

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 32 NÚM. 101 148 p. MÉXICO, D. F. ENE-JUN 2007

inifap

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

CONTENIDO

Pág.

EDITORIAL	3
POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE <i>Taxodium mucronatum</i> Ten. Y ACCIONES PARA SU CONSERVACIÓN EN MÉXICO José Villanueva Díaz, Dave W. Stahle, B.H. Luckman, Julián Cerano-Paredes, Matthew D. Therrell y Roque Morán Martínez	9
ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN ESPECIES DE ENCINO Y PINO EN ITURBIDE, N. L. Rodrigo Rodríguez-Laguna, Javier Jiménez-Pérez, Oscar Aguirre-Calderón y Enrique Jurado-Ibarra	39
EL GÉNERO <i>Agave</i> L. BAJO CULTIVO: TAXONOMÍA, DISTRIBUCIÓN Y USOS David Castillo Quiroz, José Ángel Villarreal Quintanilla, y Antonio Cano Pineda	57
ÍNDICE DE SITIO PARA <i>Cedrela odorata</i> L. (CEDRO ROJO) EN QUINTANA ROO, MÉXICO Xavier García Cuevas, J. Germán Flores Garnica Y Juan de Dios Benavides Solorio	71
TABLAS DE VOLUMEN CON CORTEZA PARA <i>Pinus douglasiana</i> Y <i>P. pseudostrobus</i> DEL SUR-OCCIDENTE DE MICHOACÁN Efraín Velasco Bautista, Salvador Madrigal Huendo, Ignacio Vázquez Collazo, Francisco Moreno Sánchez y Antonio González Hernández	93
CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA DEL MEZQUITAL EN LA ZONA DE LAS POCITAS, BAJA CALIFORNIA SUR Roberto Meza Sánchez y Esteban Osuna Leal	117
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	135
CONSEJO ARBITRAL	139
CONSEJO EDITORIAL	143

POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE *Taxodium mucronatum* Ten. Y ACCIONES PARA SU CONSERVACIÓN EN MÉXICO

José Villanueva Díaz¹, Dave W. Stahle², B.H. Luckman³, Julián Cerano Paredes¹, Matthew D. Therrell², Roque Morán Martínez¹ y Malcom K. Cleaveland²

RESUMEN

En este trabajo se expone la serie actualizada de cronologías para *Taxodium mucronatum* (ahuehuete, sabino) en México, cuyo número disponible es de 13 y tres más que están en desarrollo. No obstante su hábitat ripario, el ahuehuete es sensible a variaciones de precipitación, especialmente las que acontecen en la época cálida del año, de tal suerte que se han generado dos reconstrucciones estacionales de precipitación con más de 500 años de extensión para el norte de México. La integración de una red dendrocronológica con esta especie resulta importante para analizar la variabilidad hidroclimática del pasado, definir los mecanismos atmosféricos de circulación que afectan el clima, analizar tendencias para determinar posibles escenarios climáticos con fines de planeación y manejo sustentable de los recursos naturales. El sabino es el taxón más longevo en México, y en sitios muy específicos se pueden observar especímenes milenarios, aunque es de notar la dominancia de individuos no mayores a 300 años de edad. Ejemplares en dicha condición se ubican en sitios pobres, con poco disturbio y apartados de poblaciones humanas, lo que implica que los cambios de uso del suelo y acciones antropogénicas han favorecido la muerte o remoción tanto de árboles antiquísimos como de jóvenes, impactando así su dinámica poblacional. El estudio ecológico, de la biodiversidad y de los cambios en el uso del suelo; aunados al acopio de la información climatológica de los ecosistemas riparios con presencia de *T. mucronatum* son fundamentales para promover su conservación con fines adicionales de recreación y ecoturísticos.

Palabras clave: Ahuehuete, conservación, dendrocronologías, ecosistemas riparios, paleoclimatología, *Taxodium mucronatum*.

Fecha de recepción: 21 de julio de 2006

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2007

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

² Laboratorio de Dendrocronología, Universidad de Arkansas, Fayetteville, AK

³ Departamento de Geografía, Universidad de Western Ontario, Canadá

ABSTRACT

This paper describes the current network of *Taxodium mucronatum* (ahuehuete, sabino) chronologies available for Mexico. Currently, 13 cypress chronologies have been developed and 3 more are in process. In spite of its riparian habitat cypress trees are sensible to changes in precipitation, particularly that of the warmer season. Thus, two precipitation reconstructions over 500 years long have been developed for northern Mexico. The development of a cypress chronology network is important to analyze past hydroclimate variability, to determine the historical impact of atmospheric circulatory patterns, to define climatic scenarios, and for conservation and sustainable use of natural resources. The cypress tree is the most long-lived species in Mexico and trees over a thousand years old have been found in several places with low site quality and minimum human impact, but trees less than 300 years are dominant. Population dynamic studies of riparian systems with *T. mucronatum*, understanding their biodiversity, determining the impact of land-use changes, along with instrumental and paleoclimatic information analysis may help to promote the conservation of these ecosystems and to develop additional uses like recreation and ecotourism.

Keywords: Ahuehuete, conservation, dendrochronologies, riparian ecosystems, Paleoclimatology, *Taxodium mucronatum*.

INTRODUCCIÓN

Los estudios dendrocronológicos en México han tenido un resurgimiento reciente, debido a la importancia científica que reviste el conocimiento del cambio climático global, impacto de patrones de circulación atmosférica y su efecto en el ciclo hidrológico y en la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos tanto para fines productivos como de uso doméstico. El entendimiento del clima, sin embargo, no debe fundamentarse tan sólo en registros instrumentales, los cuales tienen la limitante de su corta extensión, calidad dudosa y poca representatividad en tiempo y espacio. El conocimiento histórico de la variabilidad hidroclimática se logra mediante el uso de "proxys" climáticos (fuentes indirectas), uno de ellos son los anillos de árboles, que por su disponibilidad y factibilidad de fechar su crecimiento al año exacto de su formación, representan una de las fuentes más importantes para determinar la variabilidad interanual y multianual del clima en el período Holoceno (últimos 10,000 años).

A pesar de que en un principio se consideró a *Taxodium mucronatum* Ten. para la realización de estudios paleoclimáticos, años más tarde se demostró el potencial dendrocronológico de una especie muy emparentada (*Taxodium distichum* (L.) Rich), que prospera en el sureste de los Estados Unidos de América, especie con la cual se han desarrollado reconstrucciones milenarias

de precipitación y flujos de agua (Stahle y Cleaveland, 1992). Posterior a dicho descubrimiento, en la última década, mediante proyectos en colaboración con el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas y a través del apoyo financiero de instituciones nacionales (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) e internacionales (Instituto Interamericano para el Cambio Climático Global), se han generado cronologías centenarias de *T. mucronatum* y se trabaja intensamente en la descripción de series de tiempo que superen el milenio con especímenes de ahuehuete distribuidos en el centro de México.

El género *Taxodium* (proviene de las raíces griegas *Taxus* = Tejo y *eidos* = parecido o semejante; es decir que se asemeja al árbol de Tejo, especie de la que se extrae el "taxol", ingrediente activo con propiedades anticancerígenas. Generalmente se clasifica como una especie con dos variedades, todas nativas de Norteamérica, aunque diversos taxónomos la separan en tres: *Taxodium distichium* (baldcypress o ciprés del sur), *Taxodium ascendens* Brongn. (ciprés de los pantanos), distribuido en las costas del sureste desde Virginia hasta Florida y Luisiana, Estados Unidos de América y *Taxodium mucronatum* (ahuehuete o sabino) que crece desde el extremo sur de Texas, en gran parte de México y hasta el extremo occidental de Guatemala (Mattoon, 1915; Martínez, 1963; Little, 1971; Brown y Montz, 1986).

En México, *T. mucronatum* se localiza desde los 250 msnm en algunos sitios del estado de Nuevo León, mientras que supera los 2,500 m en el Estado de México, en la Sierra Gorda de Querétaro se desarrolla a una altitud de 2,800 m, y en Guanajuato su intervalo se ha definido de los 300 a los 2,500 m (Terrones *et al.*, 2004), es decir, se adapta a muy diversas condiciones ambientales, siempre y cuando exista humedad disponible en el suelo, a pesar de su tolerancia a períodos secos (Carranza, 1992; Villanueva *et al.*, 2003a).

La palabra ahuehuete procede del Náhuatl "*atl*" que significa agua y "*huehuetl*" viejo o abuelo, por lo que su acepción es "viejo del agua" y se considera el árbol nacional (Luque, 1921). Se distribuye en todo el territorio mexicano, siempre y cuando exista una fuente permanente o semi-permanente de agua o, en su defecto un manto freático muy superficial, de ahí que esta especie se localice en riberas de ríos, manantiales y en humedales de casi toda la República Mexicana (Martínez, 1963).

Los árboles de *T. mucronatum* han estado ligados a la historia de México y se relacionan con hechos importantes como es el caso concreto del "Árbol de la Noche Triste", donde según las crónicas de la época, Hernán Cortés "El Conquistador", se sentó a llorar después de que su ejército había sido derrotado por los Mexicanos; este majestuoso ejemplar alcanzó un diámetro de 4.84 m y una edad de 550 a 600 años (Martínez, 1999); en la actualidad, está muerto en pie.

Otros sabinos notables son "El Árbol del Tule" en Oaxaca, reconocido por su corpulencia y longevidad (14.4 m de diámetro, 40 m de altura y aproximadamente 2000 años de edad) que da vida económica y es un icono de identidad de todo un pueblo.

De igual manera, destacan los del "Bosque de Chapultepec", plantados por reyes Mexicas, que son un símbolo de nacionalidad; no de menor importancia son los ahuehuetes del Parque Nacional "El Contador", ubicados cerca de la ciudad de Texcoco, en el Estado de México, sitio en el que durante el reinado de Netzahualcōyotl se plantaron más de 2000 ejemplares de ahuehuete, pero a consecuencia del abatimiento del manto freático y problemas de contaminación, la población original de árboles ha declinado de manera considerable (Martínez, 1999).

Un ahuehuete famoso es el "Árbol Sagrado", relacionado con actividades religiosas, ubicado en el km 40 en la carretera Santiago Tianguistengo-Chalma en el municipio de Ocuilán de Arteaga, Estado de México (Vargas, 1997); un afamado representante del taxón es el localizado en Valle de Bravo, también en el Estado de México, con 25 m de altura y un diámetro de 3.90 m, una edad estimada de 650 a 700 años y que ha estado íntimamente ligado al desarrollo cultural de ese pueblo (Rivas y Moreno, 2005). Otros individuos renombrados se ubican en Cerralvo, Nuevo León y Muzquiz, Coahuila (Vargas, 1997).

Los estudios para determinar la edad en individuos de *T. mucronatum* y en general de las poblaciones naturales de estos árboles en la República Mexicana son muy escasos. Así por ejemplo, en la localidad "Los Peroles", San Luis Potosí, se detectaron especímenes con más del milenio de vida (Villanueva *et al.*, 2003a, 2006) (Figura 1). Los ahuehuetes vivos del "Bosque de Chapultepec" tienen una edad estimada que supera los 800 años (Villanueva *et al.*, 2003b), y algunos ya muertos como "El Sargento" se sabe que alcanzó una edad de 700 años. Individuos muy antiguos se han localizado en los bosques de galería de Barranca de Amealco, Qro. (Enríquez, 2005) y en márgenes del río Nazas, Dgo., donde se han identificado ejemplares longevos que superan los mil años (Villanueva *et al.*, 2005b). Las edades del ahuehuete en otros sitios con ese tipo de vegetación oscilan de 37 a 497 años en lugares del estado de Nuevo León y hasta más de 1000 años en Querétaro, San Luis Potosí y Durango (Villanueva *et al.*, 2005b, 2006).

Uno de los problemas frecuentes para determinar la edad de esta especie es su tendencia a presentar pudriciones y ahuecamientos en la parte central del tronco y ramas principales, que son favorecidos por acciones antropogénicas (incendios provocados, cortadura de ramas, heridas en tronco y ramas, contaminación de ríos por desechos urbanos e industriales, etc.) y en algunos casos por el golpeteo directo de rocas (durante avenidas fuertes) en los fustes de especímenes ubicados justo en los cauces de corrientes permanentes

o semi-permanentes. Estos daños limitan la extracción de secciones radiales de crecimiento (núcleos o virutas) hasta el centro del árbol, por lo tanto, reducen la probabilidad de obtener una aproximación más real de la edad del arbolado (Villanueva *et al.*, 2005a). No obstante lo anterior, dada la amplia distribución del sabino en México, es probable la existencia de individuos milenarios en otros bosques de galería del país, en particular en localidades aisladas, con escasa influencia humana y en las que el disturbio antropogénico es menor.

Estudios de estructura poblacional y ubicación de árboles añejos son de fundamental importancia tanto para analizar el potencial dendrocronológico de los individuos que lo integran, como para determinar la dinámica del taxón, tasas de crecimiento y la biodiversidad; información relevante que puede ser utilizada por los tomadores de decisiones para la conservación y restauración de algunos ecosistemas de galería con prioridad local, regional o nacional. Uno de estos sitios que amerita acciones urgentes es el paraje Los Peroles, en el ejido San Francisco del municipio de Rioverde, S.L.P., lugar que posee los ahuehuetes más antiguos detectados en México, además de ser un área de descanso de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.) en su ruta de migración hacia el sur del país; así mismo, la presencia de manantiales profundos y de especies endémicas, enriquece su atractivo ecoturístico. El uso actual del suelo de Los Peroles es básicamente con fines de pastoreo caprino, equino y vacuno, lo que hace peligrar los árboles de *T. mucronatum*, que con frecuencia son afectados por incendios provocados, con el fin de favorecer el rebrote del pasto aguja (*Spartina spartinae* Trin. & Merr.) que proporciona forraje para el ganado.

La pérdida de individuos milenarios en éste y otros ecosistemas de México también lleva consigo la eliminación de un cúmulo de información paleoclimática depositada a través de los siglos en los anillos de crecimiento, lo que significa la destrucción de un "pool" genético y de su interrelación con los factores bióticos y abióticos con los cuales dichos individuos han logrado estabilidad ecológica. Actividades de exclusión de esas áreas o la protección directa de los organismos de mayor edad pueden contribuir directamente a su preservación.

El ahuehuate es la especie más longeva en México con alto potencial para estudios paleoclimáticos; de ahí que el objetivo del presente trabajo sea dar a conocer las series dendrocronológicas desarrolladas hasta el momento con ella, analizar su aplicación y reconstruir la precipitación estacional que permita interpretar la variabilidad interanual (alta frecuencia) y multianual (baja frecuencia) del comportamiento histórico del clima, los patrones de circulación atmosférica que lo afectan y sus posibles tendencias. Información muy valiosa en la planificación del uso de los recursos hídricos, ya que se consideran diversos escenarios climáticos, así como para el manejo y conservación de la biodiversidad de los bosques de galería con fines ecoturísticos, recreación y estabilidad del ecosistema mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento para la estimación de edades

El método consistió en la extracción de núcleos de crecimiento con un taladro de Pressler y la aplicación de técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968; Fritts, 1976). El cálculo de la edad de un espécimen se realizó con base en la cantidad de anillos presentes en la sección, viruta extraída con el taladro además de la adición de un determinado número de años en aquellas secciones que no incluyeron el centro del árbol (Applequist, 1958).

Para estimar el total de anillos faltantes se determinó su existencia en los primeros 10 cm de la parte interna de la muestra (opuesta a la corteza). Con este dato y el radio de cada ejemplar arbóreo se hizo una extrapolación para calcular los años contenidos en la sección faltante; así mismo, se adicionó cierto número de años (previamente estimados en brinzales o plantas jóvenes con menos de 1.50 m de altura), que corresponde al tiempo promedio que transcurre para que los sabinos alcancen el tamaño de muestreo, el cual se ejecutó a la altura del pecho (1.3 a 1.5 m).

