

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 28 NÚM. 93 104 p. MÉXICO, D. F. ENE-JUN 2003

inifap

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

CONTENIDO	Pág.
EDITORIAL	3
ECOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE SÁBILA EN LA ZONA SEMIÁRIDA DE SAN LUIS POTOSÍ José Villanueva Díaz, Agustín Hernández Reyna y Catarina Loredó Osti	7
CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE <i>Dasyllirion</i> spp. (SOTOL) EN CHIHUAHUA, MÉXICO Alicia Melgoza Castillo y J. Santos Sierra Tristán	25
DAÑOS Y DIVERSIDAD DE INSECTOS DESCORTEZADORES DE CONÍFERAS DEL NORESTE DE MÉXICO José Alfredo Sánchez Salas, Luis Mario Torres Espinosa, Antonio Cano Pineda y Oscar Ulises Martínez Burciaga	41
LIMITACIONES ESPACIALES DE LOS MODELOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES AL COMPARAR DOS DISEÑOS DE MUESTREO José Germán Flores Garnica, Alfonso de la Rosa Vázquez y David Arturo Moreno González	57
TÍLIDES EN LA MADERA DE <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud. Alejandra Quintanar-Isaias, Carmen de la Paz Pérez-Olvera y Guillermo Ángeles Álvarez	79
CONSEJO ARBITRAL	97
CONSEJO EDITORIAL	101

ECOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE SÁBILA EN LA ZONA SEMIÁRIDA DE SAN LUIS POTOSÍ

José Villanueva Díaz¹, Agustín Hernández Reyna²
y Catarina Loredó Osti²

RESUMEN

La sábila (*Aloe vera*) es una especie africana introducida en México por los Jesuitas durante la Colonia, que se distribuye en el país desde el nivel del mar hasta los 2,000 msnm en las zonas Media y Altiplano y se ha naturalizado en San Luis Potosí. La especie se cataloga como ruderal y algunas veces se asocia a comunidades vegetales con disturbio, en las cuales generalmente forma colonias puras o aisladas de forma circular, o crece bajo la copa de los árboles nativos. La realización de un muestreo de poblaciones de sábila en las zonas Media y Altiplano del estado de San Luis Potosí, con el uso de parcelas de 3 x 3 m indicó una distribución agrupada con tres estratos de altura bien definidos: 6 - 30, 31 - 60 y 61 - 90 cm. El estrato dominante fue de 31-60 cm con un índice de importancia de 206. Los suelos de los sitios muestreados presentaron contenidos de materia orgánica de 1.5 a 9% y una textura de arcillosa a migajón limosa, con valores de pH de 7.0 a 7.8. Así mismo se evaluaron seis procedencias del estado potosino en condiciones de temporal durante siete años y de riego por cinco años, las cuales no difirieron en términos estadísticos ($p > 0.05$) en supervivencia, biomasa, hijuelos por planta y número de hojas, mientras que la producción promedio anual de hoja fue de 85.1 y 161.0 ton ha⁻¹ para temporal y riego respectivamente.

Palabras clave: *Aloe vera*, gel, muestreo aleatorio, procedencias, producción de hoja, sábila.

Fecha de recepción: 08 de marzo de 1999.

Fecha de aceptación: 09 de marzo de 2005.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA), INIFAP. Correo-e: villanueva.jose@inifap.gob.mx

² Campo Experimental Palma de la Cruz, C.I.R. Noreste / INIFAP.

ABSTRACT

Aloe (*Aloe vera*) an African species was introduced in Mexico in colonial times by the Spanish Jesuits. In San Luis Potosí, this species has been naturalized and is currently found from sea level up to 2,000 m. The species is growing near by rural settlements, forming round-shaped colonies, usually thriving under the canopy of native tree species. Plots of 3 x 3 m, divided in 9 subplots of 0.5 x 0.5 m were randomly distributed. In each of the subplots height of each individual plant, plant cover, frequency, and density were measured. The structural analysis of height indicated the presence of three dominant layers: 6-30, 31-60, and 61-90 cm. Dominant size-class was 31-60 cm with an importance index value of 206. Soil chemical determinations of the sampled stands had an organic matter content of 1.5 to 9%, clay or silty loam texture, and pH from 7 to 7.8. Field evaluations of six aloe provenances managed under rainfed and irrigated conditions for seven and five years, respectively were not significant ($p > 0.05$) for survival, root suckers per plant, height, gross total weight, gel biomass, and number of leaves per plant. Average biomass production was 161 ton ha⁻¹ yr⁻¹ and 85 ton ha⁻¹ yr⁻¹ for irrigated and rainfed conditions, respectively.

Key words: *Aloe vera*, gel, random sampling, provenance, biomass production, *Aloe*.

INTRODUCCIÓN

Varias especies nativas o introducidas que integran las comunidades vegetales de las zonas semiáridas de México ofrecen alternativas viables de producción para los habitantes de esas regiones. La sábila (*Aloe vera* (L.) Burm. f.)* especie de origen sudafricano e introducida en México por los Jesuitas españoles durante la época colonial, se ha naturalizado en la mayoría de los ecosistemas semiáridos de México (Diez, 1981; Granados y Castañeda, 1988; López, 1989; Hernández y Villanueva, 1991; Hernández, 1995).

Durante milenios, la sábila se ha utilizado en medicina tradicional para tratar enfermedades de la piel, molestias estomacales y quemaduras, entre otras (Morton, 1961; Crosswhite y Crosswhite, 1984). En la actualidad la popularidad de esta especie se ha incrementado, debido a la infinidad de productos y usos que pueden derivarse de su gel y exudado, ya que es común en remedios caseros, homeopatía, cosmetología, alimentación, ornamentación y aun en actos religiosos (Bruce, 1975; Morton, 1981; Duke, 1985; Grindlay y Reynolds, 1986; Rodríguez, 1992).

* SYN: *Aloe vulgaris* Lam, *Aloe barbadensis* P. Mill, *Aloe perfoliata* var. *vera* L.

Aloe vera se cultiva en Estados Unidos de América y en la mayoría de los países tropicales del mundo (Morton, 1981). Algunos científicos la consideran ideal para las zonas semiáridas (Gunther, 1934; Bruce, 1975). En México, las mayores poblaciones naturales de sábila se localizan en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato; en este último, así como en Tamaulipas, Campeche y Yucatán hay plantaciones en condiciones de riego y temporal, en una superficie aproximada de 1,800 ha (Rumayor y Sotomayor, 1997). En San Luis Potosí existen alrededor de 360 ha de sábila en condiciones de riego y en los últimos años en los municipios de Río Verde, Cd. del Maíz, Cárdenas y Cd. Valles se han constituido asociaciones de productores para fomentar su producción comercial.

De 1987 a 1994 el INIFAP realizó en San Luis Potosí diversos estudios ecológicos y de experimentación, tanto en poblaciones naturales como en plantaciones experimentales en condiciones de riego y temporal. El objetivo del presente trabajo es describir los principales logros obtenidos de dicho esfuerzo.

La sábila pertenece al género *Aloe*, tribu Aloineae de la familia Liliaceae. Es una especie perenne, tolerante a la sequía; presenta hojas carnosas conformadas en una roseta, las cuales surgen de un tallo corto; las flores de coloración amarillenta o rojiza se originan en la parte terminal de un tallo floral (Reynolds, 1966; Morton, 1981). El número de especies citadas en la literatura fluctúa entre 314 y 360 (Reynolds, 1966; Harding, 1979; Raina, 1982; Rodríguez, 1992). Este problema taxonómico se origina por hibridaciones y mutaciones, lo que es muy común en el género (Holland, 1978).

La sábila se cultiva desde el nivel del mar hasta 2,500 m, en regiones semitropicales a semiáridas; se adapta a temperaturas promedio entre 21 y 27°C y con precipitaciones anuales que varían de 200 a más de 4,000 mm; prospera casi en cualquier tipo de terreno incluso en aquellos con problemas de sales, pero se desarrolla mejor en suelos calcáreos, de textura migajón-limosa o migajón-arenosa, con buen drenaje; no tolera suelos que se inunden con frecuencia (Hernández y Villanueva, 1991; Rodríguez, 1992). La especie se maneja con otros cultivos en sistemas agroforestales para reducir los daños por frío o heladas en la época invernal. También como monocultivo, en particular, en sitios donde la temperatura no alcanza el punto de congelación.

Para hacer una plantación comercial de sábila por lo general se utilizan hijuelos o rebotes que surgen en la base de la planta madre, aunque también se puede trabajar con plántula producida de semilla; sin embargo, este tipo de reproducción normalmente se utiliza para fines de mejoramiento genético. Los hijuelos deben ser robustos con apariencia sana y tener una altura de 25 a 30 cm (Hernández y Villanueva, 1991).

La densidad de plantación es variable de acuerdo a las condiciones físico-químicas del suelo, disponibilidad de agua, clima, asociación con otros cultivos, mecanización del cultivo, técnica de cosecha, etc. Una densidad de 10,000 a 15,000 plantas ha^{-1} con distancias entre surcos y plantas de 75 a 100 cm son muy comunes (Villarreal y Quiroga, 1985; Rodríguez, 1992). Los hijuelos se trasplantan en el ciclo primavera-verano, cuando las condiciones ambientales favorecen su desarrollo. Las hojas de tamaño comercial con peso mayor de 0.4 kg se obtienen al segundo o tercer año; este período se reduce a menos de un año, si se aplica un manejo agronómico adecuado. La producción de hojas se extiende por más de ocho años y se alcanzan valores de 20 a 50 $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ o más, dependiendo del número de individuos por área y prácticas de manejo (Villarreal y Quiroga, 1985; Grindlay y Reynolds, 1986; Rodríguez, 1992; Villanueva *et al.*, 1992; Hernández, 1995).

La cosecha se hace de forma manual: las hojas se cortan desde la base de la planta y a continuación se hace la extracción industrial del gel líquido o deshidratado (Grindlay y Reynolds, 1986; Rodríguez, 1992). El proceso involucra varias etapas: en principio las hojas se lavan y desinfectan, se extrae el gel y se estabiliza químicamente antes de ser embotellado. El gel se contamina con mucha facilidad, por lo cual se deben seguir las normas de higiene establecidas por la industria alimenticia o cosmética (Villarreal y Quiroga, 1985; Grindlay y Reynolds, 1986; Rodríguez, 1992).

Diversos estudios indican que el exudado de la hoja de sábila contiene más de 200 componentes individuales que incluyen polisacáridos, glicoproteínas, aminoácidos, enzimas, aceites esenciales, vitaminas y minerales (Gowda *et al.*, 1979; Hurtado y Martínez, 1983; López, 1989). Las flores están constituidas por 3% de cáscara, 1.8% de pulpa y entre 11 y 19% de proteína cruda (Sandoval y Sosa, 1987). Con respecto a la composición química del gel debe diferenciarse de la del exudado, la parte voluminosa del gel es un mucílago de naturaleza polisacárida que contiene 98% de agua y pequeñas cantidades de otros compuestos (Grindlay y Reynolds, 1986).

Las propiedades medicinales del aloe, registradas ampliamente en la literatura, se han encontrado tanto en el gel como en el exudado o acíbar. La investigación ha demostrado, que los productos de la sábila cuando se utilizan con fines terapéuticos deben tener al menos 20% de gel bien procesado. De otra manera sus propiedades medicinales se diluyen.

Esta heterogeneidad responde entre otros factores a diferencias en los procedimientos utilizados para su análisis, variaciones climáticas, fertilidad del suelo y variación genética de la especie analizada (Leung, 1978; Mandal y Das, 1980;

Hurtado y Martínez, 1983). Por ejemplo, en un estudio realizado en plantas desarrolladas en la región oeste de Bengál, las plantas cosechadas en abril tuvieron 85% de ácido galacturónico, mientras que las obtenidas en octubre del mismo año presentaron sólo 70% de este ácido; el pH fluctuó entre 4 y 5.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios de sábila realizados por el INIFAP en San Luis Potosí han involucrado aspectos ecológicos en poblaciones naturales; así como el comportamiento agronómico en plantaciones establecidas en condiciones de temporal y riego.

Estudios Ecológicos

Con apoyo cartográfico y recorridos de campo iniciados en 1987 y continuados de 1992 a 1995, se localizaron diversos rodales naturalizados de sábila en el Altiplano y Zona Media de San Luis Potosí. Se muestrearon siete poblaciones de sábila, ubicadas geográficamente entre los 21°45' a 23°08' latitud norte y 99°36' a 101°11' longitud oeste, cinco se situaron en el Altiplano (Charcas, Villa Hidalgo, Los Rodríguez, Cerro Chico, Gogorrón) y dos en la Zona Media (Cd. del Maíz, Río Verde) de San Luis Potosí (Figura 1). La distancia promedio entre las poblaciones muestreadas fue de 100 km y la superficie en cada sitio fluctuó de 0.25 a 1.0 ha.

La técnica de muestreo consistió en el uso de parcelas de 3 x 3 m, subdivididas en 9 microparcelas de 0.5 x 0.5 m, separadas 50 cm una de otra. Se consideró un tamaño de muestra de 45 parcelas y 405 microparcelas, que se determinó con una curva de medidas acumuladas (Kershaw, 1964), para lo cual se tomó como base la densidad media de los individuos de sábila, que correspondió a tres muestras, equivalente a 27 microparcelas de 0.50 x 0.50 m ($\pm 7 \text{ m}^2$) y una media de cinco a seis individuos por microparcela. De acuerdo al tiempo y recursos disponibles se optó por aplicar un promedio de seis a siete muestras (parcelas de 3 x 3 m) para cada localidad.

La ubicación de las parcelas dentro de las poblaciones fue aleatoria. En las microparcelas se midió la altura (cm) de cada individuo presente, cobertura (área total del suelo cubierta por la especie en el rodal), densidad (individuos m^{-2}) y frecuencia en altura (distribución de los individuos en función a altura). La distribución espacial de las especies se determinó con la metodología de asociaciones vegetales propuesta por Braun-Blanquet (1979).

Se expuso un perfil de suelo y se colectó una muestra de los primeros 25 cm para realizar las siguientes determinaciones: contenido de materia orgánica (%), pH, capacidad total de intercambio catiónico (me 100 g^{-1}) y cationes

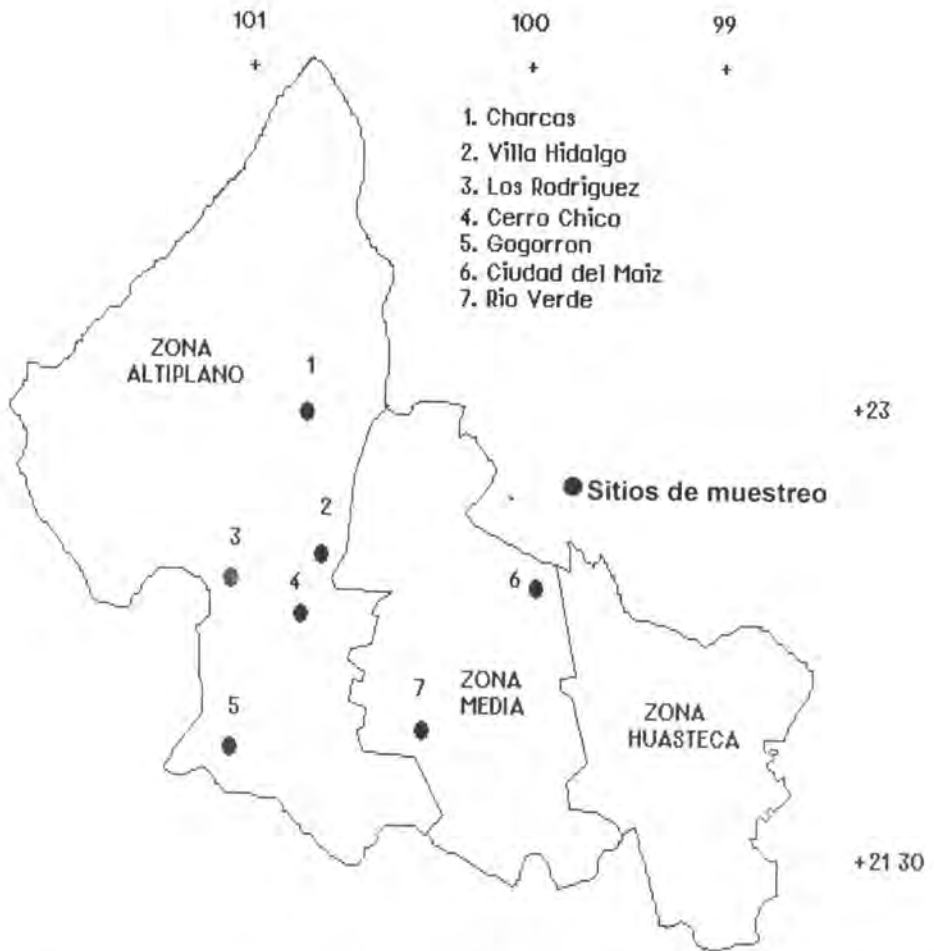


Figura 1. Localización de rodales naturalizados de sábila en las Zonas Media y Altiplano de San Luis Potosí.

intercambiables ($\text{m}^2 \text{100 g}^{-1}$). Las poblaciones muestreadas se compararon en función a un índice de importancia (VI), calculado como la sumatoria de los valores relativos de cobertura de planta, densidad y frecuencia, todos con un grado de importancia similar.

Pruebas de Campo

En los años de 1987 y 1989 se establecieron parcelas experimentales de sábila en condiciones de temporal y riego, respectivamente, en el Campo Experimental

"El Refugio", en Cd. Fernández, SLP. El sitio se localiza a una altitud de 990 m, con una precipitación total anual de 488 mm y temperatura media anual de 19.5°C. El suelo es de textura migajón arcillosa a migajón arcillo-arenoso, profundidad de 1.0 m, pH de 7.9 a 8.1 y contenido de materia orgánica entre 1.2 a 4.5%.

Se probaron seis procedencias de sábila (tratamientos) en un diseño experimental de bloques al azar con cinco repeticiones. Las colectas se hicieron en algunas de las poblaciones muestreadas en el estudio ecológico, siendo estas, Río Verde (testigo) (1); Gogorrón, Villa de Reyes (2); Cd. del Maíz (3); Villa Hidalgo (4); Los Rodríguez, Ahualulco (5) y Charcas (6).

La parcela de temporal se estableció en agosto de 1987, después de un evento lluvioso, cuando el suelo alcanzó su capacidad de campo, la correspondiente a riego en junio de 1989. En ambas condiciones se utilizó una densidad de 25,000 plantas ha⁻¹ con separación de 80 cm entre surcos y 50 cm entre plantas. La parcela útil consistió en una superficie de 7.2 m². Al inicio del estudio los hijuelos tenían una altura entre 25 y 30 cm.

En un período de cinco y siete años para las plantaciones experimentales de sábila manejadas en condiciones de riego y temporal, respectivamente, se evaluó supervivencia (%), altura de planta (cm) y su cobertura aérea (cm²), hojas (número), rebrotes (número) y peso de gel por planta (g). De la hoja se cuantificó: longitud (cm), diámetro basal (cm), peso total (g) y peso de gel (g).

La información obtenida se analizó mediante ANOVA y análisis de regresión lineal simple y múltiple. La longitud de hoja, cobertura de planta y número de hojas por planta fueron consideradas como variables independientes; mientras que el peso de gel por hoja y por planta como variables dependientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudios Ecológicos

La mayoría de las poblaciones naturales de sábila en San Luis Potosí se localizaron entre los 1000 y los 2000 m de altitud, en un rango de precipitación de 290 a 500 mm, temperatura media anual de 16 a 18°C, en exposiciones este, noreste y oeste y en suelos con pendiente de 3 a 8°. La profundidad del suelo por lo general fue menor de 50 cm, predominando texturas arcillosa y migajón arenosa, pH de 6.9 a 7.8 y con un contenido de materia orgánica entre 1.5 y 8.9% (Cuadro 1).

El análisis estructural de las poblaciones de sábila indicó una densidad promedio de 21 individuos m⁻² y la presencia de tres estratos o clases dominantes

Cuadro 1. Determinaciones físico-químicas de suelo de los primeros 25 cm de profundidad en sitios de muestreo de sábila, distribuidos en el Altiplano y Zona Media de San Luis Potosí.

Variable	Identificación del Rodal					
	Cd. del Maíz	Río Verde	Charcas	Villa Hidalgo	Ahualulco	Villa de Reyes
Densidad aparente (g cm^{-3})	0.98	0.72	1.19	1.01	0.85	0.79
Arena (%)	35	41	76	69	67	32
Limo (%)	18	18	19	19	18	18
Arcilla (%)	47	41	5	12	15	50
Clase textural ¹	C	C	Sl	Sl	Sl	C
pH en agua 1:2	7.7	6.9	7.0	7.8	7.7	7.5
Materia orgánica (%)	7.3	8.9	1.5	5.6	8.7	4.8
CIC ($\text{me } 100\text{g}^{-1}$) ²	54.8	69.5	32.1	39.9	60.9	65.0
CE (dS m^{-1}) ³	0.62	3.1	1.1	1.6	2.4	3.1

¹ C = Arcilla; sl = Migajón limoso; ² CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; ³ CE = Conductividad Eléctrica (deciSiemens/m ó milimhos cm^{-1} a 25°C).

de altura: 6-30, 31-60 y 61-90 cm. La altura promedio tuvo un intervalo entre 40 y 55 cm y fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) entre procedencias (Cuadro 2).

Cuadro 2. Altura promedio de los rodales de sábila muestreados en el Altiplano y Zona Media de San Luis Potosí.

Nombre del Rodal	Altura (cm) ¹
Villa Hidalgo	55.0 a
Río Verde	54.3 a
Cd. del Maíz	54.2 a
Villa de Reyes	43.0 abc
Ahualulco	42.4 bc
Charcas	40.0 bc

¹Los tratamientos seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente ($p > 0.05$).

El estrato menor (6-30 cm) se encontró en las poblaciones localizadas en los sitios más áridos como Villa de Reyes, Ahualulco y Charcas. La clase de 31-60 cm fue la más representativa con un VI (Valor de Importancia) de 206, lo que corresponde a un promedio de 70%. Este valor es 3 y 9 veces mayor que las categorías 61-90 y 6-30 cm, respectivamente (Cuadro 3).

En tres de las procedencias evaluadas (Cd. del Maíz, Río Verde y Villa Hidalgo) se detectaron variaciones en altura para la clase superior a 60 cm, que estuvieron muy relacionadas con la baja frecuencia (10%) y densidad de las procedencias (17%) con un VI de 40. Individuos mayores a 60 cm se localizaron bajo la copa de especies nativas como mezquite (*Prosopis* spp.), huizache (*Acacia* spp.), nopal (*Opuntia* spp.) y palma (*Yucca* spp.), entre otras. El microclima generado bajo el dosel de los árboles parece haber beneficiado a los individuos de sábila ahí presentes de modo que mostraran una mayor altura y mejor vigor, lo cual se atribuye a la estabilidad a cambios bruscos en condiciones medioambientales, la temperatura en particular, a la cual la especie es muy sensible. Este microclima también favorece la disponibilidad de agua y así mismo incrementa la fertilidad del suelo, ya que los residuos orgánicos derivados de las plantas nodrizas caen directamente sobre el sistema radical de la sábila, lo cual constituye una fuente

Cuadro 3. Valor o Índice de Importancia de los estratos dominantes en los rodales de sábila muestreados en el Altiplano y Zona media de San Luis Potosí.

Estrato o Clase (cm)	Cobertura	Densidad	Frecuencia	VI ¹
f _i – 30	4	12	10	26
31 – 60	55	71	80	206
61 – 90	41	17	10	68
Total	100	100	100	300

¹VI. El Valor o Índice de Importancia es calculado como la sumatoria de los valores relativos de cobertura, densidad, y frecuencia.

adicional de nutrimentos. En contraste, aquellas poblaciones expuestas al sol, presentaron menor tamaño y vigor.

No obstante lo anterior, es posible que la variación fenotípica observada en las poblaciones silvestres estudiadas sea producto de la plasticidad natural de la especie para adaptarse a diversas condiciones ecológicas y no sea consecuencia de variaciones genéticas intrínsecas.

Según el análisis de la distribución espacial de los rodales de sábila, éstos presentaron una tendencia a formar grupos o colonias puras bien localizadas. Este comportamiento se explica por la habilidad de la especie para propagarse de manera vegetativa.

Los hijuelos o rebrotes que se originan alrededor de la planta madre, al multiplicarse por varias generaciones, permiten la expansión periférica de la colonia. El establecimiento inicial de una población de sábila sigue varias vías (Figura 2). Puede colonizar suelos desmontados y abandonados carentes de árboles, con escasos elementos herbáceos y arbustivos, donde encuentra un buen ambiente para su expansión; o bien, ocupar terrenos que fueron abiertos para construir vías de comunicación, viviendas, etc., con algunas especies arbóreas nativas, bajo cuyas copas existe una escasa o nula competencia de malezas, lo que da lugar a un microclima ideal para el desarrollo vegetativo de la sábila.

