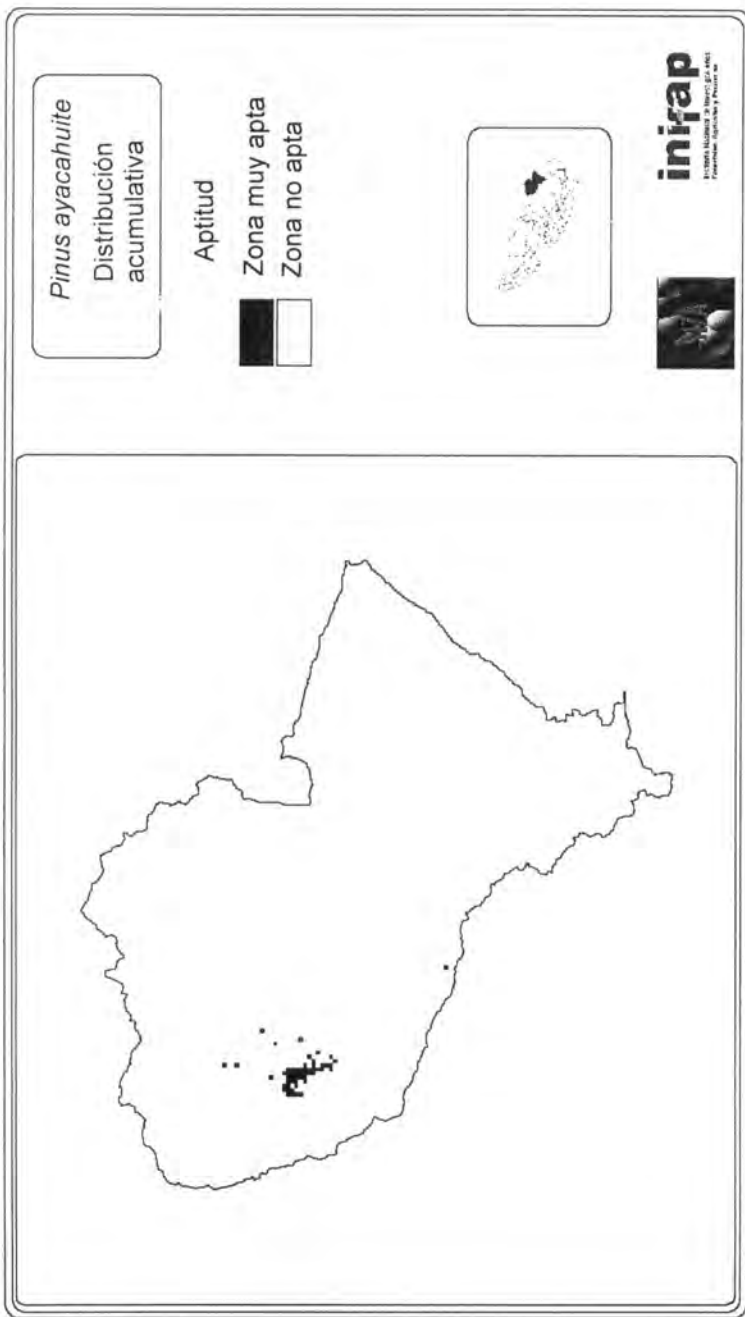


Figura 3. Zonas aptas para *Pinus ayacahuite* con distribución acumulativa.

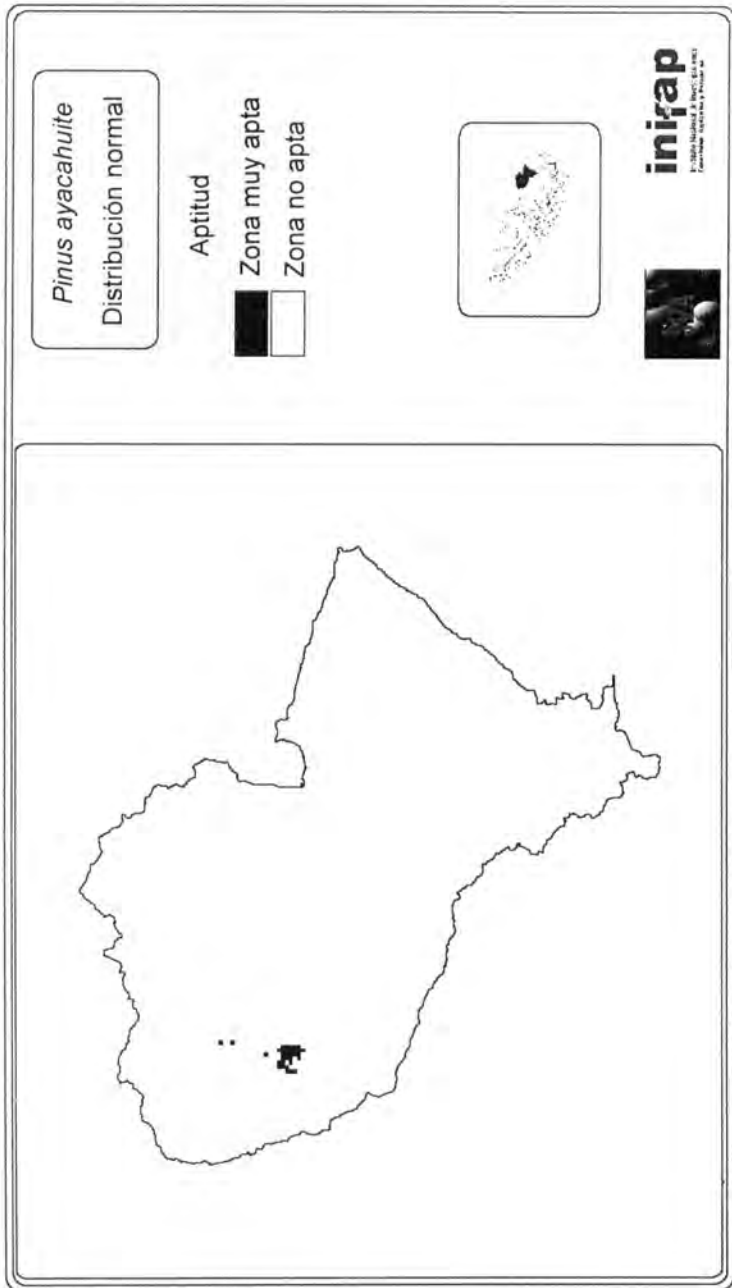


Figura 4. Zonas aptas para *Pinus ayacahuite* con distribución normal.

En *P. greggii* existió una diferencia de 207 ha entre ambas distribuciones, que equivale también a un 0.1% de la superficie de la cuenca; por ello, al igual que en *P. leiophylla*, parecería ser indistinto el tipo de distribución usado para definir la aptitud de las zonas para *P. greggii*.

En *P. ayacahuite* las diferencias fueron mucho más apreciables dependiendo del tipo de distribución utilizada; así con la acumulativa se obtuvieron 553 ha más de alta aptitud que con la normal, lo que corresponde a 0.3% de la superficie total de la cuenca.

Cuando se hizo la comparación de áreas aptas para la tres especies con referencia a las 67,283 ha con uso de suelo forestal (2002) se encontró que, con el promedio se estimó casi tres veces más área apta para los tres pinos en conjunto que al utilizar las distribuciones normal y acumulativa (Cuadro 5).

De *P. ayacahuite* se delimitaron 6,066 ha más de alta aptitud al usar los valores promedio que por medio de la distribución normal, lo que representó 88% de diferencia entre ambas formas de ubicar zonas aptas. Con la distribución acumulativa la diferencia fue de 5, 513 ha que fue equivalente a 80% del área obtenida con datos medios (Cuadro 5). Al comparar el área forestal de la cuenca, las diferencias entre los valores promedio y las distribuciones empírica y normal fueron de 8.2 y 9%, respectivamente.

Cuadro 5. Áreas aptas para tres especies de pino en la superficie forestal del 2002.

Distribución	<i>Pinus leiophylla</i>		<i>Pinus greggii</i>		<i>Pinus ayacahuite</i>	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Promedio	4,028.0	6.0	6,370.9	9.5	6,891.4	10.2
Acumulativa	3,542.7	5.3	1,890.6	2.8	1,378.3	2.0
Normal	3,523.3	5.2	1,683.8	2.5	825.0	1.2

En *P. greggii* se estimaron 4,687 hectáreas más de alta aptitud por medio de los valores promedio que con la distribución normal, lo que significó 73.6% de diferencia entre ambas. Con la distribución acumulativa la diferencia fue de 4,480 ha que constituye 70% del área obtenida con datos medios (Cuadro 5).

Las variaciones en porcentaje fueron de 6.7% para la distribución acumulativa y de 7% para la distribución normal al compararlas con el área apta para *P. greggii* cuando se hizo con base en la superficie del 2002.

En *P. leiophylla* las diferencias en áreas de aptitud definidas con las distribuciones acumulativa y normal *versus* los valores promedio nunca superaron las 500 ha que representan 15% del área y si se comparan los porcentajes de la superficie forestal del 2002, no superaron 1%. De lo anterior se infiere que para *P. leiophylla* los valores medio de la temperatura y precipitación pueden ser suficientes para determinar las áreas aptas de dicha especie por la aptitud de sus requerimientos.

Al hacer una comparación de especies en relación a la extensión total de la distribución natural de la cuenca, el *P. ayacahuite* ocupó la mayor superficie con 6,891 ha, que equivale a 2.8% de la misma. El segundo lugar lo ocupó *P. greggii* con 6,371 ha (2.6%), menor al anterior en 520 ha y en 0.2% entre ambas especies. Cabe aclarar que *P. greggii* no es una especie local, pero puede ser introducida para plantaciones forestales.

Finalmente, se contrastó el área potencial para *P. leiophylla*, con la que es posible establecer en la zona forestal del 2002. Resultó que la superficie actual ocupada por la especie con valores promedio, distribución normal y acumulativa constituyen aproximadamente 10% de la potencial, lo que indica una pérdida de uso potencial forestal de la cuenca.

Cuadro 6. Superficie potencial y del 2002 para *Pinus leiophylla*.

Distribución	Potencial		2002	
	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %
Promedio	45,317.95	18.6	4,027.98	1.6
Normal	36,630.96	15.0	3,542.69	1.5
Acumulativa	37,261.86	15.3	3,523.27	1.4

Si se confronta la superficie potencial y la del 2002 con el área total de la cuenca, las diferencias para los valores promedios es de 17%, para la distribución normal de 13.5% y por último la variación para la distribución acumulativa de 13.9%.

CONCLUSIONES

La precipitación y temperatura se estiman mejor mediante distribuciones para su uso posterior en la determinación de zonas aptas para las especies de pino estudiadas.

Al evaluar la aptitud de las especies forestales, se obtienen las mayores superficies cuando se incorporan los promedios anuales; las menores áreas fueron obtenidas con las probabilidades a 80% en las distribuciones normal y acumulativa.

De acuerdo con la evaluación, *Pinus leiophylla* presenta la mayor cobertura dentro de la cuenca, lo que representa 1.5%, en el caso de las distribución acumulativa.

La superficie forestal se ha reducido en 90% aproximadamente, si se considera la aptitud potencial que tiene la cuenca, con las consideraciones realizadas en este trabajo sobre la superficie del 2002.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Sistema Regional de Investigación Zaragoza-CONACYT (SIZA) con clave de proyecto: 20020803003C.

REFERENCIAS

- Castro Z., R y R. Arteaga R. 1993. Introducción a la meteorología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 275 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA).2004. Estadísticas del agua en México. Edición 2004. CNA. México.141 p.
- DiLuzio, M., R. Srinivasan and J. G. Arnold. 2002. Arcview Interface for SWAT2000 User's Guide. USDA, Agricultural Research Service. Temple, Texas. 345 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1981. Report on the agroecological zones project, Vol. 3. Methodology and results for South and Central America World Soil Resources Report 48/3. Rome, Italy. 132 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). UNAM. México, D. F. 246 p.
- López, F. 2005. Determinación del cambio de uso del suelo en la Cuenca Alta del Río Balsas, Región Puebla-Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 49 p.
- Lozano T., S. 1996. Simulación de uso potencial bajo modelos de interpolación espacial y temporal de variables de clima en sistemas de información geográfica. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. 191 p.

- Meza S., R. y D. D. Reygadas P. 2001. Áreas potenciales y tecnología de producción de cultivos en el Valle de Santo Domingo, B.C.S. Publicación Técnica No.1. SAGARPA-INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Todos Santos. La Paz, B.C.S. México. 133 p.
- Ortiz S., C. A. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa. 3ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 327 p.
- Ortiz, V. M. y J. Ruiz V. 1987. Climatología aplicada. Manual del curso de orientación para aspirantes a investigadores del INIFAP. INIFAP. SARH. Calera, Zacatecas, México. 256 p.
- Rivera, Z. J. 2003. Zonas con aptitud edafoclimática para el cultivo de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) e incidencia de la enfermedad sudamericana de la hoja en el estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 96 p.
- Urbano T., P. y C. Rojo H. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 870 p.
- Villalpando I., J. F. 1985. Metodología de investigación en agroclimatología. Manual del Curso de Orientación para aspirantes a investigadores del INIFAP. SARH. Zapopan, Jal. México. 183 p.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CUATRO ESPECIES DEL GÉNERO *Quercus*

Roberto Bautista Hernández¹ y José Amador Honorato Salazar²

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo para conocer la composición química de cuatro encinos: *Quercus coccolobifolia*, *Q. durifolia*, *Q. rugosa* y *Q. oleoides*. Muestras de albura, duramen y mezcla de albura-duramen se extrajeron de cada especie y se utilizaron para determinar los contenidos de celulosa, pentosanos, lignina, extractos de etanol-benceno, extractos de agua caliente, ceniza y taninos. También se obtuvo el porcentaje de taninos presentes en la corteza y el valor de su pH. En general, el contenido de celulosa fue de 46.18 a 52.94%; los pentosanos variaron de 19.08 a 20.61%; los datos de lignina estuvieron entre 20.40 y 23.35%. El contenido de extractivos fue de 1.02 a 4.83% para etanol benceno, en el caso de agua caliente de 4.35 a 9.07%; y para ceniza de 0.36 y 0.76%. Los taninos presentes en la madera fueron del orden de 0.29 a 2.16%, mientras que en la corteza de 5.48 a 7.18%. El pH medido por el método de agitación estuvo en un rango de 3.94 a 5.10, y por la técnica del agua caliente se registraron valores de 3.51 a 5.22. El análisis estadístico de varianza de los resultados mostró que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las especies y el tipo de muestra para los compuestos químicos y valores determinados. Cuando se agruparon los taxa en encinos rojos y encinos blancos, el contenido de extractos de agua caliente, los taninos de la madera y la corteza no tuvieron diferencia significativa entre tipos de encinos.

Palabras clave: Composición química, encinos, extractivos, *Quercus*, química de la madera, valores de pH.

Fecha de recepción: 02 de mayo de 2005.

Fecha de aceptación: 09 de marzo de 2006.

¹ Correo-e: rbautistah1@hotmail.com.

² Campo Experimental San Martinito, C.I.R. Centro, INIFAP.

ABSTRACT

This study was carried out to determine the chemical composition of four Mexican oak species: *Quercus coccolobifolia*, *Q. durifolia*, *Q. rugosa* and *Q. oleoides*. Samples of sapwood, heartwood and a mixture of sapwood-heartwood were taken from each species and used to determine contents of cellulose, pentosans, lignin, ethanol-benzene extract, hot water extract, ash and tannin. Bark tannin content was also determined for each species, as well as pH-value of wood. In general, the cellulose content was in the range of 46.18 to 52.94%. The amount of pentosans was from 19.08 to 20.61%. Lignin content was between 20.40 and 23.35%. Extractive content was between 1.02 and 4.83% for ethanol-benzene extract and from 4.35 to 9.07% for hot water extract. Ash content ranged from 0.36 to 0.76%. Tannin content was between 0.29 and 2.16% for wood, and from 5.48 to 7.18% for bark. The pH-value was between 3.94 and 5.10 for the stirring method and from 3.51 to 5.22 for the hot water method. Analysis of variance of the data showed a significant difference ($p < 0.05$) between species and sample type for the chemical components. When the species were divided into red and white oaks, contents of hot water extract, wood tannin and bark tannin did not show any significant difference between both groups.

Key words: Chemical compounds, oak, extractives, *Quercus*, wood chemistry, pH-value.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la composición química de la madera es fundamental para la aplicación de este material en diversos procesos industriales, entre ellos la producción de pulpa y papel, taninos y en el futuro la obtención de sustancias que actúen como preservadores naturales de maderas. Las industrias de empaque, tableros, fibras celulósicas y plásticos, dependen en gran medida de dicho conocimiento; lo mismo ocurre con la manufactura de productos de madera combinados con otros materiales, por ejemplo, los nanomateriales (Turng *et al.*, 2003).

La composición química de la madera de las especies varía en función de la parte del árbol, del tipo de madera, de la localización geográfica, y de la calidad del sitio (Pettersen, 1984; Koch, 1985), así como de la distribución heterogénea del tejido leñoso, resultado de su estructura anatómica, por lo que su respuesta química es distinta debido a las diferentes sustancias que la forman (Honorato, 2002).

Los análisis químicos realizados en diversas especies han ayudado a definir la existencia de tres compuestos principales que integran la pared celular del tejido leñoso: celulosa, hemicelulosas y lignina; aunque también se ha detectado un grupo de sustancias conocidas como extraíbles, que tienen una gran influencia en las propiedades físicas y en el procesamiento de la madera, además del material

inorgánico, conocido como cenizas (Fengel y Wegener, 1989; Pettersen, 1984, Saka, 1991).

La determinación de celulosa es importante porque constituye la materia prima para la producción de papel, fibras sintéticas, materiales de construcción y derivados de celulosa (Immergut, 1975; Coffey *et al.*, 1995). Adicionalmente, es una alternativa de nutrición para los organismos que destruyen a la madera (Kirk, 1973).

Los pentosanos de la madera son componentes de las hemicelulosas que mediante el proceso de hidrólisis producen xilosa y arabinosa. Estos compuestos contribuyen a la resistencia del papel, por lo que un alto contenido es deseable en las especies utilizadas para la fabricación de papel (Wise y Lauer, 1982). A nivel industrial, de los pentosanos se puede obtener xilitol y furfural, que se usan, respectivamente, como enducolorante y solvente selectivo en la extracción de aceites lubricantes en la petroquímica (Hajny, 1981). Así mismo, un bajo contenido de pentosanos en la madera favorece su resistencia a la degradación química (Kass *et al.*, 1970), aspecto importante para su empleo en la construcción de torres de enfriamiento.

Desde el punto de vista industrial, un alto contenido de lignina implica problemas en los procesos de pulpeo, lo que aumenta los costos y contaminantes en la producción de papel de alta calidad (Jung y Ni, 1998). La lignina proporciona una superficie hidrofóbica y es un obstáculo para el ataque de patógenos y muchos organismos degradadores de la madera (Önnerud *et al.*, 2002); es materia prima para adhesivos, cosméticos, productos agroquímicos, alimentos para ganado y polímeros sintéticos, entre otros (Lindberg *et al.*, 1989).

Las cenizas contienen los compuestos inorgánicos de la madera esenciales para el crecimiento de los árboles. Sus componentes principales son sales de calcio, magnesio, potasio y en menor grado, hierro; los aniones más importantes: carbonato, fosfato, silicato y en algunas especies oxalato (Fengel y Wegener, 1989). Cuando el contenido de silicatos es mayor a 0.5% pueden causar problemas durante el procesamiento de la madera porque provocan el rápido desafilado de las herramientas de corte (Farmer, 1967; Krilov, 1980).

Conocer la cantidad de taninos presentes en los encinos es importante porque además de ser los responsables de la coloración y resistencia al ataque de hongos e insectos de la madera de duramen (Hart y Hillis, 1972; Haluk *et al.*, 1991), son utilizados en la industria de la curtiduría y para la fabricación de adhesivos (Rowe y Conner, 1979; Pizzi, 1994). Los taninos hidrolizables del duramen de los encinos blancos son los más empleados para el añejamiento de vinos, licores y cervezas (Mosedale, 1995).

La determinación del pH de la madera es fundamental para su uso efectivo y exitoso, principalmente, durante los procesos en donde los adhesivos y

barnices son sensibles a la acidez o alcalinidad. Los conectores metálicos en construcciones con madera son afectados por el pH (Fengel y Wegener, 1989; Medved y Resnik, 2004).