La edad estimada total del árbol se expresa con la siguiente ecuación:

$$E_{ta} = \sum(N_i + N_f + N_a)$$

Donde:

E_{ta} = Edad total del árbol (años)

N_i = Número total de anillos en la sección de crecimiento o viruta obtenida con el taladro de Pressler

N_f = Número de anillos en la sección faltante (extrapolación y método Applequist)

N_a = Número de años que requiere el árbol para alcanzar la altura de muestreo (sección del fuste donde se obtuvo la viruta)

El valor calculado puede fluctuar de cinco a más años, en función de las condiciones del sitio en el que crece la planta y de la competencia intra o interespecifica (Villanueva *et al.*, 2003a)

Red de cronologías de *Taxodium mucronatum* en México

La generación de series de tiempo dendrocronológicas en ahuehuete tiene la limitante de ser un procedimiento difícil, ya que la especie sólo en raras

ocasiones llega a constituir un fuste regular y uniforme, por ello el crecimiento radial no es igual en una orientación y en otra, debido a la presencia de lóbulos con crecimientos irregulares, la fusión con sus propias ramas principales o con árboles adyacentes. Esto complica su fechado, al observarse patrones diferentes de crecimiento aún en un mismo individuo, además de la presencia de anillos falsos o perdidos.

Para conseguir un núcleo de crecimiento útil, por lo general se tiene que ascender el tronco, hasta donde inicie un fuste regular o cilíndrico y de ahí extraer varias muestras en diversas orientaciones con un taladro de Pressler, instrumento que deberá contar con una dimensión tal que garantice la obtención de una sección con la mayor cantidad de anillos posibles y de preferencia que contenga el centro del árbol. El tamaño de los taladros que se utilizan con mayor frecuencia para trabajar con ahuehuete varía de 18 a 28" (46 a 71 cm) de longitud.

El proceso de generación de series de tiempo dendrocronológicas de *T. mucronatum* implicó el fechado exacto de las capas de crecimiento al año de su formación (Stokes y Smiley, 1968). Posteriormente mediante programas dendrocronológicos específicos, se verificó dicho proceso y se generaron índices normalizados mediante estandarización (Fritts, 1976; Holmes, 1983; Cook, 1987).

Para definir una función de respuesta, las series de tiempo se compararon con datos meteorológicos instrumentales, en particular precipitación y temperatura (Fritts, 1965). Las cronologías estuvieron asociadas significativamente con la lluvia acumulada estacional pero no con la temperatura, por lo que se corrieron pruebas estadísticas de calibración y verificación entre ambas variables y por último se realizó una reconstrucción de precipitación en la longitud total de la cronología. A las series de precipitación estimada se les ajustó una curva decenal flexible para resaltar eventos de baja frecuencia, en especial periodos secos y húmedos (Cook y Peters, 1981).

Respuesta climática de las cronologías de *Taxodium mucronatum*

Los métodos de ordenación, entre ellos el de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés), permite agrupar cronologías de *T. mucronatum* o de alguna otra especie con un comportamiento similar. El primer componente o "eigenvalue", explica la mayor varianza posible y agrupa aquellas series de tiempo que muestran una respuesta común a variables meteorológicas (Therrel *et al.*, 2002). El segundo componente integra otro conjunto de cronologías con una alta varianza, pero con una respuesta diferente a la del primer componente; la explicada por el resto de los componentes, generalmente decrece.

En este estudio, el PCA se utilizó para definir aquellas cronologías de *T.*

mucronatum con una respuesta común, así como las posibles causas de dicho comportamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la ecuación $Eta = \sum(Ni + Nf + Na)$ se determinaron las edades de ahuehetes adultos en algunos bosques de galería de México, donde la especie de interés se desarrolló de forma aislada o asociada con otras de hábitat ribereño (Figura 1 y Cuadro 1).

La primera cronología de ahuehete en México que comprende un período de 522 años (1474 – 1995) fue desarrollada por investigadores del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas en 1999, con especímenes ubicados en el río Sabinas, Tamps. (Stahle *et al.*, 2000); además, se han generado otras con extensiones de 422 años (1574 – 1996) y 250 años (1750 – 1999) con individuos localizados en los márgenes del Río Verde en S. L. P.; El Vado, Oax. y Bosque de Chapultepec D. F. (Villanueva *et al.*, 2003b). En los últimos dos años, el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP produjo algunas más para la especie en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Durango, Jalisco, Nuevo León, San Luis Potosí, Querétaro y Zacatecas (Cuadro 2, Figura 2). Las características de esas cronologías se muestran en el Cuadro 3.

Asociación entre las cronologías de *Taxodium mucronatum*

Al comparar las tendencias anuales de crecimiento de las cronologías del ahuehete para un período común (1887 – 1995) resultaron tener correlaciones bajas, aunque se detectó que algunas de ellas fueron significativas, como es el caso específico de las del Nazas (NAZ) con Barrial de Guadalupe (BDG) en la Comarca Lagunera ($r = 0.414$, $p < 0.05$), Nazas con Barranca de Amealco, Qro. (BAM), Rioverde, S. L. P. (VER) y Cerralvo, N. L. (CER), todas ellas con valores de r superiores a 0.25 ($p < 0.05$) (Cuadro 4).

La correlación más alta observada ($r = 0.414$) entre dos cronologías (NAZ vs. BDG) se debe, probablemente, a la influencia de condiciones climáticas comunes, en el crecimiento, ya que ambas se ubican en la región hidrológica 36 de la cuenca Nazas-Aguanaval; sin embargo, dentro de un mismo estado, series de tiempo cercanas, como las desarrolladas para Nuevo León, no fueron significativas ($p > 0.05$), lo que implica la presencia de condiciones heterogéneas del clima en dicha entidad, o bien las acciones antropogénicas que han afectado de forma importante el crecimiento del arbolado y, en consecuencia, enmascaran la respuesta climática, que se esperaría fuera similar para sitios con ahuehetes muy próximos (Cuadro 4).

El análisis de Componentes Principales indicó que los componentes 1, 2 y 3 explican 20.8, 15.8 y 10.4% de la varianza, respectivamente. Para el primer componente las



Figura 1. Ejemplar milenario de ahuehuete de más de 1300 años de edad, localizado en el sitio "Los Peroles", Ejido San Francisco, Rioverde, San Luis Potosí. El árbol fue bautizado como "Maximino Martínez" en honor del gran botánico mexicano del mismo nombre.

Cuadro 1. Edad estimada de árboles de ahuehuete en diversos sitios muestreados del centro y norte de México

Nombre de sitio	Localización Geográfica (Latitud, Longitud)	Altitud (m)	Intervalo de diámetro (cm)	Intervalo de Edad (años)
Salto de los Salado, Ags.	21° 45' 08" N, 102° 22' 00" W	1690	80.0 – 300.0	100 – 380
Cerralvo, N. L.	26° 05' 00" N, 99° 37' 19" W	1280	58.7 - 360.0	37 – 497
Río Nazas, Dgo.	25° 27' 13" N, 103° 43' 39" W	1100	6.0 – 250.0	14 – 1350
Río Mezquital, Dgo.	23° 32' 51" N, 104° 22' 13" W	1620	45.0 - 145.0	40 – 210
Raíces, Ajllende, N. L.	25° 15' 21" N, 100° 00' 59" W	530	27.5 a 200.0	59 – 310
Río San Juan, Santiago, N. L.	25° 27' 00" N, 100° 05' 26" W	1240	78.0 a 174.5	71 – 207
Puente Cabezones Linares N. L.	24° 59' 24" N, 99° 45' 10" W	570	60.0 – 150.0	100 – 150
Márgenes Río Nazas, Dgo.	25° 27' 13" N, 103° 43' 39" W	1100	5.6 – 245.7	14 – 1350
Márgenes Río Mezquital, Dgo.	23° 32' 51" N, 104° 22' 13" W	1620	45.0 – 145.0	40 – 210
Atotonilco, Jal.	20° 34' 11" N, 102° 27' 17" W	1650	35.0 – 140.0	85 – 186
Panales, Tolimán, Qro.	20° 52' 43.5" N, 99° 59' 19.2" W	1672	71.1 – 200.0	154 – 217
Moctezuma, Qro.	20° 52' 43.5" N, 99° 59' 19.2" W	1672	72.0 – 165.0	154 – 196
Barranca de Amealco, Qro.	20° 20' 25" N, 100° 07' 21.5" W	1950	70.0 – 210.0	250 - 1125
Los Peroles, Río Verde, S. L. P.	22° 11' 8" N, 99° 53' 56" W	950	69.8 – 210.0	166 – 1550
Bosque de Chapultepec, México, D. F.	19° 24' 00" N, 99° 11' 00" W	2309	45.7 – 227.0	80 – 830
El Vado, Oax.	16° 36' 04" N, 96° 54' 00" W	1493	60.0 – 230.0	100 – 575
Jalpa, Zac.	21° 40' 46" N, 102° 55' 25" W	1430	40.0 – 190.0	60 - 250

Cuadro 2. Cronologías de *Taxodium mucronatum* desarrolladas para la República Mexicana por los Laboratorios de Dendrocronología del INIFAP y la Universidad de Arkansas.

Entidad federativa	Nombre del Sitio	Clave	Coordenadas (Latitud N, Longitud W)	Altitud (m)	Longitud de Cronología	Tipo de Cronología ¹
Aguascalientes	Salto de los Salado	SAS	21.752, -102.367	1690	1622 – 2004	RW
Coahuila	Río Sabinas	RSA	27.757, -101.020	911	1684 – 2004	RW
	Barrial de Guadalupe	BDG	25.990, -103.241	1295	1834 – 2000	RW
	San Juan del Sabino	SJS	27.918, -101.289	387	En proceso	RW
Durango	Nazas	NAZ	25.453, -103.727	1100	1420 - 2004	RW
	Mezquital	MEZ	23.547, -104.37	1620	En proceso	RW
Jalisco	Atotonilco	ATO	20.569, -102.454	1650	1826 - 2006	RW
Distrito Federal	Chapultepec	CHA	19.417, -99.263	2309	1891 - 1998	RW

Continúa cuadro 2

Nuevo León	Cerralvo	CER	26.083, -99.620	1280	1741 - 2003	RW
	Rio San Juan	RSJ	25.450, -100.088	1240	1887 - 2003	RW
Oaxaca	El Vado ²	VAD	16.607, -96.900	1493	1750 - 1999	RW
Querétaro	Barranca de Amealco ²	BAM	20.338, -100.120	1950	825 - 2004	RW
San Luis Potosí	Río Verde	VER	21.684, -99.781	820	1574- 1996	RW
	Peroles ²	PER	22.188, -99.898	960	465 - 2004	RW
Tamaulipas	Río Sabinas	SAB	23.148, -99.150	317	1474 - 1995	RW
Zacatecas	Jaipa	JAL	21.680, -102.920	1430	En proceso	RW

¹RW0 = Ancho de Anillo Total; ²Cronologías en proceso de actualización

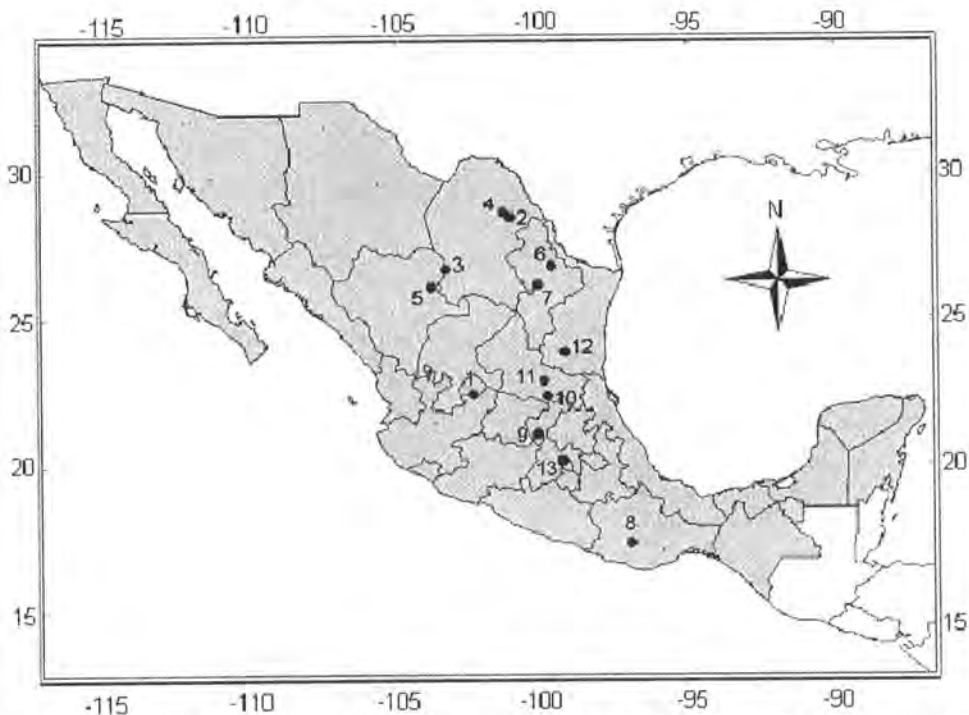


Figura 2. Distribución geográfica actualizada de las cronologías de ahuehuetle generadas en México por los laboratorios de dendrocronología del INIFAP y de Arkansas

cronologías que aportan un mayor peso son Nazas, Dgo. (NAZ), Rioverde, S.L.P. (VER), Sabinas, Tamps. (SAB) y El Vado, Oax. (VAD); para el segundo son Barrial de Guadalupe, Dgo. (BDG), Salto de los Salado, Agsc. (SAS), Río Sabinas, Coah. (RSA) y Río Nazas, Dgo. (NAZ). La agrupación observada no indica una respuesta climática regional, ya que en un mismo componente están presentes cronologías ubicadas al norte y al sur del Trópico de Cáncer (Figura 3).

Al ajustar una curva decenal flexible a las cronologías generadas, que en algunas de ellas se extiende para los últimos 500 años, se advierten frecuencias comunes, especialmente en períodos secos (Figura 4); lo anterior sugiere la influencia de eventos extremos en el crecimiento de *T. mucronatum*, que abarcaron amplias áreas del país y que pueden estar relacionados con patrones de circulación atmosférica global, como es el evento del Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), fenómeno que afecta de manera particular el norte de México en el período invernal (Stahle *et al.*, 1998; Magaña *et al.*, 1999),

Cuadro 3. Características de las cronologías que se muestran en la Figura 2.