Así, es factible considerar que los rodales de la especie de interés no participan de manera directa de la composición y estructura de las comunidades vegetales nativas; más bien, por su origen (introducida) y por su alta capacidad de propagación tiende a naturalizarse y a formar colonias en terrenos con disturbio. De esta manera la especie se cataloga de hábito ruderal, pues se desarrolla por lo general, cerca de

asentamientos rurales, al lado de caminos, estructuras coloniales como haciendas, represas, solares y parcelas abandonadas. En tales condiciones, la sábila casi siempre se observó en colonias puras de forma circular o bajo mezquites, nopales, huizaches, encinos y pinos aislados.

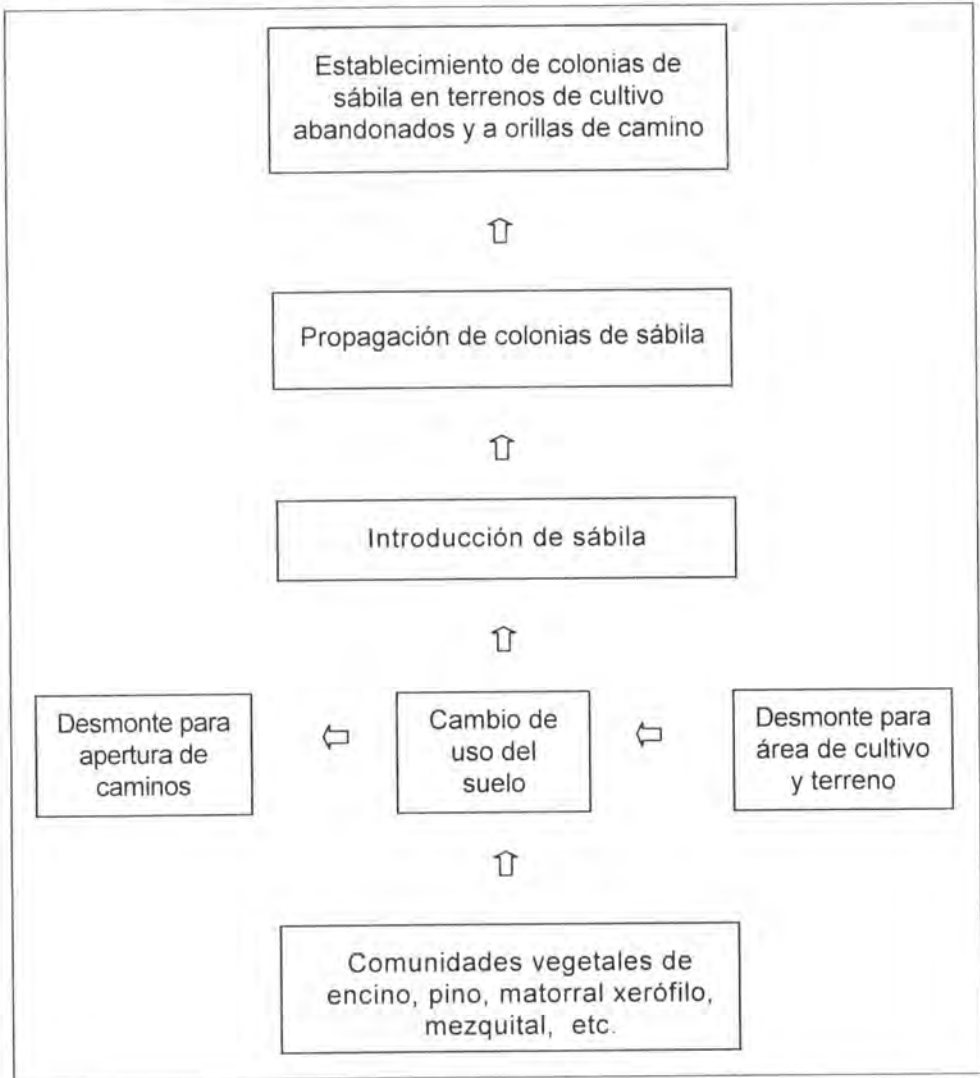


Figura 2. Flujo observado del establecimiento y propagación de rodales de sábila en algunas localidades del Altiplano y Zona Media de San Luis Potosí.

Ensayos de Campo

Ninguna de las características agronómicas de las procedencias evaluadas y establecidas en condiciones de riego o temporal difirieron estadísticamente ($p > 0.05$) (Cuadro 4). La falta de variación fenotípica se debió a la reproducción asexual de la sábila que confiere a la descendencia la misma información genética. De esta manera, al tratarse de una sola especie, las procedencias se comportaron de manera similar en el ambiente ecológico de prueba.

Cuadro 4. Valores promedio de las características agronómicas consideradas en la evaluación de campo de las procedencias de sábila establecidas en condiciones de temporal y de riego en el Campo Experimental "El Refugio", Cd. Fernández, SLP.

Variable	Temporal Media \pm desviación estándar	Riego Media \pm desviación estándar
Supervivencia (%)	95.0	100.0
Altura (cm)	60.0 \pm 1.10	70.0 \pm 1.0
Hijuelos planta ⁻¹	7.0 \pm 1.30	8.0 \pm 0.6
Hojas planta ⁻¹	8.6 \pm 0.14	14.0 \pm 0.2
Peso total hoja ⁻¹ (g)	416.0 \pm 8.0	457.0 \pm 4.0
Peso de gel hoja ⁻¹ (g)	238.0 \pm 5.50	269.0 \pm 2.0

Para las condiciones de temporal, la producción de hoja por año fue entre 25 y 99 ton ha⁻¹ con un promedio de 85 ton ha⁻¹. En riego, la producción de hoja fluctuó de 41 a 201 ton ha⁻¹ año⁻¹ con un promedio de 161 ton ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 5). La producción de hoja se estabilizó al tercer año en temporal y durante el segundo en riego. La producción de gel representó 68% del peso total de la hoja en ambas opciones de manejo.

Los análisis de regresión simple indicaron una asociación significativa entre longitud de hoja y peso de gel por hoja ($r = 0.53$, $p < 0.05$), peso total de hoja y

Cuadro 5. Promedio de peso de hoja (biomasa) y peso de gel de las procedencias de sábila establecidas en condiciones de temporal y riego en el Campo Experimental "El Refugio", Cd. Fernández, SLP.

Año	Temporal		Riego	
	Peso hoja (ton ha ⁻¹)	Peso gel (ton ha ⁻¹)	Peso hoja (ton ha ⁻¹)	Peso gel (ton ha ⁻¹)
0	Establecimiento ¹		Establecimiento	
1	25.0	14.3	41.1	24.3
2	70.0	40.0	160.0	94.3
3	85.0	48.6	201.0	119.0
4	99.0	56.5	126.0	74.1
5	90.0	51.4	156.0	92.3
6	84.0	48.0	—	—
7	83.0	47.5	—	—
Media	85.1	49.0	161.0	95.0
Desviación estándar	9.5	5.4	31.0	18.3

¹La primera cosecha de hojas en condiciones de temporal se realizó a los 14 meses posteriores al establecimiento.

peso de gel por hoja para el tratamiento con riego ($r = 0.86$, $p < 0.05$), y temporal ($r = 0.90$, $p < 0.05$) y entre cobertura de planta y peso de gel por planta ($r = 0.62$, $p < 0.05$) (Cuadro 6).

El análisis de regresión múltiple que integró las variables longitud de hoja, ancho basal de hoja y peso de gel por hoja fue altamente significativo ($R = 0.82$; $p < 0.01$). Lo anterior implica que una estimación de la producción de gel (Y)

Cuadro 6. Análisis de regresión simple para estimar la producción de gel de las procedencias de sábila establecidas en condiciones de temporal o riego en el Campo Experimental "El Refugio", Cd. Fernández, SLP.

Variable Independiente (X)	Variable Dependiente (Y)	Coefficiente de correlación (r)	Ecuación de Regresión simple ¹	Condiciones de Manejo
Cobertura de planta (cm ²)	Peso de gel por planta (g)	0.62	$Y = 45.4 + 0.14X$	Temporal
Longitud de hoja (cm)	Peso de gel por hoja (g)	0.53	$Y = -33.6 + 3.4X$	Temporal
Número de hojas por planta	Peso de gel por planta (g)	0.81	$Y = -0.65 + 0.2X$	Temporal
Peso total de hoja (g)	Peso de gel por hoja (g)	0.86	$Y = -18.0 + 0.61X$	Temporal
Peso total por hoja (g)	Peso de gel por hoja (g)	0.90	$Y = -8.6 + 0.61X$	Riego

¹Nivel de significancia $p < 0.05$.

(Cuadro 7) por hoja y por planta puede lograrse sólo al medir la longitud (X_1) y el ancho basal de las hojas (X_2), a través de la siguiente ecuación:

$$Y = -311.43 + 2.04X_1 + 51.64X_2$$

Un análisis químico cualitativo del exudado de la hoja de sábila reveló la presencia de antranoles, isobarbolina y aloina. La cantidad de acibar obtenido fue de 0.28%, que está en el rango de Duke (1985).

CONCLUSIONES

La sábila posee la capacidad genética de desarrollarse en diversos ambientes ecológicos, incluyendo condiciones semiáridas y generalmente en cualquier tipo

Cuadro 7. Producción de gel en hojas de sábila de ancho basal y longitud variable como función de una ecuación de regresión múltiple¹.

Longitud de hoja (cm) X_1	Ancho basal de hoja (cm) X_2					
	6	8	10	12	14	16
30	59	163	266	369	472	575
35	69	173	276	379	482	585
40	80	184	287	390	493	596
45	90	194	297	400	503	606
50	100	204	307	410	513	616
55	110	214	317	420	523	626
60	120	224	327	430	533	636

$$^1R = 0.82, Y = -311.43 + 2.04X_1 + 51.64X_2$$

El peso de gel representa 68% del peso total de hoja.

de suelo. No obstante la plasticidad de adaptación, la sábila expresa su máximo desarrollo y vigor cuando se arraiga bajo la protección o cubierta de otras especies nodriza como mezquite, huizache, encinos, pinos y algunas arbustivas, mismas que le habilitan un microclima especial y una fertilidad de suelo que la favorecen.

La capacidad de la sábila de tener reproducción asexual y en menor proporción, sexual, le permite formar colonias circulares puras en condiciones naturales de disturbio. La distribución gregaria de esta especie le provee un ambiente benéfico para la expansión de las colonias y de su descendencia.

En una primera aproximación las poblaciones naturalizadas de sábila en San Luis Potosí pertenecen a una sola especie, *Aloe vera*; esta aseveración se fundamenta en el hecho de que ninguna de las variables agronómicas analizadas fue significativamente diferente para los tratamientos (procedencias) probados tanto de riego como de temporal.

Debido a las condiciones ecológicas que la caracterizan, la Zona Media de San

Luis Potosí posee potencial para el establecimiento de plantaciones comerciales de sábila.

Las ecuaciones de regresión simple o múltiple en las que se consideraron como variables a la longitud y ancho basal de hoja, altura y cobertura de la planta permitieron una rápida estimación de la producción de hoja o de gel.

REFERENCIAS

- Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología, bases para el estudio de comunidades vegetales. Blume, Rosario, Madrid, España. 820 p.
- Bruce, W. G. 1975. Medicinal properties of the aloe. *Excelsa* 5:57-68.
- Crosswhite, F. S. and C. D. Crosswhite. 1984. *Aloe vera* plant symbolism and the threshing floor. *Desert Plants* 6:43-50.
- Diez, M. 1981. La Sábila. INIREB Informa. Comunicado No. 46. Xalapa, Ver. México. 4 p.
- Duke, J. A. 1985. Handbook of medicinal herbs. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 677 p.
- Gowda, D. C., B. Neelisiddaiah, and Y. V. Anjaneyalu. 1979. Structural studies of polysaccharides from *Aloe vera*. *Carbohydrate Research* 72:201-205.
- Granados S. D. y A. D. Castañeda Pérez. 1988. Sábila (*Aloe barbadensis* Mill.): planta agroindustrial (medicinal) del desierto. Apoyos académicos No. 2. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 45 p.
- Grindlay, D. and T. Reynolds. 1986. The *aloe vera* phenomenon: a review of the properties and modern uses of the leaf parenchyma gel. *Journal of Ethnopharmacology* 16:117-151.
- Gunther, R. T. 1934. The Greek herbal of dioscorides. Oxford University Press. Oxford, UK. 701 p.
- Harding, T. B. C. 1979. Aloes of the world: a check list, index, and code. *Excelsa* 9:57-94.
- Hernández R., A. y J. Villanueva D. 1991. Características ecológicas de la sábila en el Altiplano y Zona Media de San Luis Potosí. III Simposio Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las Plantas Útiles del Desierto. Programa y Resúmenes. Saltillo, Coahuila. 25 p.
- Hernández R., A. 1995. La sábila: una alternativa de producción para la Zona media de San Luis Potosí. Folleto técnico No. 8 SAGAR-INIFAP-CIRNE-SLP. 16 p.
- Holland, P. G. 1978. An evolutionary biogeography of the genus *Aloe*. *Journal of Biogeography* 5:213-226.
- Hurtado Ch., L. G. y M. L. Martínez, M. 1983. *Aloe vera*. Facultad de Química. Universidad Autónoma de México. Tesis Profesional. 120 p.
- Kershaw, K. A. 1964. Quantitative and dynamic plant ecology. Arnolds Public. London, UK. 317 p.

- Leung, A. Y. 1978. *Aloe vera* in cosmetics. *Excelsa* 8:65-68.
- López R., G. F. 1989. Fitoquímica. Apoyos Académicos No. 7. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 90 p.
- Mandal, G. and A. Das. 1980. Structure of the D-Galactan isolated from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydrate Research* 86:247-257.
- Morton, J. F. 1961. Folk uses and commercial exploitation of aloe leaf pulp. *Economic Botany* 15:311-319.
- Morton, J. F. 1981. Atlas of medicinal plants of middle America: Bahamas to Yucatan. Charles C. Thomas Publisher, Springfield, IL. 81 p.
- Raina, M. K. 1982. Aloe. *In*: Cultivation and utilization of medicinal plants. Atal, C. K. and B. M. Kapin (Eds.), Regional Research Laboratory Council of Scientific and Industrial Research. Jammu-Tawi, India. pp. 369-374.
- Reynolds, G. W. 1966. The aloes of tropical Africa and Madagascar. The Trustees, The Aloes Book Fund, Johannesburg, South Africa. 396 p.
- Rodríguez C., A. 1992. El cultivo de la sábila en Yucatán. Universidad Autónoma Chapingo/Instituto Nacional Indigenista. Mérida, Yuc. Méx. 49 p.
- Rumayor M., M. y V. H. Sotomayor. 1997. Fomento al cultivo de la sábila. Sociedad de Producción Rural de R. I. "Productores Zona Media". Procuraduría Agraria en San Luis Potosí. 58 p.
- Sandoval A., J. y J. Sosa. 1987. La sábila. Grupo Interdisciplinario Agroindustrial del Nopal y Sábila. GIANSA. 20 p.
- Villanueva Díaz, J., A. Hernández Reyna y C. Loredó Osti. 1992. Guía para cultivar sábila en la Zona Media de San Luis Potosí. Folleto para Productores No. 16. SARH-INIFAP-CIRNE-SLP. 18 p.
- Villarreal B. M. y F. Quiroga. 1985. Aloe: una planta muy especial. Industrias John Deere, S. A. de C. V. *El Surco* 4:15.

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE *Dasyliirion* spp. (SOTOL) EN CHIHUAHUA, MÉXICO

Alicia Melgoza Castillo¹ y J. Santos Sierra Tristán¹

RESUMEN

Los sotoles (*Dasyliirion* spp.) son la materia prima para la elaboración de la bebida alcohólica del mismo nombre. Uno de los aspectos básicos en el aprovechamiento de una especie es su correcta determinación taxonómica. El objetivo de este trabajo fue identificar las especies de sotol en el estado de Chihuahua y hacer un análisis de los taxa citados en la literatura para la entidad. Se colectó un total de 85 ejemplares en 16 diferentes localidades. Las especies identificadas fueron: *Dasyliirion leiophyllum* var. *leiophyllum*, *D. leiophyllum* var. *glaucum*, *D. wheeleri*, *D. cedrosanum*, *D. sereke* y *D. durangense* las cuales, debido a la gran variabilidad existente, no se ajustaron a las descripciones taxonómicas. Con el fin de agruparlas con base en sus características específicas, se aplicó un análisis de componentes principales en el que se incluyeron 18 aspectos morfológicos de ejemplares femeninos. Los dos primeros componentes explicaron 52% de la variación. El primer componente principal estuvo integrado por el largo del eje floral del fascículo, la dirección de espinas y el largo de las ramillas florales, mientras que en el segundo se consideró el número de ramillas florales y el tamaño de brácteas. Los resultados muestran discrepancia en las especies registradas en otros trabajos, lo que probablemente responda a errores en la identificación, así como a la presencia de híbridos. La colecta de ejemplares completos en un gradiente continuo, además de la identificación mediante pruebas genéticas, es necesaria para esclarecer las especies, distribuciones y grado de hibridación en el género *Dasyliirion*.

Palabras clave: Chihuahua, *Dasyliirion* spp., descripción taxonómica, distribución geográfica, sotol, taxonomía

Fecha de recepción: 12 de abril de 2004.

Fecha de aceptación: 23 de febrero de 2005.

¹ Campo Experimental La Campana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. Correo-e: alicia.melgoza@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Dasyliiron spp. Known as "sotol" provides the raw material to produce the liquor with the same name. One of the first steps in order to exploit a species is to achieve its correct taxonomic identification. The purpose of this study was to determine the sotol species that grow in Chihuahua State and to analyze the taxa referred by literature. 85 examples from 16 different localities. The following species were found: *Dasyliiron leiophyllum* var. *Leiophyllum*, *D. leiophyllum* var. *glaucum*, *D. wheeleri*, *D. cedrosanum*, *D. sereke* and *D. durangense*, which did not quite adjust to the taxonomic description due to their high variability. In order to organize them into groups according to their specific characteristics, a principal components analysis was used in which 18 morphological aspects of female specimens were included. The two first components explained 52 per cent of the variation. The first component was made-up by the length of the fascicle floral axis, the orientation of the spines and the length of the floral branchlets, while in the second, the number of floral branchlets and the bract size were considered. Results show discrepancy in the species described in other works, which might be due to a mistaken identification, as well as to the hybrids. The collection of full examples on a continuous gradients in addition to the identification through genetic tests, it is necessary to recognize the species, their distribution and hybridization degree of the *Dasyliiron* genus.

Key words: Chihuahua, *Dasyliiron* spp., taxonomic description, geographic distribution, sotol, taxonomy.

INTRODUCCIÓN

Las plantas del género *Dasyliiron* son nativas del Desierto Chihuahuense y existen referencias de que han sido utilizadas como fuente de alimento o medicina por los pobladores de la región desde hace 7000 años (Bell y Castetter, 1941). En la actualidad, son la materia prima para la elaboración de la bebida alcohólica conocida como sotol, actividad de gran arraigo y tradición en el estado de Chihuahua (Tunnell y Madrid, 1988). El Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial otorgó la protección a la denominación de origen Sotol a los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango (IMPI, 2002). También se puede extraer el azúcar inulina que es valiosa en la industria farmacéutica (Ibave *et al.*, 2001); por lo que *Dasyliiron* spp. constituye una de las prioridades de investigación nacional (SEP-CONACYT, 2001).

Como parte básica de cualquier estudio, la identificación taxonómica de la especie es de suma importancia, ya que de esta manera se asegura la identidad del material con el cual se trabaja, lo que facilita la comunicación entre productores y técnicos, además de dar confiabilidad al momento de aplicar los resultados.

El género *Dasylium* ha sido ubicado en diferentes familias botánicas, tales como: Bromeliaceae (Endlicher, 1842), Dracaenaceae (Bentham, 1883), Liliaceae (Standley, 1920), Amaryllidaceae, Agavaceae (Hutchinson, 1934; Cronquist, 1981) y Nolinaceae (Dahlgren *et al.*, 1985). Sin embargo, no se había realizado un estudio filogenético para *Dasylium* y géneros cercanos, hasta el publicado por Bogler (1994, 1995). En este trabajo se analizó filogenéticamente al grupo *Liliiflorae*, que agrupa siete órdenes, 50 familias y 540 géneros; finalmente se ubicó al género *Dasylium* en la familia Nolinaceae, donde aparece más cercano al género *Nolina* y alejado de los taxa *Yucca* y *Agave*.

En una de las primeras publicaciones taxonómicas para México (Standley, 1920), se incluyen 16 especies de sotol (Cuadro 1), dato que se mantiene en otras investigaciones con información de usos de la flora (Conzatti, 1947; Martínez, 1979). En la última década del siglo XX, Bogler (1994, 1998) registró el mismo número de taxa, aunque renombró algunos en la categoría de variedad y propuso tres nuevas especies para México (Bogler, 1998).

Para el estado de Chihuahua, Standley (1920) reconoció, sin especificar las localidades de colecta, a *Dasylium leiophyllum* Engelmann ex. Trelease y *D. wheeleri* Watson ex. Rothrock; Johnston (1977) citó a *D. stewartii* I. M. Johnston (sinonimia de *D. leiophyllum*) como endémica de la "Sierra del Diablo", en el municipio de Jiménez, Chih. En una publicación de COTECOCA (1978) se menciona *D. acrotriche* (Schiede ex. Schultes) Otto en pastizales medianos y bosques con encino, así como la presencia de otras especies no identificadas de sotol en pastizales halófilos, matorrales y bosques de pino. Marroquín *et al.* (1981) registraron a *Dasylium leiophyllum* y *D. texanum* Scheele para la zona este de Chihuahua. Laferrière (1994) incluyó *D. wheeleri* con las variedades *D. wheeleri* var. *durangense* (Trellease) Laferrière y *D. wheeleri* Watson ex Rothrock var. *wheeleri* en la región montañosa, colindante con Sonora. La especie *D. wheeleri* ha sido citado en el área del Cañón de Santa Elena (SEMARNAT, 1997).

Bogler (1994) acepta tres especies y dos variedades: *D. wheeleri*, *D. sereke* Bogler, *D. leiophyllum* var. *leiophyllum* Bogler y *D. leiophyllum* var. *glaucum* (I. M. Johnst.) Bogler. Olivas *et al.* (2001) registran en los municipios de Coyame y Ojinaga a *Dasylium leiophyllum* y *D. leiophyllum* var. *heteracanthum* (I.M. Johnst.) Bogler, en Casas Grandes a *D. gentryi* Bogler, *D. glaucophyllum* Bogler y *D. lucidum* Rose; mientras que para el municipio de Madera a *D. cedrosanum* Trelease y *D. wheeleri*.

Dadas las diferencias en el registro y aceptación de las especies de *Dasylium* para Chihuahua, se llevó a cabo una revisión florística del género en el estado y el análisis de los taxa citados en la literatura para la entidad.

Cuadro 1. Especies de sotol (*Dasyliroton* spp.) registradas para México.

Standley (1920)		Bogler (1994, 1998)	
Especie	Localidad	Especie	Localidad
<i>D. acrotriche</i> (Schiede ex Schultes) Otto	Ver., S.L.P., Qro., Hgo.	<i>D. acrotriche</i> var. <i>occidentalis</i> Bogler	Zac., Ags., Jal., Gto., Ags., S.L.P., Gto., Qro., Hgo., Edo. de México, Pue.
		<i>D. acrotriche</i> var. <i>parryanum</i> (Trelease) Bogler	Hgo, Pue., Qro.
		<i>D. acrotriche</i> var. <i>acrotriche</i> Bogler	N.L., S.L.P. Tamps. N.L., Tamps.
<i>D. berlandieri</i> S. Watson	N. L.	<i>D. berlandieri</i> var. <i>palaciosii</i> (Redowzki) Bogler	S.L.P.
		<i>D. berlandieri</i> var. <i>berlandieri</i> Bogler	
		<i>D. berlandieri</i> var. <i>longistylum</i> (MacBride) Bogler	
<i>D. cedrosanum</i> Trelease	Coah., Zac.	<i>D. cedrosanum</i> Trelease	Coah., Zac.
<i>D. durangense</i> Trelease	Dgo.	<i>D. durangense</i> Trelease	Dgo., Coah.
<i>D. glaucophyllum</i> Hook.	Hgo.	<i>D. gentryi</i> Bogler	Son.
<i>D. graminifolium</i> Zucc.	S.L.P.	<i>D. glaucophyllum</i> Hook.	Hgo.
<i>D. leiophyllum</i> Engelmann ex Trelease	Chih.	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>glaucum</i> (I.M. Johnst.) Bogler	Coah., Chih.
		<i>D. leiophyllum</i> var. <i>leiophyllum</i> Bogler	

continúa ...

Cuadro 1, continuación...