De acuerdo con trabajos realizados en Estados Unidos, Gran Bretaña, Japón y Rusia (Farmer, 1967; Kollmann y Côté, 1968; Kass *et al.*, 1970; Jones, 1978; Fengel y Wegener, 1989; Pettersen, 1984) la madera de encino tiene contenidos de celulosa entre 31 y 50%, hemicelulosas de 25 y 35%, pentosanos de 17 y 24% y lignina de 18 y 29%. Los extractivos van de 1.0 a 13.2%, mientras que la cantidad de cenizas de 0.1 a 1.4%. Para la corteza de los encinos americanos, el contenido de taninos fluctúa de 4 a 16% (Kollmann y Côté, 1968; Rowe y Conner, 1979; Ochoa y Ramírez, 1995).

En México, este tipo de investigaciones es limitado en especial para los encinos, a pesar de ser uno de los géneros maderables más importante por su diversidad, la superficie que ocupa y su amplia distribución (Rzedowski, 1978; Zavala, 1995). Los resultados obtenidos comprenden desde aspectos generales, como la determinación del pH hasta la caracterización de algunos compuestos químicos de su madera y de su corteza (Honorato y Hernández, 1998; Honorato, 2002).

Al respecto, los estudios de *Quercus affinis* Scheidw., *Q. candicans* Née, *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl., *Q. glabrescens* Benth., *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. mexicana* Humb. et Bonpl., *Q. obtusata* Humb. et Bonpl., y *Q. resinosa* Liebm., indican que la cantidad de celulosa presente en su madera varía de 53 a 56%, los pentosanos de 18 a 22%, la lignina Klason de 15 a 22%, los extractivos en etanol-benceno de 3 a 5%, los extractivos en agua caliente de 4 a 6% y las cenizas de 0.23 a 1.2%. El contenido de taninos registrado es de 0.1 a 3.5% para la madera y de 3.2 a 10.4% para la corteza (Sandoval, 1979; Villalvazo y Faix, 1981; Honorato y Hernández, 1998; Rutiaga *et al.*, 2000).

El análisis químico de *Quercus candicans*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* y *Q. resinosa* (Villalvazo y Faix, 1981; Villalvazo *et al.*, 1981) ha mostrado que las hemicelulosas están compuestas en 27% por el polímero de O-acetil, 4-O-metilglucouronoxilana y que la lignina tiene, principalmente, grupos metoxilo (-OCH₃) (20.9%), seguido de los grupos hidroxilo (-OH) (12.6%) que están representados por los grupos -OH alifáticos.

El valor promedio del pH de la madera de encinos americanos y europeos oscila de 3.3 a 3.9; en los encinos japoneses fluctúa de 4.0 a 4.7 (Farmer, 1967), mientras que para la madera de duramen de las especies mexicanas *Quercus anglohondurensis* Ch Mull. y *Q. skinneri* Benth. se han citado datos de 3.93 y 4.3 y un contenido de cenizas de 0.31 y 0.45%, respectivamente (Torelli y Čufar, 1995 a y b).

Los contenidos de extractivos, material inorgánico y taninos es son muy superiores en la corteza que en la madera de *Quercus candicans*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* y *Q. resinosa* (Sandoval, 1979) y algunas veces ligeramente mayores en las ramas que en la madera a 1.30 m de altura. Un factor que puede generar diferencias en los resultados son los métodos analíticos empleados en la determinación. Los trabajos de análisis de los principales compuestos de las especies anteriores realizados por Delgado (1980) y Villalvazo y Faix (1981) muestran que el contenido promedio de celulosa difiere hasta en 21.03%, lo que refleja la necesidad de utilizar en el análisis de la madera métodos estandarizados.

Dado que las investigaciones químicas de los encinos del país son limitadas, el presente estudio se realizó con la finalidad de conocer cuantitativamente los componentes químicos de *Quercus coccolobifolia* Trel., *Q. durifolia* Seem, *Q. rugosa* Née y *Q. oleoides* Cham. et Schtdl. y con ello contribuir al mejor uso de su madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de *Quercus coccolobifolia*, *Q. durifolia* y *Q. rugosa* fueron recolectadas en el ejido Cieneguitas-San Bartolo predio El Potrero que se localiza en la parte norte del estado de Guanajuato. La identificación taxonómica se realizó en el Herbario Nacional Forestal "Biól. Luciano Vela Gálvez" (INIF) del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del INIFAP. El material de *Quercus oleoides* se recolectó en el municipio de Huatusco, Veracruz, en los predios del Centro Regional Universitario de Oriente ubicado en el km 6 de la carretera Huatusco-Jalapa y se identificó en el herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. *Quercus oleoides* y *Q. rugosa* son encinos blancos, mientras que *Q. coccolobifolia* y *Q. durifolia* pertenecen al grupo de los encinos rojos. Los diámetros de los árboles seleccionados fueron entre 42 y 66 cm.

Preparación de muestras

En la preparación de las muestras se utilizó una troza por especie de 2.7 m obtenida a 30 cm del tocón del árbol. De cada una se cortaron tres rodajas de 2 cm de grueso, una del centro y las otras dos aproximadamente a 15 cm de cada extremo; éstas se descortezaron y seccionaron en cuatro cuadrantes, se tomaron dos diametralmente opuestos que se separaron en albura y duramen, dejándose los otros dos para trabajar con mezclas de ambas estructuras. La madera de los cuadrantes se astilló y secó al aire libre. Las astillas secas se molieron en un molino tipo Wiley. Por último, el material se separó en diferentes granulometrías mediante mallas de los números 40 y 60. La corteza, que se secó al aire libre, se redujo manualmente a un tamaño adecuado para su molienda y se tamizó en mallas de los números 20 y 40.

La preparación del material libre de extractivos se realizó de acuerdo con el procedimiento de la norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1991a). 10 gr de madera molida y tamizada se sometieron a un proceso de extracción secuencial en un aparato Soxhlet con 400 mL de etanol-benceno (1:2 v/v) por 6 h, 400 mL de etanol por 5 h y 500 mL de agua destilada por 1 h. Después se realizó un lavado con 500 mL de agua destilada caliente y se dejó secar al aire libre.

En cada una de las especies se determinaron los contenidos de celulosa, pentosanos, lignina, extractivos en etanol-benceno y agua caliente, cenizas y pH de la madera, así como el contenido de taninos en la madera y la corteza. En cada caso se utilizaron cinco muestras.

Determinación de celulosa

Se utilizó el método modificado de Kurschner y Hoffer (Browning, 1967; Rodríguez, 1978). 1 gr de madera anhidra libre de extractos se colocó en un matraz; se le añadieron 20 mL de etanol y 5 mL de ácido nítrico concentrado. Se hirvió en baño María a reflujo durante 30 min. La solución se pasó por un filtro Gooch de porosidad media y peso conocido. El líquido se desechó y el sólido se sometió a una segunda digestión de 30 min con 25 mL de etanol-ácido nítrico. Se realizó una decantación como en la etapa anterior y se efectuó una tercera digestión con 100 mL de agua destilada por una hora.

La muestra se filtró en el Gooch, se lavó con agua destilada caliente, posteriormente con 100 mL de solución saturada de acetato de sodio y por último con 500 mL de agua destilada caliente. El residuo se secó en un horno eléctrico (TECSA[®], modelo HDP-867) a una temperatura de $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ para luego enfriarlo en un desecador de cristal sobre sílica gel y pesarlo. El porcentaje de celulosa se calculó con la siguiente relación:

$$\text{Celulosa (\%)} = \frac{P_{or}}{P_o} \times 100$$

Donde:

P_{or} = Peso seco del residuo (g)

P_o = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de pentosanos

La determinación de pentosanos se realizó con el método volumétrico de bromuro-bromato (Browning, 1967). 1 gr de madera anhidra sin extractos se sometió a destilación en un matraz de 500 mL con 100 mL de ácido clorhídrico (HCl) al 12%

(3.5N). El volumen de ácido se mantuvo constante mediante la adición de ácido clorhídrico por goteo con un embudo de separación. La velocidad de destilación fue ajustada a 2.5 mL por minuto. El destilado se colectó en un matraz Erlenmeyer sumergido en un baño de hielo. El proceso duró 90 min \pm 5 min, tiempo en el que se colectaron 225 \pm 10 mL de destilado, al cual se le agregó agua destilada hasta completar 300 mL y 250 g de hielo picado.

Cuando la mezcla alcanzó una temperatura de 0°C y se le añadieron 20 mL de solución bromuro-bromato 0.2 N (5.57 g de bromato de potasio, 50 g de bromuro de potasio y 1 g de carbonato de sodio, diluidos en 1 L de agua destilada), se cerró el frasco rápidamente, se agitó y dejó reposar durante 5 min. En seguida se adicionaron 10 mL de yoduro de potasio al 10% cerrando rápidamente, se agitó y se tituló el destilado con una la solución de tiosulfato de sodio 0.1 N hasta la desaparición del color.

Finalmente se agregaron dos gotas de almidón indicador para verificar el término de la reacción. Se realizó una titulación en blanco utilizando todos los reactivos y los tiempos de reacción, con excepción de los 270 mL de HCl al 12%, que se diluyeron a 350 mL, en lugar de los 300 mL del destilado más 50 mL de agua. El cálculo se efectuó de la manera siguiente:

$$\text{Pentosanos (\%)} = \frac{7.5 \times N \times (V_2 - V_1)}{P_o} - 1.0$$

Donde:

N = Normalidad de la solución del tiosulfato de sodio

V_1 = Volumen del tiosulfato gastado en la prueba (mL)

V_2 = Volumen del tiosulfato gastado en la titulación en blanco (mL)

P_o = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de lignina

Para este caso se usó la norma TAPPI T 222 om-88 (TAPPI, 1991b). A un gramo de material anhidro, libre de extractos, se le agregaron 15 mL de ácido sulfúrico al 72%, manteniéndose en agitación en un baño María a 20 \pm 1°C. Después, la mezcla se transfirió a un matraz de ebullición donde se diluyó con agua destilada hasta obtener una concentración de ácido del 3%. Posteriormente la solución se hirvió a reflujo durante 4 h, se decantó durante 12 h y se filtró; el residuo se lavó con agua caliente para eliminar el ácido y se secó en un horno eléctrico (TECSA®).

modelo HDP-867) a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ hasta alcanzar un peso constante. El contenido de lignina se infirió con la siguiente fórmula:

$$\text{Lignina (\%)} = \frac{P_{OL} \times 100}{P_O}$$

Donde:

P_{OL} = Peso seco de la lignina (g)

P_O = Peso de la muestra libre de humedad (g)

Determinación de extractivos en etanol-benceno

La cantidad de extractivos solubles en etano-benceno se obtuvo de acuerdo con la norma TAPPI T 204 om-88 (TAPPI, 1991c). 2 gr de madera anhidra se depositaron en un dedal de extracción de celulosa pura Whatman®, el cual se colocó en un equipo Soxhlet con 150 mL de una mezcla de etanol-benceno (1:2 v/v). La temperatura se reguló de tal forma que se efectuaron seis extracciones por hora; a continuación, el solvente se evaporó a un volumen de 20 a 25 mL y el extracto se transfirió a un crisol de peso conocido, lavándolo con pequeñas cantidades de solvente fresco y se secó en un horno eléctrico (TECSA®, modelo HDP-867) por 1 h a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Una determinación en blanco se llevó a cabo para conocer el peso del residuo del solvente. El porcentaje de extractivos se calculó por medio de la expresión:

$$\text{Extractivos (\%)} = \frac{P_{OE} - P_{OB}}{P_{OM}} \times 100$$

Donde:

P_{OE} = Peso anhidro del extracto (g)

P_{OB} = Peso anhidro del residuo del solvente en blanco (g)

P_{OM} = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de extractivos solubles en agua

La extracción en agua caliente es un procedimiento que remueve de la madera compuestos inorgánicos, taninos, gomas, azúcares, material colorante y almidones (Browning, 1967). El tipo y la cantidad de estos extractos es diferente en la madera de albura y de duramen; en la primera, los azúcares están constituidos por glucosa,

fructuosa, sacarosa y almidón, que se relacionan con la función fisiológica; y en el duramen los azúcares están compuestos por xilosa, arabinosa y manosa, los cuales son formados por la hidrólisis parcial de las hemicelulosas (Kai, 1991).

La extracción con etanol-benceno permite remover de la madera sustancias como ceras, grasas, resinas, fotoesteroles, hidrocarburos no volátiles, carbohidratos de bajo peso molecular, sales y otros compuestos solubles en agua (Browning, 1967). Al igual que con los extractos solubles en agua caliente, existen diferencias de estos compuestos entre la madera de albura y de duramen. Los ácidos grasos presentes como ésteres, con alcoholes como el glicerol, predominan en la albura, en tanto que los ácidos resínicos que tienen un ácido carboxílico libre son más abundantes en el duramen (Kai, 1991).

Los análisis se basaron en la norma TAPPI T 207 (TAPPI, 1991d). 2 gr de madera anhidra fueron colocados en un matraz de ebullición de un litro y se les agregó 500 mL de agua destilada; se instaló un refrigerante en el matraz y se llevó a cabo una digestión por 3 h. Al finalizar, el contenido del matraz se transfirió a un crisol de filtrado de porosidad media y peso conocido, secado a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ en un horno eléctrico (TECSA[®], modelo HDP-867); se lavó con agua caliente y se secó hasta alcanzar un peso constante. La cantidad de extractos solubles se determinó con la fórmula:

$$\text{Extractivos en agua caliente (\%)} = \frac{P_O - P_{OAC}}{P_O} \times 100$$

Donde:

P_O = Peso anhidro de la muestra (g)

P_{OAC} = Peso anhidro de la muestra después de la extracción (g)

Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se hizo de acuerdo con la norma TAPPI T 211 om-85 (TAPPI, 1991e). 2 gr de madera molida se pusieron en un crisol de peso conocido y se introdujeron en una mufla, calentándose lentamente hasta 100°C . La temperatura se aumentó de manera paulatina a $575 \pm 25^\circ\text{C}$ para carbonizar toda la muestra. Cuando el residuo cesó de carbonizarse se dejó que se calcinara durante 3 h más, hasta que no hubo partículas negras en el residuo. El crisol se enfrió a temperatura ambiente en un desecador y por último se pesó. El contenido de cenizas se calculó como:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{P_C \times 100}{P_O}$$

Donde:

P_C = Peso de las cenizas (g)

P_O = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de taninos

Para la cuantificación de taninos, se utilizó la metodología de la ALCA (American Leather Chemists' Association, 1964). 20 gr de madera o corteza anhidra y tamizada se colocaron en un matraz de fondo plano de 2 L para su destilación por 3 h y colectando 200 mL del extracto. El material obtenido se dejó reposar por 12 h. Enseguida se depositaron 50 mL de la solución en un crisol de peso conocido, se metieron a un horno eléctrico por 16 h a 100°C, y se pesaron (P_{OA}) para cuantificar los sólidos totales. A 100 mL de la solución tánica se le agregó 1 g de caolín y se agitó vigorosamente; se filtró durante 30 min o hasta obtener una solución cristalina.

El filtrado se realizó con fracciones de 50 mL, los cuales se regresaban a la solución inmediatamente después de filtradas. De esta solución se pipetearon 50 mL en un crisol de peso conocido, se evaporó y se secó por un periodo de 16 h a 100°C. El crisol y los residuos fueron enfriados en un desecador, y pesados (P_{OB}) para cuantificar los sólidos solubles. A 1 g de polvo de piel cromatada se le agregaron 25 mL de solución tánica original, dejándose en contacto durante 30 min con agitación constante y enérgica. Esta disolución se filtró en un embudo Buchner con papel filtro Watman No. 40 y en condiciones de vacío. El filtrado se transfirió a una cápsula de porcelana de peso conocido y se evaporó, secándolo hasta alcanzar un peso constante (P_{OC}). El contenido de taninos se determinó mediante las siguientes relaciones:

$$\%ST = \frac{40 \times P_{OA}}{P_O} \times 100$$

$$\%SS = \frac{40 \times P_{OB}}{P_O} \times 100$$

$$\%NT = \frac{40 \times P_{OC}}{P_O} \times 100$$

$$\% \text{ Taninos} = \% SS - \% NT$$

Donde:

P_O = Peso seco de la muestra libre de humedad (g)

P_{OA} = Peso seco de la solución obtenida en A (g)

P_{OB} = Peso seco de la solución obtenida en B (g)

P_{OC} = Peso seco de la solución obtenida en C (g)

% ST = Porcentaje de sólidos totales

% SS = Porcentaje de sólidos solubles

% NT = Porcentaje de no taninos

Determinación de pH

Para la determinación del pH se empleó la metodología descrita por Kubinsky e Ifju (1973) y la norma TAPPI T 252 om-90 (TAPPI, 1991f). El primer método consistió en realizar una mezcla de agua-madera (4:1 g/v) en un matraz Erlenmeyer de 125 mL con tapón al que se le introdujo un agitador. Posteriormente el matraz se colocó en un baño de agua a temperatura constante ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) sobre un agitador magnético (Thomas Magne-Matic®, modelo 15), por un período de 3 h y al término se tomó la lectura del pH con un potenciómetro digital (Conductronic® PC 40) durante 3 min.

La segunda técnica consistió en poner dentro de un matraz de ebullición de 250 mL, 10 g de muestra seca; ésta se mezcló con 100 mL de agua destilada, se depositó sobre un plato caliente y se sometió a reflujo durante 3 h. Finalizado el período, se removió y se tapó para dejarlo enfriar hasta $25 \pm 1^\circ\text{C}$; el pH se midió con el potenciómetro digital durante 3 min.

Los resultados obtenidos se evaluaron estadísticamente mediante un análisis de varianza, en el cual los factores considerados fueron el tipo de madera y la especie; para la determinación de diferencias significativas de cada uno de ellos se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan (Walpole y Myers, 1992). En ambos casos se usó el paquete estadístico SAS[®] (SAS, 1999-2000) con $\alpha = 0.05$.

La clasificación de los resultados fue de acuerdo a la propuesta de Rosid (1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio del análisis químico para las especies de encino y para cada tipo de madera se presentan en los cuadros 1 al 10; los resultados corresponden a la comparación de la prueba de rangos múltiples de Duncan entre especies y tipo de madera.

Contenido de celulosa

La cantidad de celulosa en la madera de las especies estudiadas es alto (Cuadro 1), pero al compararlos con los trabajos de otros autores, éstos son menores (Honorato y Hernández, 1998; Villalvazo y Faix 1981), aunque son mayores a los registrados por Delgado (1980) observándose un comportamiento similar con los datos citados por Pettersen (1984), Fengel y Wegener (1989) y Koch (1985) para los encinos americanos.

Es probable que la variación en los rendimientos de celulosa responda al empleo de diferentes métodos analíticos. Al respecto, Kollmann y Côté (1968) mencionan que en los valores de celulosa obtenidos con el método de Cross-Bevan incluyen además de α -celulosa, pentosanos, lignina y cenizas, lo que indica que existe una sobre determinación; por el contrario, con el método de Kürschner-Hoffer se subdetermina el contenido de celulosa de la madera.

Cuadro 1. Contenido de celulosa (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. rugosa</i>	50.65 *B, a	52.57 A, b	52.94 A, b
<i>Q. oleoides</i>	51.67 A B, a	52.47 A, a	51.68 B, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	46.18 C, a	49.98 B, b	48.97 C, c
<i>Q. durifolia</i>	52.59 A, a	51.21 A B, b	52.82 A, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Contenido de pentosanos

El contenido de pentosanos obtenido en la madera de las especies estudiadas es bajo (Cuadro 2) y los valores quedan dentro de la variación observada por Honorato y Hernández (1998), Villalvazo y Faix (1981) y, comparado con los estudios de composición química de encinos en otros países, los rendimientos son

semejantes a los registrados por Pettersen (1984), Fengel y Wegener (1989), Kass *et al.* (1970) y Jones (1978). Las discrepancias observadas en este caso probablemente se deban a la falta de corrección por el contenido de anhídrido urónico en la madera, ya que también produce furfural bajo las condiciones del análisis de pentosanos (Kass *et al.*, 1970).