No.	Estado	Nombre del Sitio	Clave	Elevación (m)	Longitud de Cronología	Tipo de Cronología
1	Aguascalientes	Salto de los Salados	SAS	1,690	1622-2004	RW
2	Coahuila	Río-Sabinas	RSA	911	1684-2004	RW
3	Coahuila	Barrial de Guadalupe	BDG	1,295	1834-2000	RW
4	Coahuila	San Juan del Sabino	SJS	387	En proceso	RW
5	Durango	Nazas	NAZ	1,100	1500-2004	RW
6	Nuevo León	Cerralvo	CER	1,280	1741-2003	RW
7	Nuevo León	Río San Juan	RSJ	1,240	1887-2003	RW
8	Oaxaca	El Vado	VAD	1,493	1750-1999	RW
9	Querétaro	Barranca de Amealco	BAM	1,950	825-2004	RW
10	San Luis Potosí	Río Verde	VER	820	1574-1996	RW
11	San Luis Potosí	Peroles	PER	960	467-2004	RW
12	Tamaulipas	Río Sabinas	SAB	317	1474-1995	RW
13	México, D.F.	Chapultepec	CHA	2,309	1891-1998	RW

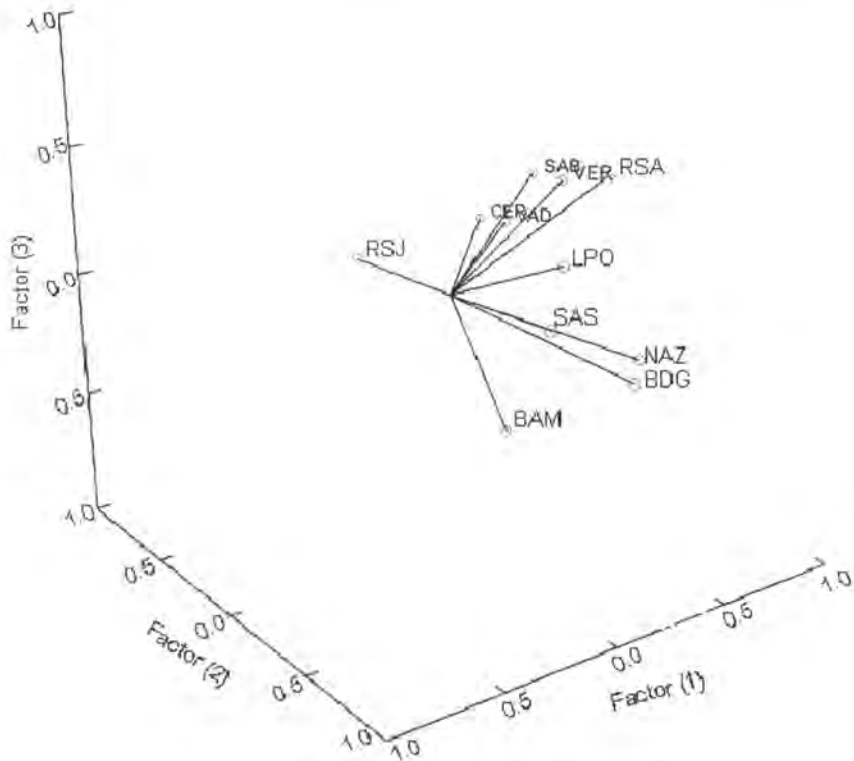


Figura 3. El componente 1 explica 20.8% de la varianza total e integra a las cronologías Nazas (NAZ), Rioverde (VER), Sabinas (SAB) y El Vado (VAD).

y que tiene importantes repercusiones en la producción de madera, forraje y de recarga de mantos acuíferos de los bosques templados de las Sierras Madre Occidental y Oriental.

Influencia del clima en el crecimiento de *Taxodium mucronatum*

El impacto de las condiciones climáticas en el crecimiento del ahuehuete para un período específico del año, no se ha definido con certeza como ocurre con poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco en el norte y centro de México, que responden a la precipitación estacional invierno – primavera, lo que implica que gran parte de su desarrollo anual está influido por las condiciones predominantes en los meses de noviembre del año previo a junio del año vigente de desarrollo (Stahle *et al.*, 2000; Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2005a).

Cuadro 4. Correlaciones entre cronologías estándar de anillo total (RW) de *T. mucronatum* para el periodo común comparado de 1887 a 1998 (112 años).

Clave	BAM	PER	NAZ	SAB	VER	SAS	RSA	CER	VAD	BDG	RSJ
BAM	1.000	0.061	0.256	0.102	0.022	-0.06	-0.10	0.226	0.227	-0.06	-0.07
PER	0.061	1.000	0.177	0.109	0.206	-0.04	0.098	-0.01	0.123	0.194	-0.08
NAZ	0.256	0.177	1.000	0.172	0.245	0.039	0.264	0.119	0.188	0.414	-0.09
SAB	0.102	0.109	0.172	1.000	0.287	-0.01	0.142	0.353	0.312	0.008	0.020
VER	0.022	0.206	0.245	0.287	1.000	-0.10	0.160	0.250	0.247	0.170	0.062
SAS	-0.06	-0.04	0.039	-0.01	-0.10	1.000	0.241	-0.12	-0.09	0.229	-0.14
RSA	-0.11	0.098	0.264	0.142	0.160	0.241	1.000	0.034	0.043	0.152	-0.14
CER	0.226	-0.01	0.119	0.353	0.250	-0.12	0.034	1.000	0.214	-0.01	0.183
VAD	0.227	0.123	0.188	0.312	0.247	-0.09	0.043	0.214	1.000	-0.14	-0.08
BDG	-0.06	0.194	0.414	0.008	0.170	0.229	0.152	-0.01	-0.14	1.000	-0.15
RSJ	-0.08	-0.09	-0.09	0.020	0.062	-0.14	-0.14	0.183	-0.08	-0.15	1.000

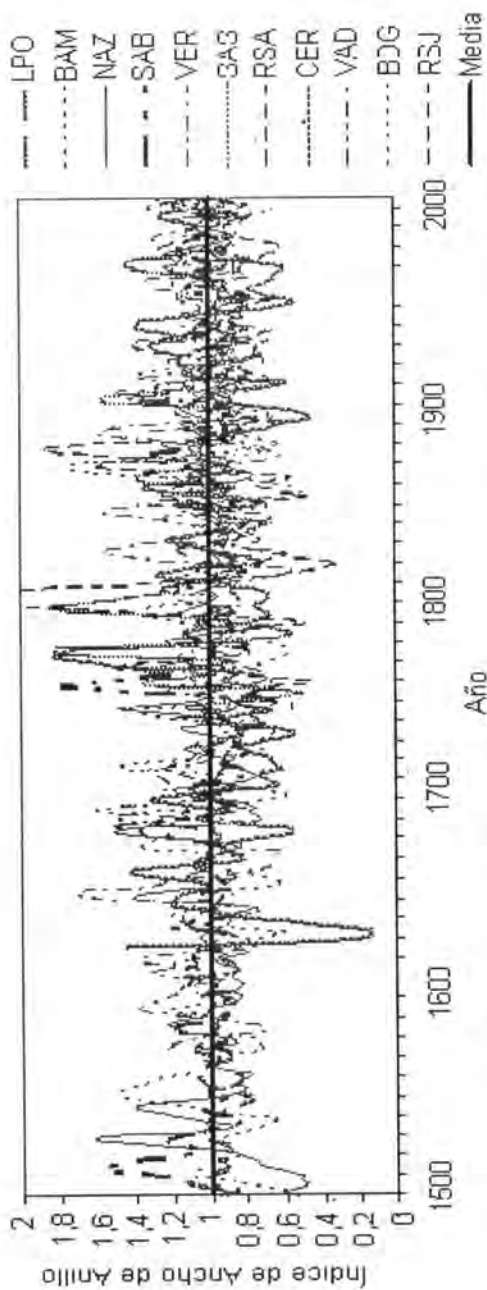


Figura 4. Comparación gráfica del comportamiento de las cronologías. Las curvas decenales flexibles de cada una de las cronologías indican alta variación y enfatizan tendencias comunes para ciertos períodos.

En el noreste de México, la cronología de *T. mucronatum* procedente del Río Sabinas, Tamps. tiene una función de respuesta significativa ($p < 0.05$) a las condiciones meteorológicas prevaecientes en los meses de diciembre del año anterior a enero, marzo y abril del año actual de crecimiento, y de manera estacional a la temporada de lluvias noviembre – mayo (Figura 5).

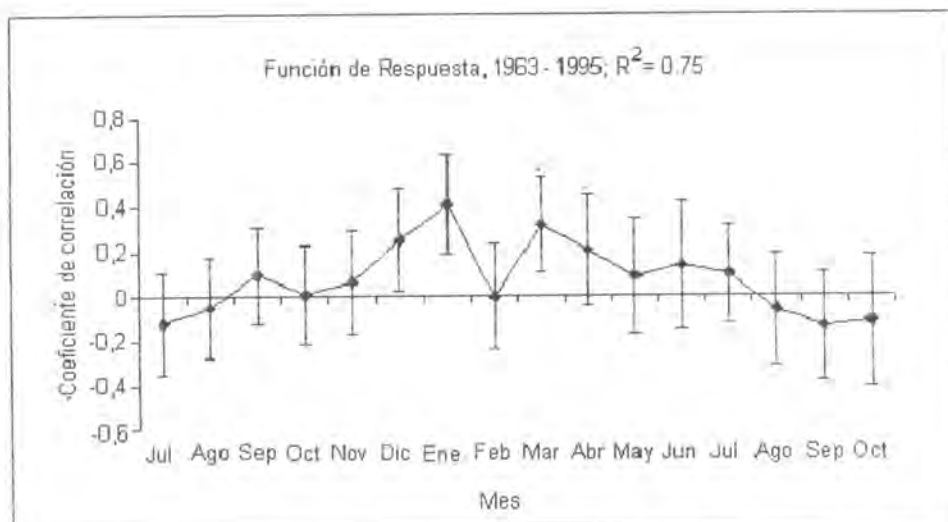


Figura 5. La cronología responde significativamente a las condiciones climáticas dominantes de los meses de diciembre, enero, marzo y abril y de manera combinada al periodo noviembre-mayo.

Alternativamente, en Barranca de Amealco, Qro. y Los Peroles, S. L. P. se observa un impacto en su incremento radial producto de la precipitación acumulada de junio–septiembre; mientras que poblaciones de ahuehuate en el Río Nazas, Dgo. reaccionan a la lluvia acumulada estacional y al flujo de agua que circula en su caudal de agosto del año previo a febrero del año actual de crecimiento. La cronología de ahuehuate procedente del sitio Salto de los Salado, Ags. respondió mejor a la precipitación acumulada del periodo enero–mayo (1947–1998), aunque la correlación obtenida resultó significativa, pero baja ($r = 0.53$; $p < 0.05$).

Reconstrucciones paleoclimáticas

En la actualidad se han elaborado sólo algunas reconstrucciones de precipitación a partir de cronologías de *T. mucronatum*. Una de ellas corresponde a la lluvia estacional para la región centro-sur de Tamaulipas, en la que se usaron los datos instrumentales de cinco estaciones meteorológicas distribuidas en dicha región (Figura 6).

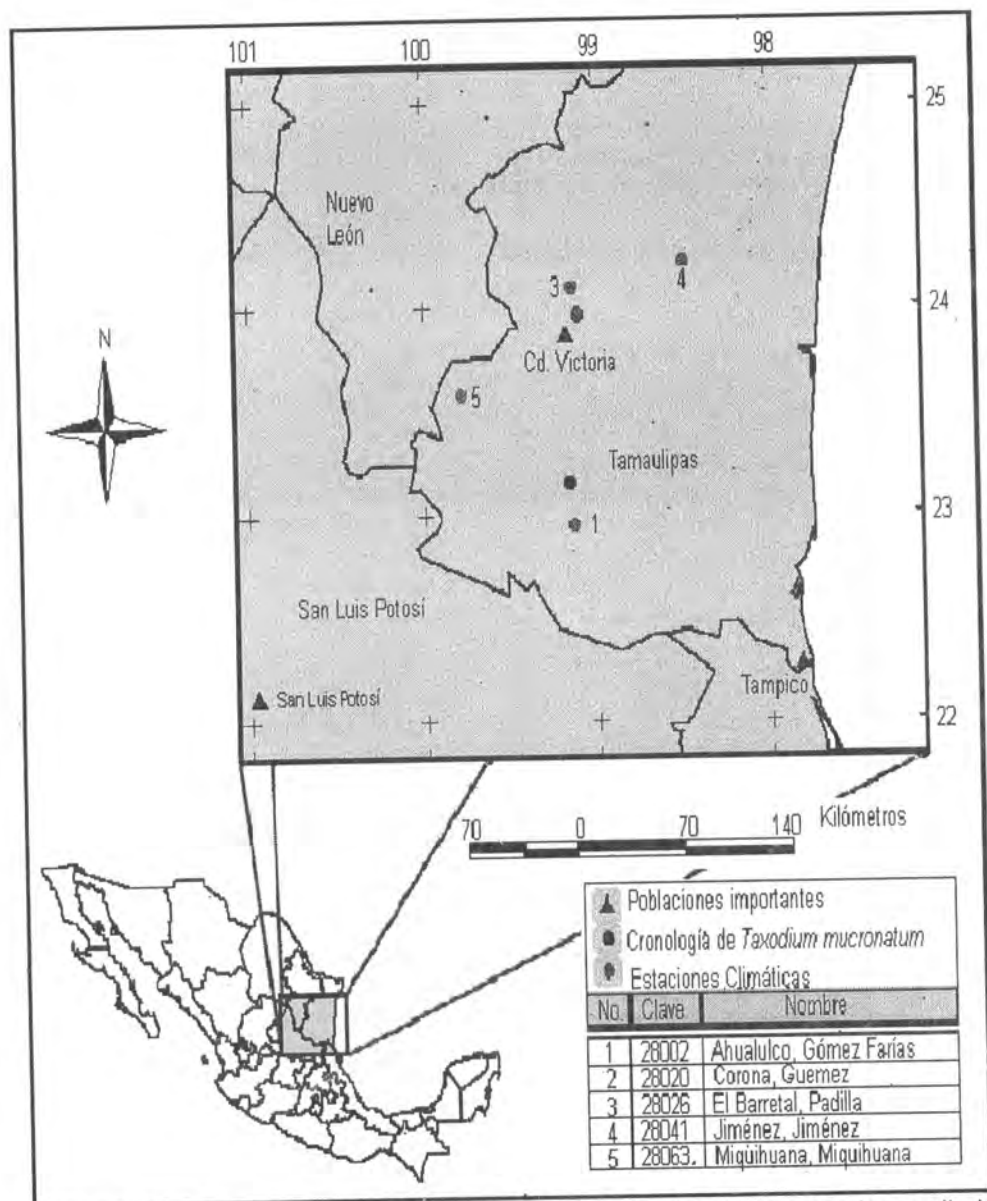


Figura 6. Localización geográfica de la cronología de ahuehuate desarrollada para el Río Sabinas, Tamaulipas (SAB) y las estaciones climáticas, utilizadas para generar datos de precipitación regional con fines de reconstrucción de precipitación.

Al comparar la información así registrada de la lluvia estacional del período noviembre – mayo con los valores reconstruidos, se percibe que el incremento radial anual de los árboles en este sitio explica más del 50% de la variabilidad de precipitación estacional observada para el centro-sur de la entidad (Figura 7), por lo que los crecimientos anuales del ahuehuete fueron estadísticamente confiables para desarrollar una reconstrucción de lluvia de los últimos 517 años (1478–1995) (Figura 8). Su elaboración permitió detectar la presencia de eventos secos de gran magnitud que afectaron la región; caso específico son los de los períodos 1485–1492, 1500–1503, 1535–1540, 1555–1565, 1601–1607, 1622–1632, 1638–1649, 1653–1676, 1693–1701, 1710–1751, 1775–1784, 1794–1802, 1811–1824, 1835–1846, 1854–1866, 1881–1899, 1914–1931, 1937–1953 y 1975–1980.

El escaso soporte de escritos históricos antes del siglo XIX impide verificar algunas de las sequías que afectaron esta zona de Tamaulipas, ya que la mayor cantidad de información existe, principalmente, para el Valle de México. No obstante, son de notar los lapsos con poca lluvia que coinciden con algunas reconstrucciones de precipitación para el noreste y otras zonas del norte de México, en particular eventos ocurridos en las décadas de 1670, 1690, 1710 a 1740, 1790, 1860, 1890, 1950 y 1980 (Cleaveland *et al.*, 2003; Pohl *et al.*, 2003; Cerano, 2004; González-Elizondo *et al.*, 2005; Villanueva *et al.*, 2005a).