<i>D. longissimum</i> Lem.	Tamps., Hgo., Qro.	<i>D. lucidum</i> Rose	Pue., Oax.
<i>D. longistylum</i> MacBride	S.L.P.	<i>D. miquihuanensis</i> Bogler	N. L., Tamps.
<i>D. lucidum</i> Rose	Pue.	<i>D. quadrangulatum</i> Bogler	N. L., Tamps.
<i>D. palmeri</i> Trelease	Coah.	<i>D. sereke</i> Bogler	Chih.
<i>D. parryanum</i> Trelease	S.L.P.	<i>D. serratifolium</i> (Karwinsky ex Schult.) Zucc.	Oax.
<i>D. serratifolium</i> (Karwinsky ex Schult.) Zucc.	Oax.	<i>D. simplex</i> Trelease	Dgo.
<i>D. simplex</i> Trelease	Dgo.	<i>D. texanum</i> Scheele	Coah.
<i>D. texanum</i> Scheele	Coah., N.L.	<i>D. treleasei</i> Bogler	S.L.P., Qro., Hgo.
<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothock	Chih.	<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothock	Chih., Son.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo una colecta de ejemplares en las zonas donde no existían registros previos de herbario; en ellas se ubicaron 16 localidades distribuidas en 10 municipios (Cuadro 2) que comprenden las tres grandes comunidades vegetales con presencia de soto en el estado: pastizales amacollados de los valles centrales, matorral desértico y las barrancas con rangos altitudinales de 1400 a 2000 m (Figura 1).

Las colectas se realizaron durante los periodos de floración de los años 2001 y 2002; los datos registrados por ejemplar fueron: fecha de colecta, localidad, tipo de vegetación, pendiente y altitud. El material botánico una vez identificado con

Cuadro 2. Localidades de colecta para las especies de *Dasyliiron* estudiadas

Localidad/ Mpio.	Latitud N	Longitud W	Altitud (msnm)	Especie
La Campañana/ Chihuahua	29° 16' 28	106° 24' 94	1813	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>glaucum</i> (I.M. Johnst.) Bogler
Arco Iris/ Chihuahua	29° 16' 23	106° 23' 77	1640	<i>D. leiophyllum</i> Engelmann ex Trelease
Tanquecitos/ Coyame	29° 27' 61	105° 16' 72	1490	<i>D. leiophyllum</i> Engelmann ex Trelease
Casa Adobe/ Janos	30° 37' 56	108° 26' 53	1633	<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothrock
Las Lajas/ Gral. Trias	28° 14.36'	106° 20.48'	1760	<i>D. leiophyllum</i> Engelmann ex Trelease
Huapoca/ Madera	29° 11' 02	108° 19' 31	1359	<i>D. sereke</i> Bogler
Cañón San Carlos/ M. Benavides	29° 12' 81	106° 1.83'	1400	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>glaucum</i> (I.M. Johnst.) Bogler
Tintero/ Buenaventura	29° 40' 08	107° 16' 47	1895	<i>D. cedrosanum</i> Trelease
San Lorenzo/ Buenaventura	29° 39' 04	107° 03' 05	1780	<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothrock
F. Magón/ Buenaventura	29° 40' 08	106° 52' 40	1851	<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothrock

continúa...

Cuadro 2, continuación...

El Morrión/ Aldama	28° 59.19'	105° 34.72'	1547	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>leiophyllum</i> Bogler
Zavalza/ Jiménez	26° 53.18'	104° 31.22'	*	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>glaucum</i> (I.M. Johnst.) Bogler
Sta. Ma. de Cuevas/ B. Dominguez	27° 54.0'	106° 20.8'	*	<i>D. leiophyllum</i> Engelmann ex Trelease
Estación Cebadillas/ Madera	29° 17' 54	108° 31' 28	1723	<i>D. sereke</i> Bogler
Flores Magón/ Buenaventura	29° 49' 39	107° 22' 41	1713	<i>D. cedrosanum</i> Trelease
Mesa La Encinosa/ Madera	29° 04' 21	108° 12' 32	1820	<i>D. durangense</i> Trelease

* Datos no tomados.

las claves taxonómicas disponibles para el género (Standley, 1920; Bogler, 1994), se herborizó e incorporó al herbario del Campo Experimental La Campana del Centro de Investigación Regional Norte Centro del INIFAP, sito en el Km 80 de la carretera Ciudad Juárez – Chihuahua.

Con la finalidad de hacer la agrupación de los ejemplares colectados con base en su morfología y en sus dimensiones, se revisaron 27 ejemplares con inflorescencias, en los que se consideraron las siguientes 18 características: dirección de la espina, color de la espina, ancho y tipo del ápice de la hoja, ancho y largo de la base (vaina) de la hoja; en inflorescencias femeninas y masculinas se consideraron: el largo del eje floral, número de racimos por fascículo, largo del racimo, largo y ancho de la bráctea; y el largo y ancho del fruto. A las variables cualitativas se les asignó un valor categórico, antes de aplicarse un análisis de componentes principales (Digby y Kempton, 1991).

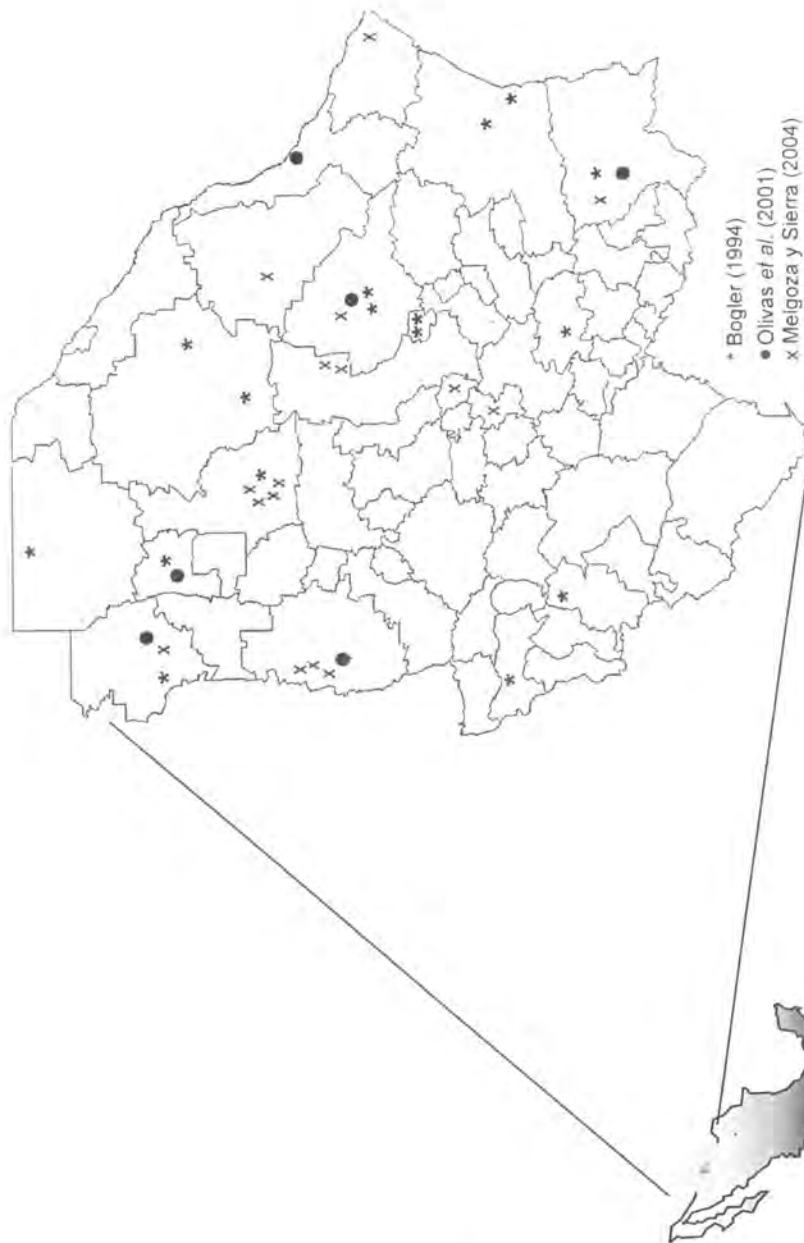


Figura 1. Sitios de colecta de ejemplares de sotol en el estado de Chihuahua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del género *Dasyliiron* Zuccarini

Plantas perennes, policárpicas, con tallos leñosos, algunas veces arborescentes, troncos cortos o elongados de hasta 3 m de alto. Hojas persistentes agrupadas en rosetas densas, fibrosas, angostas, de 30 a 170 cm de largo x 0.5 a 5 cm de ancho; las bases se ensanchan traslapándose entre sí, sus máximas dimensiones son de 11 cm de ancho x 20 cm de largo, márgenes con espinas de 1 a 3 mm de largo, curvadas, antrorsas o retrorsas, raramente ausentes, ápices enteros o fibrosos formando un pincel, superficie de glauca a cerosa.

Inflorescencias paniculadas, racemosas, bracteadas, delgadas, de 1.5 a 5 m de largo; flores pequeñas, unisexuales, se presentan en fascículos de densos racimos insertados en las axilas de las brácteas. Las flores estaminadas con bracteas sésiles o cortamente pediceladas (1 mm), con 6 tépalos elípticos a obovados, verde amarillento, púrpura en el ápice, con 6 estambres; anteras de 3-4 mm de largo, exertas. Las flores pistiladas con brácteas membranosas, de 2-3 mm de largo, 2.5-3.5 mm de ancho, 6 tépalos en dos hileras, elípticos, obovados o espatulados, con denticulaciones en la punta, de color verde, amarillos o púrpura, lóbulos del estigma unidos a lo largo de los bordes formando un tubo de 1-3 mm de largo. El fruto es una cápsula, indehisciente, con una delgada cubierta trialada y una semilla.

La mayoría de los individuos observados en campo presentan un tallo muy corto; pocos ejemplares tuvieron menos de 1 m de alto, generalmente, crecen formando una sola roseta; sin embargo, en algunos casos se observan dos o más que brotan de una misma base. Es probable que se trate de varios individuos independientes procedentes de diferentes semillas, pero que al crecer se traslapan. Algunas plantas muestran rebrotes en la base, como un conjunto de hojas más tiernas que sobresalen entre las hojas maduras; éstas pudiesen corresponder a vástagos de la misma planta. Las hojas basales en ocasiones son cortadas por pequeños mamíferos, lo que favorece que se alargue la base del tallo y el tronco alcance hasta 1 m de alto. Los restos de las hojas se observan en el suelo, sin huellas de haber sido consumidas como forraje.

Especies de *Dasyliiron* identificadas y comparación con otros registros para Chihuahua

Se colectaron 85 ejemplares pertenecientes a cinco especies y dos variedades, los cuales quedaron depositados en el herbario del Campo Experimental La Campana, (Cuadro 2). El material revisado no correspondió cabalmente con las descripciones que Bogler (1994) menciona para cada especie; además el trabajo de Standley (1920) solamente incluye claves, por lo que no fue posible comparar

todas las características morfológicas de las especies identificadas con las citadas por Standley (1920). Cabe señalar que en la literatura se consigna la existencia de una gran variabilidad intraespecífica; así Bogler (1994) observó en *D. leiophyllum*, individuos en los cuales 31% de sus hojas tenían espinas dirigidas hacia abajo (retrosas), no obstante que dicho taxon está dentro del grupo de las especies con espinas retrosas. El autor también enfatiza la variabilidad que existe en las partes florales, así como en el tamaño del fruto.

Otra posible explicación a las diferencias morfológicas observadas en los individuos estudiados es la existencia de hibridación, por lo que es recomendable ampliar el área de colecta y realizar la caracterización genética de los ejemplares para determinar taxonómicamente las especies e híbridos, así como la distribución de las mismas; un factor adicional que pudo incidir en la falta de correspondencia entre el material colectado y lo citado en la bibliografía es la fase fenológica en la que se encontraba la planta al momento de la colecta.

Dasyliiron leiophyllum var. *glaucum*.- Hojas verde pálido, de 1.9 - 2.1 cm de ancho por 90 - 100 cm de largo; ápice entero, con la edad provisto de un mechón de fibras, semejantes a un pincel; superficie glauca, cerosa; margen con espinas robustas, entre 10 y 30% curvadas hacia la base, el resto rectas o curvadas hacia la punta. Inflorescencia robusta de 3-4 m de largo. Fascículos estaminados con 5 a 6 ramas sobre un eje central; ramas de 5 - 7 cm de largo. Fascículos pistilados con 6 - 8 ramas sobre un eje central de 0.7 - 1.5 cm de largo; largo de las ramas de 6 - 8 cm. Fruto obovado, de 4 - 4.2 mm de ancho y 6 mm de largo; con una muesca de 1 mm; estilo y estigma no rebasan la muesca; el estilo se hincha y se torna café claro en el fruto. Semillas de 2.5 mm de ancho por 2.5 mm de largo.

Dasyliiron leiophyllum var. *leiophyllum*.- Hojas verde brillante, de 1.2 a 2.3 cm de ancho y 90-107 cm de largo; margen con entre 10 y 50% de las espinas curvadas hacia la base; ápice fibroso cuando jóvenes y con la edad fibroso, parecido a un pincel. Flores estaminadas con tépalos de 1.8 - 2.0 mm de largo por 1 - 1.4 mm de ancho. Fascículos pistilados con 7 - 11 ramas, insertadas en un eje central de 1 - 3.4 cm de largo, ramas de 5.4 - 10.5 cm de largo. Fruto obovado de 3.5 - 4.5 mm de ancho por 6 - 7 mm de largo; muesca poco profunda de 0.3 - 1 mm, el estilo y estigma persistentes. Semillas de 2 mm de ancho por 2.4 mm de largo.

Dasyliiron wheeleri.- Hojas verde pálido, de 1.8 - 2 cm de ancho por 57 - 110 cm de largo; más del 90% de las espinas (antrosas) curvadas hacia la base; ápice entero o fibroso (pincel). Fascículos estaminados con 10 - 14 ramas sobre un eje central de 4 - 12 cm de largo. Fascículos pistilados con 7 - 18 ramas sobre un eje central de 1.7 - 4 cm de largo. Frutos casi redondos de 4 mm de ancho por 4.5 - 5 mm de largo; muesca de 1 - 1.4 mm; estilo y estigma persistentes, comúnmente incluidos en la muesca. Semillas de 3 mm de largo por 2.5 mm de ancho.

Dasyliiron cedrosanum.- Hojas verde pálido, de 1.5 - 2.1 cm de ancho por 75 - 120 cm de largo; espinas gruesas, más del 90% curvadas hacia la base. Fascículos estaminados con 5 - 7 ramas sobre un eje central de 1.7 - 3 cm, ramas de 3 - 6 cm de largo. Fascículos pistilados con 6 - 8 ramas sobre un eje central de 1 - 2 cm, 7 - 8 cm de largo. Frutos ovados de 6 - 7 mm de largo; muesca de 1 - 1.5 mm; estilo y estigma comúnmente persistentes e incluidos en la muesca. Semillas de 2.6 mm de ancho x 3 mm de largo.

Dasyliiron sereke.- Hojas de 1 - 1.5 cm de ancho por 75 - 96 cm de largo; más del 90% de las espinas curvadas hacia la base, amarillas con las puntas de color café; ápice entero. Fascículos estaminados compactos con 4 - 5 ramas sobre un eje central de 1.5 cm, ramas de 2.5 - 6.0 (8.0) cm, densamente arregladas sobre el eje. Fascículos pistilados con 6 - 10 ramas sobre un eje central de 2 - 4 de largo, largo de las ramas de 11 - 14 cm. Frutos de 7.5 mm de largo por 7 mm de ancho; muesca de 2 mm; estilo hinchado en el fruto; estilo y estigma incluidos en la muesca. Semillas de 3.5 mm de largo por 2.5 mm de ancho. Hojas, inflorescencia y fruto con partes color púrpura.

Dasyliiron durangense.- Hojas de 1.7 cm de ancho por 70 - 100 cm de largo; superficie verde opaca, cerosa; más del 90% de las espinas curvadas hacia la base; ápice entero. Fascículos estaminados con 5 - 6 ramas sobre un eje central de 3 cm, ramas de 6 cm de largo. Fascículos pistilados con 6 - 8 ramas sobre un eje central de 3.2 cm, ramas de 11 cm de largo. Frutos de obovados a redondos, de 6 - 8 mm de largo por 5 - 7 mm de ancho; muesca de 2 - 3 mm; estilo y estigma incluidos en la muesca, estilo hinchado en el fruto.

Los resultados del presente trabajo coinciden con Bogler (1994) en las especies *D. leiophyllum*, *D. wheeleri* y *D. sereke* (Cuadro 3); aunque este autor no incluye a *D. durangense* y *D. cedrosanum* como parte de la flora estatal, si las localiza en los límites de Durango y Coahuila, con Chihuahua; además *D. cedrosanum* ha sido registrada por Olivas *et al.* (2001) para la misma región donde fue colectada en el presente trabajo y *D. durangense* en la zona de barrancas (Spellenberg *et al.*, 1996). Por otra parte, Laferrière (1991) no observó características suficientes para ubicar a nivel de especie a *D. durangense* y la identifica como *D. wheeleri* var. *durangense* y *D. wheeleri* var. *wheeleri*.

En el material colectado en las localidades muestreadas por Olivas *et al.* (2001), no se obtuvieron ejemplares de los siguientes taxa: *D. leiophyllum* var. *heteracanthum*, *D. lucidum*, *D. glaucophyllum* y *D. gentryi*; al respecto, Bogler (1994) cita *D. leiophyllum* var. *heteracanthum* como una sinonimia de *D. leiophyllum* var. *glaucum*. Las especies de *D. lucidum*, *D. glaucophyllum* y *D. gentryi* son registradas con distribuciones fuera del estado y sólo la última ha sido observada en Sonora, muy cerca de los límites con Chihuahua.

Cuadro 3. Especies de *Dasyliirion* registradas para el estado de Chihuahua.

Bogler (1994)	Olivas et al. (2001)	Identificadas en este trabajo
<i>D. leiophyllum</i> var. <i>glaucum</i> (I.M. Johnst.) Bogler	<i>D. leiophyllum</i> Engelman ex Trelease	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>glaucum</i> (I.M. Johnst.) Bogler
<i>D. leiophyllum</i> var. <i>leiophyllum</i> Bogler	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>heteracanthum</i> (I.M. Johnst.) Bogler	<i>D. leiophyllum</i> var. <i>leiophyllum</i> Bogler
<i>D. sereke</i> Bogler	<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothrock	<i>D. sereke</i> Bogler
<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothrock	<i>D. cedrosanum</i> Trelease	<i>D. wheeleri</i> Watson ex Rothrock
	<i>D. gentryi</i> Bogler	<i>D. cedrosanum</i> Trelease
	<i>D. lucidum</i> Rose	<i>D. durangense</i> Trelease
	<i>D. glaucophyllum</i> Hook.	

D. glaucophyllum es una especie que ha sido colectada sólo en Hidalgo, donde constituye una población rara, por lo que la mayor parte del trabajo taxonómico para este taxon se ha realizado con base en material cultivado en un jardín botánico de Italia. Bogler (1994), a pesar de que la describe, no la incluye en sus claves taxonómicas; en tanto que *D. lucidum* presenta una distribución hacia el sur de México, que incluye los estados de Puebla y Oaxaca.

Trabajos en áreas adyacentes a Chihuahua como la flora de Coahuila (Villarreal, 2001), consigna las especies: *D. cedrosanum*, *D. heteracanthum*, *D. leiophyllum* y *D. texanum* con registros para los municipios limítrofes con Chihuahua. En la flora de Texas, Correll y Johnston (1970) incluyen a *D. heteracanthum*, *D. leiophyllum*, *D. texanum* y *D. wheeleri*. Powell (1988) registra a *D. wheeleri*, *D. texanum*, *D. leiophyllum* y *D. heteracanthum* en el listado florístico para la región del Trans-Pecos, Texas y amplía la distribución de esos taxa hasta el estado de Chihuahua.

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (Figura 2) agrupó a los ejemplares en las especies identificadas con base en 13 características morfológicas. Los primeros dos componentes explicaron 52% de la variación. El primero estuvo integrado por el promedio entre la dirección de la espina del margen de las hojas, la longitud del eje floral y la longitud de los racimos. El segundo fue un contraste entre color de la espina y número de racimos, contra largo y ancho de las brácteas.

Del análisis resultaron dos grupos, uno constituido por los individuos pertenecientes a *Dasyliirion cedrosanum*, *D. wheeleri*, *D. sereke* y *D. durangense*; con las siguientes características: espinas hacia arriba, longitud del eje floral mayor a 2.24 cm y racimos con longitud superior a 6.7 cm. La separación entre especies dentro de este grupo se basó en el número de racimos, color de la espina y el tamaño (largo y ancho) de las brácteas. El ejemplar identificado como *D. durangense*, presentó las brácteas más grandes (>6.7 cm de largo y >1.9 cm de ancho), pero con menos de nueve racimos; las espinas fueron de un color crema - amarillento.

El material correspondiente a *D. sereke* mostró valores de número de racimos (9) y tamaño de las brácteas (6.7 cm) cercanos al promedio; mientras que las brácteas en *D. wheeleri* fueron ligeramente inferiores a la media, pero con un mayor número de racimos. Por último en *D. cedrosanum* se observaron los menores tamaño de brácteas y las cantidades más altas de racimos, con color de espinas naranja - rojizas.

El otro grupo quedó integrado por la especie *D. leiophyllum* con sus dos variedades, las que se caracterizaron por presentar espinas hacia abajo, eje floral inferior a 2.23 cm y racimos con una longitud inferior a 6.68 cm. Los ejemplares de *D. leiophyllum* var. *glaucum* tuvieron las dimensiones más pequeñas.

CONCLUSIONES

Para el estado de Chihuahua se identificaron cinco especies y dos variedades del género *Dasyliirion*: *D. leiophyllum* var. *leiophyllum* y *D. leiophyllum* var. *glaucum*, *D. wheeleri*, *D. cedrosanum*, *D. sereke* y *D. durangense*.

Las características de las especies *D. sereke*, *D. cedrosanum* y *D. durangense* no correspondieron, en su totalidad, a las consideradas en las claves de Bogler (1994).

D. lucidum y *D. glaucophyllum*, registradas previamente para el municipio de Casas Grandes, no fueron localizadas durante el desarrollo del presente estudio.

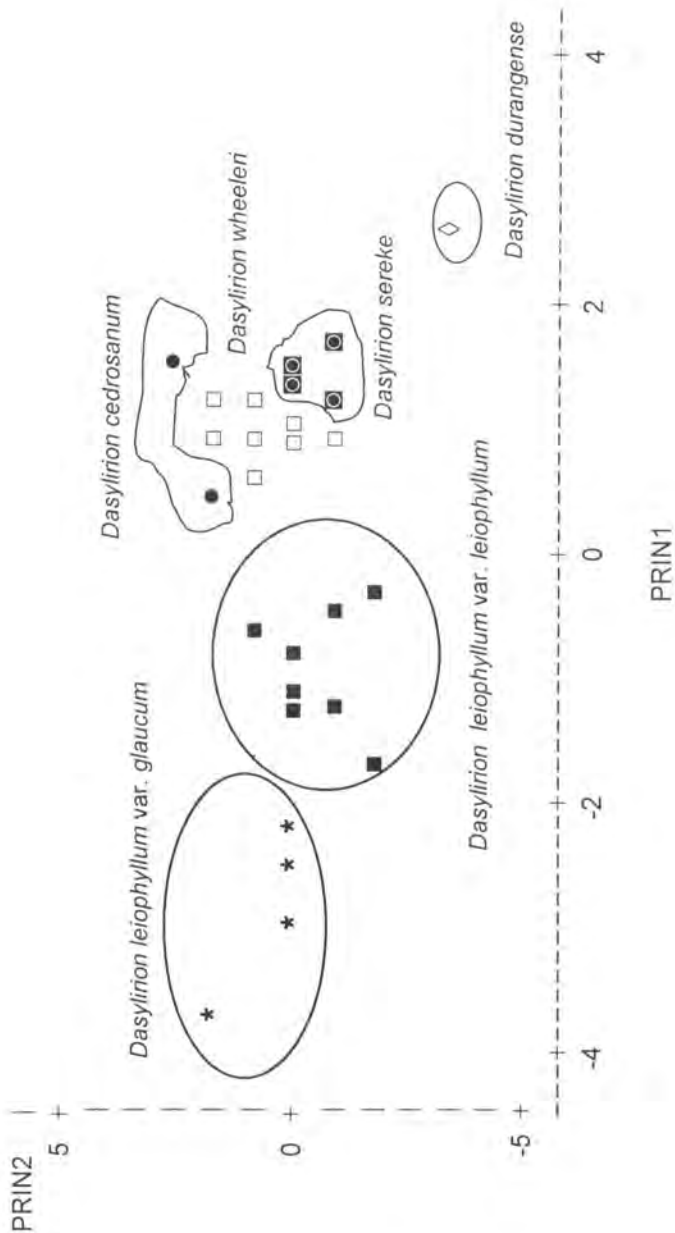


Figura 2. Agrupación de las especies de sotol colectadas en el estado de Chihuahua con base en 18 características morfológicas y análisis de componentes principales.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Sistema Regional de Investigación Francisco Villa (SIVILLA), clave 200004600 y a la Fundación Produce Chihuahua, A. C. por el financiamiento del proyecto otorgado al Dr. J. Santos Sierra Tristán.