Cuadro 2. Contenido de pentosanos (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. rugosa</i>	20.41 A, a	19.88 A, b	20.24 A, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	20.61 A B, a	19.96 A B, b	20.07 A, a b
<i>Q. oleoides</i>	19.94 B, a	19.44 B, a b	19.08 B, b
<i>Q. durifolia</i>	19.23 C, a	19.26 B, a	19.30 B, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Kollmann y Côté (1968) señalan que sólo en algunos casos excepcionales se reconocen grandes diferencias entre la madera de albura y el duramen. Sin embargo, Fengel y Wegener (1989) mencionan para *Tectona grandis* L. f, valores de 14.7 y 7.7% para la madera de albura y duramen respectivamente. Browning e Isenberg (1952) citan para el encino blanco americano, cantidades mayores de pentosanos en la madera de albura. En los resultados obtenidos no se observa una tendencia clara entre los contenidos de pentosanos de la albura y el duramen, aunque sí existe una diferencia significativa entre encinos blancos y rojos.

Contenido de lignina

La cantidad de lignina en los encinos estudiados es moderada (Cuadro 3) y existen diferencias significativas entre especies y tipos de madera. Los datos coinciden con

los registrados en la literatura nacional (Honorato y Hernández, 1998; Villalvazo y Faix, 1981; Delgado, 1980; Fuentes, 1980); lo mismo ocurre con estudios realizados en otros países para encinos americanos (Fengel y Wegener, 1989; Pettersen, 1984; Koch, 1985).

Cuadro 3. Contenido de lignina (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. durifolia</i>	22.53 A, b	23.35 A, a	21.78 A, c
<i>Q. rugosa</i>	22.44 A B, a	21.65 B, b	20.40 B, c
<i>Q. coccolobifolia</i>	21.60 B, a	21.56 B, a	22.44 A, a
<i>Q. oleoides</i>	22.02 A B, a	20.79 B, b	22.37 A, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Extractivos solubles en agua caliente

La diferencia en la cantidad de extractos obtenidos en este estudio para la madera de albura y de duramen es significativa (Cuadro 4) y resultó mayor en el duramen. Entre *Q. oleoides* y *Q. durifolia* el contenido de extractos es significativamente diferente para cada uno de los tipos de madera; mientras que *Q. rugosa* y *Q. coccolobifolia* tienen un contenido de extractos similar en la albura y la mezcla. Se considera que los valores son altos y están dentro del rango observado por Sandoval (1979), Fuentes (1980), Pettersen (1984) y Fengel y Wegener (1989).

Extractivos en etanol-benceno

El contenido de extractos en etanol-benceno fue diferente, superior en el duramen y la mezcla, con respecto a la albura (Cuadro 5), pero sólo es significativo para los

Cuadro 4. Contenido de extractivos en agua caliente (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	5.95 B, b	7.55 B, a	7.09 B, a b
<i>Q. rugosa</i>	4.44 C, b	6.73 B, a	4.97 C, b
<i>Q. coccolobifolia</i>	4.35 C, a	4.88 C, a	4.62 C, a
<i>Q. durifolia</i>	7.14 A, c	9.07 A, a	8.75 A, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

encinos rojos. Entre especies para cada uno de los tipos de madera existe una diferencia significativa. Este comportamiento es similar al citado por otros autores (Pettersen, 1984; Fengel y Wegener, 1989; Honorato y Hernández, 1998). Sin embargo, los valores están por debajo del rendimiento promedio (4.5%) observado para este tipo de solventes, resaltando el caso de *Q. durifolia* que se ubicó fuera del rango mínimo registrado (2%).

Contenido de cenizas

La cantidad de cenizas de la madera analizada es moderada (Cuadro 6) y similar al rango registrado en diversos trabajos tanto para especies mexicanas, como de otros países (Farmer, 1967; Sandoval, 1979; Pettersen, 1984; Fengel y Wegener, 1989; Torelli y Čufar, 1995a); pero son menores a los resultados de Honorato y Hernández (1998). El contenido más alto correspondió a *Q. oleoides*, lo cual puede deberse a que el material de estudio fue recolectado en un clima semicálido y húmedo, donde es dominante (Zavala, 1995), y las especies que se desarrollan en ese tipo de condiciones climatológicas presentan grandes porcentajes de cenizas. Al respecto, Fengel y Wegener (1989) mencionan que en las maderas de zonas templadas es entre 0.1 y 1.0% pero frecuentemente en las maderas tropicales es mucho más alto (> 5%).

Cuadro 5. Contenido de extractivos en etanol-benceno (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	2.24 C, a	3.08 B, a	3.05 C, a
<i>Q. rugosa</i>	4.79 A, a	4.83 A, a	4.82 A, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	1.70 B, b	2.29 B, a	2.12 B, a
<i>Q. durifolia</i>	1.02 D, c	1.30 C, a	1.10 D, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Diferencias en el contenido de cenizas han sido citadas por Rutiaga *et al.* (2000), quienes determinaron un valor de 0.23 en el duramen y de 0.67 en la albura. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de cenizas

Cuadro 6. Contenido de cenizas (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	0.75 A, a	0.76 A, a	0.74 A, a
<i>Q. rugosa</i>	0.48 B, a	0.46 B, a	0.45 B, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	0.49 B, a	0.44 B, b	0.42 B, b
<i>Q. durifolia</i>	0.36 C, b	0.43 B, a	0.38 C, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

entre la madera de albura y de duramen de los encinos rojos de este estudio, *Q. coccolobifolia* y *Q. durifolia*, pero no en la madera de los encinos blancos.

Contenido de taninos

El contenido de taninos en cada especie (Cuadro 7) fue superior en el duramen y significativamente diferente de la albura y la mezcla. Este comportamiento se considera normal con base en los datos de Kollmann y Côté (1968); aunque mayores a los valores obtenidos por Sandoval (1979), pero inferiores a los valores mencionados por Honorato y Hernández (1998). Así mismo, los encinos blancos presentan una mayor cantidad de taninos, razón por la cual es recomendable su uso en el añejamiento de bebidas alcohólicas.

Cuadro 7. Contenido de taninos en la madera (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. rugosa</i>	0.62 B, c	1.46 C, a	1.10 B, b
<i>Q. coccolobifolia</i>	0.67 B, c	1.73 B, a	1.27 A, b
<i>Q. oleoides</i>	1.05 A, b	2.16 A, a	0.94 C, b
<i>Q. durifolia</i>	0.29 C, b	0.78 D, a	0.70 D, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

El contenido de taninos de la corteza se ubica en el rango inferior (Cuadro 8), registrado por Kollmann y Côté (1968) para la corteza de los encinos americanos.

El aprovechamiento comercial de taninos exige un mínimo de rendimiento que va de 7 a 10% (Mule y Gonzales, 1973; Rowe y Conner, 1979), por lo que para éstos

propósitos se descartarían todas las especies analizadas en el presente estudio. Sin embargo, dichas cifras son relativas debido a que las condiciones de mercado para la utilización de los taninos en la industria de la curtiduría requieren de estabilidad en las soluciones y en el color de la piel curtida.

Cuadro 8. Contenido de taninos en la corteza (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Corteza
<i>Q. rugosa</i>	6.53 C
<i>Q. coccolobifolia</i>	5.48 B
<i>Q. oleoides</i>	6.21 B
<i>Q. durifolia</i>	7.18 A

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies.

Valor de pH

Los valores de pH presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tipos de madera y entre especies (cuadros 9 y 10). Se observó en la mayoría de los casos, que las muestras trabajadas con agua caliente tuvieron más acidez que las analizadas con agua fría. Para Choon y Roffael (1990) la disminución en el pH con el método de agua caliente, probablemente responda a la existencia de una mayor cantidad de extractivos en la solución, a la oxidación que se da en estas sustancias y/o a la degradación termolítica e hidrolítica de los componentes de la pared celular.

Los valores de pH obtenidos en agua fría para la madera de duramen también resultó mayor a lo citado por Torelli y Cufar (1995a) para *Quercus anglohondurensis* y *Q. skinneri*.

En el procesamiento de la madera de las especies estudiadas se podrían tener problemas en la adhesión y acabado de su madera, ya que se clasifican como ligeramente ácidas.

Cuadro 9. Valor de pH por el método de agitación (agua fría) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	4.23 C, a	4.13 D, b	3.94 D, c
<i>Q. rugosa</i>	4.82 B, b	4.87 B, a	4.85 C, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	4.80 B, b	4.76 C, c	5.10 A, a
<i>Q. durifolia</i>	4.99 A, a	4.99 A, a	4.95 B, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Cuadro 10. Valor de pH por el método de agua caliente en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	3.66 D, b	3.71 D, a	3.51 D, c
<i>Q. rugosa</i>	4.57 C, c	4.61 B, b	4.84 C, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	4.61 B, b	4.47 C, c	4.93 B, a
<i>Q. durifolia</i>	5.17 A, a	5.22 A, a	5.11 A, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Análisis sumativo

Las diferencias con respecto al 100% de las especies estudiadas y las variaciones mostradas para los tipos de maderas en cada una de ellas (Figura 1), probablemente sean atribuibles a los métodos analíticos empleados que generan errores por la pérdida de celulosa durante los procesos de hidrólisis y en respuesta a la presencia de reacciones reversibles, por ejemplo en el caso de la determinación de extractivos en agua caliente; sobreposición de determinaciones en el análisis de los residuos de cenizas en lignina y celulosa; impurezas en los remanentes separados como la presencia de proteínas o polisacáridos degradados en la lignina, de pentosanos en la celulosa; y en la determinación de pentosanos la interferencia del anhídrido urónico (Browning, 1967). Sin embargo, el análisis generó resultados comparables con los rangos mencionados por Fengel y Wegener (1989).

CONCLUSIONES

Los resultados promedio de las determinaciones de los compuestos químicos entre los taxa de encinos mostraron una diferencia significativa para la albura, el duramen y la mezcla de albura-duramen; así como entre estos tipos de madera en cada una de las especies.

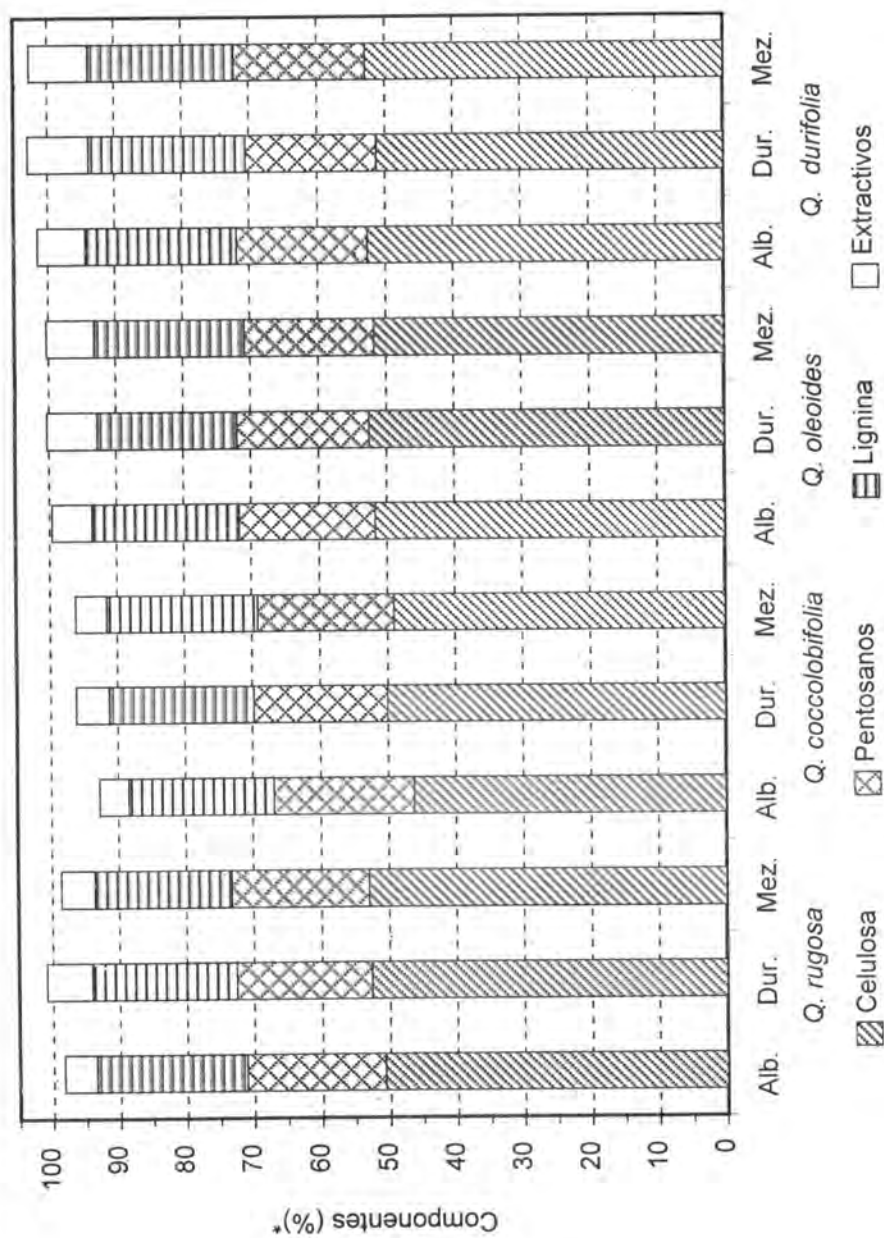
Con excepción del contenido de extractos de agua caliente, los taninos de la madera y corteza, en el resto de los casos se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los encinos blancos y rojos, los valores más elevados correspondieron a los encinos blancos. No obstante, el pH fue superior en los encinos rojos.

La madera de los encinos estudiados presenta contenidos promedio de celulosa alto, con una variación promedio que va de 46.18 a 52.94%, de pentosanos bajo con valores entre 19.08 y 20.61% y moderados (20.40 a 23.35%) para la lignina.

El contenido de extractos obtenido con etanol-benceno y con agua caliente fue mayor en el duramen que en la albura. Para el primer tipo de extractos, los valores presentaron diferencias significativas entre especies para albura, duramen y mezcla de albura-duramen; mientras que para el segundo tipo de extractos, las diferencias significativas fueron sólo entre *Quercus oleoides* y *Q. durifolia*.

La cantidad de cenizas es moderada con un valor mayor para todos los tipos de madera de *Quercus oleoides*. La cantidad de taninos fue mayor en la madera de duramen, pero menor al de la corteza.

Las especies estudiadas se clasifican como ligeramente ácidas con valores de pH entre 3.94 a 5.10 para el método de agitación y de 3.51 a 5.22 para el método de agua caliente.



* En base al peso seco de la madera.

Figura 1. Análisis sumativo de la composición química de la madera de cuatro especies de encino.

REFERENCIAS

- American Leather Chemist's Association (ALCA). 1964. Methods of sampling and analysis. Cincinnati, OH, USA. 28 p.
- Browning, B. L. 1967. Methods of wood chemistry. Volume II. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 882 p.
- Browning, B. L. and I. H. Isenberg. 1952. Analytical data and their significance. *In*: Wise, L. E. and E. C. Jahin (Eds.). Wood chemistry. Vol. 2. Second Edition. Reinhold Publishing Corporation. New York, NY, USA. pp. 1259-1277.
- Choon, K. K. and E. Roffael. 1990. The acidity of five hardwood species. *Holzforschung*. 44(1):53-58.
- Coffey, D. G., D. A. Bell and A. Henderson. 1995. Cellulose and cellulose derivatives. *In*: Stephen, A. M. (Ed.). Food polysaccharides and their applications. Marcel Dekker, Inc. New York, NY, USA. pp. 123-453.
- Delgado F., E. 1980. Estudio analítico de los carbohidratos de cuatro especies de encinos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 96 p.
- Farmer, R. H. 1967. Chemistry in the utilization of wood. Pergamon Press Ltd., London, UK. 193 p.
- Fengel, D. and G. Wegener. 1989. Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter, Berlin, Germany. 613 p.
- Fuentes M., J. G. 1980. Estudio analítico de los carbohidratos de la madera de *Quercus resinosa*. Tesis de Técnico Químico. Escuela Politécnica. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 100 p.
- Haluk, J. P., F. Schoegel and M. Metche. 1991. Chemie de la couleur du bois. *Holzforschung* 45: 437-444.
- Hajny, G. J. 1981. Biological utilization of wood for production of chemicals and foodstuffs. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 385. Madison, WI, USA. 65 p.
- Hart, H. and W. E. Hillis. 1972. Inhibition of wood-rotting fungi by ellagitannins in the heartwood of *Quercus alba*. *Phytopathology* 62(6):620-626.
- Honorato S., J. A. y J. Hernández P. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosques* 4(2):79-93.
- Honorato S., J. A. 2002. Química de la madera de encinos. *In*: Quintanar, O. J. (Ed.). Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. INIFAP-CIRCE. C. E. San Martinito. Tlahuapan, Pue. México. Libro Técnico No. 2. pp. 86-106.
- Immergut, E. H. 1975. Cellulose. *In*: Browning, B. L. (Ed.). The chemistry of wood. Robert E. Krieger Publishing Company, New York, NY, USA. pp. 103-190.
- Jones, J. K. N. 1978. Hemicellulose in hardwoods growing on southern pines sites. *Wood and Fiber Science*. 9(4):295-307.
- Jung, H., J. G. and W. Ni. 1998. Lignification of plant cell walls: impact of genetic manipulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 95:12742-12743.

- Kai, Y. 1991. Chemistry of extractives. *In*: Hon, D. N.-S. and N. Shiraishi (Eds.). Wood and cellulosic chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York, NY. USA. pp. 215-255.
- Kass, A., F. F. Wangaard and H. A. Schroeder. 1970. Chemical degradation of wood: the relationship between strength retention and pentosan content. *Wood and Fiber Science*. 2(1):31-39.
- Kirk, T. K. 1973. The chemistry and biochemistry of decay. *In*: Nicholas, D. D. (Ed.). Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Volume I. Degradation and protection of wood. Syracuse University Press, New York, NY. USA. pp. 149-181.
- Koch, P. 1985. Utilization of hardwoods growing on Southern pine sites. Vol. I. The Raw Material. Chapter 6. Chemical Constituents. USDA Agric. Handbook No. 605. Washington, DC. USA. pp. 364-463.
- Kollmann, F. P. and W. A. Côté, Jr. 1968. Principles of wood science and technology. I. Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 592 p.
- Krilov, A. 1980. Toward the re-appraisal of the influence of basic wood characteristics on saw blade potential. *Holz als Roh-und Werkstoff* 38:145-149.
- Kubinsky, E. and G. Ifju. 1973. A simple and fast method of pH measurement for wood. *Forest Products Journal*. 23(2): 54-56.
- Lindberg, J.J., T. A. Kuusela and K. Levon, 1989. Specialty polymers from lignin. *In*: Glasser, W.G. and S. Sarkanen (Eds.). Lignin, properties and materials. American Chemical Society, Washington, DC. USA. pp. 190-204.
- Medved, S. and J. Resnik. 2004. Influence of the acidity and size of beech particles on the hardening of the urea-formaldehyde adhesive. *Acta Chim. Slov.* 51:353-360.
- Mosedale, J. R. 1995. Effects of oak wood on the maturation of alcoholic beverages with particular reference to whisky. *Forestry* 68(3):203-230.
- Mule, E. I. and E. V. Gonzales. 1973. Studies on the tannin extracts from the barks of six hardwood species. *Forpride Digest*. 2(3-4):35-39.
- Önnerud, H., L. Zhang, G. Gellerstedt and G. Henriksson. 2002. Polymerization of monolignols by redox shuttle-mediated enzymatic oxidation: A new model in lignin biosynthesis I. *Plant Cell*, 14:1953-1962.
- Ochoa R., H. G. y C. Ramírez S. 1995. Potencial de aplicación de extractos de cortezas de encinos (*Quercus*) en la industria de la curtiduría proveniente de residuos de aserraderos. *In*: Marroquín de la Fuente, J. S. (Ed.). III Seminario nacional sobre la utilización de encinos. Memorias, Tomo II. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL. México. pp. 698-714.
- Pettersen, R. C. 1984. The chemical composition of wood. *In*: Rowell, R. M. (Ed.). The chemistry of solid wood. American Chemical Society, Washington, DC. USA. pp. 57-126.