En el transcurso del siglo XIX se documentó la presencia de diversas temporadas carentes de agua pluvial en Tamaulipas, la mayoría de las cuales están representadas en la reconstrucción del río Sabinas, entre ellas las de los años secos de 1878, 1882, 1884, 1886, 1889 y 1899 (Escobar, 1997). La intensidad de las sequías fue variable y en años particulares como el "año del hambre" (1785 – 1786) que produjo una crisis generalizada de falta de disponibilidad de alimentos en el Valle de México (Florescano, 1980), también aparece en dicha reconstrucción, aunque la anualidad más seca correspondió a 1785.

El desarrollo regional de un mayor número de cronologías (algunas de ellas en proceso) con fines paleoclimáticos permitirá determinar de forma más precisa la variabilidad hidroclimática en el noreste de México, información relevante para la conservación de los ecosistemas riparios y bosques templados.

En el norte de México y en especial la Comarca Lagunera, la única reconstrucción correspondiente a la precipitación de verano existente es la realizada con una cronología de ahuehuete procedente del río Nazas, Dgo. (Figura 9). Dicho estudio es trascendental para entender la variabilidad hidroclimática histórica en la Comarca, cuyo desarrollo social y económico se fundamentan en el agua producida en la parte superior de la cuenca Nazas-Aguanaval de la Sierra Madre Occidental. La reconstrucción indica alta variabilidad en el tiempo con etapas secas en las décadas de 1500, 1550, 1590, 1640, 1690, 1760, 1860, 1950 y 1990; es decir cíclicas, casi cada 50 años. Los períodos húmedos son menos

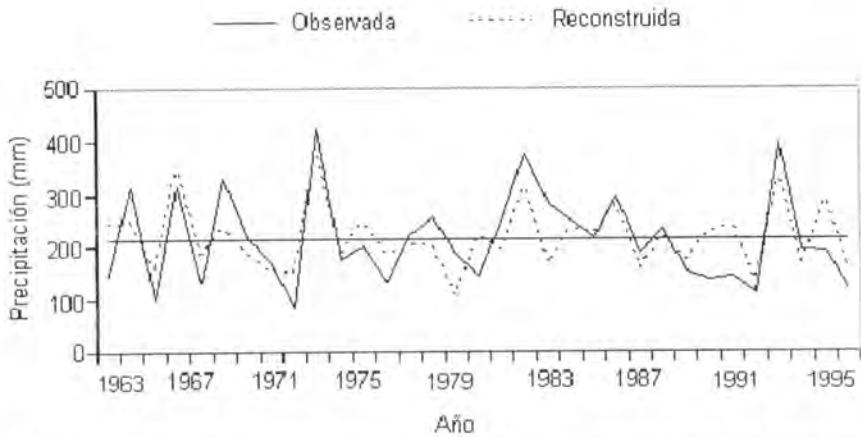


Figura 7. Los anillos de crecimiento explican 52% de la varianza en precipitación estacional observada para el período noviembre-mayo en la región centro-sur de Tamaulipas. Este valor es significativo ($p < 0.01$) e indica que la cronología es confiable para propósitos de reconstrucción de precipitación.

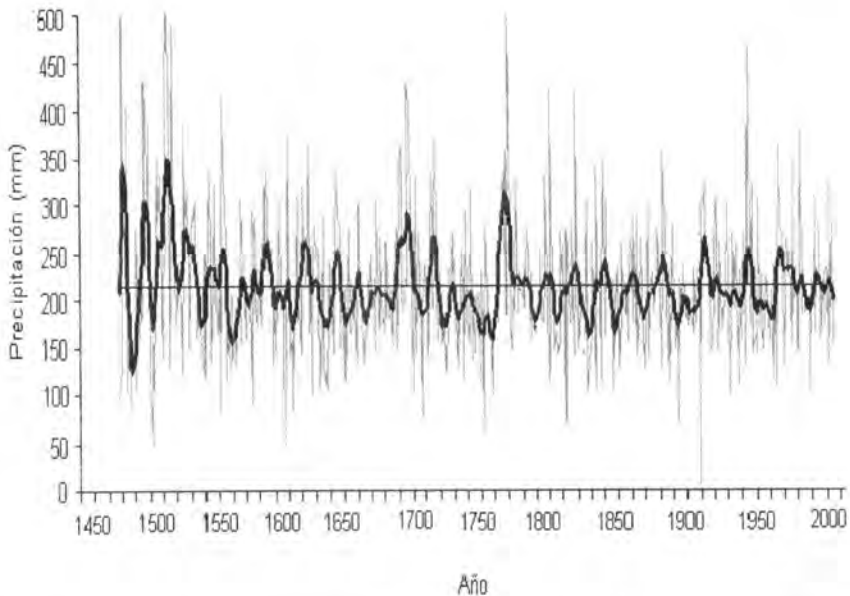


Figura 8. Reconstrucción de precipitación estacional (noviembre-mayo) para el centro-sur de Tamaulipas para el período 1478-1995 (517 años) con una cronología de ahuehuate del Río Sabinas, Tamaulipas.

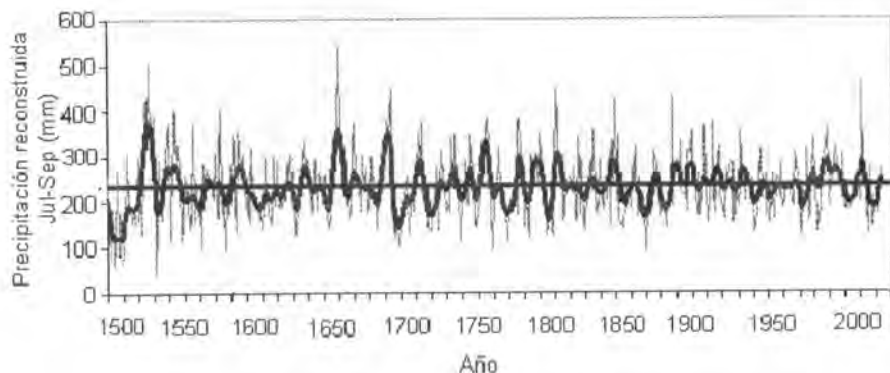


Figura 9. Reconstrucción de precipitación estacional (julio–septiembre) para la cuenca baja del Nazas, región hidrológica 36, para el período 1500 – 2003 (504 años) con una cronología de ahuehuate desarrollada en márgenes del Río Nazas, Durango.

evidentes, pero se presentaron en las décadas de 1520, 1540, 1580, 1650, 1680, 1740, 1790, 1830, 1870 y 1960. Años particularmente húmedos se registraron en 1991, 1968, 1912, 1868, 1830, 1791, 1683, 1649 y 1526, cuya presencia puede estar relacionada al efecto de El Niño y al impacto de ciclones o tormentas tropicales en esa región de México (Magaña *et al.*, 1999).

Acciones de investigación para la conservación de ecosistemas riparios con *Taxodium mucronatum*

A pesar de la importancia ecológica que reviste *T. mucronatum* al formar áreas de belleza escénica, favorecer la estabilización de cauces, construir verdaderos microclimas y fomentar la biodiversidad de los bosques de galería en México, pocos han sido los esfuerzos realizados por organismos gubernamentales y la sociedad misma, para conservar este árbol de identidad nacional (Figura 10).

Son innumerables los ejemplos en el país donde los ríos o cuerpos de agua superficial, hábitat del ahuehuate, que han sido contaminados y arruinados mediante la descarga directa de aguas residuales de origen urbano, industrial o de ambos, así como por la modificación de cauces a consecuencia de aprovechamientos agrícolas, mineros, de uso urbano, o bien la desviación de corrientes superficiales hacia sitios de almacenamiento con fines agropecuarios, acciones que han modificado el comportamiento hidrológico de los sistemas riparios y originado la desaparición de árboles añejos.

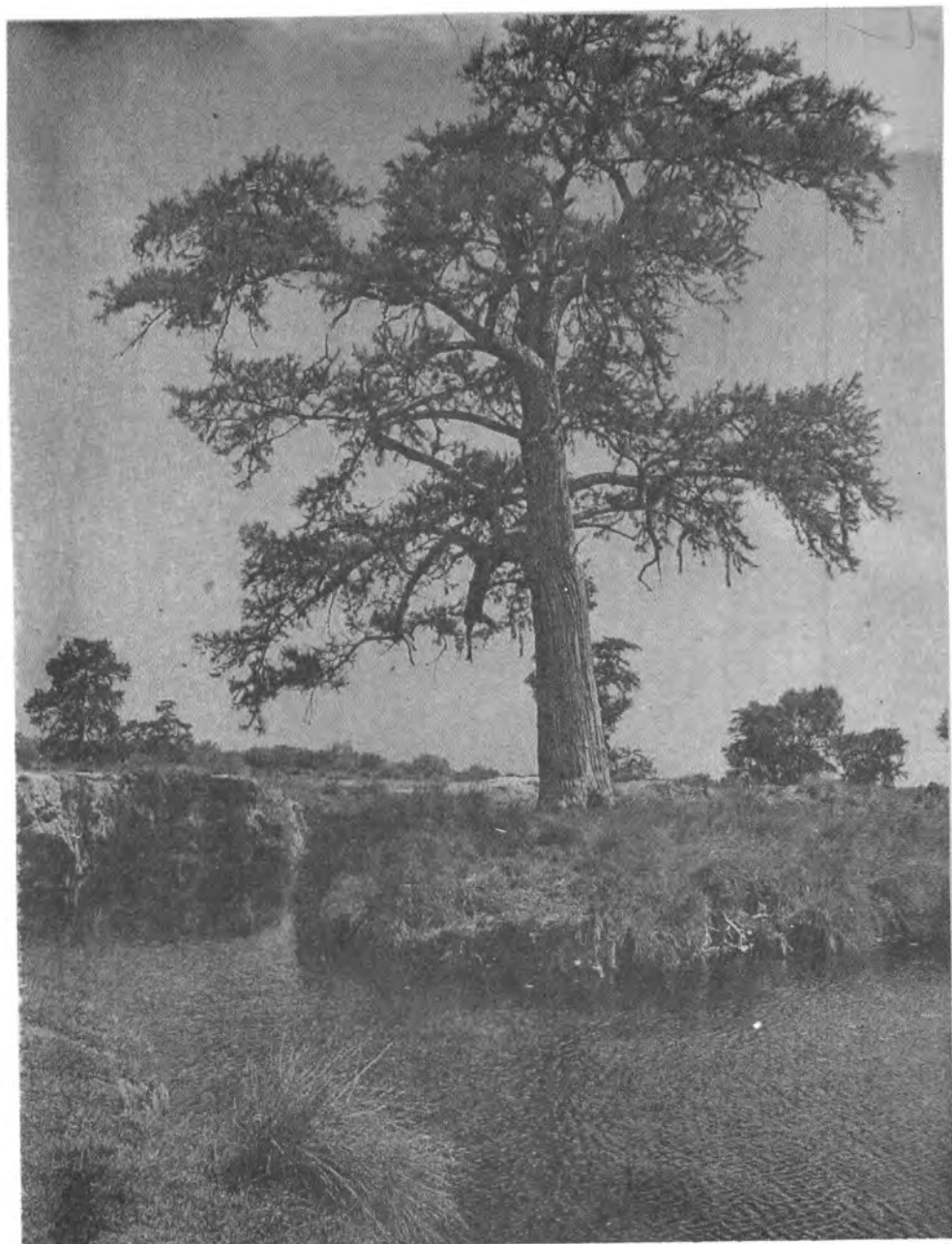


Figura 10. Ejemplar de ahuehuete centenario en el sitio Los Peroles, San Luis Potosí. El árbol se ubica a un costado de un manantial profundo, cuyas aguas se utilizan con fines de riego. El sitio también es estancia de la mariposa monarca en su peregrinar hacia el sur de México y es utilizado como zona de pastoreo y de recreo familiar.

Por otra parte, el daño directo que se ha inflingido al arbolado por el corte de ramas, heridas en troncos, lo que responde a actos vandálicos que han derivado en incendios provocados o remoción del arbolado mismo para cambios de uso del suelo, ha ocasionado un deterioro irreparable a los bosques de galería, por lo que urgen acciones que fomenten una cultura de valoración de la especie y permitan la restauración de algunos de estos ecosistemas, otrora lugares de recreación y de orgullo nacional.

Actividades mineras que han provocado la muerte masiva del ahuehuete en grandes transectos de la ribera del Río Sabinas, Coah., al generar cambios en el gradiente hidráulico de la circulación del flujo, indican que los árboles estuvieron sujetos por varios años a una limitada disponibilidad de agua antes de morir (Figura 11). Por lo tanto, es importante efectuar acciones de reforestación de sus márgenes, después de haberse estabilizado el flujo natural de agua para su regeneración. Las medidas normativas que prohíban la explotación de minas de carbón o de otro tipo de minerales en áreas aledañas a los cauces de corrientes permanentes, contribuiría a minimizar el impacto hidrológico de dichas actividades en estos ecosistemas.

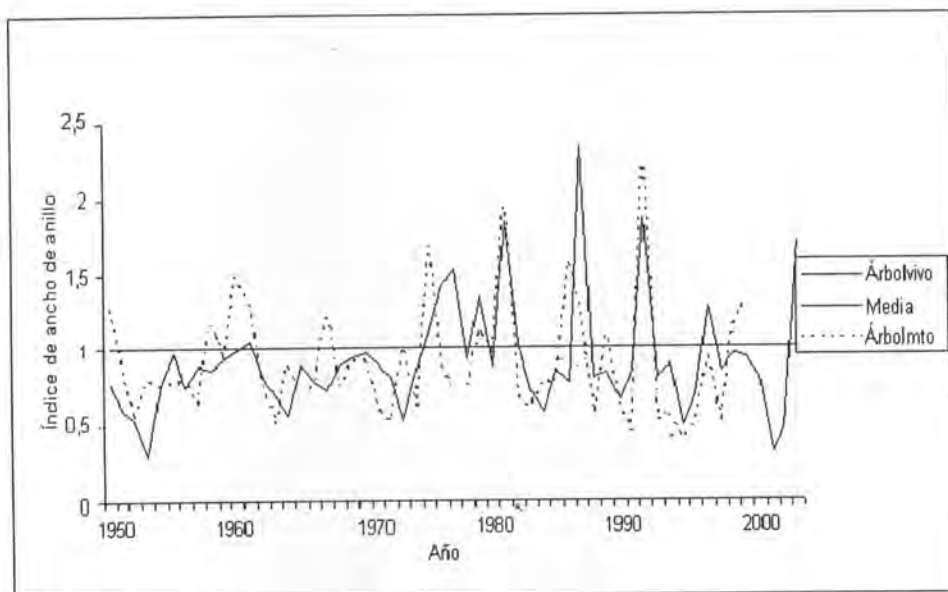


Figura 11. Índice de ancho de anillo de árboles de ahuehuete vivos (línea sólida) y muertos (línea punteada) en márgenes del Río Sabinas, Coahuila. Al comparar el comportamiento en crecimiento de árboles vivos y muertos, se observa que el crecimiento del arbolado con déficit de agua inició a ser menor en 1993, los árboles murieron en el año 2000.

La preservación de sitios con árboles milenarios de *T. mucronatum* como es el caso de la Barranca de Amealco en el estado de Querétaro y de otros en el centro y sur de México, constituye un verdadero reto para los organismos gubernamentales avocados a la conservación de la biodiversidad.