REFERENCIAS

- Bell W., H. y E. F. Castetter. 1941. Ethnobotanical studies in the american southwest. VII. The utilization of yucca, sotol, and beargrass by the aborigines in the american southwest. The University of New Mexico Bulletin. Vol. 5 No. 5. University of New Mexico Press. 74 p.
- Bentham, G. y J. D. Hooker. 1883. Genera Plantarum. Vol. III. Part 2. Reeve, Londres. 432 p.
- Bogler D., J. 1994. Taxonomy and phylogeny of *Dasyllirion* (Nolinaceae). Dissertation. The University of Texas at Austin. 583 p.
- Bogler D., J. 1995. Systematics of *Dasyllirion*: Taxonomy and molecular phylogeny. Bol. Soc. Bot. Méx. 56:69-76.
- Bogler D., J. 1998. Three new species of *Dasyllirion* (Nolinaceae) from Mexico and a clarification of the *D. longissimum* complex. Brittonia 50:71-86.
- Comisión Técnica Consultiva Para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1978. Memoria del estado de Chihuahua. SARH. México, D. F. 151 p.
- Conzatti, C. 1947. Flora taxonómica mexicana. Tomo II. Soc. Mex. de Historia Natural. México, D. F. 220 p.
- Correll D., S. and M. C. Johnston. 1970. Manual of the Vascular Plants of Texas. Texas Research Foundation. 1881p.
- Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. NY. Bot. Gard., Columbia Univ. Press. 842 p.
- Dahlgren R., M., H. T. Clifford and P. F. Yeo. 1985. The families of the monocotyledons. Springer-Verlag, Berlin, 520 p.
- Digby P., G. N. y R. A. Kempton. 1991. Multivariate analysis of ecological communities. Chapman & Hall. Londres. 205 p.
- Endlicher S., L. 1842. Genera plantarum secundum ordines naturale disposita. Viena. 1123 p.
- Hutchinson, J. 1934. The families of flowering plantas. Vol. II. Monocotyledons. Clarendon Press, Oxford. 532 p.
- Ibave F., J., J. L. Ibave, M. G. López e I. Díaz de la Garza. 2001. Generación de tecnologías para la extracción de inulina y su estudio prospectivo de mercado. *In*: Memorias. III Foro Estatal Sivilla-Chihuahua. SEP-CONACyT. Gob. del Edo. de Chihuahua. Chihuahua, Chih. pp. 177-179.
- Instituto Mexicano de Protección Industrial. 2002. www.impi.gob.mx/web/docs/marco_j/sotol.htm

- Johnston M., A. 1943. *Dasyliirion stewartii* var. *glaucum*. J. Arnold Arb. 24:93.
- Johnston M., A. 1977. Brief resume of botanical, including vegetational, features of the Chihuahuan desert region with special emphasis on their uniqueness. In: Transactions of the symposium on the biological resources of the Chihuahuan desert region. Sul Ross State Univ. Alpine Tx. US Dep. Interior. pp. 335-359.
- Laferrière J., E. 1991. *Dasyliirion wheeleri* var. *durangense*: A new combination in the Nolinaceae. Ann. Missouri. Bot. Gard. 78:516-520.
- Laferrière J., E. 1994. Vegetation and flora of the Mountain Pima Village of Nabogame, Chihuahua, Mexico. Phytologia 77:102-140.
- Marroquín J., S., G. Borja, R. Velásquez y J. A. De la Cruz. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación Especial No. 2. Inst. Nal. Invest. Forest. SARH. México, D. F. 166 p.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Ed. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 1220 p.
- Olivas G., J. M., J. I. Palma E., O. Jiménez M., J. Hernández S. y J. M. Chacón, S. 2001. Bases para el manejo sustentable del sotol (*Dasyliirion* spp.) en el desierto Chihuahuense. Memoria V. Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Soc. Mexicana de Rec. Forestales, A. C. Guadalajara, Jal. pp. 106-112.
- Powell A., M. 1988. Trees and Shrubs of Trans-Pecos Texas. Big Bend Natural History Association Inc. 548 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 1997. Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Cañón de Santa Elena. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT. México, D. F. 134 p.
- SEP-CONACyT. 2001. Prioridades del sector agropecuario y forestal para la formulación de proyectos integrales. Compilación. Sistema de Investigación Francisco Villa. Delegación Regional Norte Centro. Chihuahua, Chih. 153 p.
- Spellenberg, R., T. Lebgue and R. Corral-Díaz. 1996. A specimen – based annotated checklist of the vascular plants of the Parque Nacional "Cascada de Basaseachic" and adjacent areas, Chihuahua, Mexico. In: Listados Florísticos de México. Publicación No. 4461. Inst. de Biología México, D. F. 103 p.
- Standley, P. C. 1920. Trees and shrubs of Mexico. Contributions from the United States National Herbarium, Vol. 23. Part 1. Washington, DC. 169 p.
- Tunnell, C. and E. Madrid. 1988. Making and taking sotol in Chihuahua and Texas. In: A. Hollander, R. Barlow, J. McGillivray and D. Schmidly (Eds.). Third Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region. Alpine, Texas. pp. 145-163.
- Villarreal J., A. 2001. Listados florísticos de México. XXIII. Flora de Coahuila. Instituto de Biología-UNAM. México, D. F. 138 p.

DAÑOS Y DIVERSIDAD DE INSECTOS DESCORTEZADORES DE CONÍFERAS DEL NORESTE DE MÉXICO

José Alfredo Sánchez Salas¹, Luis Mario Torres Espinosa¹,
Antonio Cano Pineda¹ y Oscar Ulises Martínez Burciaga¹

RESUMEN

A mediados de 1999, en los bosques del noreste de México se detectó la presencia de escarabajos descortezadores de coníferas en una superficie cercana a las 12,000 ha, para el estado de Coahuila y 13,000 ha para Nuevo León, de las cuales 418.5 y 799 hectáreas distribuidas en manchones respectivamente, estaban muy afectadas; esta condición favoreció su rápida diseminación y permitió que las poblaciones pudieran crecer en forma acelerada e infestar miles de árboles en pocas semanas. Por lo anterior, se propuso realizar una evaluación con el objetivo de identificar las principales especies de insectos descortezadores que inciden sobre los bosques del noreste de México. Se realizaron muestreos en los diferentes hospederos y colectas de insectos descortezadores, con el fin de identificarlos en el laboratorio del Campo Experimental Saltillo del INIFAP. Para el género *Dendroctonus* se utilizaron las técnicas de la genitalia y del cariotipo. Como resultado de este estudio se encontró la evidencia de daño de un complejo de descortezadores, presentándose las siguientes especies: el ataque primario a *Pseudotsuga flahaultii* (oyamel rojo) fue causado por *Dendroctonus pseudotsugae*; en *Abies vejarii* (oyamel blanco) por *Scolytus* spp., en la parte alta y *Pseudohylesinus variegatus* en la parte baja del fuste; a *Pinus rudis* por *Dendroctonus adjunctus*, *Cupressus arizonica* por *Phloeosinus* spp. Los árboles jóvenes de oyamel y pino son atacados principalmente por *Pityophthorus* spp.; el ataque primario a *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus* es causado por *Dendroctonus mexicanus* y el daño primario en *Pinus arizonica* es por *Dendroctonus brevicornis*.

Palabras Clave: Cariotipo, coníferas, daños, descortezador, genitalia, Scolytidae.

Fecha de recibido: 02 de marzo de 2004.

Fecha de aceptación: 23 de febrero de 2005.

¹ Campo Experimental Saltillo, Centro de Investigación Regional Noreste, INIFAP. Correo-e: jasanchezsalas@yahoo.com.mx

ABSTRACT

By the middle of 1999, in the forests of northeastern Mexico, coniferous bark beetles were detected over a territory near 12,000 hectares of coniferous forest in Coahuila State and 13,000 in Nuevo Leon State, out of which 418.5 and 799 hectares respectively, were strongly affected and distributed in large spots which favored its quick dissemination. Such situation allowed the populations of these insects to grow quickly and infest thousands of trees in a few weeks. Because of the lack of knowledge of the causal agents, it became necessary to carry out this work with the purpose of identifying the insect species that attack the forests aforementioned. To fulfill this work, collections of attacking insects were taken to the laboratory for their identification. This work was done in the Campo Experimental Saltillo, where genitalia and karyotype techniques were used. The following results were found: the damage to *Pseudotsugae flahaultii* is caused by *Dendroctonus pseudotsugae*. *Abies vejarii* is attacked by *Scolytus* spp. in top of the tree and *Pseudohylesinus variegatus* in the lower part of the stem; *Dendroctonus adjunctus* damage upon *Pinus rudis*, and *Phloesinus* spp. on *Cupressus arizonica*. It was also found that young trees of the *Abies*, *Pseudotsugae* and all pine species are attacked by the *Pityophthorus* spp. At the same time, *Pinus teocote* and *Pinus pseudostrobus* are damaged by *Dendroctonus mexicanus* and *Pinus arizonica* by *Dendroctonus brevicornis*.

Key words: Karyotype, coniferus, damage, bark beetle, genitalia, Scolytidae.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de Coahuila y Nuevo León abarcan una superficie de 350,000 y 507,088 ha respectivamente, se localizan en el noreste de México. Conforman un ecosistema frágil, susceptible de impactarse por el desarrollo de actividades productivas y por fenómenos naturales asociados (sequías, incendios y plagas). En años recientes se detectó la presencia de escarabajos descortezadores de coníferas en estas áreas forestales en una superficie cercana a las 12,000 ha, para el estado de Coahuila y 13,000 ha para Nuevo León, de las cuales 418.5 y 799 ha compactadas respectivamente, están muy afectadas y distribuidas en manchones, lo que hace posible que las poblaciones de estos insectos puedan crecer muy rápido e infestar miles de árboles en pocas semanas.

Los escarabajos descortezadores, que pertenecen al género *Dendroctonus*, son los insectos más destructivos en los bosques de coníferas de Norte y Centro América. Atacan y matan a los árboles tanto en forma individual, en pequeños grupos e, incluso, en grandes epidemias, donde una vez iniciado el ataque pueden permanecer por años. En los bosques naturales de México, el ataque por descortezadores ha causado la pérdida de aproximadamente 400,000 m³ de madera por año (Cibrián y Cibrián, 1998) durante los últimos 20 años.

Las áreas boscosas de Coahuila y Nuevo León han sido sometidas a condiciones extremas de baja humedad ya que las precipitaciones de los últimos siete años estuvieron por debajo de la media anual que es de 630 mm, y como consecuencia, se presentaron temperaturas superiores a los 30°C, lo cual ha incidido en que el vigor de los árboles disminuya; aunado a ello, la mayor frecuencia de incendios forestales ha ocasionado un desequilibrio del ecosistema forestal. Estos factores han aumentado la susceptibilidad del arbolado para ser afectado por algún insecto o patógeno forestal, lo que ha dado lugar a que existan las condiciones idóneas para que la población de descortezadores alcance proporciones que impacten tanto aspectos económicos, ecológicos y sociales. Los daños en el recurso repercuten en el bienestar de los productores silvícolas de la región, dado que la actividad forestal es parte importante de su fuente de ingresos, además de que provocaron pérdidas en los valores y servicios que producen las áreas forestales como son: captación de agua, la producción de oxígeno, la protección del suelo, del hábitat de la flora y la fauna endémicas o amenazadas; así como del potencial recreativo de la zona. Por lo anterior, es necesario reconocer esta contribución de los macizos montañosos de Coahuila y Nuevo León y rescatarlos en beneficio de las poblaciones rurales y urbanas de la región.

Con base en lo anterior y ante el peligro inminente que representan estos insectos, aunado a los visibles daños que se aprecian en las zonas boscosas y el desconocimiento de los agentes causales, se vio la necesidad de llevar a cabo el presente trabajo con el objetivo de identificar a las principales especies de insectos descortezadores que atacan a los bosques del noreste de México.

Los insectos y las enfermedades son las principales causas de los procesos de disturbio en ecosistemas deforestados (Castello *et al.*, 1995). Dentro de las plagas que afectan a las especies arbóreas, las que mayores daños han causado son los insectos descortezadores, ya que cuando se manifiestan en forma epidémica, arrasan con grandes superficies arboladas. Se denomina descortezadores a toda plaga que habita y se desarrolla en o cerca del cambium (Rodríguez, 1982).

Villa (2003) destacó la presencia de focos de infestación de descortezadores en Baja California en una superficie de 10,959 ha, y para detener el avance hacia áreas potenciales se practicó saneamiento en una superficie de 5,788 ha. También hace referencia a que en el estado de Durango se protegieron 80 ha de conservación mediante la aplicación de feromonas de antiagregación para evitar la acumulación en masa de insectos descortezadores, con lo cual se obtuvo que sólo 2% de la superficie sufriera una reinfestación. Por otra parte, menciona que para el monitoreo de insectos descortezadores se hizo un despliegue de trampas en los estados de Chiapas, Coahuila y Jalisco, que está permitiendo detectar los patrones de vuelo de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897; *D. mexicanus* Hopkins, 1905 y *D. frontalis* Zimmermann, 1868 con el fin de apoyar

la toma de decisiones para su manejo, ya que constituyen la principal plaga forestal del país.

El escarabajo descortezador ataca de forma masiva a través de la corteza del árbol. Su comportamiento gregario debilita y mata al organismo hospedero a medida que se multiplica. Se mueve de un individuo al vecino más cercano, de modo que las poblaciones puedan crecer rápidamente y afectar a miles de árboles en pocas semanas (Hall y Davies, 1968).

Halffter (1987) definió que el género *Dendroctonus* en América cuenta con 19 especies, de las cuales 17 corresponden al patrón Neártico descrito para la entomofauna de Norteamérica y están asociadas con los bosques de coníferas y las dos restantes son Paleárticas. Por otra parte, Cibrián *et al.* (1995) citan para México a 11 especies, varias de ellas de gran importancia por su repercusión económica, al grado que se les reconoce como la plaga forestal más dañina.

En general, los adultos son escarabajos pequeños de forma cilíndrica de color café claro o negro, con una longitud de un poco más de 1 mm los más chicos, y hasta 1 cm en las especies más grandes (Keen, 1952). Aun cuando este insecto sea pequeño, el daño que causa puede ser muy severo. McGregor (1985) registra que de 1979 a 1982 *D. ponderosae* Hopkins, 1905 afectó más de 79 millones de árboles en el noreste de Estados Unidos, y desde 1975 sólo en el este de Oregon el "Koontain Pine Beetle" ha sido el causante de la pérdida de cerca de 12,460 m³ r/año. *Dendroctonus frontalis* es la plaga forestal más destructiva de los bosques en el sureste de esa nación (Clarke, 1995).

En México, Cibrián y Cibrián (1998) refieren que en cuanto a estudios sobre insectos descortezadores se tiene un conocimiento aceptable de la taxonomía y ciclos biológicos de las especies de mayor importancia. Sin embargo, existen pocos trabajos sobre dinámica de poblaciones. Con respecto a la información sobre los hospedantes, se han realizado vuelos de detección aérea en alrededor de cinco millones de ha/año e inspecciones terrestres en casi un millón de ha/año. Los mismos autores indican que también se han hecho los primeros estudios que predicen la susceptibilidad de rodales al ataque de insectos descortezadores de pino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como primera fase del proyecto se hizo una recopilación de información básica y de campo relacionada con la presencia y desarrollo de insectos descortezadores en las áreas forestales de Coahuila y Nuevo León. Se revisó la información climática de años anteriores a 1999, experiencias y antecedentes relacionados con la plaga en la región.

Diagnóstico terrestre

Para la detección de brotes activos de insectos descortezadores, en los últimos cuatro años se hicieron vuelos de reconocimiento de plagas por medio de mapeo aéreo de focos infecciosos y ubicación en cartas topográficas en escala 1:50,000; se utilizaron avionetas CESSNA de ala alta y un total de 11 horas de vuelo en dos días, con lo que se abarcó una cobertura de 350,000 ha, que incluyeron siete municipios en el sur del estado de Coahuila. Posteriormente, se llevó a cabo una inspección terrestre para verificar en campo los daños detectados por medio de la evaluación aérea (Torres *et al.*, 2003).

Colecta de descortezadores

Se realizaron muestreos en campo en 67 sitios infestados (Figura 1), tanto en árboles en pie como en los derribados con síntomas de ataque de descortezadores en: *Pseudotsuga flahaultii* Flous, *Abies vejarii* Martínez, *Pinus rudis* Endl., *P. teocote* Schlecht. et Cham., *P. pseudostrabus* Lindl., *P. arizonica* Engelm. y *Cupressus arizonica* Greene. Para cada una de estas especies se seleccionaron cinco árboles con daño dentro de los sitios, a los cuales se les extrajeron trozos de corteza de 10 x 10 cm a una altura de 1.30 m, se colectaron adultos e imagos en frascos con alcohol al 70%, previamente etiquetados con la siguiente información: predio, paraje, hospedero, fecha y colector; el número total de especímenes fue de 3500, los cuales fueron trasladados al laboratorio del Campo Experimental Saltillo para su determinación taxonómica.

Identificación de insectos descortezadores

Para la identificación de los géneros se utilizaron las claves simplificadas de Cibrián *et al.* (1995) y las publicadas por Wood (1982), que se basan en la distribución geográfica de la especie, sus hospedantes, color del cuerpo de los adultos maduros, características morfológicas de las antenas, tarsos, pronoto y vestiduras del declive eltral. Para la observación de las características mencionadas se utilizó una lupa de mano de 20 aumentos y un microscopio estereoscópico marca Carl Zeiss, modelo 4750039902.

La identificación a nivel de especie del género *Dendroctonus* se hizo con las técnicas de la genitalia y la del cariotipo.

Técnica de la genitalia.- Consiste en la identificación de especies mediante la extracción de la varilla seminal (Perusquía 1978; Gutiérrez, 1985); para ello se disecta el último segmento abdominal del macho adulto y se coloca en alcohol al 70%; posteriormente, se disecta para extraer la varilla seminal que se prepara con Bálsamo de Canadá para su revisión al microscopio.

Técnica para el estudio citogenético de insectos (cariotipo).- Se aplica para la

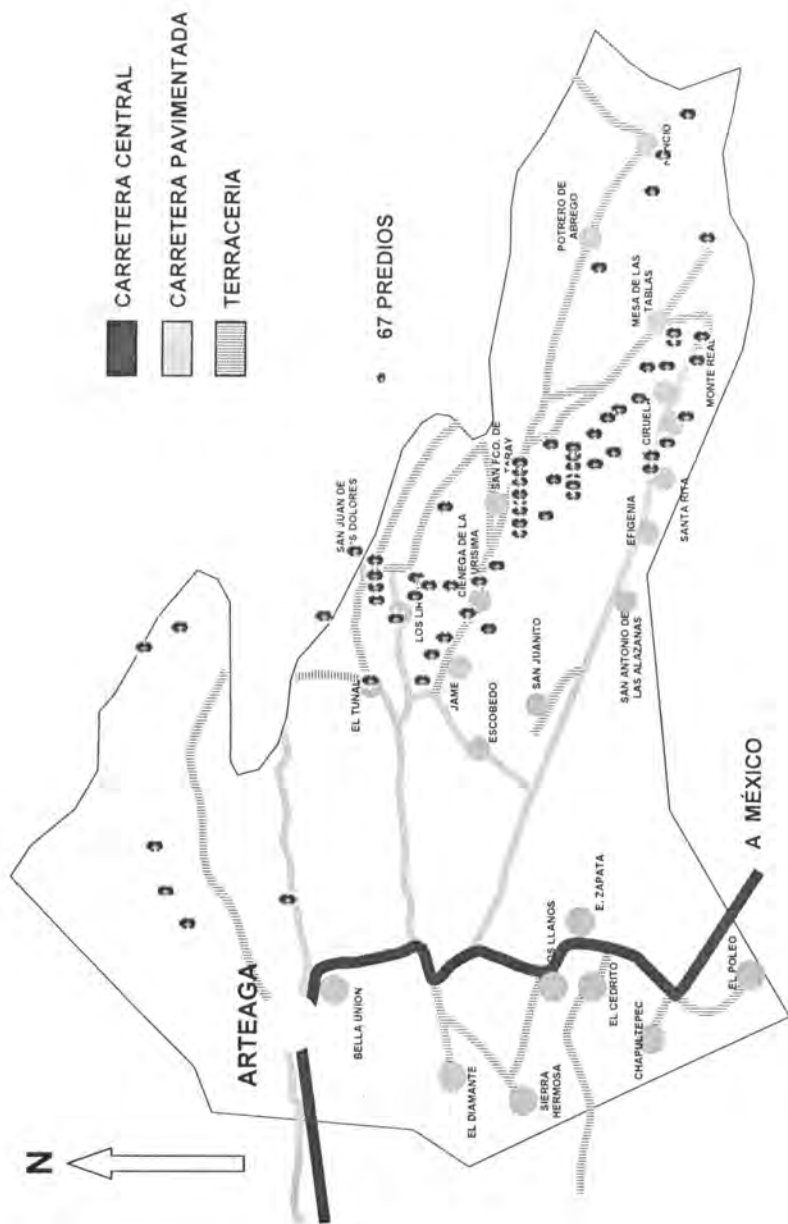


Figura 1.- Sitios de muestreo en la sierra de Arteaga, Coahuila (1999 – 2002).

identificación de especies de descortezadores mediante el conteo de cromosomas (Bentz y Stock, 1986).

Para la disección del macho adulto se quitan los elitros y las alas; se hace un corte transversal a la altura de los primeros segmentos abdominales, se levantan los tegumentos y se extrae íntegro el aparato reproductor masculino, con las masas testiculares se hace el estudio cromosómico mediante la técnica de macerado y aplastado en carmín acético (squash).

El procedimiento consiste en desprender un túbulo de la masa testicular con una aguja de disección quemada y despulida; la masa se coloca en un portaobjetos con una gota de ácido acético al 30%. Con la aguja de disección se macera el túbulo, se agrega una gota de carmín acético y se retiran los restos grandes; se coloca un cubreobjetos, con lo que se dispersan las células. A continuación se invierte la preparación sobre un papel filtro y se presiona en forma uniforme (sobre un cuadrado de vidrio). El conteo de cromosomas se realiza en un microscopio de contraste de fases, si la coloración es demasiado intensa y oculta detalles estructurales de los cromosomas, se decolora la preparación agregándole una gota de ácido acético al 45% que se calienta al mechero evitando que hierva y volviendo a presionarla.

RESULTADOS

Como resultado de los diagnósticos aéreos, en el estado de Coahuila se registraron 174 brotes activos en 793 ha y un volumen total afectado de 36,749.235 m³ rta (rollo total árbol). En los años 1999 y 2000 se presentó el mayor daño por insectos descortezadores; en este periodo se observaron 59 y 67 brotes activos respectivamente, que abarcaron una superficie compactada de 634.8 ha, distribuidas dentro de un territorio de 14,637.5 ha, como se puede observar en el Cuadro 1.

De las áreas diagnosticadas se determinó que la Sierra de Arteaga, localizada en el sureste del estado de Coahuila, fue el macizo montañoso con el mayor ataque por insectos descortezadores, con más de 60% del total de los brotes activos y más de 90% de su superficie muy afectada (Cuadro 2).

Los daños se manifestaron en 67 predios con bosques de coníferas en las siguientes especies: *Pseudotsuga flahaultii*, *Abies vejarii*, *Pinus rudis*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. arizonica* y *Cupressus arizonica*, ubicados en los Cañones La Roja, La Carbonera, Los Lirios, San Juan de los Dolores, Jamé, San Antonio de las Alazanas y Amargos.

Con respecto al estado de Nuevo León, el ataque por insectos descortezadores también se hizo presente causando fuertes daños en sus bosques de coníferas.

Cuadro 1. Resultados de la detección aérea para el diagnóstico de áreas afectadas por insectos descortezadores en los bosques de coníferas del estado de Coahuila, 1999 – 2002.

	1999	2000	2001	2002	Total
Superficie inspeccionada (ha)	350,000*	350,000	350,000	350,000	350,000
Brotos activos	59	67	13	35	174
Distribución en hectáreas	12,000	2,637.5	257	574	15,468.5
Superficie compactada (ha)	418.5	216	125	52	811.5
Volumen afectado (m ³ rta)	8,942	10,097	13,692.2	3,748	36,479.2
Superficie saneada (ha)	85	139	47.75	34	305.75
Fecha de vuelo	Octubre	Septiembre	Julio	Julio	

* Ordenamiento ecológico del territorio, UAAAN (en Prensa).

Dado lo anterior, surgió la necesidad de realizar un reconocimiento para diagnosticar las áreas afectadas por estos insectos.

En el Cuadro 3 se ordenan los resultados de los diagnósticos, tanto aéreos como terrestres y al igual que en el estado de Coahuila, el mayor daño por insectos descortezadores tuvo lugar en los años 1999 y 2000, cuando fueron devastadas 1660 ha compactadas, con un volumen de 31,816 m³ rta, en 76 predios localizados en nueve municipios. En el año 2002 se hizo un diagnóstico terrestre en las áreas forestales que tuvieron brotes activos de insectos descortezadores en el centro y sur del estado. De este diagnóstico resultaron 20 predios afectados, comprendidos dentro de seis municipios, con una superficie total muy afectada de 117 ha.

Cuadro 2. Número de brotes activos y superficie compactada por localidad en el estado de Coahuila, 1999-2002.