- Pizzi, A. 1994. Advanced wood adhesives technology. Marcel Dekker, Inc. New York, NY, USA. 289 p.
- Rodriguez, de C. L. 1978. Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Centro de Investigaciones en Celulosa y Papel. Universidad Industrial de Santander. Santander, Colombia. 156 p.
- Rosid, M. 1982. Chemical analyses of some Indonesian wood species. Laporan BPHH/FPRI Report. Gunung Batudtu Bogor. Indonesia No. 159. 21-24.
- Rowe, J. W. and A. H. Conner. 1979. Extractives in eastern hardwoods a review. Gen. Tech. Re. FPL 18, For. Prod. Lab., For. Serv., USDA. Madison, WI. USA. 67 p.
- Rutiaga Q., J. G., C. Strobel, E. Windeisen y G. Wegener. 2000. Composición química de la madera de un encino. In: Memorias del III Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. CONACYT, Durango, Dgo. México. pp. 93-94.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial LIMUSA. México, D. F. 432 p.
- Saka, S. 1991. Chemical composition and distribution. In: Hon, D. N. S. and N. Shiraishi (Eds.). Wood and cellulosic chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA. pp. 59-88.
- Sandoval O., A. 1979. Estudio analítico de sustancias extraíbles de cuatro especies del género *Quercus*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 77 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 1999-2000. The SAS System for windows. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991a. Preparation of wood for chemical analysis. T 264 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991b. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991c. Solvent extractives of wood and pulp. T 204 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991d. Water solubility of wood and pulp. T 207 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991e. Ash in wood and pulp. T 211 om-85. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991f. pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. T 252 om-90. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.

- Torelli, N. and K. Čufar. 1995a. Mexican tropical hardwoods. Comparative study of ash and silica content. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 53:61-62.
- Torelli, N. and K. Čufar. 1995b. Mexican tropical hardwoods. pH-value. *Holz als Roh-und Werkstoff* 53:133-134.
- Turng, L.-S., M. Yuan, H. Kharbas, H. Winata and D. F. Caulfield. 2003. Applications of nanocomposites and woodfiber plastics for microcellular injection molding. *In: Forest Products Society (Ed.) Seventh International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*. Madison, WI. USA. pp. 217-225.
- Villalvazo N., J. y O. Faix. 1981. Caracterización analítica de las ligninas de cuatro especies del género *Quercus* y sus posibilidades de aprovechamiento. IMCyP. Publicación Técnica No. 4. 7 p.
- Villalvazo N., J., O. Faix y K. A. Grellmann. 1981. Los encinos mexicanos como materia prima para la fabricación de celulosa y papel. IMCyP. Suplemento Técnico No. 1. 8 p.
- Walpole, R. E. y R. H. Myers. 1992. Probabilidad y estadística. Mc Graw-Hill / Interamericana de México, S. A. de C. V. México, D. F. 797 p.
- Wise, L. E y K. H. Lauer. 1986. Celulosa y hemicelulosas. *In: Lobby, C. E. (Ed.) Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel*. Tomo I: Pulpa. CECSA. México, D. F. pp. 79-102.
- Zavala C., F. 1995. Encinos y robles. Notas fitogeográficas. Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. 44 p.

CARACTERIZACIÓN Y DINÁMICA DE LA ESTRUCTURA DIAMÉTRICA DE UN BOSQUE TROPICAL SECUNDARIO EN CAMPECHE, MÉXICO

Jorge Luis López Torres¹ y Juan Carlos Tamarit Urias²

RESUMEN

Los bosques secundarios tienen gran potencial para la obtención de un amplio rango de productos maderables y no maderables así como de bienes y servicios ambientales, por lo que son importantes a nivel local, nacional y regional; sin embargo, su conocimiento es aún limitado. El objetivo del presente estudio consistió en caracterizar un bosque tropical secundario derivado de selva mediana subperennifolia después de haber sido eliminada la vegetación original por la práctica roza-tumba-quema. Se determinó la composición florística, abundancia de especies y la estructura diamétrica por medio de mediciones repetidas durante 20 años en un Sitio Permanente de Investigación Silvícola localizado en el Campo Experimental "El Tormento" en Escárcega, Campeche. Los resultados indican que en la comunidad estudiada, a mayor edad la composición y similitud de especies aumenta; reúne a 17 familias, 27 géneros y 28 especies de árboles. Con base en la abundancia de especies como parámetro estructural, se pudieron establecer tres patrones con respecto a la edad, lo que sugiere la necesidad de formar grupos ecológicos para facilitar el manejo y la aplicación de tratamientos silvícolas a los taxa que ofrezcan un potencial de aprovechamiento comercial maderable. El incremento medio anual en diámetro fue de 0.27 cm y el incremento en área basal fue de 1.41 m² ha⁻¹año⁻¹. La estructura diamétrica ajustada mediante la función de distribución de probabilidades Weibull demostró que a la edad de 20 años es posible aprovechar individuos con diámetro a la altura del pecho de 35 cm.

Palabras clave: Abundancia de especies, área basal, composición florística, desarrollo del rodal, distribución diamétrica, vegetación secundaria.

Fecha de recepción: 08 de marzo de 2005.

Fecha de aceptación: 07 de marzo de 2006.

¹ Campo Experimental Chiná, Centro de Investigación Regional Sureste, INIFAP. Correo-e: jlopetorre@yahoo.com

² Campo Experimental San Martinito, Centro de Investigación Regional Centro, INIFAP.

ABSTRACT

Secondary forests have a great potential for the production of wood and non-wood products, as well as in the provision of environmental services, and are very important at the local, national and regional levels. In spite of these qualities, knowledge on secondary forests is still limited. The objective of this study was to describe a secondary tropical forest derived of semi-evergreen tropical forest in which the slash-and-burn system was used. Floristic composition, species abundance and diameter structure were determined. The data used came from one Permanent Site of Silvicultural Research located in the Forestry Experimental Station "El Tormento", Escarcega, Campeche; five different ages in a 20 year period were included. Results show that this secondary forest presents 17 families, 27 genera and a total of 28 tree species, where species composition and similarity increased with stand age. Three general patterns of abundance were determined, this suggests the necessity to form ecological groups to facilitate the forest management for the application of silvicultural treatments to timber species that represent a potential of utilization and logging. The mean annual increment in diameter was of 0.27 cm and the increment in basal area was of 1.41 m² ha⁻¹yr⁻¹. Diameter structure adjusted by means of the probability density function Weibull indicated that in the 20-year-old secondary forest it is possible to harvest trees with a stem diameter at breast height of 35 cm.

Key words: Species abundance, basal area, floristic composition, diametric distribution, stand development, secondary vegetation.

INTRODUCCIÓN

Smith *et al.* (1997) y Wadsworth (2000) definieron a los bosques secundarios como un elemento sucesional que se establece mediante plantas leñosas en sitios en donde la vegetación original fue alterada por acciones antropogénicas, o por fenómenos naturales; su grado de recuperación está en función de la duración e intensidad del uso que haya tenido con anterioridad, así como de la cercanía a fuentes semilleras para su recolonización.

A nivel mundial este tipo de vegetación en climas tropicales alcanza una extensión de 896 millones ha, la cual se está incrementando. Wadsworth (2000) apunta que en México se tienen 26.3 millones ha de masas forestales secundarias con potencial productivo, que corresponde casi a 3% de esta cobertura.

Los bosques secundarios tropicales se caracterizan por una alta abundancia de especies de rápido crecimiento (Smith *et al.*, 1997; Spittler, 2001), que pueden brindar una amplia gama de productos, bienes y servicios; además de llegar a ser muy productivos desde el punto de vista económico, con incrementos similares a los alcanzados en plantaciones forestales comerciales (Finegan, 1992;

Wadsworth, 2000). En el ámbito local representan una fuente de frutas, plantas medicinales, materiales para construcción, forraje y madera de valor comercial para el mercado. En el contexto ecológico, son importantes puesto que con la acumulación de su biomasa constituyen grandes reservorios y sumideros superficiales de carbono; se ha estimado que almacenan de 25 a 190 ton de carbono/ha y proporcionan beneficios hidrológicos, al suelo y a la biodiversidad (Johnson *et al.*, 2001).

Sin embargo, por las características ventajosas que posee, en trabajos recientes se ha usado la función de distribución de probabilidades Weibull (Návar y Contreras, 2000; Cao, 2004), ya que es de fácil manejo matemático, presenta gran flexibilidad puesto que adopta formas desde una "J" invertida hasta la de "campana" con diversos grados de asimetría, por lo que es posible modificarla sin que pierda sus cualidades básicas y puede integrarse analíticamente (Bailey y Dell, 1973; Rennolls *et al.*, 1985; Torres *et al.*, 1992; Vanclay, 1994; Maldonado y Návar, 2002).

Es necesario conocer la estructura diamétrica en la prescripción de las intervenciones de manejo, la determinación del rendimiento por tipo de producto a diferentes edades y la estimación del valor económico de un bosque, es decir, las frecuencias del número de árboles por categorías del grosor del tronco (Bailey y Dell, 1973; Clutter *et al.*, 1983; Rennolls *et al.*, 1985; Cao, 2004), que en la actualidad se presume es posible representarla mediante el uso de una función de distribución de probabilidades como la Normal, Beta y Gama (Torres *et al.*, 1992; Acosta *et al.*, 1997).

El objetivo del presente estudio fue caracterizar un bosque secundario derivado de selva mediana subperennifolia mediante la determinación y análisis de la composición florística, la abundancia de especies y la estructura diamétrica, utilizando mediciones repetidas por un período de veinte años en un Sitio Permanente de Investigación Silvícola localizado en la región de Escárcega, Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de trabajo

La investigación se desarrolló en el Campo Experimental El Tormento del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el kilómetro 292 de la carretera Escárcega-Villahermosa, dentro del municipio de Escárcega, Campeche. Geográficamente está ubicado entre los paralelos 18° 36' 25" latitud norte y 90° 43' 35" longitud oeste, a 60 msnm (Cedeño, 1981).

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), la fórmula climática del lugar es $Aw_1(i')g$, que corresponde a un cálido subhúmedo con lluvias en verano; que inician en mayo y junio, y alcanzan su máxima en septiembre cuando se presentan ciclones; la precipitación invernal varía entre 5 y 10% (de noviembre a febrero) respecto a la anual, debido a la ocurrencia de los vientos llamados "nortes". La precipitación anual llega a ser de 1390 mm, la temperatura media anual de 24.1°C, con máximas y mínimas promedio de 32.1 y 15.9°C respectivamente; la oscilación térmica mensual fluctúa de 5 a 7°C (Centeno, 1989).

Los tipos de suelo predominantes en el área de estudio de acuerdo con la clasificación FAO/UNESCO son litosoles, rendzinas y vertisoles; y según la maya equivalen a Tzekel, Ya'axhomm y Ak'alche, los primeros son dominantes y se presentan en las partes altas y bien drenadas, en tanto que el último es característico de zonas bajas inundables (Cuanalo, 1981).

El tipo de vegetación en el campo pertenece a la selva mediana y baja subperennifolia (Centeno, 1990b; SARH, 1985). Las especies forestales más abundantes son: *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. (T'zalam), *Manilkara zapota* (L.) van Royen. (Zapote), *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), *Bucida buceras* L. (Pucté), *Brosimum alicastrum* Sw. (Ramón), *Metopium brownei* (Jacq.) Urban. (Chechén negro) y *Piscidia communis* (L.) Sarg. (Jabín) (Centeno, 1989). Entre los taxa de mayor importancia económica destacan *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Swietenia macrophylla* King. (Caoba), *Cordia dodecandra* A. DC. (Siricote) y *Platymiscium yucatanum* Standl. (Granadillo).

Parcelas de observación

En el C. E. El Tormento se localizó un área dentro de una selva mediana subperennifolia a la que se le había aplicado el sistema de producción agrícola denominado Roza-Tumba-Quema (RTQ) y que fue abandonada durante siete años, dando lugar así a un bosque secundario, conocido como acahual.

Con base en las recomendaciones de Manzanilla (1993), se estableció un Sitio Permanente de Investigación Silvícola (SPIS) de forma cuadrada con una superficie de 1 ha, en cuyo centro se ubicó un cuadrado de 50 x 50 m, en donde se levantó la información dasométrica que se detalla en la siguiente sección.

Toma de datos

La información registrada en el SPIS consistió en: identificación de cada una de las especies forestales presentes, cuantificación de todos los individuos de cada especie identificada, diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal y volumen de todos los individuos con DAP igual o mayor de 7.5 cm, ya que este

valor se consideró como el diámetro mínimo con el que se asegura la supervivencia hasta que el individuo se integra al dosel (Centeno, 1989). La toma de datos se hizo en 1985, 1989, 1992 y 1995, de tal manera que el sitio contaba con 20 años de edad en su última medición.

Procesamiento de datos

Se determinó la abundancia absoluta (número total de individuos pertenecientes a una especie) y la relativa (la participación porcentual de cada especie con respecto al número total de individuos presentes en la muestra), a partir del número de individuos por especie.

Con el propósito de comparar y conocer la similitud florística entre diferentes edades se utilizó el índice de Jaccard (I_j) con los datos cualitativos de presencia-ausencia; el valor de este índice varía de 0 (no hay especies en común entre dos unidades que se comparan), hasta 1 (todas ellas están en las unidades), es decir, cuando las unidades comparadas tienen la misma composición (Krebs, 1989; Stiling, 1999; Magurran, 2004).

Para calcular el grado de cambio en la composición de especies a diferentes edades (tiempos) dentro del mismo sitio, se empleó el índice de diversidad Beta de Magurran (β); a este parámetro se le denomina diversidad beta temporal (Pielou, 1975; Wilson y Shmida, 1984; Magurran, 2004).

Las comparaciones que se hicieron fueron sólo para edades consecutivas así como entre la primera y la última edad; los índices se obtuvieron por medio de las fórmulas siguientes:

$$I_j = \frac{c}{a+b-c} \quad (1)$$

$$\beta = (a+b)(1-I_j) \quad (2)$$

Donde:

I_{j0} = Índice de Jacard.

β = Diversidad beta de Magurran.

a = Número de especies presentes en la edad 1

b = Número de especies presentes en la edad 2

c = Número de especies presentes en las dos edades que se comparan.

Adicionalmente, se determinó el incremento medio anual y sus correspondientes estadísticos básicos, la clasificación se realizó según los criterios de Ramos *et al.* (1986); para cada edad se estimó el área basal en $m^2 ha^{-1}$, así como el volumen total maderable en $m^3 ha^{-1}$ con los modelos generados por el INIF para las especies del estado de Campeche (SARH, 1985); además se obtuvieron sus respectivos incrementos anuales.

Para el estudio de la estructura diamétrica se usó la función de distribución de probabilidades Weibull, definida por Bailey y Dell (1973), Clutter *et al.* (1983) y Cao (2004) como:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right] & (a \leq x \leq \infty) \\ 0, \text{ de otra forma} & \end{cases} \quad (3)$$

Donde:

- $f_x(x)$ = Probabilidad asociada con cada posible valor de la variable aleatoria x
- a = Parámetro de localización
- B = Parámetro de escala
- c = Parámetro de forma.

Los parámetros del modelo se estimaron para las cinco edades con los datos de las distribuciones diamétricas observadas por medio de la ecuación (3) mediante regresión no lineal, para lo cual se utilizó el procedimiento *NLIN* y el método de *MARQUART* del programa de cómputo Statistical Analysis System (SAS, 1999).

Como el menor diámetro que se midió fue de 7.5 cm en este trabajo, al parámetro de localización se le dio el valor de 7.0 cm, ya que para distribuciones diamétricas se interpreta como el diámetro normal más pequeño posible (Clutter *et al.*, 1983; Torres *et al.*, 2000); para el ajuste, las mediciones correspondientes se clasificaron en categorías de cinco en cinco centímetros dentro del intervalo de 10 hasta 35 cm.

Los criterios de bondad de ajuste del modelo fueron los estadísticos Seudo R^2 y cuadrado medio del error.

Después de la estimación de los parámetros, se determinó la distribución de frecuencias por categoría diamétrica, para lo cual se integra la ecuación (3) de acuerdo con Bailey y Dell (1973) y Clutter *et al.* (1983), misma que se planteó de la forma:

$$f_x(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] & (a \leq x \leq \infty) \\ 0, \text{ de otra forma} & \end{cases} \quad (4)$$

Al considerar los límites superior e inferior de cada categoría diamétrica, con base en las recomendaciones de Clutter *et al.* (1983) y Rennolls *et al.* (1985), a partir de la ecuación (4) se genera la ecuación (5), bajo el supuesto de que los parámetros de la función de distribución de probabilidades Weibull son conocidos, finalmente con base en el número total de individuos, se calculó la distribución teórica del diámetro.

$$P(l \leq x \leq u) = \exp\left[-\left(\frac{l-a}{b}\right)^c\right] - \exp\left[-\left(\frac{u-a}{b}\right)^c\right] \quad (5)$$

Donde:

- l = Valor inferior de la categoría diamétrica (x)
- u = Valor superior de la categoría diamétrica (x)
- x = Categoría diamétrica
- P = Proporción de probabilidad para cada categoría diamétrica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los 20 años de observación, se hizo el registro de 17 familias, 27 géneros y 28 especies arbóreas (cuadros 1 y 2), de las cuales Leguminosae y Sapotaceae fueron las mejor representadas con cinco y cuatro especies, respectivamente, mismas que en conjunto contribuyen con 32% del total; 65% de las familias son monoespecíficas, pero aún así, la mezcla de especies es alta.

Se determinó que en un periodo de 13 años el número de taxa aumentó, de 15 a los siete años, a 24 a los 20 años, lo cual coincide con lo presentado por Wadsworth (2000), quien menciona que durante un período de 11 años

Cuadro 1. Composición florística y abundancia relativa de un bosque secundario en Campeche, México, para especies presentes desde los siete años de edad del acahual.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Edad del bosque (años)							Área basal (m ²)
			7	10	14	17	20			
T'zalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth	Leguminosae	66.5	62.4	56.8	54.4	52.0	4.3401		
Pochote	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.)	Cochlospermaceae	10.5	6.7	2.5	1.6	1.6	0.0726		
Chacá colorado	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Burseraceae	8.1	8.0	9.6	10.4	10.7	0.5291		
Jabín	<i>Piscidia communis</i> (L.) Sarg.	Leguminosae	3.3	3.1	3.3	3.1	3.2	0.1641		
Sac chacá	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Dcne. & Planch	Araliaceae	2.4	4.3	4.6	4.9	5.1	0.2332		
Machiche	<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.	Leguminosae	1.9	1.2	3.8	4.4	4.5	0.1683		
Ya'axnik	<i>Vitex gaumeri</i> Grenm	Verbenaceae	1.9	2.8	2.7	2.6	2.7	0.1379		
Trementino	<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britt. & Millisp.	Flacourtiaceae	1.4	1.8	1.9	2.3	2.4	0.1155		
Jobo	<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.0248		
Laurelillo	<i>Licaria peeki</i> (Sandl.) Kosterm	Lauraceae	0.5	5.8	8.2	9.1	9.6	0.4194		
Caimitillo	<i>Cryosophyllum mexicanum</i> Brand. Ex Standl.	Sapotaceae	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.0137		
Guano yucateco	<i>Sabal morrisiana</i> Bartlett	Palmae	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0442		
Caracolillo	<i>Mastichodendron capiri</i> (A. DC.) Cronquist	Sapotaceae	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0270		
Cedro rojo	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	0.5							
Majagua ioltzin	<i>Heliocarpus mexicanus</i> (Turcz.) Sprague	Tiliaceae	0.5	0.3						
Total de individuos			209	327	366	386	375			
Total de especies			15	18	24	25	24	6.4789 ¹		
Total de familias			12	13	15	15	16			

¹ Área basal total para el sitio de estudio (2500m²).