Estudios de dinámica poblacional y dendrocronológicos aportan información técnica y científica que coadyuva a la aplicación de medidas para su conservación y restauración, como sucede con las investigaciones referentes a la dinámica poblacional en márgenes del río Nazas, Dgo (Figura 12). Los ahuehuetes de Barranca de Amealco, Qro. son muy sensibles a la precipitación que ocurre en el

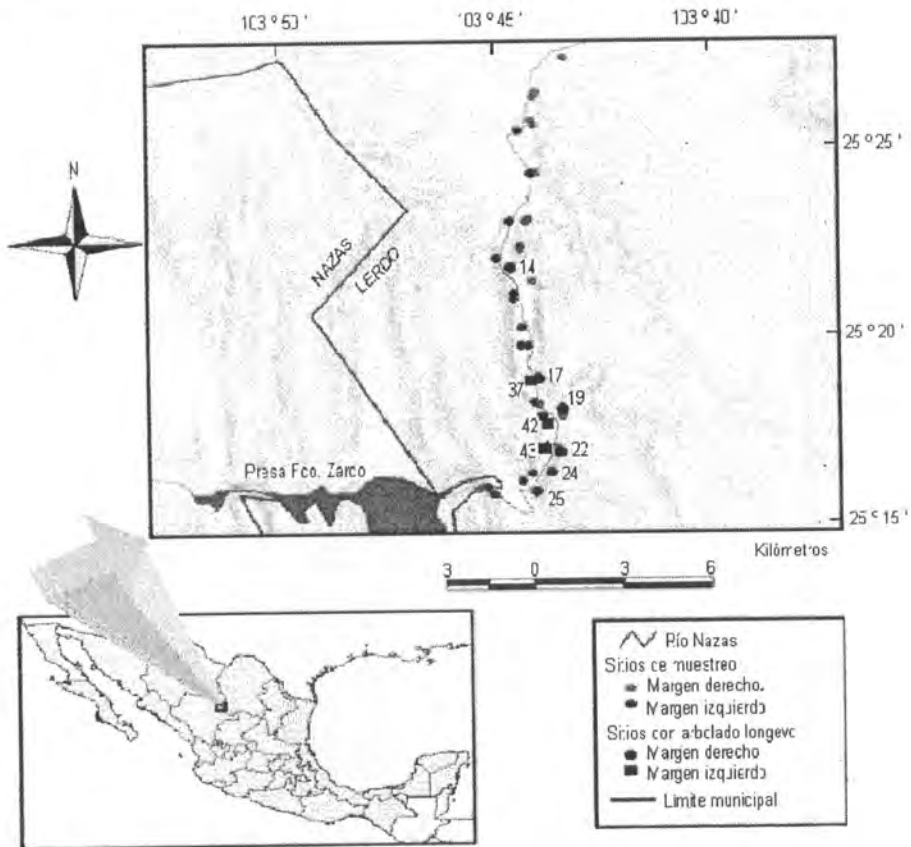


Figura 12. Distribución de arbolado de ahuehuate en transectos de los márgenes del Río Nazas, Dgo. Los árboles más longevos se ubican en sitios aledaños a barrancas, de difícil acceso y generalmente más retirados de asentamientos humanos.

verano y, a pesar de que se localizan fuera del Valle de México, logran reflejar las condiciones climáticas predominantes durante el establecimiento, florecimiento y decadencia de las civilizaciones prehispánicas que habitaron en dicha región.

La difusión del potencial de *T. mucronatum* para generar datos paleoclimáticos, aunado a los beneficios ecológicos, estéticos y de biodiversidad de los bosques de galería en México, aportan elementos esenciales para ejercer acciones conducentes a la conservación de esta especie.

CONCLUSIONES

La integración de una red dendrocronológica de *Taxodium mucronatum* desde el norte hasta el sur de México, constituye un reto de investigación y de colaboración entre las diversas instituciones de investigación dedicadas a generar información científica y tecnológica para la conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas de galería en México.

Actualmente se han desarrollado sólo 13 cronologías con *T. mucronatum*, las cuales se distribuyen principalmente en el norte-centro de México y tres más están en proceso. Este avance es muy limitado, si se considera que la especie se desarrolla en diversas condiciones ecológicas en gran parte del territorio nacional.

Una red dendrocronológica de ahuehuete es fundamental para analizar la variabilidad hidroclimática del pasado, en particular la que ocurre en el verano y que conforma más del 75% del total anual, así como para definir los mecanismos atmosféricos de circulación que afectan el clima, conocer sus tendencias y determinar posibles escenarios climáticos venideros para fines tanto de planeación, como de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, en particular, del agua.

Las reconstrucciones paleoclimáticas generadas con *T. mucronatum* indican el alto potencial que tiene la especie para determinar la variación estacional de la precipitación en el último milenio.

Los cambios de uso del suelo y acciones antropogénicas que se han traducido en contaminación de ríos, desviación de corrientes perennes, captación del agua en presas con fines agropecuarios e industriales y sobrepastoreo de las áreas ribereñas, han favorecido la muerte o remoción de individuos longevos y jóvenes con impacto en la dinámica y conservación de la especie.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento otorgado a través de los proyectos "Bosques centenarios del centro-norte de México y su potencial para estudios dendrocronológicos y ecológicos" (CONAFOR-2002-CO1-5037); "Variabilidad presente, pasada y futura en las Américas con árboles en bosques de altura" (IAI CRN03) y proyecto IAI CRNII-047.

REFERENCIAS

- Appelquist, M. B. 1958. A simple pith locator for use with off-center increment cores. *Journal of Forestry* 56: 141.
- Brown, C. A. and G. N. Montz. 1986. Baldcypress: the tree unique, the wood eternal. Claitor s Publishing Division. Baton Rouge, LA. USA 139 p.
- Carranza, E. 1992. *Taxodiaceae*. In: J. Rzedowski y G. Calderón de Rzedowski (Comp.). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Mich. México. Fascículo 4. pp. 1 – 7.
- Cerano, P. J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coah. 152 p.
- Cleaveland, M. K., D. W. Stahle, M. D. Therrell, J. Villanueva-Diaz and B. T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369 – 388.
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47:37-59.
- Cook, E. R. and K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45 – 53.
- Enríquez E., G. 2005. Estructura poblacional y demográfica de *Taxodium mucronatum* Ten. en sistemas riparios en el estado de Querétaro. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Qro. 130 p.
- Escobar, H. A. 1997. Las sequías y sus impactos en las sociedades del México decimonónico, 1856–1900. In: V. García A. (Coord.) *Historia y desastres en América Latina Vol. II. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*. CIESAS. México. pp. 2–24.
- Florescano, E. 1980. Las sequías en las economías preindustriales: El caso de Nueva España (1521–1821). In: E. Florescano (Coord.) *Análisis histórico de las sequías en México*. SARH. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México, D. F. pp. 21 – 39.
- Fritts, H. C. 1965. Tree-ring evidence for climatic changes in western North America. *Monthly Weather Review* 93: 421 - 443.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press London. UK. 567 p.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Navar, M. S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre and J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: a 1681–2001 rain reconstruction. *Forest Ecology and Management* 213: 39 – 53.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69 – 78.

- Laboratorio de Dendrocronología. Universidad de Arkansas. (2005).
<http://www.uark.edu/misc/dendro/>.
- Laboratorio de Dendrocronología. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. (2006).
<http://www.inifap.gob.mx/contenido/cenids/dendrocronologia.htm>.
- Little, E. L. Jr. 1971. Conifer and important hardwoods. Atlas of the United States Trees, Vol. 1, USDA Forest Service. Miscellaneous publications. 1146 p.
- Luque, E. 1921. Voto razonado para elegir el árbol nacional. Sociedad Forestal Mexicana. Revista México Forestal 1 (9 – 10): 3.
- Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez-Carrizosa y J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. In: Magaña, V. (Ed.). Los impactos del Niño en México. SEP-CONACYT. México. pp. 23 – 68.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. 3ª. Edición. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. México, D. F. 345 p.
- Martínez, A. 1999. El ahuehuete. Biodiversitas 5(25): 12 – 14.
- Mattoon, W. R. 1915. The southern cipress. Bulletin No. 272. US Department of Agriculture. Contributions from the Forest Service. Washington, DC. USA. 73 p.
- Pohl, K., M. D. Therrell, J. S. Blay, N. Ayotte, J. G. Cabrera-Hernández, S. Díaz-Castro, E. Cornejo-Oviedo, J. A. Elvir, M. González-Elizondo, D. Opland, J. Park, G. Pederson, S. Bernal-Salazar, L. Vásquez-Selem, J. Villanueva-Díaz and D. W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. Tree-Ring Research 59(1):11-19.
- Rivas, M. y F. Moreno. 2005. Un árbol mágico en Valle de Bravo. Arbórea 7(12-13): 51-52.
- Stahle, D. W. and M. K. Cleaveland. 1992. Reconstruction and analysis of spring rainfall over the southeastern United States for the past 1000 years. Bulletin of the American Meteorological Society 73: 1947 - 1961.
- Stahle, D. W., R. D. Dárrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Guy, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva-Díaz, and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. Bulletin of the American Meteorological Society 70(10): 2137-2152.
- Stahle, D. W., J. Villanueva, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Salinas, H. Suzan and P. Z. Fulé. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. In: F. A. Roig (Comp.). Dendrocronología en América Latina. EDIUNC, Mendoza, Argentina. pp. 285-306.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating University of Chicago Press, Chicago. IL. USA. 73 pp.
- Terrones, R. E., C. González S. y S. A. Ríos. 2004. Arbustivas nativas de uso múltiple en Guanajuato. INIFAP-Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Bajío. Libro Técnico No. 2. Celaya, Gto., México. 213 p.

- Therrell M., D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland and J. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14): 6-1 – 6-7.
- Vargas M., F. 1997. Compendio de árboles históricos y notables de México. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México. 68 p.
- Villanueva D., J., A. Hernández R., F. García S., E. Cornejo O., D. W. Stahle, M. D. Therrell and M. K. Cleaveland. 2003a. Análisis estructural de un rodal de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en Los Peroles, San Luis Potosí, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 28 (94): 57 – 79.
- Villanueva D., J., D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, F. Camacho Morfín, P. Núñez D. de la F., S. Gómez Ch., J. Sánchez S. y J. A. Ramírez G. 2003b. Registros climáticos de los ahuehetes de Chapultepec en los últimos 450 años. *Boletín del Archivo Histórico del Agua* 8(23): 34 – 42.
- Villanueva D., J., B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, J. Cerano-Paredes, G. Gutiérrez-García, J. Estrada-Ávalos and R. Jasso-Ibarra. 2005a. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera. *Dendrocronologia* 22(3): 215 – 223.
- Villanueva D., J., J. Cerano Paredes y R. Morán M. 2005b. Algunos sitios con arbolado viejo y su potencial dendroecológico en el norte-centro de México. *In: Memorias de la XII Semana Internacional de Agronomía. FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. pp. 656 – 663.*
- Villanueva D., J., J. Cerano Paredes, D. W. Stahle, M. D. Therrell, L. Vázquez- Selem, R. Morán M. B. H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México: importancia ecológica y paleoclimática. Folleto Científico No. 20. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 46 p.

ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN ESPECIES DE ENCINO Y PINO EN ITURBIDE, N. L.

Rodrigo Rodríguez-Laguna¹, Javier Jiménez-Pérez¹,
Oscar Aguirre-Calderón¹ y Enrique Jurado-Ibarra¹

RESUMEN

Se generaron ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en cinco especies arbóreas en el bosque-escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. A excepción de *Quercus laceyi*, se tomaron datos dasométricos de ocho árboles por especie, que corresponden a: diámetro normal, peso fresco del fuste, las ramas y las hojas, y con muestras de cada uno de ellos, se obtuvo la relación peso seco/peso fresco; al multiplicar dicho valor por el peso fresco de cada uno de estos componentes, se obtuvo su biomasa y al sumar los componentes del árbol, la biomasa aérea total por árbol. La fuente de información incluyó los extremos dimensionales de diámetro normal para cada especie evaluada. Se usó el modelo de regresión potencial ($\beta = a_0 * D^{a_1}$, donde β es el peso seco total de la biomasa aérea (kg), D es el diámetro normal (cm), y a_0 y a_1 son los parámetros a estimar); este modelo tuvo coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0.97 para cada especie. Las tendencias de las líneas de biomasa permitieron formar tres subgrupos de especies, el subgrupo 1 (*Q. laceyi*, *Q. cambyi*) resultó con $R^2 > 0.98$, el subgrupo 2 (*Q. rysophylla*, *P. pseudostrobus*) con $R^2 > 0.97$ y el subgrupo 3 integrado sólo por *J. flaccida* tuvo el $R^2 = 0.99$.

Palabras clave: Biomasa, biomasa aérea, bosque encino-pino, bosque templado, ecuaciones alométricas, Nuevo León.

Fecha de recepción: 19 de abril de 2006.

Fecha de aceptación: 21 de mayo de 2007.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: rodris71@yahoo.com

ABSTRACT

Allometric equations were generated to estimate aerial biomass in five arboreal species in the forest-school of the Facultad de Ciencias Forestales of the Universidad Autónoma de Nuevo León. Data were taken from eight trees by species, except *Quercus laceyi*. The collected data are: normal diameter, fresh weight in the components of the tree (stem, branches and leaves) and with samples of each component, the relation was obtained dry weight/fresh weight, this value multiplied by the fresh weight of each component of the tree obtains biomass and adding each component of the tree obtained total aerial biomass by tree. The source of information included the dimensional extreme of normal diameter for each evaluated species. The potential model of regression was used ($\beta = a_0 * D^{a_1}$ where β it is the dry weight total of the aerial biomass (kg), D is the normal diameter (cm), and a_0 and a_1 are the parameters to estimate); this model obtained coefficients of determination (R^2) upper to 0.97 for each species, the tendencies of the biomass lines formed three sub-groups of species, sub-group 1 (*Q. laceyi*, *Q. cambyi*) resulted with $R^2 > 0.98$, sub-group 2 (*Q. rysophylla*, *P. pseudostrobus*) with $R^2 > 0.97$ and single integrated sub-group 3 by *J. flaccida* with $R^2 = 0.99$.

Key words: Biomass, aerial biomass, oak-pine forest, mild-weather forest, allometric equations, Nuevo León state.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato (Schulze *et al.*, 2000). La determinación de esta capacidad constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de sistemas forestales naturales, alterados o inducidos por el hombre. Debido a que los cambios sin control en la vegetación modifican el desarrollo y crecimiento de los árboles, existe la necesidad de cuantificar de manera rápida y confiable la biomasa por ecosistema.

La medición de este parámetro en cualquier componente de un sistema ecológico requiere un análisis destructivo (Brown *et al.*, 1989) o estimaciones indirectas de material vegetal para hacer las inferencias respectivas; este último caso es más práctico cuando se desea estimar la biomasa aérea de los árboles. Sin embargo, se debe contar con funciones que estimen la biomasa total de acuerdo a las dimensiones y tamaño de los mismos; es decir, expresiones matemáticas basadas en las relaciones alométricas que ocurren entre los individuos (Huxley, 1932, citado por Acosta *et al.*, 2002) o alternativamente con métodos de percepción remota mediante modelos previamente calibrados (Escandón *et al.*, 1999).

Las relaciones alométricas se han utilizado en especies forestales de clima templado-frío para estimar la biomasa aérea total y el área foliar, a partir del diámetro normal (DN) o del área de la albura (Chapman y Gower, 1991; Castellanos *et al.*, 1996). Además, las relaciones entre las dimensiones del fuste y la cantidad de biomasa se han empleado para estimar la biomasa de los componentes de un árbol (Bartelink, 1996) y su distribución dentro de los árboles (Landsberg y Gower, 1997).

Generalmente los modelos alométricos se desarrollan para cada especie; sin embargo, es probable que varias especies que crecen en un mismo tipo de vegetación presenten similitud en el patrón morfológico de crecimiento y, por lo tanto, tengan una asignación equivalente de biomasa aérea; de ocurrir esto, podría utilizarse una sola ecuación alométrica para estimar la biomasa de varias especies.