Localización		Años				
		1999	2000	2001	2002	Total
Sierra La Muralla	Brotos activos	3	3	1	-	7
	Superficie compactada (ha)	1.5	1.5	2	-	5
Sierra La Madera	Brotos activos	12	13	1	5	31
	Superficie compactada (ha)	12	12	4	5	33
Sierra Maderas del Carmen	Brotos activos	9	10	1	6	26
	Superficie compactada (ha)	5	5	6	15	31
Sierra del Burro	Brotos activos	-	-	-	-	-
	Superficie compactada (ha)	-	-	-	-	-
Sierra de Arteaga	Brotos activos	35	41	10	24	110
	Superficie compactada (ha)	400	197.5	113	32	742.25
Total	Brotos activos	59	67	13	35	174
	Superficie compactada (ha)	418.5	216	125	52	811.5

De las áreas diagnosticadas en el año 2002 en el centro y sur de Nuevo León, se detectó que los municipios de Galeana y Santiago mostraron la mayor afectación con 36.5 y 39.0 ha, respectivamente. El resto de los municipios presentaron una superficie afectada de 42.0 ha (Cuadro 4).

Cuadro 3. Resultados de la detección aérea y terrestre para el diagnóstico de áreas afectadas por insectos descortezadores en los bosques de coníferas del estado de Nuevo León, 1999 – 2002.

	1999	2000	2002	Total
Superficie compactada (ha)	799	861	117	1777
Volumen afectado (m ³ rta)	19,147	31,861	3,566.16	54,574.16
Predios	30	46	20	96
Municipios	8	9	6	23

Cuadro 4. Resultados del reconocimiento terrestre en los bosques de coníferas del centro y sur de Nuevo León (2002).

Municipio	Brotos activos	Superficie compactada (ha)
Galeana	8	36.5
Iturbide	1	3.0
Zaragoza	1	20.0
Aramberri	1	10.0
Santa Catarina	2	9.0
Santiago	7	39.0
Total	20	117.5

Identificación de insectos descortezadores

Derivado de las colectas e identificaciones tanto de hospederos como de

insectos descortezadores dentro de brotes activos detectados en los diagnósticos antes mencionados, los bosques de coníferas del noreste de México mostraron evidencia de daño por un complejo de descortezadores con un incremento progresivo, sobre todo durante los años 1999 y 2000, entre los que se incluye a los géneros *Dendroctonus*, *Pseudohylesinus*, *Phloeosinus*, *Scolytus*, *Ips*, y *Pityophthorus*. Los descortezadores antes mencionados se encontraron atacando a ejemplares de *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Abies* y *Cupressus* (Cuadro 5).

En este trabajo se identificaron 12 de las principales especies de descortezadores que atacan a las coníferas más importantes del noreste de México (Cuadro 6); siete se consideran descortezadores primarios: *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins, 1905; *D. adjunctus* Blandford, 1897; *D. brevicornis* LeConte, 1876; *D. mexicanus* Hopkins, 1905; *Pseudohylesinus variegatus* (Blandford); *Scolytus* spp. y *Phloeosinus* spp. En el caso de *Pityophthorus* spp., ataca como primario al arbolado joven y como secundario a ramas y puntas de árboles maduros con una infestación inicial de un descortezador primario.

Como descortezadores secundarios se identificaron a *D. valens*, *D. parallelocolis* Chapuis, *Ips mexicanus* (Hopkins, 1905) e *Ips integer* (Eichhoff), que se presentan en árboles previamente infestados por un descortezador primario; no pueden matar por sí solos al árbol.

Los resultados de la identificación del género *Dendroctonus* a nivel de especie mediante la técnica del Cariotipo, se muestran en el Cuadro 6, donde se presenta el número de cromosomas de la fórmula meiótica en machos. Esta técnica es una herramienta que se utiliza como complemento de la técnica de la genitalia para corroborar la identificación de las especies de dicho género.

Daños causados por descortezadores a las principales especies de coníferas en el noreste de México

Pinus rudis.- Esta especie es infestada por *Dendroctonus adjunctus* como agente primario con tendencia ascendente. Las galerías se manifiestan en la parte baja del fuste en forma de "S" alargada, con aserrín y excremento compactado. *Ips mexicanus* ataca como secundario y por sí solo no causa la muerte a *P. rudis*. Las galerías de *Ips* semejan una "h" o de "y" que resulta de la presencia de 3 a 4 hembras por macho; estas estructuras se mantienen limpias, libres de excremento y de aserrín. Después de un ataque primario de *D. adjunctus* en *P. rudis*, se encuentran descortezadores secundarios como *D. valens* e *Ips mexicanus* en los primeros metros del fuste, así como *Pityophthorus* spp. en ramas.

Pseudotsuga flahaultii.- *Dendroctonus pseudotsugae* está considerado como

Cuadro 5. Especies de insectos descortezadores presentes en los bosques de coníferas de Coahuila y Nuevo León, identificados en el laboratorio del Campo Experimental Saltillo-INIFAP, 2002.

Especie	Hospedero	Distribución
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	<i>Pseudotsuga flahaultii</i>	Coahuila y Nuevo León
<i>D. adjunctus</i>	<i>Pinus rudis</i>	Coahuila
<i>D. brevicornis</i>	<i>P. arizonica</i>	Coahuila y Nuevo León
<i>D. mexicanus</i>	<i>P. teocote</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	Coahuila y Nuevo León
<i>D. parallellocollis</i>	<i>P. rudis</i> , <i>P. teocote</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	Coahuila y Nuevo León
<i>D. valens</i>	<i>P. rudis</i> , <i>P. arizonica</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>Abies vejarii</i>	Coahuila y Nuevo León
<i>Pseudohylesinus variegatus</i>	<i>A. vejarii</i>	Coahuila
<i>Scolytus</i> spp.	<i>P. flahaultii</i> y <i>A. vejarii</i>	Coahuila y Nuevo León
<i>Phloeosinus</i> spp.	<i>Cupressus arizonica</i> y <i>Juniperus</i> spp.	Coahuila
<i>Pityophthorus</i> spp.	<i>A. vejarii</i> , <i>P. rudis</i> y <i>P. flahaultii</i>	Coahuila y Nuevo León
<i>Ips mexicanus</i>	<i>P. rudis</i>	Coahuila
<i>I. integer</i>	<i>P. greggii</i>	Coahuila

Cuadro 6. Número de cromosomas en especies del género *Dendroctonus*.

Especie	Fórmula meiótica en machos
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	14 cromosomas + Xyp + s
<i>D. valens</i>	13 cromosomas + Xyp
<i>D. parallelocollis</i>	13 cromosomas + Xyp
<i>D. adjunctus</i>	6 cromosomas + neo - XY
<i>D. brevicornis</i>	5 cromosomas + neo - XY
<i>D. mexicanus</i>	5 cromosomas + Xyp

descortezador de ataque primario. Cuando éste ocurre, se observa aserrín en la corteza de la base del fuste, con escurrimientos escasos de resina y rara vez con grumos. Bajo la corteza se detectan las galerías de la parte media del fuste hacia abajo. *Scolytus* spp. también está catalogado como descortezador primario, ataca al árbol en forma descendente (de la punta hacia abajo), con una coloración de punta roja. Las galerías de *Scolytus* spp. son líneas perpendiculares al fuste; en la parte media tienen una cámara nupcial que corresponde a los adultos progenitores. En ataques severos mata por sí solo a su hospedero.

Abies vejarii.- Tiene como principal descortezador a *Pseudohylesinus variegatus*, cuyo ataque ocurre en los primeros cinco metros de la base del fuste, llegando a causar la muerte a su hospedero; esta especie desarrolla su galería perpendicular al fuste y, a diferencia de la galería de *Scolytus* spp., no presenta cámara nupcial (Figura 2). Por su parte, *Scolytus* spp. incide en los primeros metros de la punta del árbol como ataque secundario y en raras ocasiones como primario.

Cupressus arizonica y *Juniperus monosperma*.- Son atacados principalmente por *Phloeosinus* spp. Los síntomas del ataque se detectan como resinaciones en todo el fuste del árbol.

CONCLUSIONES

El ataque primario a *Pseudotsuga flahaultii* fue causado por *Dendroctonus pseudotsugae* en la parte baja del fuste y por *Scolytus* en la parte alta; *Abies vejarii* por *Scolytus* spp. en la parte alta y *Pseudohylesinus variegatus* en la

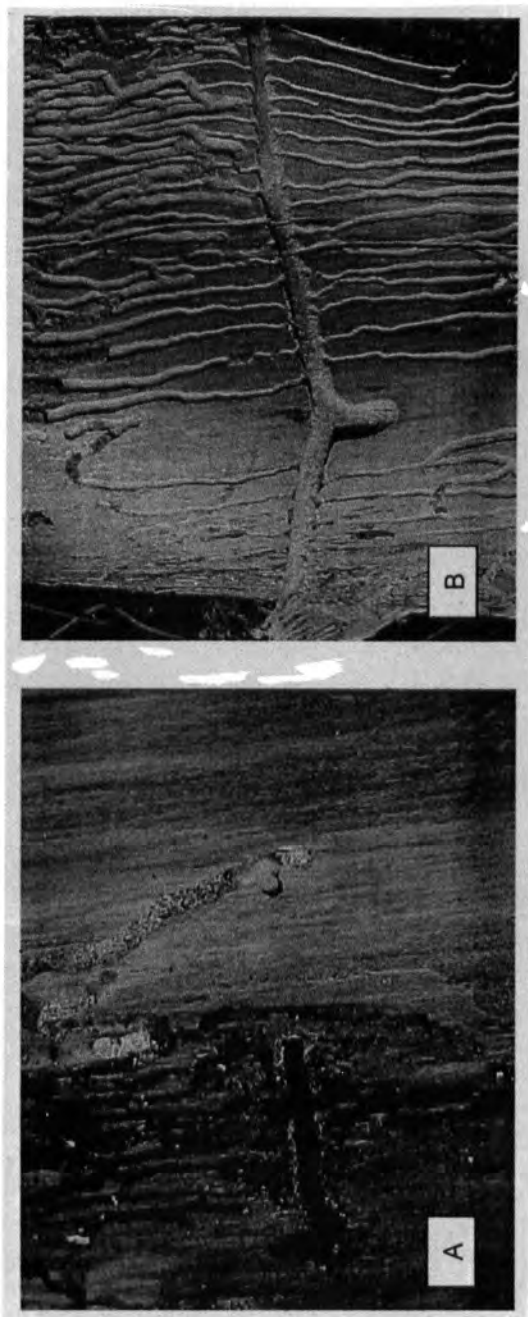


Figura 2. Galería de *Pseudohylesinus variegatus* (A) y Galería de *Scolytus* spp. (B).

parte baja del fuste; a *Pinus rudis* por *Dendroctonus adjunctus*; *Cupressus arizonica* por *Phloeosinus* spp. y en árboles jóvenes de oyameles y pinos por *Pityophthorus* spp.; *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus* son atacados por *Dendroctonus mexicanus* y *Pinus arizonica* por *Dendroctonus brevicornis*. Esta identificación es de suma importancia debido a que una vez reconocido el agente causal del daño, y con base en su biología y hábitos se puede elaborar un programa de prevención y control más eficiente que nos permita proteger las áreas forestales del noreste de México, bosques en los cuales existen especies de importancia científica y ecológica que por su delicada condición se ubican bajo algún estatus de protección, dentro de las cuales se incluye a *P. flahaultii*.

En el estado de Coahuila se detectan como descortezadores primarios a *Dendroctonus pseudotsugae*, *Scolytus* spp., *Pseudohylesinus variegatus*, *D. adjunctus* y *Phloeosinus* spp.; en el estado de Nuevo León se presentan como primarios *D. mexicanus*, *D. brevicornis* y *Scolytus* spp.

REFERENCIAS

- Bentz, B. J. and Stock, M. W. 1986. Phenetic and phylogenetic relationships among ten species of *Dendroctonus* bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 79:527-534.
- Castello, J. O., D. J. Leopold and P. J. Smallidge. 1995. Pathogens, patterns, and processes in forest ecosystems. *Bio Science*. 45(1): 16-24.
- Cibrián T., D., T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yates III y J. Flores L. 1995. Insectos Forestales de México. Publicación No. 6 Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. pp. 266-363.
- Cibrián T., J. y D. Cibrián T. 1998. Las plagas y enfermedades de los bosques de México. Memoria del Ciclo de Conferencias: El Sector Forestal de México, Avances y Perspectivas. México, D. F. pp. 19-23.
- Clarke, S. R. 1995. Impacts of southern pine beetles in special management areas. *Forest Health Through Silviculture Workshop*. Mescalero, New Mexico. 246 p.
- Gutiérrez B., B. 1985. El uso de la cápsula seminal en la identificación de especies mexicanas del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytidae), *Proceedings, 2nd. National Symposium Forest Parasitology*. Cuernavaca, México, 17-20 February 1982. Publicación Especial No. 46. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Mexico City, México. pp. 355-368.
- Hall, R. C. and G. R. Davies. 1968. Mountain pine beetle epidemic at Joseph Creek Basin. Modoc National Forest. Office Report. San Francisco, Ca. US Department of Agriculture, Forest Service Pacific Southwest Region. pp. 20-21.

- Halffter, G. 1987. Biogeography of the montane entomofauna of Mexico and Central America. *Annu. Rev. Entomol.* 32: 95-114.
- Keen, F. P. 1952. Insect enemies of western forests USDA. Misc. Pub. No. 273. Washington, DC. pp. 1-280.
- McGregor, M. D. 1985. The conflict between people and the beetle. *Gen. Tech. Rep WO-46*: 76-79
- Perusquia O., J. 1978. Descortezador de los pinos *Dendroctonus* spp. Taxonomía y distribución. *Bol. Téc. No. 55. SARH, DGICF. México.* 31 p.
- Rodríguez L., R. 1982. Plagas forestales y su control en México. Libro de Divulgación del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. pp. 1-89.
- Torres E., L. M., J. A. Sánchez S., A. Cano P. y O. U. Martínez B.. 2003. Manejo integrado de insectos descortezadores en los bosques de coníferas de Coahuila y Nuevo León. Informe Técnico Final. CONACYT-SIREYES. Campo Experimental Saltillo. CIRNE-INIFAP. 228 p.
- Villa C., J. 2003. Importante contribución a la salud de ecosistemas forestales. *Revista forestal XX1. CONAFOR. Vol. 6 (6): 27-28 (noviembre-diciembre). México.*
- Wood, S. L. 1982. The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae). A taxonomic monograph. *Great Basin Nature Memoirs. Brigham Young Univ. Provo, Utah.* 1359 p.

LIMITACIONES ESPACIALES DE LOS MODELOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES AL COMPARAR DOS DISEÑOS DE MUESTREO

José Germán Flores Garnica¹, Alfonso de la Rosa Vázquez² y David Arturo Moreno González¹

RESUMEN

Los modelos de combustibles forestales (MC) son una herramienta práctica, usada en la generación de mapas para simular el comportamiento del fuego. Sin embargo, el mapeo con base en MC ha sido uno de los retos más difíciles que han enfrentado los científicos forestales, debido a que tiene limitantes espaciales, ya que considera que la carga de combustibles es homogénea dentro de un área determinada. Esta situación se puso a prueba al comparar dos tipos de muestreo en el ejido "El Largo y Anexos" del Estado de Chihuahua, donde se supone que los combustibles tienen una distribución estratificada, lo cual contradice al MC. La colecta de datos se dividió en dos fases. En la primera, la información se obtuvo a partir de un inventario forestal con diseño al azar, en el que se establecieron 554 sitios de muestreo de 1000 m² cada uno y se midieron los combustibles con tiempo de retardo de 1 hora (1HR), hojarasca (H) y materia orgánica (MO). En la segunda, se realizó un diseño de muestreo estratificado para los 554 sitios de la fase inicial, mediante un diseño estratificado. De esta forma, se compararon el Muestreo Simple Aleatorio (MSA) y el Muestreo al Azar Estratificado (MAE). Los resultados indican que el MAE fue 674, 276 y 360% más preciso que el MSA para los combustibles de 1HR, H y MO, respectivamente. Las cargas de combustibles fueron mejor evaluadas con el MAE, por lo tanto se rechaza la hipótesis de homogeneidad dentro de los MC.

Palabras clave: Bosque de pino, cargas de combustibles, mapas de riesgo de incendio, modelos de combustibles, muestreo al azar estratificado, muestreo simple aleatorio.

Fecha de recepción: 10 de julio de 2003.

Fecha de aceptación: 23 de febrero de 2005.

¹ Campo Experimental Los Colomos, Centro de Investigación Regional Pacifico Centro, INIFAP. Correo-e: flores.german@inifap.gob.mx

² Dirección General de Investigación Forestal, INIFAP.

ABSTRACT

The fuel model concept (FM) is a practical tool to generate forest fuel maps, which are used to support fire behavior simulations. However, FM mapping has been one of the most difficult challenges that forest scientists have faced. Moreover, this concept has certain spatial limitations because it considers that fuel loading is homogeneous within an area qualified as a given FM. This condition was tested through two sampling methods in "El Largo y Anexos", ejido at Chihuahua state, where supposedly fuels have a stratified distribution, which is opposite to MC. Data collection was divided in two phases. In the first one, data were collected through a random sampling design, where 554 sample plots (1000 m²) were evaluated. The following forest fuels were inventoried: 1 hour lag time fuels (1HR), litter (H), and organic matter (OM). In the second phase data collection was made from the 554 sample plots of the first phase, based on a stratified sampling design. Thus, the two sampling designs were assessed and compared: Random Sampling Design (RSD) and Stratified Random Design (SRD). Results show that, in the case of 1HR, SRD was 674% more precise than RSD. In the case of H and MO, SRD was 276 and 360% respectively more precise compared with RSD. The fact that fuels loadings were better evaluated using a SRD suggest that the hypothesis of fuel homogeneity within a FM must be rejected.

Key words: Pine forest, fuel loadings, fire risk maps, fuel model, stratified random design, random sampling design.

INTRODUCCIÓN

La simulación espacial del comportamiento del fuego es una herramienta muy importante en la toma de decisiones para diversas actividades relacionadas con la prevención y combate de los incendios forestales, así como con la restauración de los ecosistemas sometidos a eventos de ese tipo. Existen varios sistemas que son utilizados con este fin, tales como: FARSITE (Finney, 1998) y EMBYR (Flores, 2001), los cuales se basan en modelos de simulación de la dispersión del fuego (Rothermel, 1983) y requieren de una serie de mapas temáticos, a saber: el de pendiente, densidad de arbolado, exposición, altitud y combustibles (Campbell *et al.*, 1996); entre ellos el mapa de combustibles es el más complicado de generar, pues de hecho representa uno de los mayores retos que han afrontado los científicos forestales (Flores, 2001).

Dado que es difícil describir todas las características físicas de los combustibles presentes en un bosque, se usa una descripción general o un conjunto de valores numéricos de sus propiedades, basados en determinada combinación y proporción del material inflamable, denominada "modelo de combustible" con el cual se predice cierto comportamiento del fuego (Omi, 1997; Keane *et al.*, 1999).

Los modelos de combustibles (MC) se clasifican en cuatro grupos: pastos, arbustos, madera y desperdicios de aprovechamientos (Anderson, 1982). Varios autores han desarrollado diversos modelos, entre ellos se pueden citar a Rothermel (1972), quien propuso los 13 más utilizados; en años posteriores Deeming *et al.* (1977) formularon otros 20 para el Sistema Nacional de Riesgo de Incendios de Estados Unidos. Así mismo, a partir del subsistema FUEL, el cual forma parte del sistema BEHAVE, es posible elaborar un MC para las condiciones específicas de un bosque en particular (Andrews, 1986; Burgan y Rothermel, 1984).

Los MC representan comportamientos del fuego, que están relacionados con la carga y distribución de materiales combustibles de diferente tamaño (Anderson, 1982). La organización de los combustibles muertos en clases de tamaño es una convención estandarizada que se deriva del concepto de "tiempo de retardo", el cual se refiere al tiempo que tarda la humedad de un combustible muerto en equilibrarse con la humedad relativa del ambiente (International Fire Service Training Association, 1998); aquellos que tienen un tiempo de retardo corto alcanzan dicho equilibrio rápidamente y ocurre lo contrario con los de largo tiempo de retorno (Countryman, citado por Omi, 1997). Esta variación permite clasificar los combustibles de la siguiente forma: de 1 hora, de 10 horas, de 100 horas y de 1000 horas.

Keane *et al.* (1999) mencionan que uno de los primeros antecedentes del inventario directo de combustibles se llevó a cabo en 1936, con el mapeo de la resistencia del fuego al control y la velocidad de su propagación; desde entonces se han generado estrategias alternativas para estimar las cargas de combustibles en peso por unidad de área, como soporte a las predicciones del comportamiento del fuego. Una de ellas es la técnica de intersecciones planares, con la que se estima el material leñoso presente en el suelo (Brown *et al.*, 1994). Por otra parte, la colección de muestras y el uso de técnicas de regresión lineal, con base en la relación entre el peso y la profundidad de la cama del material inflamable, han sido utilizadas para estimar las cargas de combustibles del piso forestal (Brown *et al.*, 1982; Flores, 1994).

La ventaja principal de un inventario directo de combustibles es que los mapas se obtienen a partir de condiciones reales; una alternativa derivada de la medición directa son los pares estereoscópicos o fotoseries que representan ciertas condiciones del bosque (Chandler *et al.*, 1983).

Por lo general, la clasificación de un área forestal en los correspondientes MC se basa en dos perspectivas: a) el criterio de expertos; y b) la correlación con parámetros asociados tales como el tipo de vegetación o la densidad (Chuvieco y Congalton, 1989). Aunque estas dos alternativas son prácticas, también resultan ser subjetivas, por lo que no permiten evaluar con precisión la distribución espacial

de los combustibles, debido a que el concepto de MC considera una homogeneidad espacial de cargas de combustibles dentro de toda un área calificada con cierto MC; ésto implica que el comportamiento del fuego sólo variará por cambios en la pendiente, y en la velocidad y dirección del viento. Sin embargo, los bosques presentan una marcada variación de las cargas de combustibles, como respuesta a diversas actividades como son las quemas, las prácticas silvícolas, la recolección de leña, el pastoreo, etc.

No obstante que el uso del concepto de MC tiene sus limitaciones, sobre todo para determinar el comportamiento del fuego en áreas menores a 100 ha, se continua usando en forma indiscriminada (Flores, 2001). Si la uniformidad espacial que se considera en los MC fuese cierta, las cargas de combustibles se podrían determinar mediante un muestreo aleatorio completamente al azar, pero esto no se cumple en la mayoría de los casos (Flores, 2001). De acuerdo con lo anterior, el trabajo aquí expuesto se enfocó en la necesidad de contar con un inventario de combustibles espacialmente adecuado, por lo que el principal objetivo fue estimar la cantidad de material forestal inflamable en toneladas por hectárea (Ton/ha) en el Ejido El Largo y Anexos, en el estado de Chihuahua.

La información que resulte de este proyecto será de utilidad como una estrategia para estimar la distribución espacial de las cargas de combustibles, lo que a su vez permitirá definir áreas de acuerdo a su nivel de riesgo o peligro de incendio, basándose en la carga de combustibles (Pyne *et al.*, 1996). Como consecuencia, el producto final sería la obtención mapas temáticos donde se muestre la distribución de los combustibles y los niveles de riesgo de incendio respectivos; para ello se requerirá de un Sistema de Información Geográfica, el que también apoyará la ejecución de simulaciones del comportamiento del fuego.

En el presente trabajo se considera que, si no se cumple la condición de homogeneidad de cargas de combustibles dentro de un MC dado, la hipótesis nula (H_0) es que la variación espacial de combustibles no es heterogénea, en este caso es estratificada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para probar la hipótesis nula se utilizaron dos diseños de muestreo: I) Muestreo simple aleatorio (MSA); y II) Muestreo al azar estratificado (MAE). El criterio de decisión fue obtener un error de muestreo de alrededor de 10%.