Cuadro 2. Composición florística y abundancia relativa de un bosque secundario en Campeche, México, para especies presentes desde los diez años de edad del acahual.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Edad del bosque (años)						Área basal (m ²)
			7	10	14	17	20		
Ramón colorado	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	Moraceae	0.6	1.1	1.0	1.0	1.1	0.0290	
Kanisté	<i>Pouteria campechiana</i> (H.B.K.) Baehni	Sapotaceae	0.3	0.5	0.8	1.3	0.0528		
Anonilla	<i>Annona primigenia</i> Standl. & St.	Annonaceae	0.3	0.5	1.1	0.0270			
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Moraceae	0.6	0.5	0.5				
Zapote faisán	<i>Diphollis salicifolia</i> (L.) A. Dc.	Sapotaceae	0.3	0.5	0.5	0.5	0.0179		
Guácimo de montaña	<i>Luehea speciosa</i> (Willd.)	Tiliaceae	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0123		
Chechém negro	<i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urban.	Anacardiaceae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0105		
Palo gusano	<i>Lonchocarpus longistylus</i> Pittier.	Leguminosae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0052		
Katzin	<i>Mimosa hemiendyfa</i> Rose & Robinson	Leguminosae	0.3	0.3	0.3				
Majahua blanca	<i>Hampea trilobata</i> Standl.	Malvaceae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0079		
Manzanilla	<i>Malva viscus</i> sp.	Malvaceae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0097		
Papelillo	<i>Alseis yucatanensis</i> Standl.	Rubiaceae	0.3	0.3	0.3	0.5	0.0110		
Copal colorado	<i>Cupania glabra</i> Sw.	Sapindaceae				0.3	0.0058		
Total de individuos			209	327	366	386	375		
Total de especies			15	18	24	25	24	6.4789 ¹	
Total de familias			12	13	15	15	16		

¹ Área basal total para el sitio de estudio (2500m²).

en un bosque secundario de Costa Rica, la cantidad de especies arbóreas se incrementó de 10 a 54, cuando se tomaron en cuenta a los individuos existentes en la regeneración con un diámetro menor a 7.5 cm; en el presente trabajo sólo se contabilizaron los que alcanzaran o superaran este grosor, por lo que el número de individuos, de especies y de familias que se puede considerar, tiende a ser menor.

De las 28 especies registradas, sólo 13 fueron comunes en todas las edades y de éstas, seis destacaron por su alta abundancia y mayor área basal. A nivel de especie, se determinó que el gran número inicial de *Lysiloma latisiliquum* se mantiene hasta los 20 años; sin embargo, la proporción de individuos con respecto al total, tiende a disminuir con la edad. *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Willd. ex Spreng. manifiesta un comportamiento similar, aunque la tendencia es más drástica, ya que pasa de 10 a 1.5% de los siete a los 20 años.

En contraparte, también existen especies con disposición a incrementar su población en el sitio conforme la edad aumenta, entre las cuales destaca *Licaria peeki* (Sandl.) Kosterm que pasa de 1 a 9% del total de individuos de la edad de 7 a la de 20 años, respectivamente; un comportamiento similar presentó *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Dendropanax arboreus* (L.) Dcne. & Planch. ex Britt. Además, se observaron taxa que se mantuvieron estables en función del porcentaje de participación individual, como: *Spondias mombin* L., *Sabal morrisiana* Bartlett y *Piscidia communis*, entre otras.

De acuerdo con Lamprecht (1990) y Vanclay (1994) la densidad refleja el potencial del sitio y los hábitos de crecimiento de las especies presentes en él, por lo que este parámetro, relacionado directamente con la abundancia, es uno de los principales que deben tomarse en cuenta en el manejo de los bosques para inducirlos a etapas más productivas; así, las especies maderables tropicales del bosque secundario más numerosas y de valor comercial que deben integrarse a la aplicación de tratamientos silvícolas son: *Lysiloma latisiliquum*, *Dendropanax arboreus*, *Bursera simaruba*, *Lonchocarpus castilloi* Standl., *Licaria peeki* y *Piscidia communis*.

Finegan (1992), Smith *et al.* (1997) y Wadsworth (2000) advierten que el manejo de estas comunidades forestales es económicamente posible, sólo en donde los árboles son además de utilizables, susceptibles de comercialización, por lo que existe una convergencia entre lo ecológico-silvícola y el entorno socioeconómico. De igual manera, la formación de grupos ecológicos de especies con valor comercial, en función de su abundancia, puede facilitar en términos técnicos y prácticos las intervenciones silviculturales; así como la determinación de ciclos y de diámetros mínimos de corta.

Con relación a las seis especies más abundantes arriba indicadas, que

corresponden a las de mayor importancia comercial actual, se tiene que para la primera medición, 82% de los individuos pertenecieron a ese grupo, y en la última representaron 87% del total de individuos del sitio.

Los valores del índice de Jaccard variaron de 0.68 a 0.96 con una tendencia a aumentar con la edad del bosque (Cuadro 3), es decir que la semejanza en la composición de especies es media para las edades de 7, 10 y 14 años y alta para los 17 y 20 años, resultado que coincide con lo citado por De Walt *et al.* (2003) para ocho bosques secundarios del Monumento Natural Barro Colorado en Panamá quienes observaron que la similitud se incrementa con la edad del bosque. Por otra parte, con el índice de Magurran la diversidad beta fue mayor al aumentar el número de especies entre las edades que se compararon y también cuando se volvieron más diferentes; así, el grado de cambio en la composición de especies resultó ser alto a menor edad del bosque secundario estudiado.

Cuadro 3. Valores de los índices de Jaccard y de diversidad beta de Magurran.

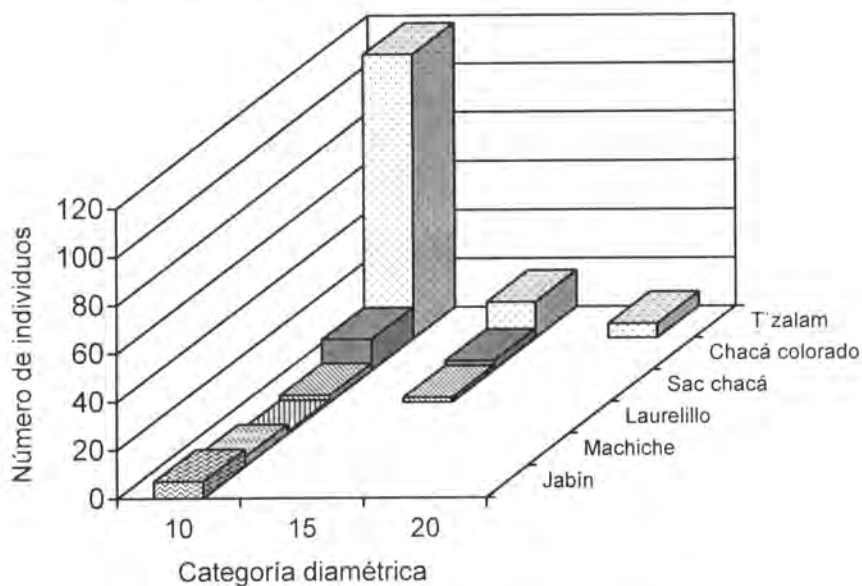
Índice	Edades del bosque secundario que se comparan				
	7 - 10	10 - 14	14 - 17	17 - 20	7 - 20
Jaccard (I_j)	0.73	0.68	0.96	0.88	0.50
Diversidad beta de Magurran (β)	8.91	13.44	1.96	5.88	19.50
Especies comunes	14	17	24	23	13

De igual forma, las edades del sitio con mayor similitud compartieron más especies y viceversa; esta evidencia sugiere que esta característica de un mismo bosque secundario está fuertemente asociada, tanto con la riqueza de especies registradas como con el número de taxa compartidos.

La mayoría de los individuos contabilizados en el bosque secundario son integrantes típicos de selva mediana subperennifolia, aunque coexisten especies que pertenecen a la vegetación secundaria; de tal manera que a la edad de 20 años se tiene un bosque secundario en proceso de sucesión hacia el tipo de vegetación que le dio origen.

En la Figura 1 se observa que para los árboles más abundantes en el bosque secundario en un periodo de 13 años se registró un aumento de tres categorías

a.- Bosque secundario con edad de siete años.



b.- Bosque secundario con edad de 20 años

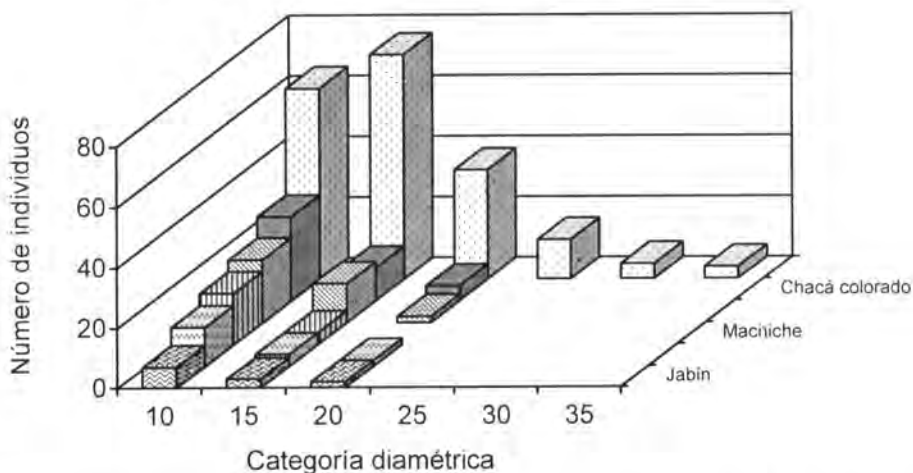


Figura 1. Estructura diamétrica para las especies más abundantes de un bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

diamétricas (25, 30 y 35 cm). En la medición inicial, 82% del total de individuos se ubicó en la categoría de 10 cm y el resto se distribuyeron en las categorías de 15 y 20 cm respectivamente; en tanto que en la última toma de datos, 45% de los individuos se integraron en la primera categoría (10 cm).

En general se estimó un incremento medio anual de 0.27 cm, el cual se clasifica como bajo (Cuadro 4), y es superior al determinado por Weaver (1979) para 26 especies de un bosque secundario en Puerto Rico, mismo que en promedio fue de 0.14 cm año⁻¹ para un periodo de medición de 26 años; en este sentido, Wadsworth (2000) señala que cuando se utilizan todos los valores de diámetro normal de todos los árboles, se subestima el crecimiento de aquellos individuos que crecen rápido y que tienen posibilidades de alcanzar el dosel y la madurez, que a su vez, constituyen el potencial maderable y que deben manejarse mediante la aplicación de tratamientos silvícolas.

Cuadro 4. Características dasométricas en relación con la edad del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

Número de observaciones	Edad (años)	Variable	Mínima	Media	Máxima	Desviación estándar
209	7	DAP (cm)	7.5000	10.3000	25.5000	2.8000
		AB (m ²)	0.0044	0.0090	0.0511	0.0059
327	10	DAP (cm)	7.6000	11.0000	26.0000	3.200
		AB (m ²)	0.0045	0.0103	0.0531	0.0072
366	14	DAP (cm)	7.6000	12.3000	30.7000	4.0000
		AB (m ²)	0.0045	0.0131	0.0740	0.0099
386	17	DAP (cm)	7.5000	13.1000	34.4000	4.7000
		AB (m ²)	0.0044	0.0152	0.0929	0.0125
375	20	DAP (cm)	7.6000	13.9000	37.2000	5.2000
		AB (m ²)	0.0046	0.0173	0.1089	0.0146
IMA en DAP (cm)				0.2700		

DAP = Diámetro a la altura del pecho; AB = Área basal; IMA = Incremento medio anual.

El diámetro máximo a los 20 años alcanzó 37.2 cm. Los valores crecientes de la desviación estándar, indican el aumento de probabilidad de encontrar mayor diversidad de categorías diamétricas al paso del tiempo.

El área basal es baja a menor edad, debido a la existencia de diámetros pequeños, y a medida que la edad es mayor, los individuos incrementan el grosor y, por lo tanto, se genera un aumento del área basal (Cuadro 5), comportamiento que coincide con lo señalado por Wadsworth (2000). Se determinó que el incremento medio anual de dicha variable fue de 1.4141 m^2 y el volumen de madera total/ha de 11.028 m^3 . Los valores de área basal por edad son similares a los observados por Centeno (1989) para bosques secundarios en la misma zona de estudio y derivados del mismo tipo de vegetación, pues dicho autor registró $13.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (11 años), $18.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (17 años) y $25.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (23 años).

El volumen total estimado en el presente trabajo es más alto al que menciona Centeno (1990a) para un bosque secundario de igual edad y origen, también es superior al que obtiene Spittler (2001) para un bosque secundario seco de Costa Rica con edad de 17 a 25 años estimados en 79 y $66.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente; con base en algunos datos dados a conocer por Centeno (1990b) se tiene que a la edad de 20 años el bosque secundario sólo es 11% menor con respecto al volumen total de una selva mediana subperennifolia de la misma zona de estudio, estimado en $207 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

La diferencia en la productividad entre bosques secundarios de acuerdo con Wadsworth (2000) responde a factores como fertilidad del suelo, precipitación, altitud, proximidad a fuentes de propágulos o fuentes semilleras, tipo e intensidad del uso anterior y extracciones, entre otros; con relación al incremento en volumen total se espera que conforme aumente la edad éste tienda a disminuir.

Los valores de los criterios para evaluar el ajuste a la función de densidad Weibull revelan que fue adecuado para cada una de las edades en las que se midió la masa (Cuadro 6); es evidente que la distribución diamétrica real es recuperada de manera muy aproximada con los parámetros usados y que da por resultado la distribución diamétrica teórica (Cuadro 7).

En general, la dinámica de la estructura diamétrica muestra un patrón en el cual el mayor número de individuos están representados en las clases diamétricas pequeñas, y disminuyen de manera gradual hacia las clases más grandes, es decir conforme aumenta el tamaño del diámetro, se reduce el número de individuos; sin embargo, a la edad de 20 años hay árboles que ingresan a la categoría diamétrica de 35 cm, situación que indica la posibilidad de poder aprovechar el bosque para la extracción de madera para aserrío a partir de ese momento.

Cuadro 5. Área basal, volumen de madera e incrementos por edad del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

Edad (años)	Área basal		Volumen total	
	m ² ha ⁻¹	Inc ha ⁻¹ año ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	Inc ha ⁻¹ año ⁻¹
7	7.4883		38.070	
10	13.4048	1.9721	78.659	14.751
14	19.2369	1.4580	129.344	11.023
17	23.4964	1.4198	160.204	10.341
20	25.9152	0.8063	184.387	7.998
IMA	1.4141		11.028	

Inc: incremento; IMA: Incremento medio anual.

Cuadro 6. Parámetros estimados de la función de distribución de probabilidades Weibull y estadísticos por edad del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

Edad (años)	Parámetro		Seudo R ²	Cuadrado medio del error
	Escala (b)	Forma (c)		
7	3.3955	1.3657	0.9988	0.0820
10	4.0929	1.4785	0.9993	0.0795
14	5.6700	1.4688	0.9996	0.0539
17	6.6080	1.3350	0.9996	0.0526
20	7.4994	1.3257	0.9996	0.0557

Cuadro 7. Dinámica de la distribución diamétrica real (R) y teórica (T) del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

CD (cm)	Edad (años)									
	7		10		14		17		20	
	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
10	177	178.731	258	257.193	223	225.337	205	209.528	181	181.750
15	24	28.171	51	63.508	115	109.41	127	115.784	116	114.322
20	7	1.868	12	5.704	16	26.205	37	43.184	55	51.114
25	1	0.071	6	0.264	9	4.069	9	12.833	14	18.841
30		0.002		0.007	3	0.452	7	3.241	5	6.062
35						0.038	1	0.718	4	1.751
40						0.002		0.143		0.462
45								0.026		0.113
50								0.004		0.026
55								0.001		0.005
	209	208.843	327	326.676	366	365.513	386	385.462	375	374.448

Wadsworth (2000) señala que los bosques secundarios sin tratamiento silvícola producen poca madera útil, pero son prometedores si se empiezan a manejar a una edad temprana, con la aplicación de ciclos de corta más estrechos o posibilidades de corta mayores, y sobre todo, se debe mantener la estructura diamétrica a mediano y largo plazo mediante la incorporación de individuos de la regeneración a las primeras categorías diamétricas para así conservar la estabilidad de la masa.

En el bosque de 7.0 y 10.0 años se obtuvo una curva asimétrica negativa similar a una "J" invertida característica de masas jóvenes (Figura 2), la cual

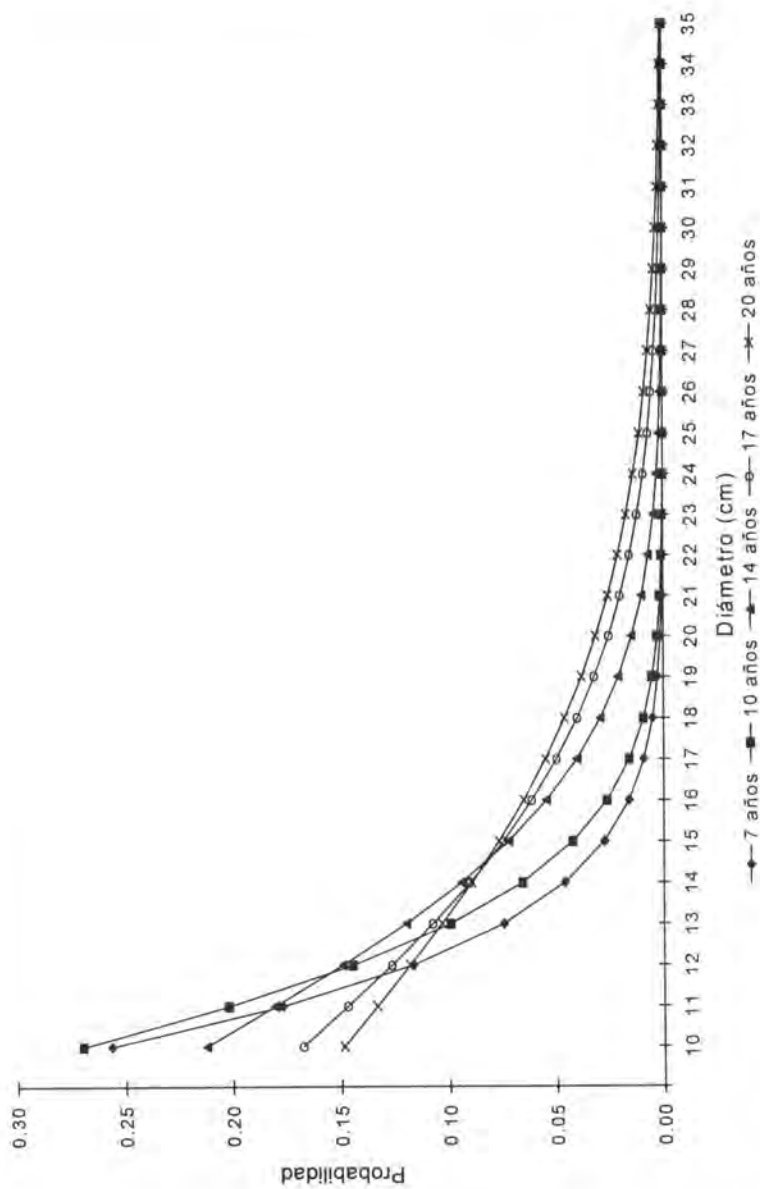


Figura 2. Distribución teórica del diámetro en función de la distribución Weibull del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

pierde esta forma a medida que la edad aumenta, situación que es propia de las etapas sucesionales avanzadas, lo anterior corrobora la dinámica de crecimiento medio del diámetro observado en el Cuadro 4.

El comportamiento gráfico de la distribución diamétrica con la función de distribución de probabilidades Weibull está relacionado con los valores que toma el parámetro de forma c , el cual de acuerdo con Torres *et al.* (2000) refleja la forma de la ecuación; por lo tanto, al considerar la edad y el nivel de competencia presente puede utilizarse para identificar el tiempo aproximado de establecimiento de la masa arbórea, mismo que es de utilidad para decidir los tratamientos silvícolas que deberán aplicarse.

CONCLUSIONES

En un periodo sucesional de veinte años, el bosque secundario estudiado aumentó la composición y similitud de especies con la edad. Sin embargo, desde los siete años, estuvo presente 58% del total de especies identificadas en el sitio.

Los valores correspondientes al incremento medio anual en diámetro, en área basal y volumen maderable total sugieren que los bosques secundarios con edad y origen similares al estudiado en este trabajo pueden llegar a producir un volumen considerable de madera. Así, a los 20 años de edad es posible aprovechar árboles de 35 cm de diámetro.

La estructura diamétrica ajustada mediante la función de densidad de probabilidades Weibull resultó adecuada por la proximidad de los datos reales con los estimados, por lo que es posible usar el valor del parámetro de forma (c) para identificar el tiempo aproximado de establecimiento de la masa arbórea, la definición y la aplicación de técnicas y tratamientos silvícolas.

A partir del comportamiento de la abundancia de especies como atributo estructural durante el periodo sucesional, destaca la necesidad de formar grupos ecológicos y/o tecnológicos de especies con valor comercial, lo que permite definir las intervenciones silvícolas que deberán aplicarse en un bosque secundario.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento otorgado para realizar el presente estudio en su fase final a la Comisión Nacional Forestal a través del proyecto CONAFOR-2002-C01-5808 en el marco del Fondo Sectorial para la Investigación y la Innovación Tecnológica Forestal.