Bajo el supuesto de que la mayor parte de la biomasa de un árbol está en la parte aérea, y con la intención de aportar conocimiento que ayude a estimar confiadamente la biomasa en especies arbóreas del bosque de encino-pino, como un proyecto en el bosque-escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en Iturbide, N. L., se planteó el objetivo de generar ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea total en cinco especies arbóreas; adicionalmente, se probó la hipótesis para saber si una sola ecuación puede utilizarse para estimar la biomasa de las cinco especies representativas del bosque de encino-pino en la misma región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio

El trabajo se realizó en el bosque-escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizado en la Sierra Madre Oriental dentro del Municipio de San Pedro Iturbide en el estado de Nuevo León, entre las coordenadas 24° 42' 23" N y 99° 51' 39" W (Figura 1). Tiene una superficie de 1, 035 ha, de las cuales 381 ha corresponden a bosque de encino-pino (área de estudio), cuyo intervalo altitudinal es de 1250 a 1900 msnm (Woerner, 1990).

En el lugar existen varias cordilleras secundarias muy escarpadas y con alto riesgo de erosión, orientadas de suroeste a noroeste, que subdividen una cordillera principal de la Sierra Madre Oriental por el lado Este. La topografía es muy accidentada con pendientes predominantes entre 30 y 70%.

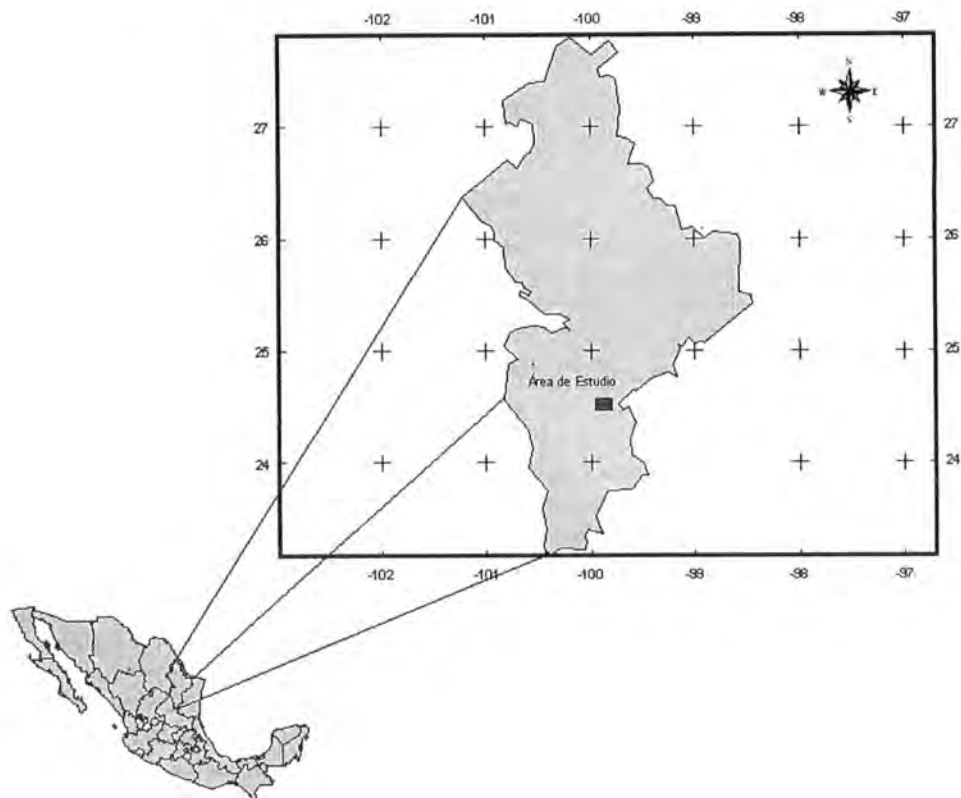


Figura 1. Ubicación del bosque-escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León en San Pedro Iturbide, N. L.

La vegetación está compuesta por especies de árboles y arbustos dominantes agrupados en asociaciones de bosque de pino, encino-pino, encino, matorral submontano y chaparrales que denotan condiciones más secas y cálidas. También existen algunos árboles altos de diversas especies que se les encuentra estrictamente al fondo y en las paredes inferiores de los cañones y barrancas.

Muestreo

En función de la disponibilidad de árboles de cada especie y tratando de hacer el menor daño a la vegetación dentro del bosque-escuela, se hizo un muestreo destructivo de algunos ejemplares de las especies predominantes.

Las que dominan la estructura a nivel del dosel son *Quercus rysophylla* Weath, *Q. cambyi* Trel., *Q. laceyi* Small, *Pinus pseudostrabus* Lindl y *Juniperus flaccida* Schlecht., de las cuales se midieron y cortaron ocho individuos por especie, excepto de *Q. laceyi* del que se derribó uno menos. Los criterios de selección para los árboles consistieron en no estar dañados mecánicamente, ni plagados de consideración y que fueran representativos de la categoría diamétrica.

Con el propósito de aumentar el intervalo de variación de los árboles medidos y darle validez a las ecuaciones de regresión, se muestreó un árbol por categoría diamétrica (5 hasta 40 cm), abarcando así, todo el intervalo de exploración posible en este rubro, dentro del área de la asociación vegetal encino-pino en el bosque-escuela.

A cada árbol seleccionado en pie se le midió el diámetro normal (DN), y ya derribados se les tomó la altura total, se les cortó el fuste principal en secciones, tomando como criterio para definir el tamaño de cada sección que cada una pesara menos de 100 kg. La mayoría de las trozas se cortaron a 2 m, excepto la troza del DN. El componente de ramas incluye todas las ramas de la copa mayores de 1 cm de diámetro; se consideró el componente de hojas a todo el follaje y ramas menores de 1 cm de diámetro. Cada componente del árbol se pesó por separado.

Estimación de la biomasa

Los métodos utilizados para estimar la biomasa de los fustes es la descrita por Espinosa-Bancalari y Perry (1987) al estimar la de árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Ávila *et al.* (2001), Locatelli y Leonard (2001) y Acosta (2003) también los han aplicado; el último autor evaluó la biomasa aérea en especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña en la sierra norte de Oaxaca.

Para obtener la biomasa total por árbol se determinó la relación peso seco/peso fresco (ps/pf) del fuste, de ramas y de hojas. Para la relación ps/pf del fuste se tomaron seis rodajas de 5 cm de grosor, aproximadamente, de distintas partes del fuste (Figura 2). Las primeras cuatro rodajas (R_1 a R_4) se obtuvieron del fuste limpio; R_1 a 0.30 m; R_2 a 1.3 m, R_3 de la parte media del DN y de la base de la copa y R_4 de la base de la copa. La R_5 de en medio de la base de la copa y el ápice de la misma y R_6 del ápice de la copa. La relación ps/pf en ramas se calculó con tres rodajas de rama en la parte media de la copa (R_r). La relación ps/pf en hojas se pudo conocer al pesar tres muestras de hojas en campo. De igual manera, se pesó cada rodaja (peso fresco), mismas que se mantuvieron plenamente identificadas durante el proceso de traslado y secado. Todas ellas y las muestras de hojas se transportaron al laboratorio ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y se pusieron en una estufa con flujo de aire a 105°C donde se secaron hasta alcanzar peso constante que se consideró como peso seco (Gaillard, 2002).

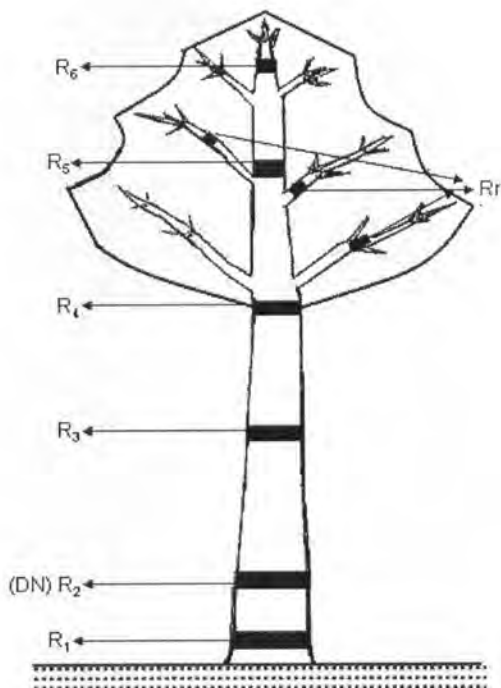


Figura 2. Sitios de muestreo en el árbol (rodajas) para calcular la biomasa del fuste y de la copa.

Se promedió la relación ps/pf de la rodaja inferior y la superior de cada troza del fuste; este valor se multiplicó por el peso fresco de la troza y de ello resultó su peso seco (biomasa); ejemplo: $ps/pf_{promedio\ troza_1} = (ps/pf\ de\ la\ R_1 + ps/pf\ de\ la\ R_2)/2$. Después se obtuvo biomasa de la troza $1 = (ps/pf_{promedio\ troza_1}) * (peso\ fresco\ de\ la\ troza_1)$, y con la sumatoria de cada una de ellas, la biomasa total del fuste.

La relación ps/pf de las tres muestras de ramas se promedió y se multiplicó por el peso fresco total de ramas, y se aplicó el mismo procedimiento que se siguió para las hojas; con ello, se calculó la biomasa total de las ramas y de las hojas. La sumatoria del valor de biomasa total de cada componente constituyó la biomasa total por árbol.

Con estos datos, agregados a la altura y el diámetro normal por individuo, se procedió a estimar la biomasa por especie con el modelo potencial de regresión,

hallando la ecuación alométrica con el mejor ajuste en los criterios de bondad (coeficiente de determinación (R^2) y valor de F), generando así una curva de ajuste por especie. Este modelo ya ha sido utilizado por Ter-Mikaelian y Korzukhin (1997) y por Acosta *et al.* (2002).

Se escogió el modelo potencial por ser uno de los más frecuentemente usados, por presentar para cada especie el mayor coeficiente de determinación (R^2) y por su simplicidad en la ecuación:

$$\beta = a_0 * D^{a_1}$$

Donde:

- β = el peso seco total de la biomasa aérea (kg),
- D = es el diámetro normal (cm), y
- a_0 y a_1 = los parámetros que se estimaron por el método de mínimos cuadrados.

Al expresar el modelo potencial en su forma lineal mediante transformación logarítmica de las variables involucradas y ajustarlo empleando los datos de β como variable dependiente y D como variable independiente, se obtiene el siguiente modelo:

$$\ln(\beta) = \ln(a_0) + a_1 \ln(D) \quad (\text{MR})$$

Donde:

- β , D , a_0 y a_1 tienen el mismo significado anteriormente dicho, y
- $\ln(\beta)$, $\ln(a_0)$ y $\ln(D)$ = los logaritmos naturales de β , a_0 , y D .

En la primera fase se ajustó el modelo linealizado por mínimos cuadrados para cada especie, con el propósito de definir los valores estimados de los parámetros a_0 y a_1 que representan la ordenada al origen y la pendiente de la línea del modelo de regresión, para cada una de las especies. Después se compararon los parámetros a_0 y a_1 para saber si estadísticamente pertenecían a un mismo modelo. La hipótesis nula planteada fue que los parámetros a_0 y a_1 eran los mismos, independientemente de la especie y, por lo tanto, podría ser suficiente un solo modelo para estimar la biomasa de las cinco.

Al realizar la comparación de los parámetros a_0 y a_1 de los modelos de regresión lineal simple de las cinco especies, pueden presentarse cuatro posibilidades:

- a) que tanto la ordenada al origen (a_0) como la pendiente de la línea de regresión (a_1) difieran entre los modelos de cada especie,
- b) que las líneas sean paralelas pero sin tener la misma ordenada al origen,
- c) que las líneas sean concurrentes; es decir, que tengan la misma ordenada al origen pero con diferente pendiente, y
- d) que las líneas sean coincidentes; es decir, que tanto la ordenada al origen como la pendiente sean los mismos para todas las especies.

Se aplicó la prueba para establecer la posibilidad de obtener líneas coincidentes, mediante el siguiente análisis estadístico (Montgomery y Peck, 1982): si se considera una regresión lineal simple, en la que n observaciones pueden formar parte de M grupos, con el m -ésimo grupo con n_m observaciones, entonces se trata como modelo general completo, que consiste de M ecuaciones, de modo que:

$$\beta = a_{0m} + a_{1m}D + \varepsilon_m \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (MC)$$

Mientras que el modelo reducido (MR) puede presentarse con la ecuación linealizada, considerando los datos de todas las especies en forma simultánea.

Para probar la hipótesis nula

$$H_0: a_{01} = a_{02} = \dots = a_{0M}, a_{11} = a_{12} = \dots = a_{1M},$$

se usó el estadístico de prueba de F :

$$F_0 = \frac{[SS_E(MR) - SS_E(MC)] / (gl_{MR} - gl_{MC})}{SS_E(MC) / gl_{MC}}$$

Donde:

- F_0 = valor calculado del estadístico
- $F; MC$ = modelo completo;
- MR = modelo reducido;
- SS_E = suma de cuadrados de los residuales;
- gl = grados de libertad.

Los parámetros del modelo completo (MC) se obtuvieron al ajustar las M ecuaciones de regresión para cada especie y la $SS_E(MC)$ se encontró agregando las sumas de cuadrados de los residuales de cada regresión. Los grados de libertad para la $SS_E(MC)$ fueron:

$$gl_{MC} = \sum_{m=1}^M (n_m - 2)$$

Donde:

n_m = número de observaciones para la especie m .

Para ajustar el modelo reducido simplemente se ajustó el modelo linealizado, pero incluyendo los datos de las seis especies como si fuesen de una sola; la suma de cuadrados del error $SS_E(MR)$ se obtiene directamente del análisis de regresión con $n-2$ grados de libertad (gl_{MR}).

El valor de F_o calculado se comparó con el valor tabulado de $F_{\alpha, gl_{MR}-gl_{MC}, gl_{MC}}$ con una $\alpha = 0.05$; si F_o calculado es mayor que $F_{\alpha, gl_{MR}-gl_{MC}, gl_{MC}}$, se rechaza la hipótesis nula, lo cual implica que el modelo reducido es inadecuado (Montgomery y Peck, 1982). En este caso se concluiría que los parámetros del modelo de regresión difieren entre especies; de lo contrario, estadísticamente se aceptaría que se use el nuevo modelo para todas ellas.

Rechazar la hipótesis nula con la prueba de F no implica que los parámetros del modelo de regresión difieran para todas las especies; es posible que algunas de ellas sí se ajusten a un mismo modelo (Acosta *et al.*, 2002). Para buscar ciertas similitudes entre ellas, se consideraron los valores de los parámetros de regresión de cada especie y se graficaron los datos de DN y biomasa de todas la especies. Se observó la tendencia de la relación entre ambas variables y se repitió el proceso de comparación de parámetros de los modelos con los diferentes grupos de especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características dasométricas

Los resultados para el diámetro normal (1.30 m) del arbolado de *Pinus pseudostrobus* indican un intervalo de 5.0 hasta 42.4 cm., con una biomasa de 3 kg para el diámetro menor y de 546.90 kg para el diámetro superior. Las tres especies de *Quercus* (*Q. cambyi*, *Q. laceyi*, *Q. rysophylla*) registran categorías diamétricas de 5.0 cm hasta la de 40 cm para *Q. cambyi* y *Q. rysophylla*, mientras que para *Q. laceyi* la mayor fue de 35 cm.