El estudio se llevó a cabo con información obtenida del inventario forestal realizado en los bosques del ejido "El Largo" y anexos, localizado en la región montañosa llamada Mesa del Huracán, al noroeste del estado de Chihuahua (Figura 1), donde las elevaciones varían de 1400 a 2300 msnm. El promedio de temperatura anual es de 8.5 a 12°C, con la mínima registrada de -26°C y la

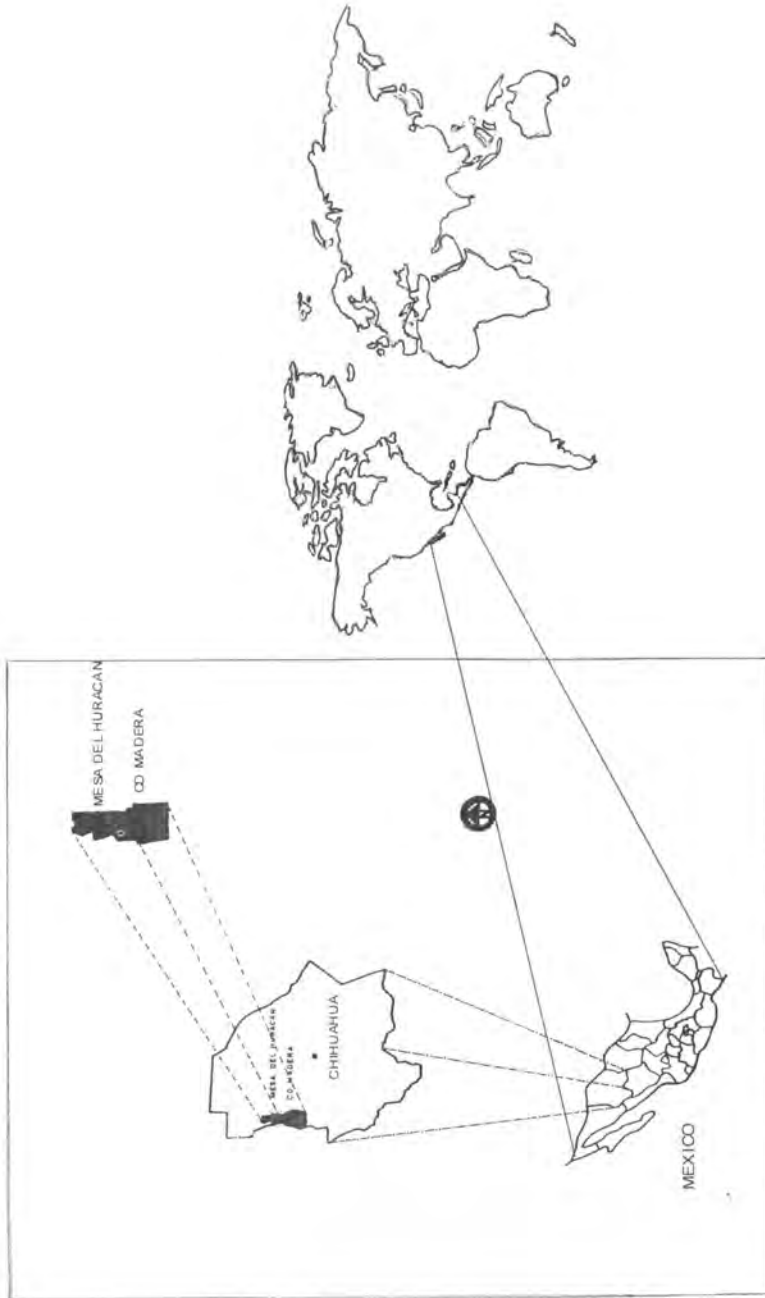


Figura 1. Mesa del Huracán, sitio donde se ubica el ejido "El Largo" y Anexos.

máxima de 38°C. La precipitación anual es de 690 a 1130 mm, con la mayor ocurrencia de lluvias entre julio y septiembre. La temporada más seca se presenta de marzo a junio, periodo en el cual la mezcla de las especies *Pinus durangensis* Martínez, *P. arizonica* Engelm., *P. engelmannii* Carr. y *Quercus sideroxyla* Humb. et Bonpl. contienen una carga particular de combustibles de 1 hora, lo que representa un alto riesgo de incendio. (UCODEFO No 2, 1997).

La colecta de datos fue dividida en dos fases. En la primera se consideró el inventario de campo y en la segunda se efectuó una selección de la base de datos obtenida en la primera fase. Este proceso es similar al muestreo doble por estratificación (Scheaffer *et al.*, 1996).

Fase 1: Inventario de combustibles forestales

El inventario forestal se llevó a cabo en un área de 1200 ha destinadas al manejo para extracción de madera. La distribución de los sitios estuvo basada en un diseño de muestreo al azar simple, obteniendo datos del arbolado y material combustible de 1 hora de tiempo de retardo [1HR], hojarasca [H] y materia orgánica [MO], ya que los combustibles de dimensiones pequeñas tienen más influencia en el comportamiento del fuego (Flores, 2001). Se consideró como MO todo aquel material en inicio de descomposición y descompuesto.

En total se geoposicionaron y muestrearon 554 sitios de 1000 m², distribuidos al azar en 43 rodales definidos por especies, densidad y exposición geográfica. La evaluación de combustibles se fundamentó en las técnicas descritas por Brown *et al.* (1982), por lo que se usó el diseño de sitio de muestreo que se ilustra en la Figura 2. La información se integró en una base de datos.

Fase 2: Selección de sitios muestreados

A partir de la base de datos integrada con los registros de los 554 sitios evaluados en la primera fase, se seleccionaron los sitios de muestreo mediante dos diseños de muestreo: aleatorio simple y al azar estratificado, bajo el criterio de un 10% de error de muestreo.

Muestreo simple aleatorio (MSA).- De acuerdo con Scheaffer *et al.* (1996), este es el diseño de muestreo más simple, en el que "una muestra de tamaño n es obtenida de una población de tamaño N , de tal forma que cada muestra posible tenga la misma oportunidad de ser seleccionada". En el presente estudio se consideró al número total de sitios, obtenidos en la primera fase, como la población (N). Para obtener la muestra, primero se estimó la variabilidad de la población mediante un muestreo preliminar de 25 sitios, lo cual correspondió a $\pm 5\%$ de la población; la selección se hizo al azar con base en una tabla

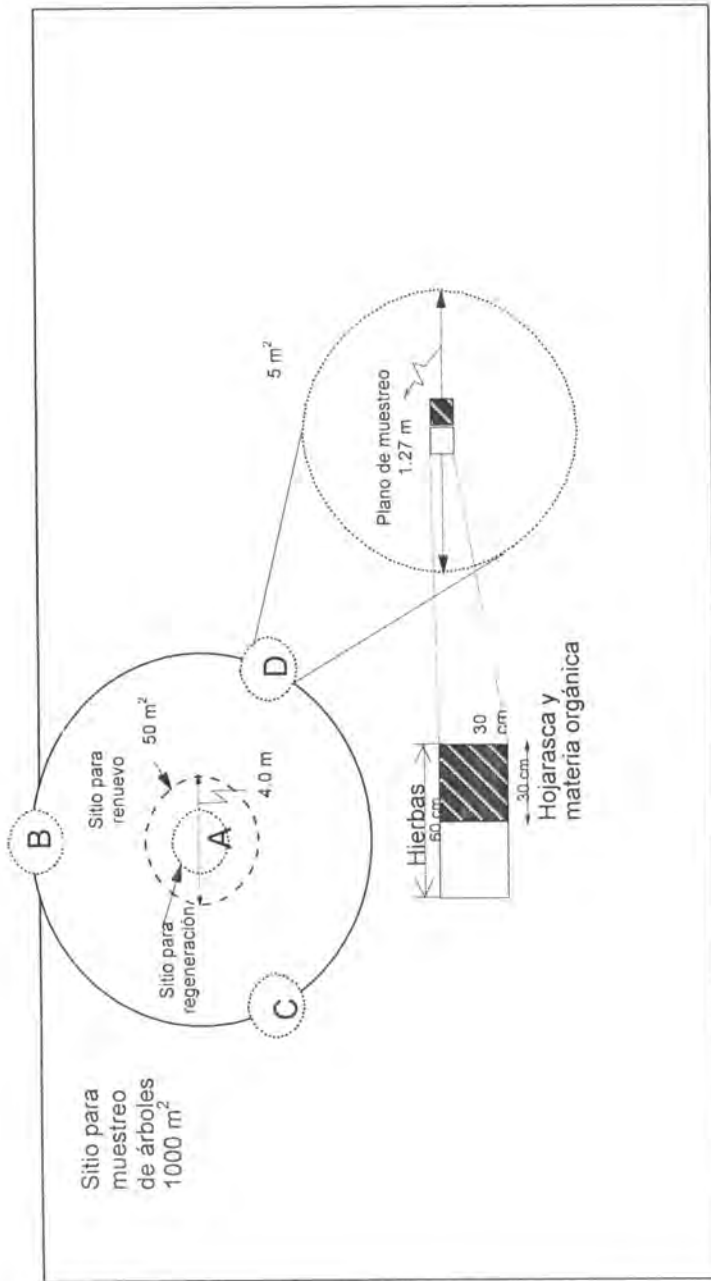


Figura 2. Diseño del sitio de muestreo, adaptado de la propuesta de Brown et al. (1982). Los combustibles de 1HR se evaluaron en el plano de muestreo de los sitios B, C y D.

de números aleatorios (Hansen *et al.*, 1993). Una vez conocida la variabilidad y considerando un límite (B) en el error de muestreo de ± 12 Ton/ha, aproximadamente 30% de la mayoría de los valores bajos, con la ecuación 1 se calculó el tamaño de muestra.

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2} \quad (1)$$

$$D = \frac{B^2}{4} \quad (2)$$

Donde:

n = tamaño de muestra estimado

N = tamaño de la población

σ^2 = varianza de la población

D = varianza del estimador de la media poblacional

B = límite del error de estimación ($p = 0.05$).

La media de la población ($\mu = y$) para cada tipo de muestreo se estimó con la ecuación 3; mientras que con la ecuación 4 se calculó la varianza de y ; por último para el límite del error de muestreo se usó la ecuación 6.

$$\mu = y = \frac{\sum y_i}{n} \quad (3)$$

$$v(Y) = \frac{s^2}{n} \left[\frac{N-n}{N} \right] \quad (4)$$

Donde:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y)^2}{n - 1} \quad (5)$$

$$B = 2\sqrt{V(y)} \quad (6)$$

Donde:

μ = media de la población

y = media estimada

s^2 = varianza estimada

y_i = $i^{\text{ésima}}$ observación.

Muestreo al azar estratificado (MAE).- Scheaffer *et al.* (1996) indican que este tipo de muestreo se obtiene al separar los elementos de la población en grupos no sobrepuestos llamados estratos. De acuerdo con Hansen *et al.* (1993), el papel de la estratificación es incrementar la representación de los resultados del muestreo, lo cual dependerá del grado de homogeneidad que se logre dentro de los estratos.

Como criterio de estratificación se usaron los 43 rodales previamente descritos. El cálculo de la varianza de los estratos (s_i^2) se realizó a partir de una muestra de cinco sitios por estrato. Con esta información y la ecuación 7 se determinó el tamaño. El criterio de Neyman (Scheaffer *et al.*, 1996) se utilizó para definir el número de sitios de muestreo por estrato, el cual asigna este número proporcionalmente (w_i) al tamaño del estrato y a su variabilidad.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 s_i^2 / w_i}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i^2 s_i^2} \quad (7)$$

La media de la población ($\mu = y$) para cada tipo de combustibles, se estimó con la ecuación 8, mientras que la varianza de y se obtuvo con la ecuación 9. El límite del error de muestreo se determinó de igual forma que para el MSA.

$$y_{st} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i y_i \quad (8)$$

$$V(y_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right) \quad (9)$$

Análisis de la información

Con base en la varianza de los estimadores se realizó un análisis de la eficiencia relativa (ER) de los estimadores para comparar tanto el MSA como el MAE. De acuerdo con Scheaffer *et al.* (1996), cuando se tiene un estimador, por ejemplo E1 y E2 para una media μ , se debe escoger aquel con la menor varianza. También es conveniente describir el tamaño relativo de las dos varianzas por medio del análisis de sus radios; a este radio se le conoce como la eficiencia relativa para los dos estimadores. Para definir ER, se usa la varianza mayor como el numerador y la menor como el denominador; así, si ER es >1 , el estimador que corresponde a la varianza del denominador es más eficiente, pero si tal relación es <1 , el estimador correspondiente a la varianza del numerador es más eficiente.

RESULTADOS

Muestreo simple aleatorio (MSA)

Dado que para estimar el tamaño de muestra se requiere un valor de varianza, se realizó un muestreo preliminar de 25 sitios; los resultados se reúnen en el Cuadro 1. El otro elemento que se tuvo que definir fue el límite del error (B), que es necesario para calcular el factor D. Inicialmente se consideró como B un 10% de la media del muestreo preliminar.

Cuadro 1. Valores de medias y varianzas resultantes del muestreo preliminar para la estimación del MSA.

Estadísticos \ Combustibles	1 Hora	Hojarasca	Materia orgánica
	Media (t/ha)	39.577	65.537
Varianza	2702.03	2539.34	1595.18

El tamaño de muestra obtenido fue muy grande (Cuadro 2), por lo que se decidió probar diferentes valores para el error (B), para ello se usó una muestra de 67 sitios, a partir de las siguientes consideraciones: 1) el valor económico que representa la toma de cada muestra; y 2) para algunos valores de límite, se calculó el tamaño de muestra que representó más de 50% de la población. Esto

asegura un 30% de límite del error para los combustibles de 1HR, 14% para hojarasca y 22% para materia orgánica. Los estadísticos derivados del MSA se resumen en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Comparación de los tamaños de muestra resultantes al cambiar el límite del error.

Límite de error (%)	1 Hora	Hojarasca	Materia orgánica
10	305	168	233
20	132	54	87
30	67	26	43
40	41	14	25

Cuadro 3. Estimaciones resultantes a partir de un Muestreo Simple al Azar.

Combustibles Estadísticos	1 Hora	Hojarasca	Materia orgánica
	Media (ton/ha)	31.73	56.80
Varianza (y)	15.3908	21.43995	25.13978
Límite	7.85	9.26	10.03
Error (%)	24.72	16.30	23.06

Como se puede apreciar, el error de muestreo obtenido no es considerado como aceptable, ya que el límite que se estableció como objetivo fue 10%. Probablemente el resultado para hojarasca podría ser útil con base en algunos supuestos relacionados a la media de toneladas por hectárea. En el caso de los combustibles de 1HR y materia orgánica, los porcentajes de error correspondientes no son adecuados para basar las estimaciones. Una solución sería incrementar el tamaño de muestra; sin embargo (como fue demostrado),

se requiere que éste sea muy grande para lograr un error menor a 10%. Los resultados sugieren que se debe aplicar otro tipo de diseño de muestreo.

Muestreo al azar estratificado (MAE).

La estratificación se llevó a cabo utilizando la "regla óptima para la selección de estratos", que se basa en el método de la raíz cuadrada acumulada de la frecuencia (Scheaffer *et al.*, 1996) en los 67 sitios que resultaron en el MSA. Se calcularon cuatro estratos para 1HR, ya que en este tipo de combustibles se presentaron los valores más altos, pero en el caso de hojarasca y materia orgánica se definieron tres estratos (Cuadro 4). El intervalo para cada estrato por tipo de combustible se presenta en el Cuadro 5.

El tamaño de muestra se determinó considerando el mismo número de muestras (n_i) para cada estrato, por lo que se asumieron fracciones de ubicación (w_i) iguales a $\frac{1}{4}$ para 1HR, y a $\frac{1}{3}$ para hojarasca y materia orgánica. De la primera fase se conoce el número de sitios de muestreo que correspondió a cada intervalo (Cuadro 6).

La varianza se calculó mediante un muestreo preliminar de 10 sitios por cada clase; en el caso de la clase >150 de 1HR, sólo fue posible tomar siete muestras. A continuación, se definió un límite de estimación de ± 5 Ton/ha, para obtener el valor de D. Es importante hacer notar que se usó un límite menor que en MSA, porque se trató de utilizar un número similar de muestras, lo que permitió hacer una comparación más realista entre los dos diseños de muestreo probados. Con esta información, se calculó el tamaño de muestra por clase correspondiente a cada tipo de combustibles. La ubicación de las muestras se hizo con base en el criterio de Neyman (Cuadro 7).

Cuando el tamaño de muestra fue menor a 10 sitios, se consideraron las 10 pruebas del muestreo preliminar. Los valores de medias y varianzas por clase, de acuerdo con cada tipo de combustibles se presentan en el Cuadro 8. A partir de la información generada se estimaron los valores medios de Ton/ha para cada tipo de combustible.

Las estadísticas, en el caso del MAE, son mejores que en el MSA (cuadros 3 y 9); aunque el error de muestreo para los combustibles de 1HR es ligeramente mayor que 10%, el intervalo es bastante aceptable. Por otra parte, la precisión de los estimadores de la media de hojarasca y materia orgánica tuvieron valores menores a 10%, lo que significa que se pueden hacer supuestos acerca de la media de la población con un alto nivel de confianza.

Cuadro 4. Frecuencia de toneladas/hectárea usadas para calcular el intervalo de cada estrato, con base en la "regla óptima para la selección de estratos" (Scheaffer *et al.*, 1996).

1 HR				Hojarasca				M. O.			
I	F	RCF	SRCF	I	F	RCF	RCFA	I	F	RCF	RCFA
0	0	0.00	0.00	0	1	1.00	1	0	5	2.24	2.23
10	22	4.69	4.69	10	8	2.83	3.83	10	14	3.74	5.97
20	6	2.45	7.14	20	4	2.00	5.83	20	8	2.83	8.80
30	14	3.74	10.88	30	9	3.00	8.83	30	4	2.00	10.80
40	6	2.45	13.33	40	7	2.65	11.47	40	9	3.00	13.80
50	4	2.00	15.33	50	6	2.45	13.92	50	5	2.24	16.04
60	5	2.24	17.57	60	3	1.73	15.66	60	4	2.00	18.04
70	2	1.41	18.98	70	2	1.41	17.07	70	4	2.00	20.04
80	0	0.00	18.98	80	4	2.00	19.07	80	3	1.73	21.77
90	1	1.00	19.98	90	9	3.00	22.07	90	1	1.00	22.77
100	0	0.00	19.98	100	3	1.73	23.80	100	2	1.41	24.18
110	5	2.24	22.22	110	2	1.41	25.22	110	1	1.00	25.18
120	0	0.00	22.22	120	5	2.24	27.45	120	2	1.41	26.60
130	1	1.00	23.22	130	2	1.41	28.87	130	1	1.00	27.60
140	0	0.00	23.22	140	1	1.00	29.87	140	2	1.41	29.01
150	1	1.00	24.22	150	0	0.00	29.87	150	0	0.00	29.01

continúa

Cuadro 4, continuación...

160	0	0.00	24.22	160	0	0.00	29.87	160	0	0.00	29.01
170	0	0.00	24.22	170	0	0.00	29.87	170	0	0.00	29.01
180	0	0.00	24.22	180	1	1.00	30.87	180	1	1.00	30.01
190	0	0.00	24.22	190	0	0.00	30.87	190	0	0.00	30.01
200	0	0.00	24.22	200	0	0.00	30.87	200	1	1.00	31.01
210	0	0.00	24.22	210	0	0.00	30.87	210	0	0.00	31.01
220	0	0.00	24.22	220	0	0.00	30.87	220	0	0.00	31.01
230	0	0.00	24.22	230	0	0.00	30.87	230	0	0.00	31.01
240	0	0.00	24.22	240	0	0.00	30.87	240	0	0.00	31.01
250	0	0.00	24.22	250	0	0.00	30.87	250	0	0.00	31.01

I = Intervalo. F = Frecuencia. RCF = Raíz cuadrada de frecuencia. RCFA = RCF acumulada.

Cuadro 5. Intervalos de toneladas por hectárea para cada uno de los estratos, de acuerdo con los tres tipos de combustibles.

Estratos \ Combustibles	Estratos			
	A	B	C	D
1 HR	0-10	10.01-30	30.01-150	>150
Hojarasca	0-30	30.01-70	>70	
Materia orgánica	0-20	20.01-50	>50	

Cuadro 6. Número de sitios de muestreo que corresponden a cada intervalo (Ton/ha), por cada una de las clases de combustibles.

1 HR		Hojarasca		M.O.	
Clases	Muestras	Clases	Muestras	Clases	Muestras
0-10	232	0-30	100	0-20	111
10.01-30	126	30.01-70	210	20.01-50	195
30.01-150	189	>70	244	>50	248
>150	7				
TOTAL	554		554		554

Cuadro 7. Número de muestras por estrato, para cada tipo de combustible, con base al criterio de ubicación de Neyman.

Combustible	A	B	C	D	Total
1 HR	7	12	18	17	54
Hojarasca	15	16	23	---	54
M.O.	16	14	28	---	58

Análisis comparativo

No obstante que el diseño MAE proporcionó mejores estimadores de la media de la población, se evaluó la proporción de tal eficiencia. Para esto se calculó el valor de eficiencia relativa (ER) para cada tipo de combustibles (Cuadro 10).

De acuerdo con los valores de ER, en el caso de los materiales 1-HR, el MAE fue 674% más preciso que el MSA; mientras que para la hojarasca y la materia orgánica correspondió a 276 y 360%, respectivamente (Figura 3). En este caso, la diferencia proporcional entre el MAE y el MSA no es muy remarcable como para el ER, sin embargo, es posible apreciar que el rango de error del MAE es menor que el del MSA.

Cuadro 8. Estadísticos para cada estrato, correspondientes a los tres tipos de combustibles.

1 HR	0-10	10.01-30	30.01-150	>150
Media	2.17	22.2	56.39	183.26
Varianza	0.726778	12.10182	328.517	274.3621
Hojarasca	0-30	30.01-70	>70	
Media	15.04	47.81	90.97	
Varianza	90.0751	97.15129	618.7383	
M.O.	0-20	20.01-50	>50	
Media	7.60	37.87	99.16	
Varianza	28.19639	21.58409	821.9737	

Cuadro 9. Estimadores finales resultantes del muestreo al azar estratificado.

Estadísticos	1HR	Hojarasca	Materia orgánica
Media	27.51	60.90	37.87
Varianza (y)	1.987521	5.698821	5.456453
Límite	2.82	4.77	4.67
% error	10.24	7.84	7.88

Cuadro 10. Eficiencia relativa resultante del diseño de Muestreo Aleatorio Estratificado por tipo de combustible.

Tipo de combustible	Eficiencia relativa
1 HR	7.744
Hojarasca	3.762
M.O.	4.607

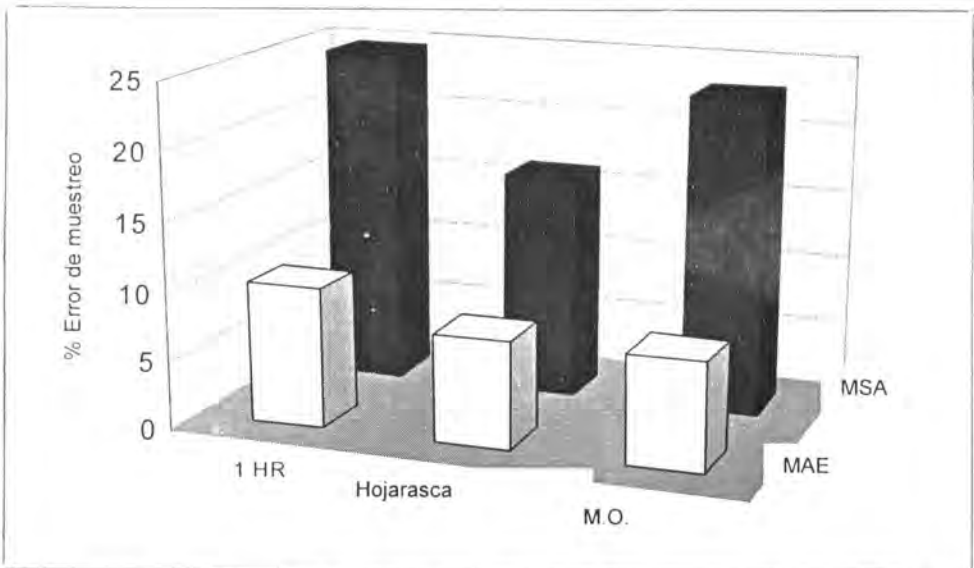


Figura 3. Comparación del error de muestreo resultante entre MAE y MSA, para cada uno de los tipos de combustibles.

DISCUSIÓN

Aunque la información que se usó en este estudio fue generada mediante un diseño de muestreo al azar, la disposición de los sitios a lo largo del área de trabajo fue muy útil para la definición de cierto nivel de estratificación de los materiales forestales inflamables. Esto sugiere que la distribución espacial de las cargas de combustibles es heterogénea, por lo que no es posible considerar que el concepto de MC explique todas las situaciones que se presentan en un bosque, lo que implica que sería más conveniente usar un diseño de muestreo al azar estratificado.

Una ventaja del proceso de muestreo fue que se tuvieron datos de 554 sitios, lo cual permitió utilizar algunos valores tales como: el número original de sitios de muestreo y el intervalo de peso en el que cada sitio se ubicó, lo que es esencial para definir el MAE. No obstante, es importante considerar que el error del muestreo obtenido en la primera fase se mantuvo en todas las estimaciones de la segunda fase. En general, el método seguido en este estudio es muy similar al muestreo doble por estratificación (Scheaffer *et al.*, 1996).

El muestreo simple aleatorio presentó un error muy grande, como resultado de la alta variabilidad de la información, lo que sugiere rechazar la hipótesis nula de que la variación espacial de combustibles no es heterogénea; pese a que los datos de la hojarasca muestran un error de 16%, éste no es un indicador suficiente para establecer que el MSA es una buena alternativa para evaluar las cargas de combustibles. Es importante resaltar que fue indispensable trabajar con un límite de error alto, con el propósito de definir un tamaño de muestra razonable.

La enorme variabilidad de los datos determinó un tamaño de muestra muy grande para usar el MAE. Por lo tanto, dado que se tenía la condición de un límite de error alrededor de 10%, se debía muestrear aproximadamente 55% del total de la población, lo cual no podía ser considerado como un muestreo aceptable. Empero, mediante el uso del MSA fue más sencillo el cálculo del estimador de la media, en comparación con el MAE. Estos resultados apoyan la perspectiva planteada inicialmente, de que la distribución espacial de los combustibles obedece más a un comportamiento homogéneo, que a una estricta homogeneidad dentro de un área calificada como un MC dado.