REFERENCIAS

- Acosta M., M., J. M. Torres R. y C. Rodríguez F. 1997. Predicción del rendimiento de *Pinus montezumae* Lamb. usando modelos de distribuciones diamétricas. *Ciencia Forestal en México* 22(81):71-90.
- Bailey, R. L. and T. Dell R. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science* 19(2):97-104.
- Cao, Q. V. 2004. Predicting parameters of a Weibull function for modeling diameter distribution. *Forest Science* 50(5):682-685.
- Cedeño S., O. 1981. Campo Experimental Forestal "El Tormento", Campeche. *Ciencia Forestal en México* 1(3):75-82.
- Centeno E., L. R. 1989. Análisis estructural de cuatro etapas sucesionales de selva mediana subperennifolia en la región de Escárcega, Campeche. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 178 p.
- Centeno E., L. R. 1990a. Sitios permanentes de investigación silvícola en el trópico. *In: Memorias de la Segunda Reunión Científica Forestal y Agropecuaria*. 4 de diciembre de 1990. INIFAP, Campeche, Camp. pp. 149.
- Centeno E., L. R. 1990b. Inventario forestal en la zona norte del campo experimental Ing. Eduardo Sangri Serrano. *In: Memorias de la Segunda Reunión Científica Forestal y Agropecuaria*. 4 de diciembre de 1990. INIFAP Campeche, Camp. pp. 148.
- Clutter, J. L., J. Fortson C. L. Pienaar V., G. Brister H. and R. Bailey L. 1983. Timber management: A quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. 333 p.
- Cuanalo de la C., H. E. 1981. Suelos del Campo Experimental Forestal "El Tormento", Campeche. *Bol. Téc. No. 15*. INIF. 2ª Ed. México, D. F. 25 p.
- De Walt, J. S., S. Maliakal K. and J. Denslow J. 2003. Changes in vegetation structure and composition along a tropical forest chronosequence: implications for wildlife. *Forest Ecology and Management* 182:139-151.
- Finegan, B. 1992. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. *Forest Ecology and Management* 47(1-4): 295-321.
- García, E. 1988. Modificaciones a la clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. 252 p.
- Johnson, C. M., I. C. Vieira G., D. Zarin J., J. Frizano and A. Johnson H. 2001. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 147(2-3):245-252.
- Krebs, C. J. 1989. *Ecological methodology*. Harper Collins Publishers. New York, NY. 678 p.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. República Federal de Alemania. 335 p.

- Maldonado A., D. y J. Nívar Ch. 2002. Ajuste y predicción de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de plantaciones de pino de Durango, México. *Madera y Bosques* 8(1):61-72.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science. Malden, MA. USA. 256 p.
- Manzanilla B., H. 1993. Los sitios permanentes de investigación silvícola. Un sistema integrado para iniciarse en el cultivo de los ecosistemas forestales. SARH-INIFAP. Bol. Téc. No. 116. 2ª ed. México, D. F. 101 p.
- Nívar Ch., J. J. y J. Contreras A. 2000. Ajuste de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de rodales irregulares de pino de Durango. *Agrociencia* 34(3):353-361.
- Pielou, E. C. 1975. *Ecological diversity*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. USA. 165 p.
- Ramos, L., H. Gra, P. Friol y L. Barreras. 1986. Algunos aspectos dasométricos del bosque semicaducifolio sobre caliza, en el Limón, Guanahacabibes, provincia de Pinar del Río. *Revista Forestal Baracoa* 16(1):45-64.
- Rennolls, K., D. Geary H. and T. J. Rollinson D. 1985. Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution. *Forestry* 58(1):57-66.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. *Inventario forestal del estado de Campeche*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF). Publicación especial No. 56. México, D. F. 92 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 1999. *SAS/STAT: User's Guide*, ver. 8.0. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 1,596 p.
- Smith, J., C. Sabogal, W. de Jong y D. Kaimowitz. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. Occasional paper No. 13. Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. 31 p.
- Spittler, P. 2001. Potencial de manejo de los bosques secundarios en la zona seca del noroeste de Costa Rica. República Federal de Alemania. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Serie No. TÖB TWF-23s. 104 p.
- Stiling, P. 1999. *Ecology: theories and applications*. 3rd edition. Prentice Hall. Inc. New Jersey, NJ. USA. 840 p.
- Torres R., J. M., M. Acosta M. y O. S. Magaña T. 1992. Métodos para estimar los parámetros de la función Weibull y su potencial para ser predichos a través de atributos del rodal. *Agrociencia* 2(2):57-76.
- Torres R., J. M., O. S. Magaña T. y M. Acosta M. 2000. Metodología para mejorar la predicción de parámetros de distribuciones diamétricas. *Agrociencia* 34(5):627-637.
- Vanclay J., K. 1994. *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests*. CAB International. Wallingford, Oxon. UK. 312 p.

- Wadsworth H., F. 2000. Producción forestal para América Tropical. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710-S. Washington, DC. USA. 563 p.
- Weaver P., L. 1979. Tree growth in several tropical forests of Puerto Rico. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Pap. SO-152. 15 p.
- Wilson, M. V. and A. Shmida. 1984. Measuring beta diversity with presence-absence data. *Journal of Ecology* 72:1055-1064.

EVALUACIÓN BIOLÓGICA E IDENTIFICACIÓN DE DOS PRINCIPIOS ACTIVOS DE EXTRACTOS DE ORÉGANO (*Lippia berlandieri* Schauer)

Blanca Estela Serrato Barajas¹, José Cirilo Calderón Mugica², Rafael Salgado-Garciglia², Carlos Leonardo Céspedes Acuña³ y Miguel Bravo Espinosa¹

RESUMEN

La tradición del hombre de utilizar a las plantas como alimento y medicina, se ha transmitido a través de generaciones; sin embargo de pocas especies se tienen identificados sus principios activos, dosis efectivas y letales. *Lippia berlandieri*, denominada orégano de cerro, cimarrón o silvestre y Xaak che en lengua maya, es una de ellas. En el presente estudio se evaluó el efecto de los extractos de etanol y acetato de etilo contra las bacterias *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella flexneri* y *Staphylococcus aureus*, así como el extracto acetato de etilo sobre *Artemia franciscana*. En sistema Soxhlet se obtuvieron los extractos en los solventes de etanol y acetato de etilo; se determinaron los efectos de los dos tipos de extractos en enterobacterias. Se aislaron, purificaron e identificaron los principios activos y la respuesta de *A. franciscana* a los principios activos aislados sobre nauplios. Los resultados indican que los extractos acetato de etilo y el etanólico tuvieron rendimientos de 270 mg/g y para el etanólico de 117 mg/g. La mayor actividad antimicrobiana la presentó el extracto acetato de etilo sobre *Salmonella* sp. con una inhibición de crecimiento de 60%, seguida de *S. aureus* con 44%, *S. flexneri* y *E. coli* con 40%. El extracto etanólico inhibió a *S. aureus* en 43%, *E. coli* en 40%, *S. flexneri* en 30% y *Salmonella* sp. en 20%. Se aislaron, purificaron e identificaron los monoterpenos timol y carvacrol en proporción 1:1. Su concentración letal 50 (CL₅₀) fue de 3.67 µg/mL sobre nauplios de *A. franciscana*.

Palabras clave: *Artemia franciscana*, carvacrol, enterobacterias, *Lippia berlandieri*, principio activo, timol.

Fecha de recepción: 19 de enero de 2005.

Fecha de aceptación: 22 de marzo de 2006.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Producción Sostenible (CENAPROS), INIFAP. Correo-e: serrato.blanca@inifap.gob.mx

² Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³ Instituto de Química, UNAM.

ABSTRACT

Man has used plants empirically as food and medicine to cure diseases, a knowledge that has been transmitted through generations. However, very few species have been studied in order to identify their active compounds, effective and lethal doses. One of this is marjoram (*Lippia berlandieri*), as "oregano" known in Mexico either as hill or wild marjoram or "Haak che" in Mayan language. In this study the effect of both types of extract ethanol and ethyl acetate on *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella flexneri* and *Staphylococcus aureus* was assessed and evaluate the effect of the isolated active principle on *Artemia franciscana* Kellogg larva. Ethanol and ethyl acetate extracts were obtained using the Soxhlet system. Both types of extract effects on enterobacteria were evaluated. Active principles were isolated, purified, and identified. Finally, the effects of isolated active principles on *A. franciscana* nauplios were assessed. The extract yield obtained with ethyl acetate was 270 mg/g of dry plant, and that obtained with ethanol was 117 mg/g. The ethyl acetate inhibited the *Salmonella* sp. growth in 60 per cent, that of *S. aureus* in 44 per cent, and that of *E. coli* in 40 per cent. The ethanol extract inhibited the *S. aureus* growth in 43 per cent, *E. coli* in 40 per cent, *S. flexneri* in 30 per cent, and *Salmonella* sp. in 20 per cent. Thymol and carvacrol monoterpenes were isolated, purified, and identified in 1:1 proportion. These active principles showed a 50 lethal concentration (LC₅₀) of 3.67 µg/mL on *A. franciscana* larva.

Key words: *Artemia franciscana*, carvacrol, enterobacterias, *Lippia berlandieri*, active principles, thymol.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado las plantas de forma empírica, principalmente para su alimentación y en curar sus enfermedades, tradición que se ha transmitido a través de generaciones, en muchos casos influidos por toda una mitología; sin embargo, desde el punto de vista farmacológico, pocas especies han sido estudiadas con la intención de identificar sus principios activos, dosis efectivas y letales, los tiempos y vías idóneas de efectividad, mecanismos de acción, efectos secundarios y muchos aspectos encaminados hacia el uso adecuado de las plantas para la conservación de la salud (Dodds y Roberts, 1982; Salgado-Garciglia, 1995).

En la actualidad, se estima que México posee aproximadamente 22,000 especies de plantas vasculares, que representan una flora más basta que la de Estados Unidos de América y Canadá juntos, y del mismo orden que la de la ex Unión Soviética (Rzedowski, 1991). Para el estado de Michoacán no se conoce con exactitud el número de taxa que constituyen su flora, pero de manera

conservadora se considera que existen alrededor de 5,000 y muchas de éstas tienen gran variedad de formas en su uso (Rodríguez y Espinoza, 1995).

Con el nombre de orégano se conocen 20 especies pertenecientes a las familias Verbenaceae, Lammiaceae, Asteraceae y Leguminosae (Martínez, 1959; Martínez, 1979), aunque la más importante, desde el punto de vista comercial, es *Lippia berlandieri* Schauer, ya que 90% de la producción nacional de orégano corresponde a dicho taxón de origen mexicano (Dirección Nacional de Normatividad Forestal, 1986 citado por Martínez, 1996).

Quintero y Gutiérrez (1991) establecen a *Lippia graveolens* HBK. como sinonimia de *L. berlandieri*; Martínez (1959, 1996) registra los siguientes nombres comunes para la especie: orégano de cerro, cimarrón o silvestre y Xaak che en lengua maya.

L. berlandieri es un arbusto caducifolio, muy ramificado, que llega a alcanzar hasta 2.50 m de altura y 1.20 m de diámetro de cobertura foliar; sin embargo en la mayoría de los casos, las poblaciones silvestres de orégano bajo aprovechamiento miden de 0.70 a 1.20 m de altura y de 0.30 a 0.80 m de diámetro de cobertura, en función de las condiciones específicas de desarrollo y de la edad de la planta (Martínez, 1996). Crece en las zonas áridas de México y forma parte de sus recursos forestales no maderables.

El orégano presenta un sistema radicular ramificado. Los tallos sostienen una gran cantidad de hojas opuestas, alternas, de forma ovalada, ápice romo, de bordes dentados, textura rugosa y con pubescencia corta en ambos lados. Tienen un aroma penetrante, de sabor astringente y picante, su tamaño varía de 1 a 3 cm de largo por 0.5 a 1.5 cm de ancho (Martínez, 1996; Cavazos, 1991 y Maldonado, 1991).

El aceite del orégano (*Lippia graveolens*) es muy codiciado como condimento y en la industria farmacéutica, por lo que su extracción constituye un valor agregado para el aprovechamiento e incide en un mayor beneficio económico para los productores. En estudios realizados con el aceite esencial proveniente de ejemplares recolectados en las regiones semidesérticas del sur de Chihuahua y del norte de Durango, se ha determinado que su elemento principal es un poderoso fungicida y bactericida natural; por ello durante su cultivo se reducen costos en el uso de agroquímicos, hay disminución en el impacto ambiental y mejores ganancias económicas a los productores marginados de la región norte del país (Huerta, 2000).

Costa y colaboradores (2001) citaron que a partir de un extracto etanólico de *Lippia sidoides* Cham. se aislaron dos compuestos que mostraron actividad sobre líneas celulares de leucemia humana.

Artemia salina (Linnaeus, 1758) es un pequeño organismo que vive en las aguas salobres e hipersalinas de todo el mundo. Es un crustáceo de la subclase de los anostráceos y conforma el plancton de las aguas continentales saladas (Larry y Denton, 1990; Bertek, 1997). En la actualidad se comercializan quistes de *A. franciscana* Kellog procedentes del Gran Lago Salado de Estados Unidos (Thriantaphylidis *et al.*, 1998). Recientemente han sido utilizados como una prueba estándar en los Métodos de Prueba de Toxicidad Aguda de la Calidad de Agua en la Legislación Ambiental del Programa de Normas Oficiales Mexicanas 1996, del Comité Consultivo Nacional para la Protección del Ambiente (UNAM, 1996). Así mismo, son incorporados a investigaciones sobre la evaluación preliminar de extractos de plantas terrestres y acuáticas tendientes a extraer nuevos compuestos bioactivos, tanto de origen natural, como sintético (Arencibia y Tizol, 1996; González y Aportela, 2001).

Este trabajo tuvo como objetivos evaluar el efecto antibacteriano de dos extractos de *Lippia berlandieri* sobre *Artemia franciscana* y tres especies de enterobacterias e identificar sus principios activos a partir de los extractos en etanol y acetato de etilo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de extractos de acetato de etilo y etanólico en Soxhlet

La parte aérea de planta proveniente del Campo Experimental Palma de la Cruz, San Luis Potosí (Figura 1) fue secada a la sombra y triturada mecánicamente. Se tomaron 10 g del material pulverizado, a los que se les agregó 70 mL de acetato de etilo con un equipo Soxhlet por 2 h, manteniendo a un rango de temperatura entre 60 y 80°C. Enseguida, se efectuó una segunda operación de extracción de la misma muestra con 70 mL de etanol durante 2 h. Ambos extractos concentrados se obtuvieron por remoción al vacío del solvente en un rotavapor marca LABCONCO a 45°C y se disolvieron en 5 mL de etanol absoluto, para su posterior almacenamiento en frascos ámbar bajo condiciones de refrigeración.

El rendimiento se calculó con base en el peso del extracto concentrado expresado en miligramos y producido por cada 10 g de planta seca.

Evaluación bactericida

Cultivo de las bacterias en medio sólido.- Las bacterias gram negativas *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. y *Shigella flexneri*, así como *Staphylococcus aureus* (gram positiva) se sembraron en medio de cultivo sólido de extracto de carne y levadura (YEB); para los bioensayos se resembraron en matraces Erlenmeyer con 10 mL de medio YEB líquido, e incubaron 24 h a 37°C y con agitación continua.



Figura 1. Orégano, *Lippia berlandieri* Schauer.

Bioensayos.- Se realizaron por el método de "discos de papel" (Bauer *et al.*, 1966) de un centímetro de diámetro impregnados con los extractos crudos. Estos se colocaron en cajas de Petri con los medios de cultivo previamente inoculados con cada una de las especies bacterianas (100 μ l). Se incubaron en una incubadora marca RIOSSA Modelo EC, por 72 h a 37°C y se identificaron las zonas de inhibición de crecimiento alrededor de los discos; el registro de éstas se hizo en milímetros (incluyendo el disco de papel). A partir del área total de la caja se determinó el porcentaje de inhibición; todos los bioensayos se hicieron por triplicado.

Método de macrodilución en caldo.- Esta prueba en medio líquido se emplea para estimar la concentración a la que un agente activo produce la inhibición de un cultivo bacteriano (Mullenger, 1982; Tamashiro, 1998; NCCLS, 1997 y 1999); consistió en adicionar una solución estándar del extracto a tubos de ensaye que contenían caldo Luria (Luria y Burrows, 1957), de tal manera que quedaran concentraciones crecientes; se inocularon con una solución estandarizada de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, se incubaron hasta turbidez visible para determinar la Concentración Mínima Inhibitoria, definida como la concentración

más baja del agente antimicrobiano que inhibe completamente el crecimiento de la bacteria probada.

Aislamiento y purificación de principio(s) activo(s).- El extracto acetato de etilo fue fraccionado por medio de cromatografía en columna y en placa fina preparativa y eluído con el solvente de partición de hexa-*o*-acetato de etilo en proporción 2:1. De estas eluciones (fracciones), aquella que mostró la actividad óptima, fue sometida varias veces a la cromatografía en columna y en placa fina con la posterior evaluación biológica, hasta que se obtuvo en forma pura un compuesto aislado y purificado al cual se le realizaron análisis espectroscópicos para su identificación.

Del extracto de acetato de etilo y de la bacteria *Staphylococcus aureus*, se hizo una fragmentación biodirigida por cromatografía en columna, se usó como fase fija la Sílica gel de malla 70 - 230 y como fase móvil los solventes hexano-acetato de etilo en proporción 2:1. Después por cromatografía en capa fina, corrida en la misma composición de solventes, se logró el aislamiento de un compuesto de consistencia líquida aceitosa, incoloro, de olor mentolado y con Frente de Referencia de 0.75, determinado como el responsable del efecto bioactivo (Figura 2 A), el cual fue analizado espectroscópicamente.

Identificación de principio(s) activo(s).- Los compuestos con actividad antibacteriana fueron aislados y una vez purificados se identificaron por diferentes análisis espectroscópicos, tales como: Infrarrojo (Espectrofotómetro IR-408 SHIMADZU), Ultravioleta (Espectrómetro UV-160M SHIMATZU), Espectrometría de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (Espectrómetro Hewlet Packard) y Resonancia Magnética Nuclear (RMN AM-400 BRUKER), esta fase del estudio se llevó a cabo en el Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Bioensayo con larvas de *Artemia franciscana*.- Los quistes de *Artemia franciscana* se hicieron eclosionar en solución salina (40 g de sal/litro de agua) a 24-29°C durante 48 h. En una placa para prueba de Elisa con 96 micropozos de 300 µl, se adicionaron a cada uno de ellos 100 µl de solución salina, 10 nauplios y 100 µl del principio activo puro con dimetil sulfóxido al 10%, en las siguientes concentraciones: 15.6, 7.8, 3.9, 1.95 y 0 µg/mL; todos los tratamientos se hicieron por triplicado; 24 h después se determinó el porcentaje de mortalidad de los nauplios y se calculó la concentración letal 50 (CL₅₀) mediante el programa Probit.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

El rendimiento de extracto crudo por cada gramo de planta seca (parte aérea) para el extracto etanólico fue de 117 mg y para el acetato de etilo fue de 270 mg; estos valores difieren de los citados por Martínez y González (2000) quienes registran entre 20 y 40 mg de aceite esencial por gramo de hoja seca de orégano.

Efecto bactericida

El extracto de acetato de etilo produjo el mayor halo de inhibición del crecimiento sobre *Salmonella* sp., mientras que en las otras tres bacterias, el efecto fue muy similar. *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* mostraron más susceptibilidad al extracto etanólico, seguidas de *Shigella flexneri* y *Salmonella* sp. (Cuadro 1).

La concentración mínima inhibitoria del principio activo para *E. coli* y *S. aureus* fue de 10 mg/mL, con un efecto bacteriostático en el primer caso y bactericida para el segundo.

Cuadro 1. Inhibición del crecimiento de diferentes bacterias producido por los extractos de *Lippia berlandieri* Schauer.