En lo que se refiere a la biomasa aérea, *Q. cambyi* tuvo el menor valor con 5.80 kg en la categoría diamétrica de 5 cm en comparación con las otras especies del mismo género; se comparó con todas las especies, su valor en este parámetro fue el más alto, con 889.20 kg en la categoría de 40 cm. *Quercus*, en

general, reúne un promedio de 37.8% más de biomasa aérea que *P. pseudostrubus* con las mismas dimensiones de diámetro (40 cm) (Cuadro 1). En el citado estudio realizado por Acosta *et al.* (2002), en *Quercus* se confirmó la mayor variación en diámetro normal y en la biomasa total por árbol, entre seis especies representativas del bosque mesófilo de montaña en Oaxaca, México.

Para *Juniperus flaccida*, las categorías diamétricas fueron de 5 hasta 40 cm, y su biomasa aérea total por árbol fue de de 8.60 y 474.10 kg, respectivamente.

Cuadro 1. Características dasométricas de los árboles muestreados en el bosque-escuela de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

Especie	Árbol (No.)	Diámetro normal (cm)				Biomasa (kg)			
		Prom	Mín	Máy	DE	Prom	Mín	Máy	DE
<i>J. flaccida</i>	8	22.6	5.8	39.8	11.6	187.4	8.6	474.1	169.7
<i>P. pseudostrubus</i>	8	23.2	5.0	42.4	13.0	233.0	3.0	546.9	227.7
<i>Q. cambyi</i>	8	23.1	5.0	39.5	11.9	315.0	5.8	889.2	305.9
<i>Q. laceyi</i>	7	20.2	6.0	35.2	10.4	245.6	8.7	700.8	264.7
<i>Q. rysophylla</i>	8	23.9	7.4	40.6	11.7	286.7	11.3	868.3	305.8

Modelos para la estimación de biomasa

Los estadísticos de los modelos probados para estimar la biomasa aérea por especie se muestran en el Cuadro 2. El modelo potencial presentó mejor ajuste en los criterios de bondad para cada especie; los coeficientes de determinación (R^2) fueron superiores a 0.97 en todas las especies evaluadas. Los valores más altos de este coeficiente ($R^2 = 0.99$) los registró *J. flaccida*, seguidos de *P. pseudostrubus* y *Q. laceyi* ambos con $R^2 > 0.98$. Otros trabajos han utilizado el mismo modelo para estimar biomasa con buenos resultados. Deans *et al.* (1996) obtuvieron valores de $R^2 > 0.97$ en muestras de 14 árboles de cinco especies tropicales. Acosta (2003) presentó resultados en los que $R^2 > 0.97$ en seis especies nativas del bosque mesófilo de montaña en la sierra norte de Oaxaca.

El valor estimado de la ordenada al origen (a_0) varió desde -1.64 en *J. flaccida* hasta -3.16 en *P. pseudostrobus*, en tanto que el estimado de la pendiente de la línea de regresión (a_1) varió de 2.12 en *J. flaccida* a 2.59 en *P. pseudostrobus*; para cada especie de *Quercus* evaluada el valor estimado en la pendiente de la línea de regresión fue similar con una variación entre ellas de 0.13. En los valores estimados para la ordenada al origen la diferencia fue de 1.52, mientras que los valores estimados de la pendiente son más cercanos entre sí con apenas una diferencia de 0.47 (Cuadro 2).

La tendencia de los valores de biomasa aérea con respecto al DN de los árboles fue similar para todas las especies (Figura 3). De acuerdo a lo anterior se formó la idea de que los parámetros de regresión podrían pertenecer a un solo modelo que representaría a las cinco especies. No obstante, se confirmó una semejanza en *Q. laceyi* y *Q. cambyi* al presentar la mayor pendiente (a_0) (subgrupo 1), *Q. rysophylla* y *P. pseudostrobus* obtuvieron un valor intermedio y casi similar en la pendiente de la línea de regresión (subgrupo 2) (Figura 3), por último *J. flaccida* (subgrupo 3) tuvo la menor pendiente en comparación con las cinco especies, por lo que se distinguían tres subgrupos más o menos definidos.

Cuadro 2. Valores de los parámetros para el ajuste del modelo $\ln(\beta) = a_0 + a_1 \ln(D)$ para las cinco especies arbóreas de un bosque de encino-pino en Iturbide, N. L.

Especie	n_m	a_0	p	a_1	p	R^2	gl_m
<i>J. flaccida</i>	8	-1.6469	0.0003	2.1255	0.0001	0.99	6
<i>P. pseudostrobus</i>	8	-3.1641	0.0001	2.5996	0.0001	0.98	6
<i>Q. cambyi</i>	8	-2.3112	0.0031	2.4497	0.0001	0.97	6
<i>Q. laceyi</i>	7	-2.4344	0.0009	2.5069	0.0001	0.98	5
<i>Q. rysophylla</i>	8	-2.2089	0.0043	2.3736	0.0001	0.97	6

p = nivel de significancia para los parámetros estimados.

Con la supuesta similitud en el comportamiento de las especies, al comparar la homogeneidad de los parámetros de regresión entre ellas, la hipótesis nula (igualdad) fue rechazada, motivo para señalar que no se puede ajustar un solo modelo a la base de datos correspondientes. Sin embargo, se realizó nuevamente la prueba de homogeneidad para los parámetros de cada especie

que integran cada subgrupo. Los resultados de la nueva prueba de hipótesis mostraron que existe homogeneidad de los parámetros dentro de cada subgrupo, por lo que puede utilizarse una sola ecuación para estimar la biomasa aérea en las especies que integran cada subgrupo (Cuadro 3). Un subgrupo quedó formado por *J. flaccida* y la ecuación para estimar la biomasa aérea de esta especie se localiza en el Cuadro 2 con $R^2 = 0.99$.

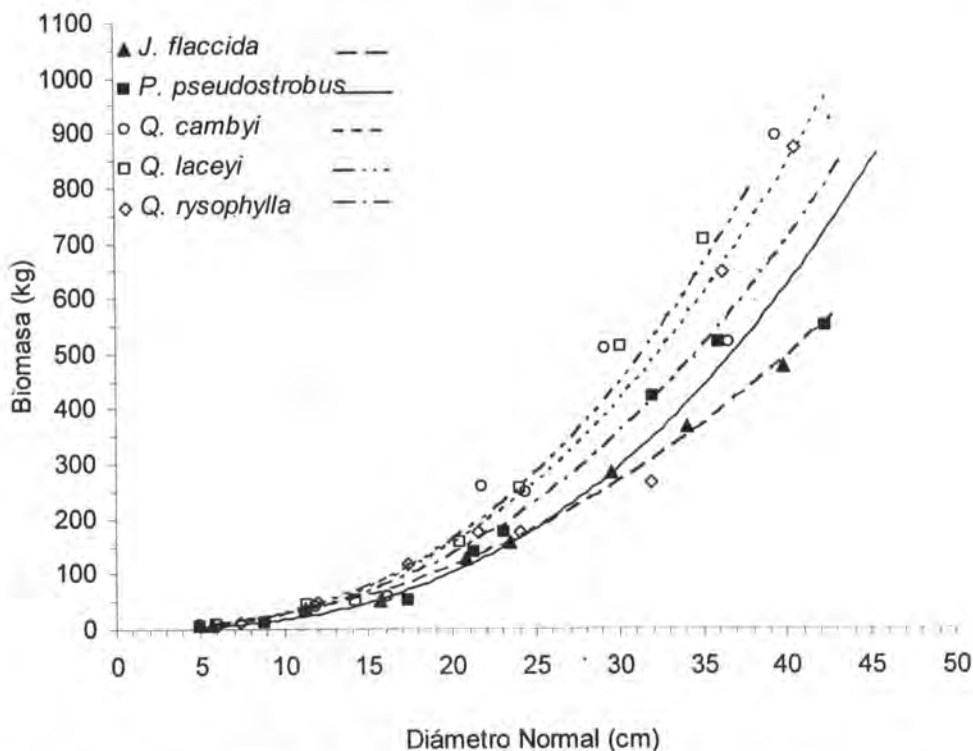


Figura 3. Dispersión de los datos y líneas de tendencia de los valores reales (transformados a partir del modelo logarítmico) para cinco especies arbóreas de un bosque de encino-pino en Iturbide, N. L.

El valor estimado de la ordenada al origen a_0 para el subgrupo 1 (-2.35) fue mayor que el del subgrupo 2 (-2.81); el primero fue muy similar al valor del parámetro de la ordenada al origen del modelo en donde se agruparon a todas las especies (-2.37). No obstante, el valor estimado de la pendiente de la línea de regresión a_1 del subgrupo 1 (2.47) fue ligeramente menor que el valor de la

pendiente del subgrupo 2 (2.52), dando una diferencia de 0.05 (Cuadro 3). Este comportamiento se debe a que entre las especies hay cierta semejanza en las dimensiones alcanzadas por los árboles. En otro sentido se aprecia que el valor obtenido de los parámetros estimados para cada subgrupo quedó dentro del valor individualmente para cada especie que compone un subgrupo. El coeficiente de determinación para cada subgrupo siguió siendo mayor que 0.97.

Cuadro 3. Valores de los parámetros por subgrupo y prueba de homogeneidad para los subgrupos de especies arbóreas de un bosque de encino-pino en Iturbide, N. L.

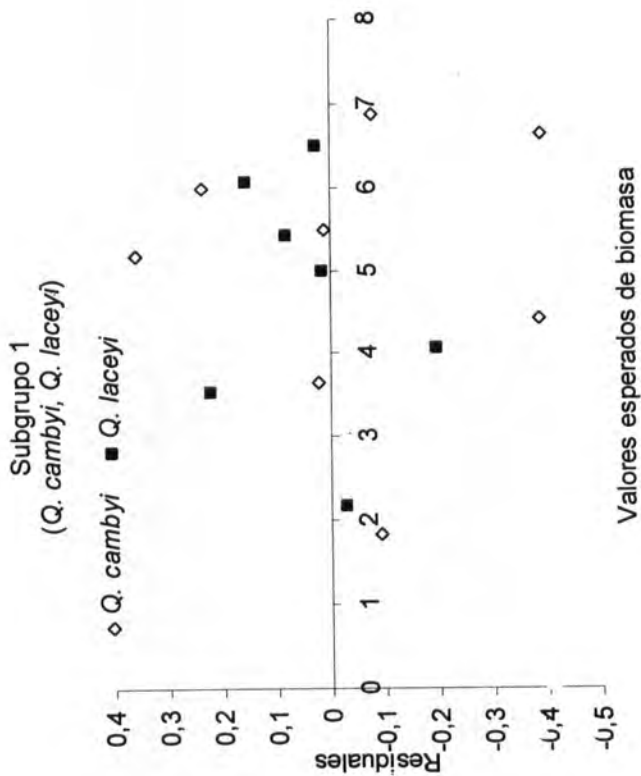
Subgrupos	N	a_0	P	A_1	p	R ²	gl	F	Prob>F
Todas las especies	39	-2.3739	0.0001	2.4154	0.0001	0.96	37	9.1	0.049
Subgrupo 1	15	-2.3517	0.0001	2.4700	0.0001	0.98	13	4.64	0.554
Subgrupo 2	16	-2.8164	0.0001	2.5282	0.0001	0.97	14	17.8	0.296

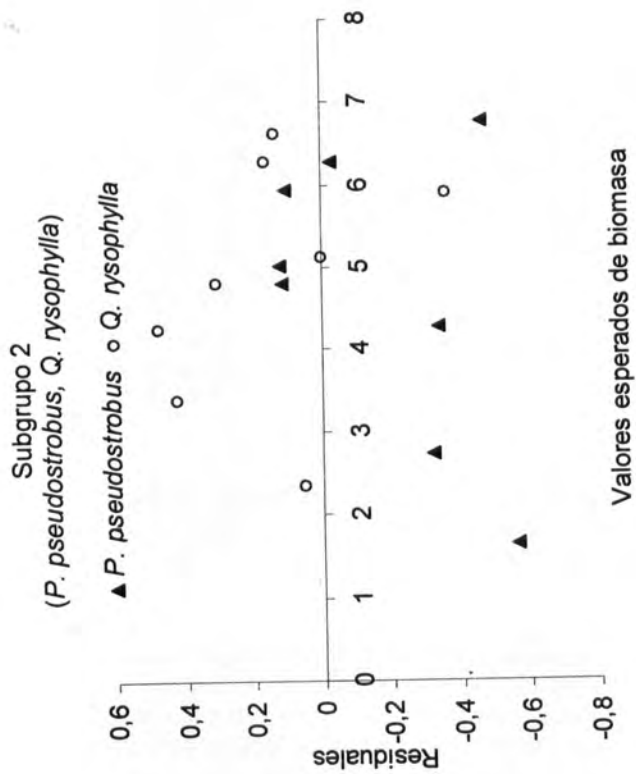
Nota: *J. flaccida* no entra dentro de los subgrupos.

Existen otros trabajos que han utilizado diferente método para estimar biomasa en los bosques. Por ejemplo, Montes de Oca y García (2005) estimaron la biomasa por separado para cada componente del árbol, con 13 modelos probados; el mayor coeficiente de determinación fue de 0.77 para biomasa en hojas y 0.78 en ramas de *Pinus durangensis* Martínez; resultados similares obtuvieron Aguirre e Infante (1988), con R² = 0.78 en peso seco de hojas de *Peumus boldus* Molina (Boldo) y *Acacia caven* (Mol.) Molina (espino). Sánchez (1997) utilizó diversos modelos matemáticos (lineal, logarítmico, exponencial y de potencia) para estimar la fitomasa en ramas secas de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., de lo cual resultó un coeficiente de determinación mayor de 0.91 con el modelo de potencia.

El componente que tiene la mayor cantidad de biomasa en el árbol es el fuste principal; Montes de Oca y García (2005), al probar 13 modelos para *Pinus durangensis* llegaron a resultados poco satisfactorios al encontrar el mayor coeficiente de determinación de 0.89 para la biomasa del fuste y de 0.88 para la biomasa total. Prado *et al.* (1987) obtuvieron un coeficiente de determinación mayor de 0.94 con modelos lineales para tres especies arbustivas menores de la zona árida de Chile. Más recientemente Acosta (2003), al utilizar el modelo de potencia alcanzó coeficientes de determinación superiores a 0.97 para seis especies nativas del bosque mesófilo de montaña en la sierra norte de Oaxaca

La dispersión de los residuales con respecto a los valores esperados de biomasa para dos de los subgrupos de especies formados (Figura 4), no muestran tendencias que puedan invalidar los análisis (Draper y Smith, 1981).





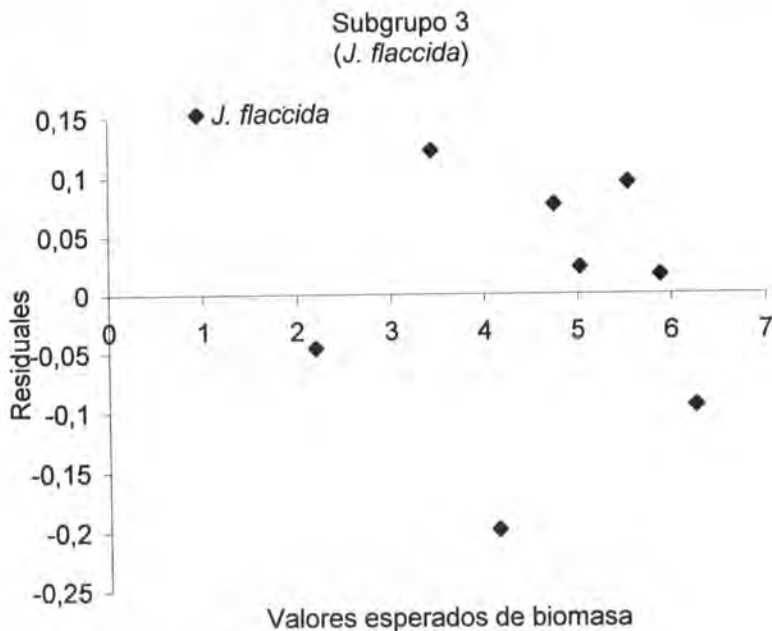


Figura 4. Distribución de los valores residuales (errores) con respecto a los valores esperados de biomasa con base en los modelos de regresión para cada subgrupo de especies.