Es claro que el MAE fue mejor para estimar la media en Ton/ha de los tres tipos de combustibles. Todos los valores de media estimados fueron bajos. También es importante tener presente que el tamaño de muestra más bajo se obtuvo con este diseño de muestreo.

En el caso del MSA el límite de error fue cerca de 30%, mientras que con el MAE varió entre 8 y 11%, lo que indica que con el mismo número de muestras se obtuvo un menor valor en todas las estimaciones. Es decir, no se requiere un mayor número de sitios para determinar de manera adecuada la distribución espacial de las cargas de combustibles. No obstante, el MAE necesita de mayor trabajo, tanto para organizar la información como para la realización de los cálculos.

Como se esperaba, la eficiencia relativa fue mayor en el MAE. Los combustibles de 1 hora mostraron la máxima diferencia, siete veces más, lo que sugiere que este tipo de combustibles tiene una variabilidad espacial superior. Aunque los otros presentaron una diferencia menor, sus incrementos en precisión fueron también considerables, alrededor de 400%. De nueva cuenta los datos sugieren rechazar la hipótesis nula de que la variación espacial de combustibles no es heterogénea. Sin embargo, no se localizaron trabajos similares en la literatura con los que se pudiesen comparar los resultados antes expuestos.

Una limitación de la metodología propuesta es que las estimaciones se hacen en forma puntual por sitio sin que se evalúe la distribución espacial de los combustibles. Una alternativa para corregir esa limitante sería no evaluar directamente la distribución de los combustibles forestales, sino hacerlo con apoyo de otros factores ambientales como: la densidad del arbolado, la exposición o el número de especies (Hudson y Salazar, 1981). Para considerar esta opción, se debe disponer de la información contenida en mapas topográficos, mapas de densidades, modelos de elevación digital, etc. Otra alternativa es la citada por Flores (2003), quien utilizó estrategias de geoestadística para definir la distribución espacial de combustibles forestales, la que a su vez sirvió para apoyar las clasificaciones supervisada, no supervisada y mixta de una imagen de satélite.

Finalmente, el procedimiento que se ilustra en el presente estudio proporciona bases sólidas para desarrollar futuros inventarios de combustibles, basados en un muestreo estratificado. Por lo menos en el área estudiada. Sin embargo, aún hace falta mucho trabajo con el propósito de definir el mejor criterio y estratificación para asociar a la distribución de combustibles forestales, bajo las condiciones de los bosques de México. Por ejemplo, se requiere conocer las cargas de combustibles producidas bajo el dosel de diferentes especies y densidades de arbolado.

Por otra parte, en el caso de México, donde la superficie promedio de los incendios forestales es de 30 ha (SEMARNAT, 2003), el diseño de muestreo debe ser suficiente para captar variaciones espaciales en áreas similares a dicho promedio. Esto no podría ser posible a través del concepto de MC, ya que como se menciona, se considera una homogeneidad de las cargas de combustibles en grandes extensiones.

CONCLUSIONES

Los resultados apoyan la hipótesis inicial acerca de la estratificación en la distribución de los combustibles forestales. Esto fue confirmado para los tres tipos de combustibles, lo cual implica que en muestreos posteriores se debe considerar algún criterio de estratificación, con el propósito de generar estimaciones más precisas de las cantidades de combustibles.

El uso de datos de un inventario previo permitió evaluar la estratificación de los datos, lo cual resultó en una mejor estimación de las cargas de combustibles.

El MAE permite detectar más fácilmente las variaciones espaciales de los combustibles provocadas por diferentes actividades de manejo realizadas en el bosque, como lo son aclareos, podas, aprovechamiento, etc., las cuales dan origen a una estratificación de combustibles.

La estratificación será más clara dependiendo de la escala que se maneje,

entendiendo por escala la dimensión proporcional de los estratos en relación a la superficie total del bosque.

Con base en la comparación básica entre MSA y MAE, se concluye que el concepto de Modelo Combustible tiene limitaciones espaciales en la determinación de la variación de las cargas de combustibles forestales.

REFERENCIAS

- Anderson H., E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA, For. Serv. General Technical Report INT-122. 22 p.
- Andrews P., L. 1986. BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System-BURN Subsystem. Part I. USDA, Forest Service. Gen Tech. Rep. INT-194. 130 p.
- Brown D., E., F. Reichenbacher and S. E. Franson. 1994. A classification system and map of the biotic communities of North America. *In*: Proceedings of Biodiversity and management of the Madrean Archipelago: The sky islands of southwestern United States and northwestern Mexico. September 19-23, Tucson, Arizona. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-264. pp. 109-125.
- Brown J., K., R. D. Oberheu and C. M. Johnston. 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior West. USDA, For. Serv. General Technical Report INT-129. 48 p.
- Burgan R., E. and R. C. Rothermel. 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-FUEL subsystem. USDA, For. Serv. GTR. INT-167. 126 p.
- Campbell, J., K. Green, D. Weinstein and M. Finney. 1996. Fire growth modeling in an integrated GIS environment. *In*: Proc. of the Southern Forestry Geographic Information Systems Conference. Athens, GA. pp. 133-142.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud and D. Williams. 1983. Fire in the forestry. Forest fire behaviour and effects. Vol. I. John Wiley & Sons, Inc. USA. 450 p.
- Chuvieco, E. and R. G. Congalton. 1989. Applications of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment* 29: 147-159.
- Deeming, J. E., R. E. Burgan and J. D. Cohen. 1977. The National Fire Danger Rating System-1978. USDA, Forest Service. Gen. Tech. Rep. INT-39. 66p.
- Finney, M. A. 1998. FARSITE: Fire Area Simulator—Model development and evaluation. USDA, For. Serv., Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-4. 47 p.
- Flores G., J. G. 1994. Effects of prescribed fires on a temperate forest stand at Jalisco state, Mexico. School of Agriculture and Forest Sciences. University College of North Wales, Bangor, Wales. UK. 86 p.

- Flores G., J. G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. Ph.D. Dissertation. Dept. of Forest Sciences. Colorado State University. Fort Collins, Colorado. USA. 201 p.
- Flores G., J. G. and P. N. Omi. 2003. Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia* Vol. 37(1): 65-72.
- Hansen, M. H., W. N. Hurwitz and W. G. Madow. 1993. Sample survey methods and theory. John Wiley & Sons, Inc. USA. 638 p.
- Hudson J. y M. Salazar. 1981. Las quemas prescritas en los pinares de Honduras. Serie Miscelánea No.1. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras. 58 p.
- International Fire Service Training Association. 1998. Fundamentals of wildland fire fighting. Third Ed. Fire Protection Publications. Oklahoma State University. Oklahoma, OK. USA. 472 p.
- Keane, R. E., R. E. Burgan and Van Wagtendok. 1999. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. USDA, For. Ser. RMRS. Fire Sciences Laboratory, Fire Modeling Institute. 32 p.
- Omi, P. N. 1997. Forest fire management. F424 Course. University Text. Colorado State University. Fort Collins, Colorado. USA. 117 p.
- Pyne, S. J., P. L. Andrews and R. D. Laven. 1996. Introduction to wildland fire. Second edition. John Wiley & Sons, Inc. USA. 769 p.
- Rothermel, R. C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA, For. Serv. Research Paper INT-115. 40 p.
- Rothermel, R. C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-143. 161 p.
- Scheaffer, R. L., W. Mendehall III and R. L. Ott. 1996. Elementary survey sampling. Fifth Edition. Duxbury Press. Belmont, California. Estados Unidos. 501 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. Estadísticas de incendios forestales. Temporada 2002. www.conafor.gob.mx. Comisión Nacional Forestal.
- Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No 2. 1997. Aplicación del inventario forestal continuo (I. F. C.) en los bosques del ejido "El Largo". Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 2. Ciudad Madera, Chihuahua, México. 34 p.

TÍLIDES EN LA MADERA DE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.

Alejandra Quintanar-Isaias¹, Carmen de la Paz Pérez-Olvera¹ y
Guillermo Ángeles Álvarez²

RESUMEN

Se observó la presencia de tilides en el xilema secundario de la albura y el duramen del tronco principal de *Gliricidia sepium*, procedente de una selva baja caducifolia del estado de Veracruz, así como en ramas de 1 a 1.5 cm de diámetro. El material leñoso fue colectado en las estaciones de sequía y lluvia. Se utilizó una técnica de doble tinción (fucsina-verde rápido) para cuantificar los vasos con y sin tilides. Así mismo, el cambium vascular de ramas de 1 cm de diámetro colectadas en la estación de sequía, fue cultivado en medios enriquecidos con y sin auxinas bajo tres tratamientos y en cada uno se usó fucsina básica para teñir vasos sin tilides. Los resultados indican que los mecanismos de formación de tilides pueden estar más relacionados con la pérdida de conductividad hidráulica, que con el envejecimiento o conformación del duramen. Se observó que el xilema secundario de esta especie es capaz de formar tilides en vasos cercanos al cambium vascular de la albura y de las ramas, aumentando en éstas últimas aproximadamente 10% en la época de sequía. Lo anterior sugiere que los vasos tienen una baja resistencia a la cavitación. También se determinó que las auxinas no influyen en el desarrollo de las tilides, por lo que su formación no depende de manera directa de estas hormonas.

Palabras clave: Albura, duramen, *Gliricidia sepium*, selva baja caducifolia, tilides, Veracruz.

ABSTRACT

The formation of tyloses in the secondary xylem of *Gliricidia sepium*, from a tropical dry forest in Veracruz, was studied in this project. Samples of 1 to 1.5 cm in diameter from the sapwood and heartwood of the stem and branches were obtained. Wood

Fecha de recepción: 19 de septiembre de 2001.

Fecha de aceptación: 04 de marzo de 2005.

¹ Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana. Correo-e: aqi@xanum.uam.mx.

² Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques. Instituto de Ecología, A. C.

material was collected during the dry and wet seasons, and the presence of tyloses was determined in vessels using a double staining technique (fucsina-fast green), and the presence of tyloses in the vessels was quantified. In addition, wood samples with cambium of 1 cm in diameter taken during the dry season, were cultivated using media with and without auxins. Vessels from this season without tyloses were stained only with basic fucsina. Results show that the tyldose generator mechanisms might be related rather to the hydraulic loss, than to aging or heartwood formation. The presence of tyloses in very young vessels near the cambium, and a 10 percent increase of tyloses during the dry season, suggest a low resistance to cavitation in the wood of this species. Moreover, the absence of tyloses in vessels of cambial specimens cultivated in auxin media, indicates that the growth hormon has little effect on tylose development.

Key words: Sapwood, heartwood, *Gliricidia sepium*, tropical dry forest, tyloses, Veracruz.

INTRODUCCIÓN

En la madera de algunas angiospermas existen estructuras conocidas como tílides, que son intrusiones derivadas de las células parenquimatosas axiales y radiales, cuyas paredes corresponden a células hipertrofiadas que proliferan hacia el interior de los vasos y normalmente están asociadas a la transformación de albura en duramen (Korán y Côté, 1965).

La presencia de tílides ha sido atribuida a cambios en el potencial hídrico en los vasos. Se ha propuesto que cuando el valor de la presión de turgencia dentro de una célula de parénquima se hace mayor al potencial de presión de un elemento de vaso adyacente, ya sea por aire (embolias), bloqueo o heridas a los constituyentes del mismo, la presión más baja inicia la distensión hacia el interior permitiendo la entrada del citoplasma de células parenquimatosas inmediatas al vaso a través de una membrana muy fina llamada "lámina protectora", para continuar con la formación de membrana plasmática y pared primaria (Desch, 1981). Este fenómeno obedece a un mecanismo en el que participan enzimas que degradan la membrana de la pared primaria de la punteadura, que al romperse permite la aparición de una lámina protectora que aparece al inicio como una pequeña yema y continúa expandiéndose hasta generar una gran tílide (Desch, 1981; Leitch *et al.*, 1999). Así mismo en ella se depositan además de paredes primarias, capas de origen secundario lignificadas que integran láminas de crecimiento.

Tyree y Zimmermann (2002) consideran que el desarrollo de las tílides no se asocia a la pérdida de conductividad hidráulica, dado que el valor de la presión que se crea dentro de la cavidad de un vaso funcional es mucho mayor que cuando deja de funcionar; lo que significaría que la diferencia de presiones entre un vaso y una célula del parénquima en condiciones de flujo continuo, induciría la

succión de la membrana plasmática y, en consecuencia la formación de tilides, pero en realidad esta situación no ocurre, por lo que aún no se ha dilucidado cuál podría ser el mecanismo asociado al crecimiento de tilides después de la ruptura de la columna de agua en un vaso.

El fenómeno físico o bioquímico asociado a la generación de tilides requiere de una revisión profunda y experimental sobre las propiedades del agua en movimiento dentro de un capilar o vaso funcional, para lo cual es importante tomar en cuenta el diámetro de los elementos conductores, que obliga a hacer consideraciones teóricas sobre cómo asciende el agua en un conducto tan pequeño.

Con base en la ley de la viscosidad de Newton se tiene:

$$\tau = -\mu dv/dr$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante

μ = Coeficiente de viscosidad dinámica

v = Velocidad del flujo a una distancia r de la pared.

La fuerza que ejerce el fluido sobre la pared interna de un capilar, está formada por dos componentes: la fuerza tangencial denominada también esfuerzo cortante y la fuerza normal que es perpendicular a la pared (Streeter *et al.*, 2000). En la Figura 1 se muestra el diagrama de cuerpo libre. La resultante de la tangencial y la normal hace que la pared del vaso se deforme y presione hacia la pared del parénquima. Las flechas en el interior de la membrana de la vacuola suponen la presión de turgencia. En teoría, en esas condiciones la membrana plasmática del parénquima no puede introducirse a la cavidad del vaso, lo que indica que cuando un vaso conductor cavita, el aire que aparece en su interior tiene un valor de viscosidad μ muy bajo (menor al del agua); entonces el efecto de la fuerza resultante es muy pequeño, lo que explicaría en términos teóricos la posibilidad de que la membrana plasmática del parénquima adjunto se libere del esfuerzo y de la deformación que ejercía el agua, y dadas las dimensiones suficientemente grandes de las punteaduras, se desarrollan las tilides. Tyree y Zimmermann (2002) no recurren a la interpretación teórica sobre el comportamiento laminar del agua en un capilar, por lo que la justificación que aquí se propone sugiere un mecanismo más cercano al comportamiento de un vaso funcional y uno embolizado y más relacionado con la formación de tilides, lo cual abre un campo de investigación de gran interés.

Cuando las tilides aparecen y se desarrollan, bloquean completamente los conductos hidráulicos (vasos), lo que hace que se originen zonas aisladas o selladas en el xilema que impiden la difusión de microorganismos patógenos

Perfil de velocidades

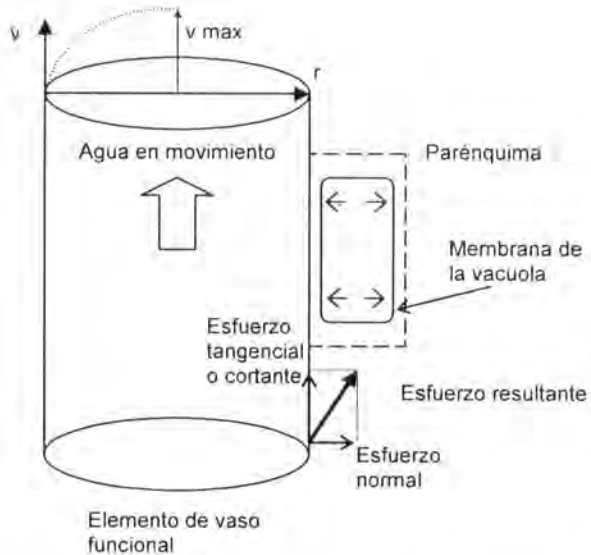


Figura 1. Fuerzas teóricas que se generan en un capilar (vaso funcional), cuando hay agua en ascenso, así como el perfil de velocidad y componentes de la fuerza asociada al movimiento del fluido dentro del capilar.

hacia el resto del individuo y por tanto las infecciones. Dichas estructuras tienen tiempos de formación que se relacionan con la actividad cambial; en *Quercus rubra* L. se ha visto que durante la primavera se involucra con el desarrollo de tildes en las primeras 6 h, la cual se incrementa en el verano y las tildes aparecen en las primeras 2.5 h (Murmanis, 1975). Cuando el cambium vascular es menos activo (invierno), las tildes tardan en manifestarse hasta un mes y medio, lo que tiene un significado funcional muy importante para tallos de especies de clima frío, muy seco o extremoso.

Carlquist (1988) y Saitoh *et al.* (1993) han propuesto que la presencia de tildes está relacionada con el tamaño de las punteaduras de vaso-radio y vaso-parénquima. En grupos que son muy primitivos existe mayor posibilidad de encontrar estos contenidos; sin embargo, en grupos más actuales es menos frecuente. Para fundamentar lo anterior, los autores antes citados identificaron que a un diámetro de punteadura menor a $8 \mu\text{m}$, la proporción de extractivos aumenta, mientras que por arriba de este tamaño, las tildes son más comunes. Así mismo la reducción gradual del diámetro de vaso, tal vez, posibilite una menor cantidad de series longitudinales de tildes.

La cantidad y composición química de las paredes celulares de estas estructuras se regulan por un proceso de envejecimiento acelerado o gradual que es propio de cada especie. Por ejemplo, en algunas taxa las tilides se dividen en el interior de los vasos y forman series internas longitudinales que nunca tuvieron contacto con la célula madre parenquimática y cuyas paredes celulares son básicamente primarias; en otras especies sólo se forman de una a dos series longitudinales que pierden sus núcleos rápido y son capaces de lignificarse muy cerca del duramen (Schmitt y Liese, 1994).

Metcalfe y Chalk (1950), Foster (1964), Korán y Coté (1965), Sano y Fukazawa (1991) y Babos (1993) han descrito detalles sobre la morfología y función de las tilides, mientras que Bonsen y Kucera (1990) han abordado sus aspectos evolutivos.

De acuerdo con Kollman y Coté (1968), las tilides son comunes en el duramen de muchas angiospermas o en los vasos de madera temprana y tardía de aquellas plantas que crecen en zonas templadas como es el caso del género *Quercus*.

Se ha observado que la albura puede mostrar tilides cuando se trata de tejido que ha sido sometido a presiones externas como heridas, incendios, daños por insectos y mecánicos o por estimulación química (Carlquist, 1988; Schmitt y Liese, 1994).

El tallo secundario de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. es interesante porque presenta vasos de la albura con estas estructuras casi enseguida del cambium vascular. Parece que el árbol sella regiones, sacrificando ramas o áreas con xilema recientes, sin dejar de garantizar regiones de xilema conductor.

Quintanar *et al.* (1997) encontraron que la albura y el duramen de *G. sepium* procedente de Yucatán, tienen dos tamaños de vasos con diámetros tangenciales que van desde 180 hasta de 220 μm (vasos muy grandes) y otros desde 80 hasta 114 μm , que corresponden a diámetros medianos de acuerdo con el IAWA Committee (1989). Las punteaduras de vaso-radio presentan aberturas grandes, de 15 μm en promedio, lo que facilitaría la formación de tilides de las células del parénquima radial o axial.

El xilema secundario de *G. sepium* posee vasos de diámetros tangenciales grandes, punteaduras de vaso medianas (7-10 μm) y de vaso-radio de dos tamaños distintos, las grandes con dimensiones $>15 \mu\text{m}$, así como abundante parénquima axial, que explican las numerosas tilides en secciones jóvenes de xilema secundario, es decir, en ramas de nuevo crecimiento y en albura del tronco principal, por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer el comportamiento de las tilides en albura y duramen de fuste y en segmentos conductores colectados en dos épocas del año, además de investigar si existe alguna influencia de las auxinas en el crecimiento de tilides en tallo con cambium vascular poco activo (época de sequía).

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las épocas de sequía y lluvia se colectaron árboles sanos de *Gliricidia sepium*, dos en cada ocasión, de 5 m de altura y 20 cm de diámetro, ubicados a la orilla de la Laguna La Catalana, situada a 15 km del Puerto de Veracruz, Autopista Cardel-Veracruz (Figura 2). Se seccionaron sus fustes a una altura de 1.30 m para obtener rodajas de aproximadamente 2 cm de grosor. Se separó la albura del duramen y se procedió a su ablandamiento de acuerdo con la técnica utilizada por Quintanar *et al.* (1997). De las copas de estos árboles se colectaron ramas de 1 a 1.5 cm de diámetro y 1 m de largo, de las cuales se cortaron segmentos de 2 cm de longitud (bajo agua, para evitar ingreso de aire a los vasos) y se fijaron en Formol-Alcohol-Ácido Acético-Agua (FAA).

De las ramas colectadas en ambas estaciones se realizaron cortes transversales y radiales de albura y duramen. En los cortes transversales se contaron las tilides comunes y esclerosadas para la albura, la zona de transición y el duramen; debido al tamaño de las tilides, el área de conteo fue de 2 mm².

En una porción de 5 cm de longitud se tiñeron diferencialmente los vasos llenos de agua y con tilides, para lo cual se utilizó una doble tinción con fucsina básica-verde rápido.

Para observar los vasos funcionales se colocó una manguera en el extremo de cada segmento y se pasó una solución al 0.7% de fucsina básica que tiñó de rosa los vasos funcionales. En el caso de los vasos con tilides, al segmento del tallo se le pasó agua a presión, conectando una jeringa a una manguera en un extremo de éste para remover el aire. Después por un extremo se agregó una solución acuosa al 0.5% de verde rápido para teñir de verde a todos los vasos que tenían aire y diferenciarlos de los funcionales (rosa-lila) y dejar a los vasos con tilides sin teñir, esto es, blancos (Figura 3). Los tres tipos de vasos se cuantificaron para comparar el porcentaje de vasos con tilides en ambas épocas del año.

Aunado a lo anterior, en la época de sequía se colectó otra serie de ramas de 50 cm de longitud y de 1 a 1.5 cm de diámetro, de las cuales se obtuvieron 920 segmentos de 2 cm de largo cada uno, para tener cambium vascular inactivo. Estos segmentos se limpiaron antes de someterlos a tres tratamientos de cultivo líquido: un control con agua pura y esterilizada (A); uno sin auxinas preparado con compuestos orgánicos e inorgánicos (SR) y otro idéntico al anterior, al que se le añadió ácido acético 1-naftaleno (auxina) al 0.005% (CR), de acuerdo con los protocolos descritos por Savidge (1993). El uso de auxinas en este tipo de cultivo permite activar el cambium vascular y, específicamente, la diferenciación celular.



Figura 2. Fotografía aérea que muestra el sitio de colecta. La zona inferior derecha corresponde a la selva baja caducifolia de donde provienen las muestras de tallo de *Gliricidia sepium* y en la parte central se localiza la laguna La Catalana.

Durante las tres semanas del experimento se extrajeron 10 muestras diarias del cultivo. Para diferenciar a los vasos sin tñlides, a cada muestra se le removió el aire mediante la técnica descrita de manguera-jeringa, a continuación se pasó fucsina básica por los extremos para teñirlos y dejar sin teñir a los vasos con tñlides. Para cada tratamiento y cada tallo, se contó el número de vasos sin tñlides



Figura 3. Tinción de tallos con fucsina básica.

(rosa) y el número de vasos con tilides (blancos). Se calculó el total y el porcentaje de cada tipo de vaso y se llevó a cabo un análisis de varianza de una sola vía y con una probabilidad de 5%.

RESULTADOS

Albura y duramen

En el tronco principal se observó que las tilides esclerosadas aumentan hacia la región del duramen, mientras que las comunes disminuyen (Figura 4). En la cercanía del cambium vascular, las paredes de las tilides son muy delgadas (tilides comunes) (figuras 5a y 5c) y se aprecia que éstas pueden aparecer en vasos de reciente formación. En la albura intermedia las tilides se vuelven más engrosadas y lignificadas, algunas presentan cristales y gomas de origen polifenólico. Hacia el duramen aparecen tilides esclerosadas o pétreas (figuras 5b y 5d), que llegan a desarrollar engrosamientos laminares secundarios en sus paredes.

Las punteaduras intervasculares se consideran medianas (Figura 6A), las de vaso-radio alcanzan hasta 15 μm de diámetro (Figura 6B) y los vasos que presentan tilides varían entre 170 y 230 μm de diámetro. La región del duramen tiene tilides pétreas y tilides de paredes delgadas; ambas formas poseen en sus cavidades extractivos de origen polifenólico y cristales romboidales.