Bacteria/extracto	Acetato de etilo (%)	Etanólico (%)
<i>Salmonella</i> sp.	60	20
<i>Escherichia coli</i>	40	40
<i>Shigella flexneri</i>	40	30
<i>Staphylococcus aureus</i>	44	43

Aislamiento, purificación e identificación del principio activo

Se determinó que el principio activo respondió a una mezcla en proporción 1:1 de los monoterpenos fenólicos *3-isopropil-6-metilfenol* conocido como timol y *5-isopropil-2-metilfenol* con nombre común de "carvacrol" (Figura 2 B), con fórmula $C_{10}H_{14}O$, peso molecular de 150 (Figura 3), los cuales son componentes activos de plantas aromáticas como *Thymus vulgaris* L. y *Monarda punctata* L., ambas pertenecientes a la familia Labiatae, cuya principal propiedad terapéutica es la actividad antitusiva expectorante (Harborne y Baxter, 1993).

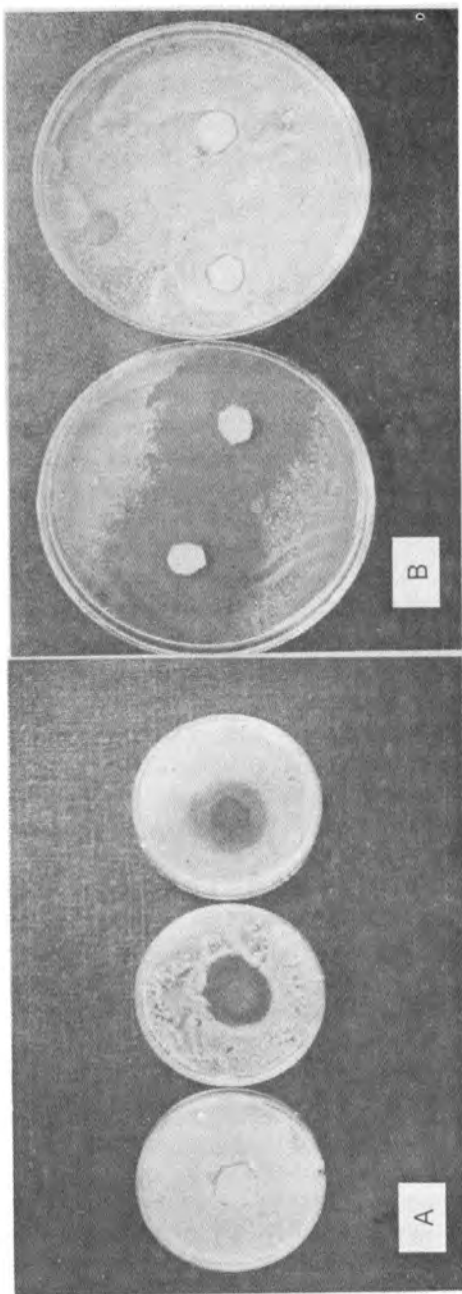
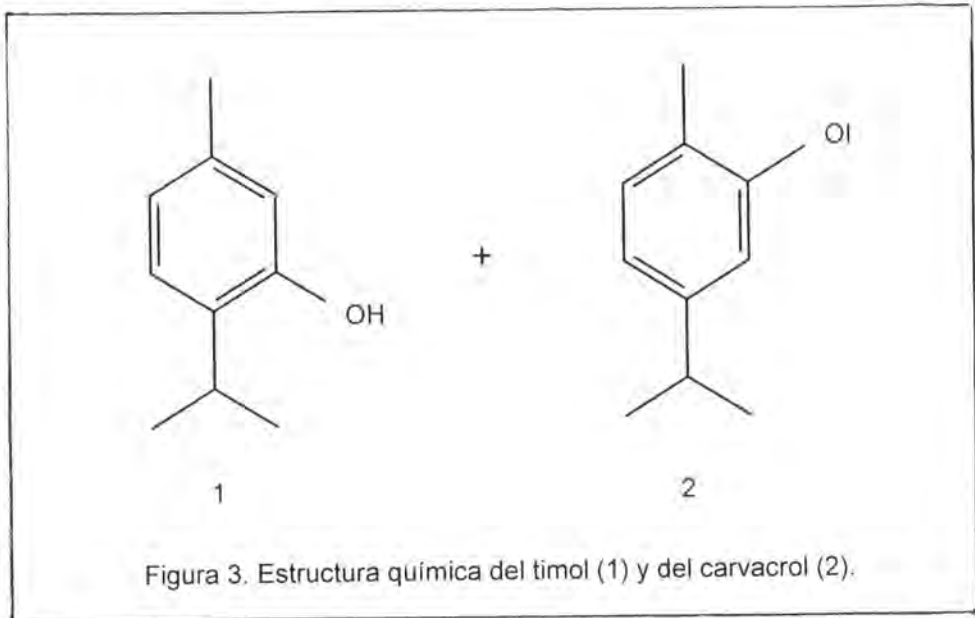


Figura 2. Efecto de inhibición del crecimiento de los extractos etanólico y acetato de etilo de *L. berlandieri* sobre *Staphylococcus aureus* (A) y Efecto del principio activo puro comparado con etanol (B).



El "carvacrol" y el timol tienen acciones analgésicas, antifebriles y antiinflamatorias; por otra parte, el aceite esencial es un efectivo antihelmíntico (timol), en especial frente a ancilostomas, áscaris y oxiuros (Arnason *et al.*, 1989; Harborne y Baxter, 1993).

Bioensayo con larvas de *Artemia franciscana*

El principio activo aislado en las concentraciones de 15.62 $\mu\text{g/mL}$ provocó una mortalidad del 100%, 7.8 $\mu\text{g/mL}$ del 68.8%, 3.9 $\mu\text{g/mL}$ de 60% y 1.95 $\mu\text{g/mL}$ de 42% en nauplios de *A. franciscana*. La concentración letal 50 (CL_{50}) determinada fue de 3.67 $\mu\text{g/mL}$ (Figura 4).

CONCLUSIONES

El mayor rendimiento se obtuvo en el extracto Soxhlet usando como solvente el acetato de etilo, con 270 mg/g de peso seco.

El extracto con más efecto antimicrobiano fue el de acetato de etilo, con inhibiciones de crecimiento de hasta 60% sobre la bacteria *Salmonella*, seguido de 44% en *Staphylococcus aureus*, y de 40% en *Escherichia coli* y *Shigella flexneri*.

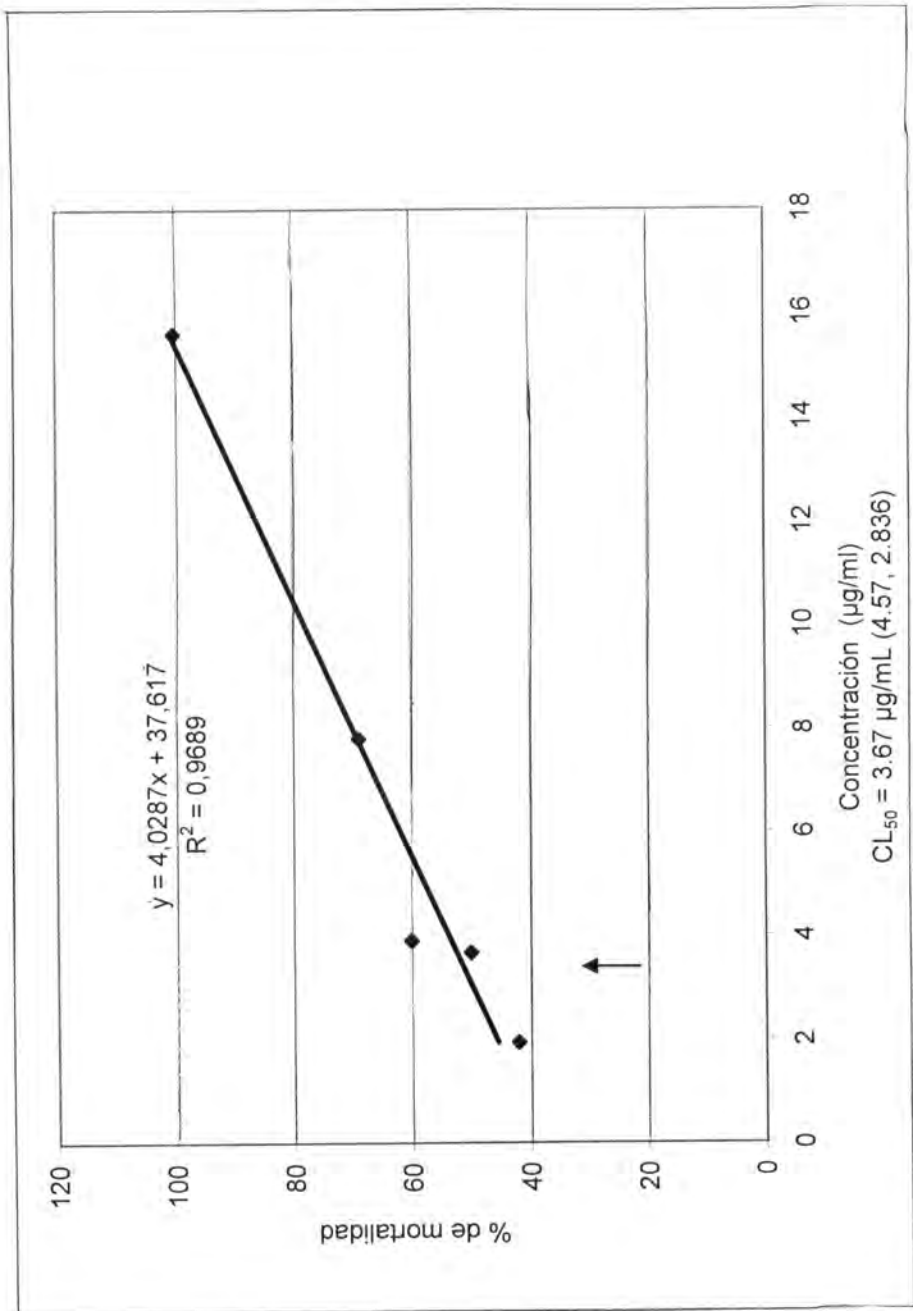


Figura 4. Efecto del principio activo de *Lippia berlandieri* (timol – carvacrol 1:1) sobre *Artemia franciscana*.

Los principios activos identificados en *Lippia berlandieri* fueron el timol y el carvacrol en una proporción de 1:1.

El principio activo puro mostró una CL₅₀ de 3.67 µg/mL sobre larvas de *Artemia franciscana*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento al M. en C. José Rafael Cavazos Doria del Campo Experimental Palma de la Cruz, SLP por haber proporcionado la planta de orégano deshidratada que se utilizó en el presente estudio.

Al Departamento de Acuicultura de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por facilitar los quistes de *Artemia franciscana*.

REFERENCIAS

- Arencibia, G. y R. Tizol. 1996. Determinación de metales pesados en *Artemia*. Revista Cubana de Investigación Pesquera. pp. 69-72.
- Arnason, J. T., B. J. R. Philogene and P. Morand. 1989. Insecticides of plant origin. American Chemical Society, Washington, DC. pp. 141-143.
- Bauer A. W., Kirby W. M. M., Sherris J. C., Turck M. 1966 Antibiotic susceptibility testing by standarized single disck method. Am J. Clin. Pathol. 45:493-496.
- Bertek, Ján. 1997. Lista de comprobación de los nombres válidos e inválidos de los "branchiopods grandes" (Anostraca, Notostraca, Spinicaudata y Laevicaudata), con un examen de la taxonomía de todo el Branchiopoda. Zborník Slovenského Národného Múzea, Prírodné Vedy. Vol. 43:1-66.
- Cavazos, D. J. R. 1991. Características ecológicas y producción de orégano, *Lippia berlandieri* Schauer en poblaciones naturales. Estado actual del conocimiento sobre el orégano en México. In: Memoria de la Primera Reunión Nacional Sobre Orégano. Bermejillo, Durango, México. pp. 56-66.
- Costa S., M., T. L. Lemus, O. D. Pessoa, C. Pessoa, R. C. Montenegro and R. Braz-Filho. 2001. Chemical constituents from *Lippia siloides* and Cytotoxic activity. J. Nat. Prod. 64:792-795.
- Dodds, J. H. and W. L. Roberts. 1982. Biotransformations of codeinona to codeina by inmovilized cell of *Papaver somniferum*. Phytochem. 23(4):999-1001.
- Douglas, L. J. and J. F. Freer. 1982. The bacteriostatic and bactericidal actino of antibiotics. Sourcebook of experiments for the teaching of microbiology. Academic Press, Inc. New York, NY, USA. pp. 313-316.

- Gallegos-Infante J., R. Rocha, G. Gonzalez-Laredo, R. Vargas, R. 2004. Las características antioxidantes de extractos acuosos del orégano (<http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.aocs.org> (15 de diciembre del 2004).
- González P., Y. y G. P. Aportela. 2001. Determinación de la toxicidad aguda del dicromato de potasio en larvas de *Artemia salina*. Centro de Toxicología y Biomedicina. Anuario Toxicología 1(1):104-108.
- Harborne, J. B. and H. Baxter. 1993. Phytochemical Dictionary. A handbook of bioactive compounds from plants. Taylor & Francis. London, UK. pp. 558-568.
- Huerta, C. 2000. Orégano mexicano: oro vegetal. 7 p. <http://www.maph49.galeon.com/biopdiv2/oregano.html>. (6 de marzo de 2006).
- Instituto Nacional de Ecología. 1996. 8.32 NMX-AA-110-1995-SCFI Análisis de agua.- evaluación de toxicidad aguda con *Artemia franciscana* kellogs (crustácea-anostraca). Método de prueba. In: Programas de Normas Oficiales Mexicanas. 1996. del Comité Consultivo Nacional para la Protección Ambiental. SEMARNAT. México, D. F. Folio 3978 (http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaListaPub.html?id_tema=10&dir=Temas) (6 de marzo de 2006).
- Knapp, C. and A. J. Moody. 1998. Test to asses bactericidal activity. Clinical Microbiology procedures Handbook Vol. 1:1-10.
- Larry, L., D. Belk y C. H. Eriksen. 1990. Anostraca Californiano: distribución, hábitat, y estado. Diario de la Biología Crustácea, Vol. 10 (2):247-277.
- Luria, S. E. and J. W. Burrows. 1957. Hybridization between *Escherichia coli* and *Shigella*. J. Bacteriol 74:461-476.
- Maldonado A., L. J. 1991. Descripción botánica, distribución y usos del orégano en México. Estado actual del orégano en México. In: Memoria de la Primera Reunión Nacional Sobre Orégano. Bermejillo, Dgo. México. pp. 91-102.
- Martínez D., M. 1996. Caracterización y evaluación del orégano *Lippia berlandieri* Schauer para su aprovechamiento en el norte de Jalisco. INIFAP. CIRPAC Guadalajara, Jal. México. Folleto para Productores Núm. 2, pp. 2-6.
- Martínez D., M. y C. González S. 2000. Guía para el manejo del orégano en Jalisco. INIFAP. CIRPAC. Guadalajara, Jal. México. Folleto para productores Núm. 1. pp. 3-7.
- Martínez, M. 1959. Las plantas medicinales de México. Ed. Botas. México. 339 p.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de las plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México. 1220 p.

- Mullenger, L. 1982. The evaluation of bacterial grow in liquid media. Sourcebook of experiments for the teaching of microbiology. Academic Press, Inc. New York, NY, USA. pp. 147-159.
- National Committee for Clinical Laboratory Standards. 1997. Normativa para la propuesta en práctica de la susceptibilidad antimicrobiana mediante discos. Sexta Edición; Norma aprobada. NCCLS. Wayne, PA. USA Documento M2-A6. Vol. 17 No. 1. pp. 1-15.
- National Committee for Clinical Laboratory Standards. 1999. Performance Standard for Antimicrobial Susceptibility Testing. Ninth Informational supplement. NCCLS. Document M100. Wayne, PA. USA. S9 Vol. 19. No. 1. pp. 1-20.
- Quintero A., R. y G. M. Gutiérrez. 1991. Manual para la identificación de los oréganos mexicanos. Algunas consideraciones sobre un sistema de inventario para el orégano. Estado actual del orégano en México *In: Memoria de la Primera Reunión Nacional Sobre Orégano*. Bermejillo, Dgo, México. pp. 91-102.
- Rodríguez J., S. y J. Espinoza G. 1995. Listado florístico del Estado de Michoacán. Sección I Flora del Bajío y Regiones Adyacentes, Fasc. Complementario VI, Instituto de Ecología, UNAM. 210 p.
- Rzedowski, J. 1991. El endemismo en la flora mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta. Bot. Mex.* 15:47-64.
- Salgado-Garciglia, R. 1995. Productos vegetales utilizados como agroquímicos. Publicación de la Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. "Boletín Quetzal" 3:28-30.
- Tamashiro, L. 1998. Broth Microdilution MIC Testing. *Clinical Microbiology Procedures Handbook*. Vol. 1 pp. 52.
- Triantaphyllidis G., V., T. J. Abatzopoloa and P. Sorgeloos. 1998. A review of the biogeography of the genus *Artemia* (Crustacea, Anostraca). *Journal of Biogeography* 25:213-226.

NOTA TÉCNICA

ÁREAS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britt. & Rose) EN EL SUR DEL ESTADO DE MÉXICO

Erasto Domingo Sotelo Ruiz¹, Ceferino Ortiz Trejo¹
y Matilde I. Rizo Arellano¹

RESUMEN

Los campesinos de subsistencia del Estado de México tienen pocas alternativas de producción por el bajo nivel de fertilidad de sus terrenos y por las pendientes que los caracterizan, que no permiten el desarrollo de cultivos básicos costeados. La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una planta con potencial de adaptación a las difíciles condiciones ecológicas que prevalecen en esas zonas marginales; por su deliciosa fruta, tiene una creciente demanda, y por sus elevados precios en los mercados nacional e internacional, es un producto de alta rentabilidad. Este estudio se realizó en el sur del Estado de México; el método utilizado consistió en modelar los requerimientos de clima y suelo de la especie por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Mediante la sobreposición de coberturas de las diferentes variables del medio físico, se definieron las áreas que reúnen la información sobre las demandas ambientales para el cultivo de la pitahaya. La superficie con buen potencial para la especie en cuestión es de 156,816 ha y se localiza en los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) de Valle de Bravo, Tejupilco y Coatepec de Harinas, los cuales tienen climas cálidos, con pendientes de los terrenos superiores a 12% en la mayor parte de su área de influencia.

Palabras clave: Áreas potenciales, *Hylocereus undatus*, modelado, pitahaya, potencial productivo, productores de subsistencia.

Fecha de recepción: 07 de septiembre de 2000.

Fecha de aceptación: 09 de marzo de 2006.

¹ Campo Experimental Valle de Toluca, Centro de Investigación Regional Centro, INIFAP. Correo-e: soteloe@latinmail.com

ABSTRACT

The low income peasants of Estado de México have few production alternatives as their lands have very low fertility and at such severe slopes that make profitable crops very difficult to grow. Pitahaya (*Hylocereus undatus*) is a plant with adaptability potential to the difficult ecological conditions that prevail in marginal zones of the state, in addition to its high profitability and growing demands from the national and international markets due to its delicious fruit and its price. The present study was carried out in the southern part of the state; methodology included the modeling of climate and soil requirements of the specie by means of a Geographical Information System (GIS). Through the overlapping of the different environmental variable covers the areas with such demands were defined for the cultivation of the pitahaya. The land with good potential for the specie (156,816 ha) is located in the Rural Districts of Valle de Bravo, Tejupilco and Coatepec Harinas, where warm weather prevails and slopes are over 12% in most of its territory.

Key words: Potential areas, *Hylocereus undatus*, modeling, pitahaya, productive potential, low income peasants.

La planeación del crecimiento de una región se hace mediante estudios de regionalización, evaluación y ordenamiento de sus recursos naturales disponibles.

Los estudios de zonificación de cultivos son indispensables para el desarrollo de una región o un país, pues permiten conocer con precisión qué cultivos se adaptan a una zona en particular y por consiguiente, qué planes de interés social, cultural y económico aplicar a dicha área (Sotelo, 1998).

En la elaboración de cualquier programa de fomento agrorural es indispensable definir las superficies más propicias para el establecimiento de cultivos, pues con ello se logra realizar una explotación racional y conservación de los recursos naturales y de los ecosistemas (Rojas, 1985), de acuerdo con la capacidad productiva.

García (1975) menciona que los métodos existentes para llevar a cabo una zonificación agrícola son numerosas y varían de acuerdo con la información disponible, los cultivos por analizar y las características de la zona en cuestión, así como la demanda del consumidor, pero, en general deben responder a las siguientes interrogantes básicas: ¿Dónde sembrar?, ¿Cuándo es la época más adecuada? y ¿Cuánto es el rendimiento esperado?