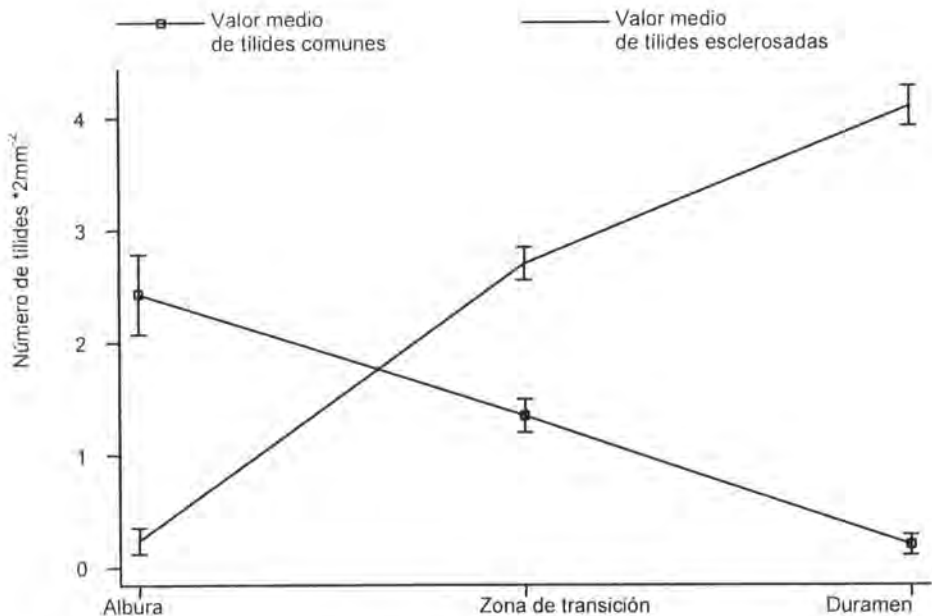


Figura 4. Incremento y decremento de tilides comunes y esclerosadas en tres regiones del tronco principal.

Ramas y estaciones del año

Las ramas en la temporada de lluvias son funcionales, ya que la mayoría de sus elementos de vaso son conductores de agua y, por lo tanto, la proporción de tilides por área de xilema activo es pequeña.

La Figura 7 representa los límites del error estándar, en la que se observa que la cantidad de tilides es significativamente inferior a la de sequía. Es probable que las tilides cuantificadas ya existían, es decir, que se hayan formado desde la pérdida de follaje (noviembre del año anterior), previo al momento de la colecta. El porcentaje de vasos con tilides en la época de lluvia alcanzó 26% del promedio total de los cuantificados (funcionales y con tilides), que implica una gran cantidad de agua en circulación en ese 74% de vasos sin tilides, lo cual permite abastecer la demanda que se requiere para el crecimiento de los órganos primarios y secundarios en esta especie.

Ramas de sequía

En época de sequía los vasos funcionales comienzan a cavitar y dan origen a vasos embolizados, potencialmente formadores de tilides. La cuantificación que

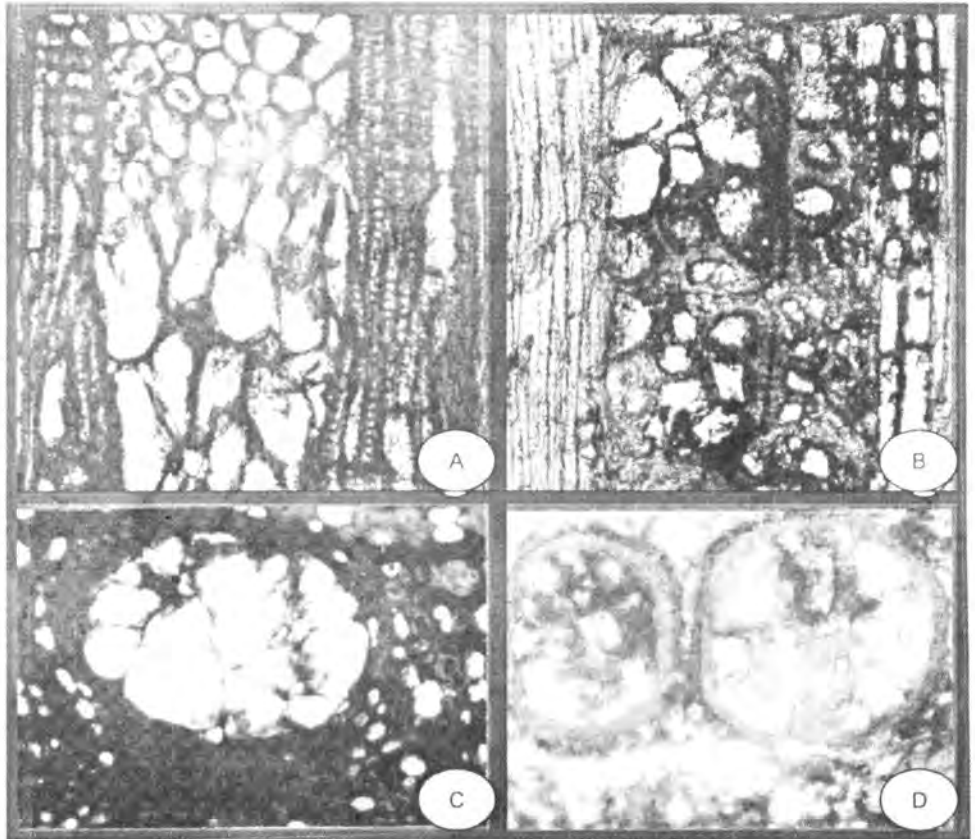


Figura 5. Cortes tangencial (A) y transversal (C) de albura de *Gliricidia sepium*, mostrando tilides de paredes primarias y cortes tangencial (B) y transversal (D) del duramen de esta especie, mostrando tilides esclerosadas con cristales o gomas. 1 cm = 60 μ m.

se hizo en la época de lluvia corresponde a tilides formadas en meses anteriores y las ya existentes, por lo que se asume que desde que dejó de llover, el incremento alcanzó el porcentaje señalado y cuantificado hasta ese momento. La Figura 7 muestra que existe un aumento de tilides en el período de seco de al menos 10%, considerando el límite superior del error estándar en las lluvias y el inferior del error estándar en sequía. Los promedios en el porcentaje de tilides entre las estaciones de lluvia y sequía son cuando menos de 15% y la cantidad de vasos conductores durante la temporada seca alcanza 60% en promedio, lo que significa que esta planta puede funcionar con ese porcentaje de vasos.

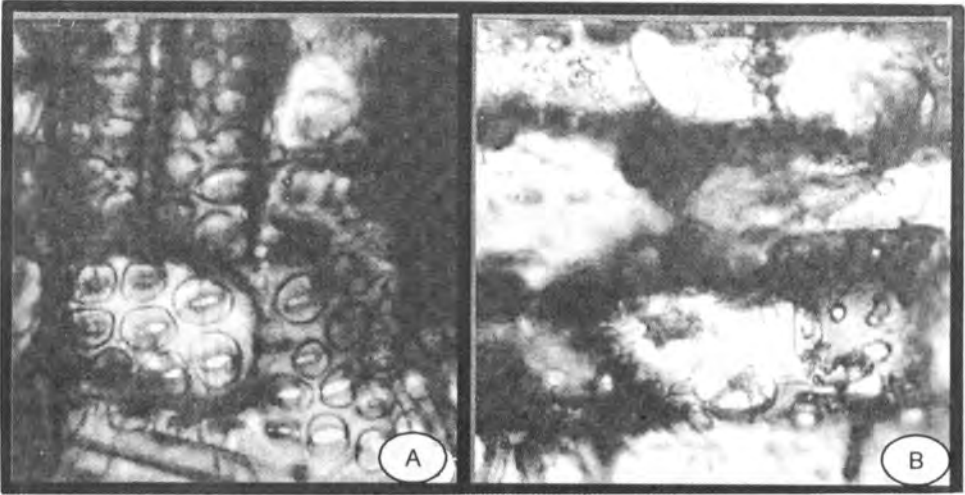


Figura 6. Cortes radiales de albura de *Gliricidia sepium* con punteaduras intervasculares (A) y punteaduras de vaso-parénquima (B).
1 cm = 8 μ m.

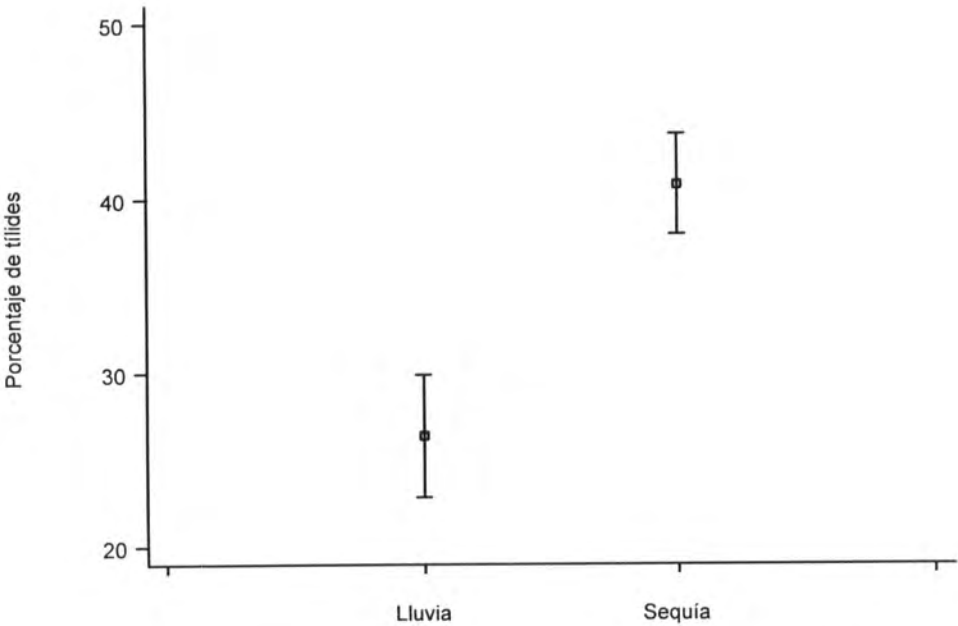


Figura 7. Presencia de tilides en vasos en dos estaciones del año.

Cultivo de cambium vascular

En las figuras 8a y 8b se aprecia la dispersión de los datos relacionados con el conteo de vasos con tilides (T) y sin tilides (NT) en tallos cultivados bajo los siguientes tres tratamientos: tallos crecidos en medio acuoso (A), tallos cultivados sin regulador (SR) y tallos con regulador (CR). En esas figuras se aprecia que no se registraron diferencias significativas entre tratamientos e incluso, la Figura 8a, muestra que la tendencia de los vasos sin tilides es muy alta y se conserva en todo el tiempo de cultivo. También se observa que los vasos sin tilides, que fueron cuantificados para los primeros días, representan una población en la que ya había vasos con tilides (Figura 8b), mientras que el resto de la población de vasos se mantuvo sin bloqueo con estas estructuras. Así mismo hay un nulo crecimiento de vasos con tilides conforme transcurrieron los días de cultivo.

Ambas figuras indican que aunque no hubo un aumento o decremento de tilides y las líneas de ajuste presentan ligeras tendencias hacia el incremento o decremento, respectivamente, éstas no son significativas. Además, para los tres tratamientos se identificó que el número de vasos con y sin tilides entre tallos experimentales sometidos a auxinas, medio acuoso orgánico e inorgánico, no presentaron diferencias significativas de acuerdo con el análisis de varianza practicado con un nivel de confianza de $p < 0.05$.

DISCUSIÓN

La presencia de tilides en la región de la albura cercana al cambium vascular hace suponer que los vasos funcionales son muy poco resistentes a la cavitación; dos grupos de vasos tuvieron diámetros desde 80 hasta 230 μm en toda el área del tallo, lo que indica que cualquier tamaño de vaso puede bloquearse por este mecanismo. Sin embargo se debe garantizar un mínimo de vasos conductores. Canny (1997) propuso que un tejido accesorio se relaciona con la recarga de agua hacia los vasos. Lo anterior sugiere que la presencia importante de parénquima axial paratraqueal, de tipo aliforme confluyente y en bandas es un "tejido accesorio" que suministra grandes cantidades de agua, además de estar involucrado en otras funciones. Si lo propuesto por Canny es correcto, entonces este tipo celular interviene en la recarga de aquellos vasos que quedan como funcionales, o en otros que han llegado a embolizar, situación que puede estar apoyada por fenómenos de recarga que ocurren en vasos que han cavitado (Tyree y Zimmermann, 2002). En el presente estudio fue interesante observar que algunos vasos de ramas de sequía ubicados hacia la médula, no mostraron tilides, lo que reforzaría la hipótesis de que la médula funciona como un buen almacén de agua y otros metabolitos.

El tamaño de las punteadura de vaso y el de vaso-parénquima son mayores a las propuestas por Saitoh *et al.* (1993) que, aunado al diámetro de los vasos,

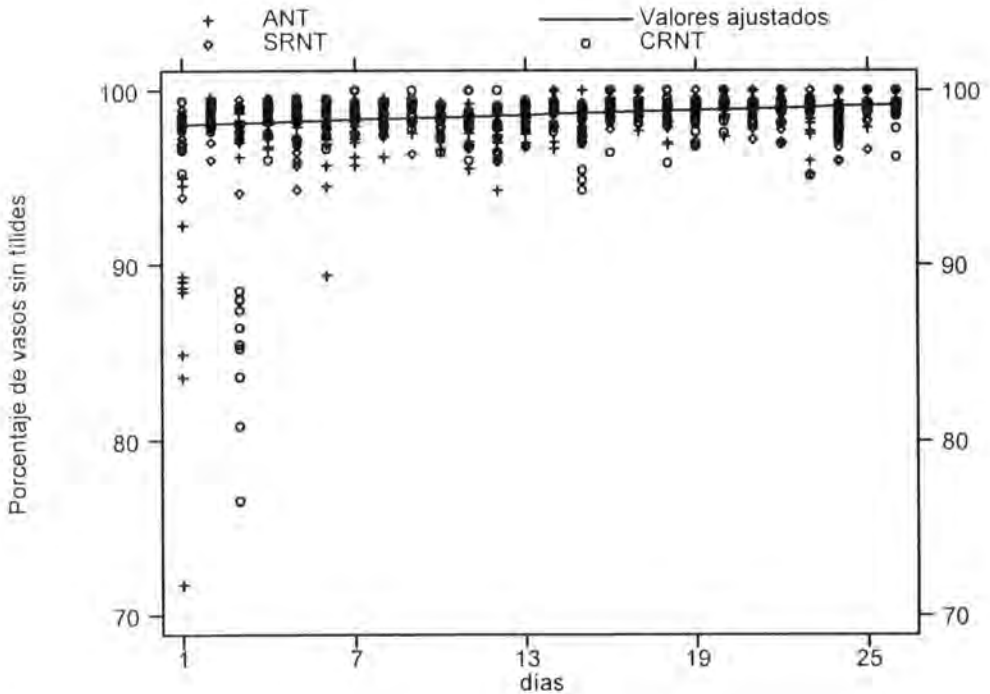


Figura 8a. Tendencia de vasos sin tilides en condiciones de cultivo. ANT (vasos sin tilides en medio acuoso). SRNT (vasos sin tilides en medio sin auxinas). CRNT (vasos sin tilides en medio con auxinas).

llegan a explicar la formación de tilides; entre más amplio sea el lumen del vaso y más grande sea la punteadura, aumenta la posibilidad de que se formen tilides.

Destaca el tipo de engrosamiento de la pared que desarrollan las tilides hacia el duramen. Se sabe que su existencia es una estrategia para sellar regiones que pueden ser muy vulnerables al ataque de insectos. Uno de los objetivos del proceso de duraminización es convertir al duramen en una región que garantice el sostén y la resistencia a las infecciones. Un mecanismo intenso de lignificación y "tilidificación" es una estrategia efectiva para ello, por lo que 65% del volumen del duramen en el xilema secundario garantiza el hecho y sugiere que una porción muy pequeña de la albura del tronco principal posee vasos funcionales.

En este sentido Tyree y Zimmermann (2002) indican que desde el momento en que aparecen las tilides, se está dando el proceso de duraminización. Aunque ésto

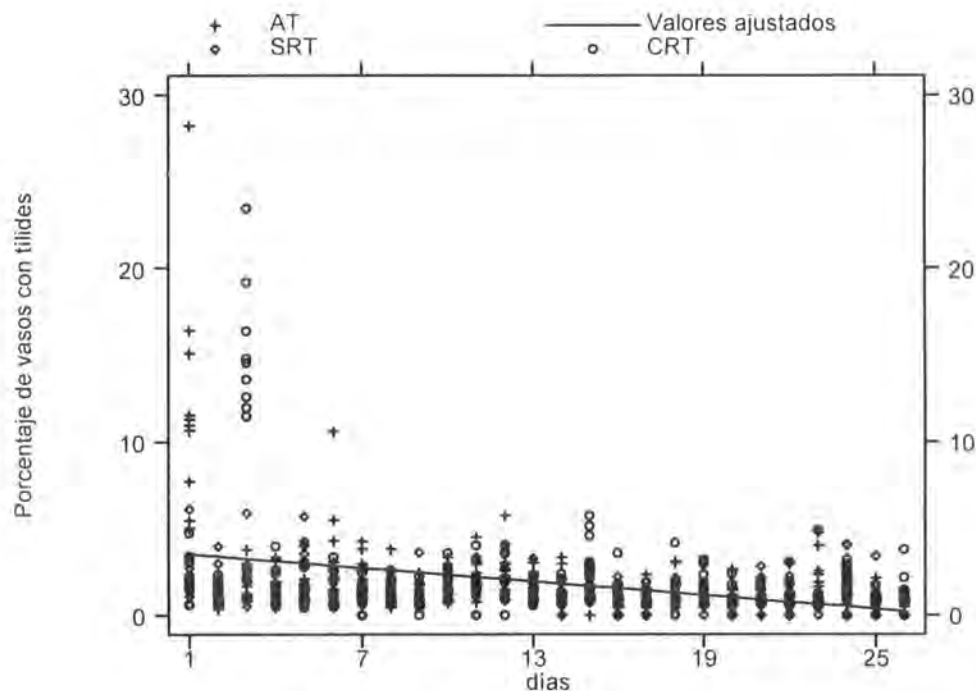


Figura 8b. Tendencia de vasos con tilides en el tiempo bajo condiciones de cultivo. AT (vasos con tilides en medio acuoso). SRT (vasos con tilides en medio sin auxinas). CRT (vasos con tilides en medio con auxinas).

es una aseveración simple, los autores del presente trabajo observaron núcleos en las tilides de vasos recién formados, situación que no corresponde a un fenómeno de formación de duramen, pero sí representa un efecto que incrementa la cantidad de tejido parenquimatoso capaz de surtir agua a vasos contiguos aún no embolizados, así como el incremento del área metabólicamente activa, que se pierde cuando el duramen aparece temprano. Por otro lado, la presencia de estas células en la albura y en las ramas de *Gliricidia sepium* es una estrategia latente y eficaz que impide la proliferación de microbios y el fácil sellamiento en el árbol, cuando éste deja de tener vasos funcionales, que si no se bloquean, son conductos perfectos para la dispersión de patógenos.

Las ramas de lluvia con diámetros hasta de 1.5 cm tienen la función exclusiva de conducción, ya que las tilides estuvieron prácticamente ausentes. Los tallos de

sequía fungen como órganos de vertedero y de reserva de agua; parece ser que se recargan con agua durante la noche, de acuerdo con observaciones de campo. Es interesante notar que en los segmentos de ramas de sequía de 1 a 1.5 cm de diámetro, la cantidad de vasos con tilides se incrementa en 9-15-18% (mínimo-media-máximo) en un año, lo que puede proponer un modelo de cavitación y sellamiento. A partir de conteos en campo, se reconoce un aumento importante del número de tilides en tallos de diámetros mayores a 4 cm, lo que significa (a reserva de estudiarse con más detalle), que los vasos pierden muy pronto la capacidad de conducción de agua y que la relación de vasos embolizados, potencialmente formadores de tilides y su diámetro, no siguen un comportamiento lineal.

Algunos vasos de la albura del tallo principal, adyacente al cambium vascular son funcionales y se conectan a las ramas más jóvenes. En la actualidad se están llevando a cabo experimentos dirigidos a dilucidar la influencia de las tilides en los vasos funcionales.

La ausencia de una tendencia de crecimiento de tilides en los tres tipos de tratamientos realizados, sugiere que en *G. sepium* las auxinas no representan un factor fisiológico determinante en la formación de dichas estructuras. Sin embargo, no se descarta su papel en condiciones naturales, por lo que será necesario hacer más investigaciones al respecto.

Los mecanismos de sellamiento temprano en los vasos influyen sobre la talla de los individuos. En las selvas de Veracruz los árboles no sobrepasan los 5 m, por lo que se entiende que estarán afectados en forma directa en su altura al tener un mecanismo hidráulico constituido por pocos vasos funcionales, esto es, la población sacrifica eficiencia hidráulica por supervivencia, expresada en almacenamiento de agua, incremento de tejido parenquimatoso y defensa contra patógenos.

CONCLUSIONES

El xilema secundario de *Gliricidia sepium* ofrece estrategias de protección y sellamiento que garantizan la actividad continua de un sistema de conducción formado por vasos de grandes dimensiones.

El rápido cambio de albura a duramen indica que ésta última región corresponde a un mecanismo muy eficiente contra la dispersión de microorganismos, es decir, la presencia de gran cantidad de extractivos, paredes de los elementos celulares muy gruesas y principalmente vasos sellados con tilides pétreas que contienen cristales y extractivos, se traduce en una pobre disponibilidad de alimento de origen celulósico para los patógenos.

La opción de sellar de inmediato vasos de diámetros amplios que son muy vulnerables a la cavitación y que cuentan con punteaduras muy grandes, garantizará

la ocurrencia de pocas infecciones asociadas a microorganismos, una buena defensa contra insectos, pero tallas pequeñas de los individuos que poseen estas características.

La tilidificación puede contribuir al incremento de las funciones del tejido parenquimatoso en términos de almacenamiento de agua y otros metabolitos. También pareciera que estas estructuras no suponen un mecanismo hormonal para su formación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al señor Narciso Hernández, a los biólogos Claudia Paredes López y Gabriel Orozco Hoyuela su trabajo constante y dedicación para la colecta de las muestras en "La Catalana". A los doctores Francisco Cruz Sosa y Juan Orozco del Laboratorio de Biotecnología Vegetal por su asesoría en el cultivo de tejidos. También a los propietarios del predio que muy amablemente están permitiendo los estudios en *Gliricidia sepium*. Al señor Jorge Lodigiani Rodríguez por el apoyo fotográfico. Al M. en C. Marco A. Jacobo por su asesoría en la parte de la física de capilares y a los doctores Karl A. Grellmann y Hans G. Richter por la revisión crítica al manuscrito. Esta investigación es parte del proyecto Anatomía Funcional de Tallos de Especies Mexicanas, aprobado y apoyado por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa para el bienio 2003-2004.

REFERENCIAS

- Babos, K. 1993. Tyloses formation and the state of health of *Quercus petraea* L. trees in Hungary. IAWA Journal 14: 239-143.
- Bonsen, K. and L. Kucera. 1990. Vessel occlusions in plants: morphological, functional and evolutionary aspects. IAWA Bulletin n.s. 11: 393-399.
- Canny M., J. 1997. Tyloses and maintenance of transpiration. Annals of Botany 80: 565-570.
- Carlquist, S. 1988. Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer-Verlag, New York, NY, USA. 436 p.
- Desch, H. E. 1981. Timber, its structure, properties and utilisation. Timber Press, Forest Grove, OR, USA. 120 p.
- Foster, R. 1964. Fine structure of tyloses. Nature 204: 194-195.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin. n. s. 10: 219-332
- Kollmann, F. and W. Coté. 1968. Principles of wood science and technology I. Solid wood. Springer-Verlag, New York, NY, USA. 592 p.
- Korán, Z. and W. Coté. 1965. The ultrastructure of tyloses. In: Coté W. A. (Ed): Cellular ultrastructure of woody plants. Syracuse University Press, NY. pp. 319-333.

- Leitch, M., R. Savidge, G. M. Downes and I. L. Hudson. 1999. Induction of tyloses in *Eucalyptus globulus* "chips". IAWA Journal. 20: 193-201.
- Metcalfe, C. and L. Chalk. 1950. Anatomy of Dicotyledons. Clarendon, Oxford, UK. 1500 p.
- Murmanis, L. 1975. Formation of tyloses in felled *Quercus rubra* L. Wood Sci. Technol. 9: 3-14.
- Quintanar, A., L. Rivera, A. Torre-Blanco and S. Rebollar. 1997. Comparative histochemistry and cell morphology of sapwood and heartwood of *Gliricidia sepium* (Fabaceae). Rev. Biol. Trop. 45: 1005-1011.
- Saitoh, T., J. Ohtani and K. Fukazawa. 1993. The occurrence and morphology of tyloses and gums in vessels of Japanese hardwood. IAWA Journal 14: 359-371.
- Sano, Y. and K. Fukazawa. 1991. Structural differences of tyloses in *Fraxinus mandshurica* var. *japonica* and *Kalopanax pictus*. IAWA Bulletin n. s. 12: 241-249.
- Savidge, R. 1993. In vitro wood formation in 'chips' for merchantable stem regions of *Larix laricina*. IAWA Journal 14: 3-11.
- Schmitt, U. and W. Liese. 1994. Wound tyloses in *Robinia pseudoacacia* L. IAWA Journal 15: 157-160.
- Streeter, L., E. Wylie y K. Bedford. 2000. Mecánica de fluidos. Mc. Graw Hill. Bogotá, Colombia. 740 p.
- Tyree, M. T. and M. H. Zimmermann. 2002. Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag, Germany. 283 p.