FAO (1978) propone su metodología para la zonificación agroecológica de cultivos en América Latina, la cual consiste en evaluar la aptitud del medio físico,

a partir de los elementos del clima: temperatura, precipitación, evaporación y evapotranspiración, y como criterio de análisis, el periodo de crecimiento de los cultivares; los factores de suelo: unidades, texturas, pendientes, fases físicas y químicas; las que adicionadas a la primera zonificación definen áreas para el establecimiento y producción de un determinado cultivo; las clases de aptitud resultante son: Muy apta, Apta, Marginalmente apta y No apta.

Turrent (1986) delimita provincias agronómicas para maíz y frijol en el país, con base en factores de clima y suelo, tales como: precipitación y evaporación, ambas de junio a septiembre, para calcular la razón precipitación/evaporación; en lo que respecta al suelo toma en cuenta la profundidad, fases físicas y fases químicas, las categorías que reconoce son: Muy buena productividad, Buena productividad, Mediana productividad, Baja productividad y Tierras marginales.

Ortiz (1987) aplica a nivel nacional el método de zonas agroecológicas de la FAO (1978) y determina que las áreas consideradas como Muy aptas para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal tiene las siguientes dimensiones: 17,611,500 ha, 13,870,900 ha y 15,988,800 ha respectivamente. Tijerina y Ortiz (1990), en el Estado de México, definen una superficie de 36,433 ha Muy aptas para frijol de temporal.

Rizo (1997) utilizó la metodología de Provincias Agronómicas y los Sistemas de Información Geográfica para el maíz de temporal en el estado de Jalisco, reconociendo una superficie de 454,167 ha de Muy buena productividad. Medina *et al.* (1997) mencionan que este tipo de estudios permiten proponer acciones para el reordenamiento del uso del suelo, con base en el incremento de la productividad de los cultivos y la conservación de los recursos; el diagnóstico de potencial productivo es hoy más rápido y eficiente debido a la disponibilidad de bases de datos georreferenciadas y el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

López *et al.* (1994) identificaron y delimitaron en Tabasco 22,160 ha con potencial para el cultivo de maracuyá, mientras que para pitahaya determinaron 92,160 ha con Muy buen potencial.

En los últimos años, los cultivos no tradicionales han adquirido gran importancia para el país como alternativa rentable para sustituir, en algunas zonas, a los granos básicos. El gobierno federal, los de algunos estados y los propios productores, han tratado de promover su adecuado manejo y comercialización (Rodríguez, 2000).

Las cactáceas por su aspecto peculiar han sido motivo de atención en México desde tiempos remotos; la historia y el folklore registran la importancia que

adquirieron entre las culturas prehispánicas, en las que jugaron un papel importante, principalmente en los aspectos alimentario y medicinal (Bravo, 1978; Bravo, 1991).

Pitahaya (*Hylocereus* spp.)

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) es un cacto suculento, rústico, originario de América tropical, que comprende de 16 a 18 especies que viven en distintos hábitats como epifitas. La pitahaya se distribuye ampliamente en la selva tropical y subtropical de México y representa un recurso fitogenético con potencial frutícola (ISHS, 1989; Barbeau, 1990; Ortiz *et al.*, 1993), ornamental (Leszczyńska, 1991) y medicinal (Jorge y Ferro, 1989).

En el continente americano las pitahayas se distribuyen en una franja delimitada entre los 10° de latitud sur, paralelo que pasa por la costa peruana, ligeramente por encima de la frontera entre Bolivia, Perú y Brasil, y los 25° de latitud norte, que atraviesa los estados mexicanos de Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Los países con mayor número de especies son: México (12), Colombia (8), Guatemala y Panamá (6), Costa Rica (5), Venezuela (4) y Nicaragua, Cuba, República Dominicana y Martinica (3).

Su cultivo en buena medida sigue siendo tradicional, sobre todo en huertos familiares. Crece en forma silvestre en 20 estados de la República Mexicana, aunque sólo se cultiva con fines comerciales en algunas regiones de Tabasco, la Península de Yucatán, la Mixteca Poblana, Mixteca Oaxaqueña y partes de Jalisco (Reyes, 1995; Ortiz, 1999).

El gran potencial de esta cactácea podrá explotarse con la incorporación de sistemas de riego, la aplicación de reguladores de crecimiento para adelantar o retrasar la floración y la maduración de frutos, la prolongación de la vida de anaquel del producto, y el establecimiento de normas y controles de calidad que le permitan competir con los establecidos en países como Israel. Las características de la pitahaya, su diversidad de colores, adaptación a los diversos climas, su creciente demanda en el mercado internacional, su rentabilidad y la necesidad de contar con un producto sustituto de los cultivos tradicionales de escaso margen de utilidad, hacen de la especie una excelente opción para el desarrollo de la sociedad rural mexicana que habita en zonas de producción marginal (Rodríguez, 2000).

Ecología y distribución de la pitahaya

La adaptación de las plantas a las condiciones ambientales proporciona información complementaria acerca del medio donde se desarrollan, lo que

responde no sólo a sus posibilidades fisiológicas, ya que también intervienen aspectos morfológicos para complementar el proceso; entre dichas cualidades o aptitudes destacan la absorción de minerales y la capacidad de asimilación del carbono (José, 1993).

Barbeau (1990) menciona que la pitahaya es una cactácea de clima tropical muy resistente a la sequía, adaptada a medios con temperatura promedio de 21 a 29°C, precipitación de 600 a 1,300 mm con alternancia de estación seca y húmeda; su producción es mejor en el rango altitudinal de 200 a 600 m; sin embargo se localiza desde los 0 a 1,500 msnm. El exceso de lluvia provoca la caída y pudrición de las flores, por lo que requiere de buena exposición al sol, fotoperiodo de 10 a 12 horas. Dado que sus tallos emiten raíces aéreas que les permite adherirse a un soporte, pueden crecer sobre tutores vivos o muertos tales como: árboles, postes, muros de piedra y roca. La pitahaya se desarrolla en suelos francos, arenosos o pedregosos y bien drenados; pH de 5.5 – 6.5 y pendientes menores de 30%.

La pitahaya en México

La pitahaya en México crece desde los 0 a más de 1,800 msnm, en áreas con precipitaciones que van desde los 400 a más de 2,000 mm anuales. Su periodo reproductivo está comprendido entre los meses de mayo a septiembre; sin embargo, es posible tener una mínima producción de fruta en áreas más tropicales hasta el mes de noviembre. En el país se presenta una gran gama de climas y tipos de *Hylocereus* (Berger) Britt. & Rose que favorecen la producción en áreas extensas de fruta de calidad para el mercado nacional e internacional.

México cuenta con los recursos genéticos y naturales necesarios para la producción de pitahaya, por lo que es conveniente definir técnicas de producción y manejo que permitan su explotación a nivel comercial; es importante mencionar que su área de cultivo en el país sería extensa, ya que se desarrolla tanto en climas cálidos húmedos, como en climas con poca humedad, por lo que representa un cultivo alternativo para zonas con escasa precipitación.

Se estima que en todo el país existen 100 ha cultivadas de pitahaya en huertos familiares; superficie en la que se obtienen aproximadamente 300 ton al año, que equivalen a 3 ton/ha. La mitad de la superficie y del volumen de la producción corresponde a la Península de Yucatán, en particular en la zona henequenera (Ortiz, 1999).

Tipos de pitahaya

Existen plantas silvestres de pitahaya en los estados de Campeche, Chiapas, Colima, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán,

Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán; pero producción comercial sólo hay en Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Puebla y Oaxaca.

Rodríguez (2000) menciona que las pitahayas cultivadas muestran mucha variación en: color, forma y consistencia de los tallos; forma de las aristas y disposición de las areolas y espinas; color, forma y tamaño de las estructuras florales y del fruto; color de la pulpa y periodos de fructificación. Para fines prácticos, se clasifican en cuatro grandes grupos, cuyas características se indican a continuación:

Pitahaya amarilla.- Se produce en Colombia e Israel; los frutos son alargados y pequeños; 250 g en promedio; en el ápice de sus brácteas truncas o mamilas tienen grupos de espinas que se desprenden con facilidad cuando los frutos están completamente maduros. Su cáscara es amarilla y su pulpa blanca, de consistencia blanda y ligeramente fibrosa; son dulces, tienen hasta 19° Brix y muestran resistencia al transporte y almacenamiento; pertenecen a la especie *Selenicereus megalanthus* K. Schumm. Tiene dos periodos de fructificación cuya ocurrencia muestra variación en las distintas zonas productoras en función de las condiciones climáticas.

Pitahaya roja de pulpa roja.- Se cultiva en Nicaragua, Guatemala, México y El Salvador; son de cáscara y pulpa rojas, forman parte del género *Hylocereus*, su peso aproximado es de 400 g, fructifica de mayo a noviembre.

Pitahaya roja de pulpa blanca.- Se cultiva en México, Vietnam, Taiwán e Israel. Los frutos son de cáscara roja y de pulpa blanca y su contenido de azúcares expresado en grados Brix oscila entre 10 y 12. Corresponden a la especie *Hylocereus undatus* (Haw.) Brito. & Rose. Su peso promedio es de 370 g, fructifica de junio a octubre, en general, son muy variados en cuanto a forma, tamaño, color y sabor.

Pitahaya blanca.- Existe en Nicaragua y México. Sus frutos son alargados de tamaño mediano; pesan 300 g, en promedio, con cáscara amarilla en varias tonalidades y pulpa blanca. Su identidad taxonómica está en revisión. El material disponible es muy escaso, por lo que sus poblaciones se consideran en riesgo de extinción; su elevado contenido de sólidos solubles, hasta 18° Brix le confieren potencial comercial y agroindustrial.

Los objetivos de este estudio fueron: 1) Caracterizar agroclimática y edafológicamente las áreas para cultivar pitahaya en el Estado de México, 2) Delimitar y cuantificar su superficie por medio de Sistemas de Información Geográfica y 3) Dar a conocer a la pitahaya, como una alternativa de producción para las áreas con potencial marginal de cultivos básicos.

El Estado de México se localiza entre los paralelos 18°22'14" y 20°17'22" N y los meridianos 98°35'35" y 100°36'19" O. Sus principales climas de acuerdo con Köppen, modificado por García (1988) son: templado, que predomina en los valles altos de la parte norte, centro y este de la entidad. Sigue en importancia y extensión el clima semifrío, que se distribuye sobre regiones del centro y este, principalmente en el Valle de Toluca. En menor proporción se presentan hacia el extremo sur los climas cálidos y semicálidos, en los límites con Guerrero, Morelos y Michoacán. El clima frío impera sólo en algunas zonas pequeñas de las partes más elevadas de la entidad como el Nevado de Toluca y el Popocatepetl.

Las temperaturas medias anuales varían de 6°C a 28°C. La precipitación anual oscila entre los 600 y 1, 800 mm. La altura sobre el nivel del mar va de 340 a 5,100 m. Los suelos predominantes son: Feozem háplico (PHh), Andosol úmbrico (ANu), Vertisol eútrico (VRe), Regosol eútrico (RGe) y Arenosol háplico (ARh) (SEMARNAP, 1999).

La metodología aplicada consistió en modelar los requerimientos para el cultivo de la pitahaya en lo referente a clima y suelo con un Sistema de Información Geográfica (SIG); se consideró una superficie total de 23,244.22 km².

La información se encuentra en formato digital y georreferenciada, a una resolución de 81 ha cada píxel; las tres bases de datos utilizadas fueron: Modelo de elevación digital del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2000) que contiene las variables de altura sobre el nivel del mar, a partir de la cual se calculó la pendiente de los terrenos; clima y suelo del Servicio Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional del Agua del Estado de México, las variables climáticas mensuales consideradas fueron: precipitación, evaporación, temperatura máxima y temperatura mínima; se obtuvo la digitalización de las cartas edafológicas de INEGI, escala 1:250,000, mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ARC/INFO (ESRI, 1991) e incluye las variables: suelos primarios, suelos secundarios, texturas, fases físicas, fases químicas, suelo Leptosol lítico, ciudades y cuerpos de agua.

El modelado de la información se realizó con el SIG IDRISI (Ronald, 1993). Una vez sobrepuestas las diferentes variables de interés, se generó el mapa que reúne todos los requerimientos de clima y suelo para el desarrollo de la pitahaya; el resultado fue un mapa con la distribución de las zonas potenciales y la superficie total estimada.

Derivado del análisis de los diferentes criterios bioclimáticos y edafológicos se obtuvieron los requerimientos para el desarrollo de la pitahaya, los cuales se utilizaron para la definición de las áreas con buen potencial para su cultivo en la entidad mexicana (Cuadro 1).

Cuadro 1. Requerimientos de clima y suelo para el cultivo de pitahaya en el Estado de México.

Variable	Requerimiento
Precipitación pluvial (mm)	600 - 1300
Temperatura media (°C)	20 - 30
Profundidad de suelo (m)	0.30 - 2.0
Pendiente (%)	0 - 30
Altitud (msnm)	0 - 1800
Textura	media y gruesa

En el modelado de los parámetros de clima y suelo para la pitahaya, se definió una superficie de 156,816 ha de muy buen potencial para la pitahaya en el Estado de México (Cuadro 2 y Figura 1).

La pitahaya es una buena alternativa de producción en áreas con poca precipitación y pendientes altas en la entidad, con respecto a cultivos de un ciclo de producción. La mayor superficie de Muy buen potencial se concentra en los distritos de Tejupilco, Coatepec de Harinas y Valle de Bravo (Cuadro 2); que corresponden a los Distritos de Desarrollo Rural con limitaciones de suelos como: la poca profundidad, con baja fertilidad y pendientes muy altas, lo que favorece el aprovechamiento de áreas que al ser utilizadas por especies anuales pudieran afectar la conservación del agua y el suelo.

La altura sobre el nivel del mar y la temperatura media anual son las variables determinantes para la adaptación de la pitahaya en el Estado de México.

La superficie resultante de buen potencial para pitahaya, es de 156,816 ha y se localiza en los distritos de Valle de Bravo, Tejupilco y Coatepec de Harinas que son los más cálidos y tienen los mayores problemas de pendiente de la entidad.

La pitahaya es una buena alternativa de producción para la parte sur del Estado de México, por el extenso territorio que reúne las condiciones ecológicas que son favorables para su cultivo.

Cuadro 2. Superficie de Muy buen potencial para pitahaya en el Estado de México.

Distrito de Desarrollo Rural	Superficie (ha)
Atlacomulco	---
Coatepec de Harinas	56,295
Jilotepec	---
Tejupilco	85,212
Texcoco	---
Toluca	---
Valle de Bravo	15,309
Zumpango	---
Total	156, 816

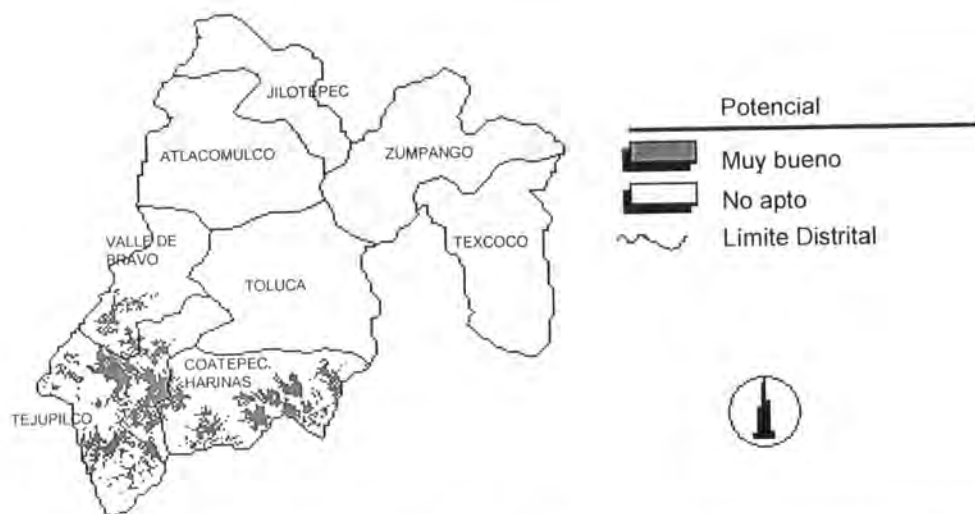


Figura 1. Áreas potenciales para pitahaya (*Hylocereus undatus*) en el Estado de México.

REFERENCIAS

- Barbeau, G. 1990. La pītahaya rouge, un nouveau fruti exotique. *Fruits* 45:141-147.
- Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. Vol. I. 743 p.
- Bravo H., H. 1991. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. Vol. III. 643 p.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1991. ARC/INFO. Starter kit. User's Guide. Version 3.4 D Plus. Redlands, CA. USA. s/np.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 1978. Agroecological zones project Vol. I. Methodology and results for Africa. Rome, Italy. 120 p.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 1988. Agroecological zones project. Vol. III. Methodology and results for Mexico, Central and South America. Rome, Italy. 135 p.
- García B., J. 1975. Zonificación ecológica de cultivos: II. Marco de referencia biofísico. *Agronomía Tropical* 25(5):451-485.
- García M., E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 185 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI). 2000. Modelos de Elevación Digital (MED). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. CDs. Toluca, Edo. de Méx. s/np.
- International Society For Horticultural Science (ISHS). 1989. America Central. *In*: M. Sedgley and J. Gardner (Eds.). International survey of underexploited tropical and subtropical perennials. *Acta Horticulturae* 250:1-6, 47, 52.
- Jorge L., I. F., y V. Ferro de O. 1989. Aspectos anatómicos y fitoquímicos de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose. *Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo* 25:123-136.
- José, J. R. 1993. El crecimiento y las prácticas culturales de los agaves pulqueros del Valle de México. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. ENEP Iztacala. México, D. F. 120 p.
- Leszczyńska, H. 1991. Potencial genético ornamental de la tierra mexicana. Manual de horticultura ornamental No. 5. Ediciones de la Universidad Popular Autónoma del Estado Puebla (UPAEP). Puebla, Pue. México. 38 p.
- López A., J. I., M. Rodríguez C., A. Olivera de los S. y V. W. González L. 1994. Áreas potenciales para el cultivo de maracuyá y pītahaya en Tabasco. *In*: Memoria de la Primera reunión internacional y Segunda reunión nacional de frutales nativos e inducidos con demanda nacional e internacional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. pp. 247-253.

- Medina G., G., A. Ruiz C., R. Martínez P y M. Ortiz V. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. *Agricultura Técnica en México*. 23(1):69-89.
- Ortiz H., Y. D. 1999. La pitahaya, un nuevo cultivo para México. Instituto Politécnico Nacional y Editorial LIMUSA. México, D. F. 104 p.
- Ortiz H., Y., A. Martínez G. y R. Pérez P. 1993. *Hylocereus*, género con potencial ornamental y frutícola en Oaxaca. *In: Memorias del Primer simposium nacional sobre plantas nativas de México con potencial ornamental 1992*. AMEHOAC-UPAEP. Puebla, Pue. Méx. pp. 174-176.
- Ortiz S., C. A. 1987. Evaluación de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados. Serie Cuadernos de Edafología No. 8. Chapingo, Edo. de Méx. 39 p.
- Reyes R., N. de la P. 1995. El cultivo de la pitahaya y sus perspectivas de desarrollo en México. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tab. 56 p.
- Rizo A., M. I. 1997. Regionalización agrícola de las tierras de labor bajo temporal para maíz en el Estado de Jalisco. Tesis de Profesional. Facultad de Geografía, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. 98 p.
- Rodríguez C., A. 2000. Pitahayas. Estado mundial de su cultivo y comercialización. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 105 p.
- Rojas E., O. 1985. Zonificación agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. Programa cooperativo para la producción y modernización de la cafecultura en México, Centroamérica, Panamá y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 115 p.
- Ronald E., J. 1993. IDRISI. Technical Reference. Version 4.0. Clark University. Graduate School of Geography. Worcester, MA. USA. s/np.
- Secretaría Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1999. Mapa de suelos dominantes. FAO/UNESCO/ISRIC. ESC. 1:4 000 000 CP. INEGI. s/np.
- Sotelo R., E. D. 1998. Comparación de la zonificación agroecológica para frijol en Oriental, Puebla, México. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. 123 p.
- Tijerina C., L y C. A. Ortiz S. 1990. Manual de la metodología para evaluar la aptitud de las tierras para la producción de cultivos básicos en condiciones de temporal. Programa de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. 155 p.
- Turrent F., A. 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y de frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. 165 p.