Desde el punto de vista estadístico, los modelos desarrollados en este trabajo sólo son aplicables estrictamente a las especies evaluadas; es necesario considerar un nivel de error en la estimación de la biomasa en que se podría incurrir, en particular en las especies de porte alto y en individuos con dimensiones mayores al rango encontrado en el área de estudio. No obstante, las ventajas de utilizar este tipo de ecuaciones alométricas para cada especie y subgrupos de especies, es que generan estimaciones adecuadas y confiables de biomasa aérea, además por su simplicidad en la toma de datos de campo. Con las ecuaciones alométricas por especie y por subgrupo de especies generadas para estimar biomasa aérea, se pueden aportar elementos para calcular el carbono almacenado en la vegetación arbórea y así resaltar la magnitud que tienen los bosques en la mitigación del cambio climático sobre la tierra.

CONCLUSIONES

Se generaron modelos alométricos para estimar la biomasa aérea en cinco especies arbóreas del bosque de encino-pino dentro del bosque-escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en Iturbide N. L. El coeficiente de determinación resultó con valores altos para cada especie (0.97). Sin embargo, las tendencias de las líneas de biomasa formaron tres subgrupos de especies, el subgrupo 1 (*Q. laceyi*, *Q. cambyi*) resultó con $R^2 > 0.98$, el subgrupo 2 (*Q. rysophylla*, *P. pseudostrobus*) resultó con $R^2 > 0.97$ y el subgrupo 3 integrado solo por *J. flaccida* tuvo el $R^2 = 0.99$.

REFERENCIAS

- Acosta M., M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 89 p.
- Acosta M., M., J. Vargas H., A. Velázquez M. y J. D. Etchevers B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36:725-736.
- Aguirre A., S. y P. Infante L. 1988. Funciones de biomasa para boldo (*Peumus boldus*) y espino (*Acacia caven*) de la zona central de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal* 2(3):44-50.
- Ávila, G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):32-35.
- Bartelink H., H. 1996. Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* 86:193-203.
- Brown, S., J. R. Gillespe and A. E. Lugo. 1989. Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881-902.
- Castellanos B., J., A. Velázquez M., J. Vargas H., C. Rodríguez F. y A. Fierros G. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30:123-128.
- Chapman, J. W. and S. T. Gower. 1991. Aboveground production and canopy dynamics in sugar maple and red oak trees in southwestern Wisconsin. *Canadian Journal of Forest Research* 21:1533-1543.
- Djeans, J. D., J. Mora and J. Grace. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 88:215-225.

- Draper, N. R. and H. Smith 1981. Applied regression analysis. John Wiley & Sons Inc. New York, NY. USA. 709 p.
- Escandón C., J., H. Ben, J. de Jong, S. Ochoa G., I. March M. y M. A. Castillo. 1999. Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos Landsat TM en Jusnajab, La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. Núm. 40. pp. 71-84.
- Espinosa-Bancalari, M. A. and D. A. Perry. 1987. Distribution and increment of biomass in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. Canadian Journal of Forest Research 17:722-730.
- Gaillard, C. 2002. Determinación de biomasa aérea en especies leñosas del parque Chaqueño Seco. Proyectos de investigación. <http://www.proyectosdeinvestigacion.cyt.unse.htm> (consultado el 03/02/2006).
- Landsberg, J. J. and S. T. Gower. 1997. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press. San Diego, CA. USA. 354 p.
- Locatelli, B. y S. Leonard. 2001. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). Bois et Forêts des Tropiques 276(1):69-80.
- Meza S., R. 1997. Ecuaciones para estimar la fitomasa de *Atriplex canescens* Rev. Cien. For. en Méx. 22(81):27-40.
- Montes de Oca C., E. y P. García R. 2005. Flujos y asimilación de CO₂ en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Forestal No. 1. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. México. 96 p.
- Montgomery, D. C. and E. A. Peck 1982. Introduction to linear regression analysis. John Wiley & Sons Inc. New York, NY. USA. 504 p.
- Prado A., J., P. Infante L., M. Arrigada B. y S. Aguirre 1987. Funciones de biomasa para seis especies arbustivas de la zona árida chilena. Ciencia e Investigación Forestal 1(2):13-19.
- Schulze, E. D., Ch. Wirth and M. Heimann. 2000. Managing forests after Kyoto. Science 289(5487):2058-2059.
- Ter-Mikaelian, M. T. and M. D. Korzukhin. 1997. Biomass equation for sixty-five North American tree species. Forest Ecology and Management 97:1-24.
- Woerner, M. 1990. Los suelos del Bosque-Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León en la Sierra Madre Oriental en Iturbide, Nuevo León. Reporte Científico No. 20 Facultad de Ciencias Forestales-UANL. Linares, N. L. México. 90 p.

EL GÉNERO *Agave* L. BAJO CULTIVO: TAXONOMÍA, DISTRIBUCIÓN Y USOS

David Castillo Quiroz¹, José Ángel Villarreal Quintanilla²,
y Antonio Cano Pineda³

RESUMEN

La determinación taxonómica es muy importante en el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales. El objetivo de la presente investigación consistió en identificar las especies, distribución y usos del género *Agave* bajo cultivo en la región sureste de Coahuila, México. Se colectaron 32 ejemplares botánicos, obtenidos en 22 sitios localizados en los municipios de Arteaga, Saltillo y General Cepeda; además se llevó a cabo una revisión de los especímenes de *Agave* depositados en el Herbario de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La identificación y descripción del material se realizó con la ayuda de las claves taxonómicas de Gentry (1982). Los taxa identificados incluyeron tres especies con tres variedades y tres subespecies, a saber: *Agave salmiana* ssp. *crassispina*, *Agave salmiana* var. *salmiana*, *Agave americana* var. *americana*, *Agave americana* var. *marginata*, *Agave americana* ssp. *protoamericana* y *Agave scabra* ssp. *scabra*. De ellos, *A. salmiana* var. *salmiana* y *A. americana* var. *americana* resultaron ser los más utilizadas por los habitantes de las comunidades ejidales dentro del área de estudio, donde actualmente se emplean en los programas de reforestación, para la delimitación de parcelas agrícolas y reforzamiento de bordos, como forraje en las épocas críticas de sequía y para la extracción de aguamiel.

Palabras clave: *Agave*, Coahuila, distribución, identificación, taxonomía, usos.

Fecha de recepción: 19 de abril de 2006

Fecha de aceptación: 26 de junio de 2007

¹Campo Experimental Saltillo. Centro de Investigación Regional Noreste, INIFAP. Saltillo, Coah.
Correo-e: castillo.david@inifap.gob.mx

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Botánica. Buenavista, Saltillo, Coah.

³Campo Experimental Saltillo. C.I.R. Noreste, INIFAP. Saltillo, Coah.

ABSTRACT

Taxonomic determination is one of the main aspects in the use and management of species. The objective of this work was to identify the species, distribution and use of cultivated *Agave*, from the southeastern State of Coahuila, Mexico. Thirty two botanic samples were collected in 22 sites within the area under study; a review of the *Agave* specimens of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro's herbarium was carried out. The taxonomic determination was based upon Gentry's (1982) key for the genus. *Agave salmiana* var. *salmiana*, *Agave salmiana* ssp. *crassispina*, *Agave americana* var. *americana*, *Agave americana* var. *marginata*, *Agave americana* ssp. *protoamericana* y *Agave scabra* ssp. *scabra*, *A. salmiana* var. *salmiana* y *A. americana* var. *americana* were found and used in the southeastern region of Coahuila, mainly for reforestation, to define the boundary among agricultural plots, for soil retention and conservation, and as forage during critical drought conditions. It is also used to extract "aguamiel", which is a beverage from which "pulque" is made.

Key word: *Agave*, Coahuila, distribution, identification, taxonomy, use.

INTRODUCCIÓN

El maguey es un nombre que data de tiempos prehispánicos y se aplica a todas las especies del género *Agave* en México. Su uso se remonta a la época precolombina, cuando los pueblos indígenas lo utilizaron como fuente abastecedora de materia prima para elaborar cientos de productos; a partir de entonces ha tenido suma importancia para nuestro país desde el punto de vista económico, ecológico y social.

El cultivo del agave en la República Mexicana tiene su origen en los núcleos de población de Mesoamérica, donde *Agave salmiana* Otto ex Salm. – Dyck. fue la especie más empleada con ese fin; al respecto, Gentry (1982) la considera como el progenitor de los actuales cultivos. En Coahuila y Durango esta actividad se inició cuando los españoles colonizaron dicha región, debido a que fue introducida por los indígenas tlaxcaltecas que los acompañaban (Gentry, 1982).

De la sabia del *Agave*, conocida como aguamiel, se elaboran bebidas destiladas o fermentadas (pulque, mezcal, tequila); su extracción es una actividad colateral relevante para la industria panificadora en los municipios de Saltillo (Gentry, 1982), General Cepeda y Ramos Arizpe, Coah. La planta también es de ornato, forraje para el ganado en temporadas críticas de escasez de agua y para la delimitación de parcelas agrícolas (Gentry, 1982; Mezcal de Oaxaca, 1998; Ayala y Ruiz, 1999; Gioanetto y Franco, 2004; Arizaga y Martínez, 2004;

The mangrove tree, 2005). Sin embargo, de esta variedad de usos, sólo unos cuantos prevalecen.

Además el agave es un recurso muy útil por su capacidad para la retención y conservación del suelo, problema muy particular en los estados del norte del país; requiere bajos niveles de humedad y se adapta fácilmente a condiciones de extrema sequía, a suelos pobres y terrenos cerriles. Como también tolera bajas temperaturas (Ruvalcaba, 1983; Arias *et al.*, 1991; Ramírez, 1996; INIFAP, 1997; Century Plant, Maguey, 2005; Floridata, 2005), se le incorpora en programas de plantaciones en las zonas áridas y semiáridas, implementados por diferentes instituciones de gobierno.

Desde una perspectiva histórica, el taxón *Agave* L. se ha ubicado en diferentes familias botánicas tales como: Liliaceae (Bentham y Hooker, 1883) y Amaryllidaceae (Jaume. St.-Hil. 1805); en 1934 Hutchinson propone el orden Agavales con dos familias, Agavaceae y Xanthorrhoeaceae. Posteriormente Gentry (1982) realizó un meticuloso estudio sobre los agaves de Norteamérica, en el que reconoce 136 especies en 20 grupos, siguiendo a Trelease (1920) y Berger (1915) en los agrupamientos, pero con base en nuevas evidencias, marcó y redefinió nuevos grupos, de modo que dividió al género en dos subgéneros: *Litsea* (Tagliabue) Baker y *Agave* L.

El género *Agave* forma parte de la familia Agavaceae, originaria del continente Americano, en donde se han registrado aproximadamente 310 especies, de las cuales se tienen 273 en México (Granados, 1993); de ellas 151 son endémicas, por lo que este país es considerado como su centro de origen (Berger, 1915; González, 1994; Gioanetto y Franco, 2004).

Los trabajos florísticos procedentes del estado de Coahuila incluyen información sobre el uso de las plantas de *Agave* entre los que destacan los del Valle de Cuatro Ciénegas (Vázquez *et al.*, 2001a; Pinkava 1979), Acuña (Vázquez *et al.*, 2001b), Sierra de Parras (Rodríguez *et al.*, 1994) y en el municipio de Ramos Arizpe (Villarreal, 1994), todos ellos con datos de poblaciones silvestres. Por otro lado, Villarreal (2001) en su estudio florístico-taxonómico menciona un total de 20 taxa, de los cuales tres corresponden a especímenes de maguey cultivado (*Agave salmiana*, *Agave salmiana* Otto ex Salm.-Dyck. spp. *crassispina* (Trel.) Gentry y *Agave americana*).

En el sureste de dicho estado no se conocen trabajos taxonómicos del maguey bajo cultivo. Existen algunas colectas aisladas en áreas cercanas a la ciudad de Saltillo. Gentry (1982) describió las siguientes especies de *Agave* cultivado: *Agave salmiana* var. *salmiana* Otto ex Salm.-Dyck., *Agave salmiana* spp. *crassispina* y *Agave americana*; sin embargo, no indicó los sitios de colecta.

A pesar del impulso que durante los últimos 20 años se le dio a los programas de

reforestación en la entidad, en los que se utilizaron varias especies de maguey introducidas desde el centro del país, no se tuvo la precaución de realizar su determinación taxonómica, no obstante que ésto debiera ser un requisito de primer orden, principalmente para aquellas personas que llevan a cabo actividades relacionadas con la investigación y el manejo de recursos naturales (Melgoza y Sierra, 2003; Castillo *et al.*, 1993). De acuerdo con lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo identificar magueyes bajo cultivo y documentar sus usos en la región sureste de Coahuila.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se hizo en los municipios de Arteaga, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México. El área de estudio está entre las coordenadas geográficas: 25° 28' 22" y 24° 33' 06" latitud norte, y 101° 29' 33" a 100° 40' 55" longitud oeste. Las altitudes miden de 1,200 a 2,350 m y en este intervalo están incluidos ecosistemas áridos, semiáridos y templados. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima en su mayor parte es semiseco BS₁, seco BS₀ y muy seco BW, presentándose una reducida porción de clima templado en la región de Arteaga.

Se revisó el material depositado en el herbario de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista Saltillo, Coahuila, México; la revisión de ejemplares se dirigió básicamente a especies cultivadas de *Agave*.

A continuación se efectuaron recorridos de campo por la zona de interés; en particular se exploraron los ejidos con registros de plantaciones de *Agave*. Se visitaron un total de 22 ejidos localizados dentro de los municipios de Arteaga, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, en donde se colectaron un total de 32 ejemplares botánicos procedentes de parcelas agrícolas, traspatios, plantaciones y/o reforestaciones.

En cada sitio se tomó una fotografía por muestra botánica, así como los datos de registro de cada uno de ellas, a saber: fecha de colecta, localidad / municipio, posición geográfica y altitud. El trabajo de campo se realizó en los años 2003 y 2004 durante la fase de floración de las plantas de maguey, con la finalidad de tener individuos con las estructuras florales necesarias para el trabajo taxonómico. Los especímenes se herborizaron; se identificaron las especies, variedades o subespecies con base en caracteres anatómicos y morfológicos, para lo cual se utilizaron las claves taxonómicas de Gentry (1982). Posteriormente el material identificado se depositó en el herbario de la UAAAN.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el examen de los ejemplares colectados y la revisión de material de herbario, se determinó que son tres las especies de *Agave* cultivados en la región sureste del estado de Coahuila, en las que se incluyen tres variedades y tres subespecies a saber: *Agave salmiana* var. *salmiana*, *Agave salmiana* ssp. *crassispina*, *Agave americana* L. var. *americana*, *Agave americana* L. ssp. *protoamericana*, *Agave americana* L. var. *marginata* y *Agave scabra* Salm. – Dyck. ssp. *scabra*. De las anteriores no se encontró al *Agave salmiana* ssp. *crassispina* citada por Gentry (1982) como silvestre.

Descripción del género *Agave*

Agave L. Sp. PL. 323, 1753

Referencia: H. S. Gentry, *Agaves of Continental North America*, Univ. Ariz. Press. Tucson, Arizona, USA. 1982.

Planta con hojas suculentas arregladas en una roseta, monocárpica o policárpica, perenne o multianual, frecuentemente con vástagos en la base y algunas veces bulbillos. **Raíz** fibrosa fuerte, radialmente desarrollada y poco profunda. **Tallos** gruesos, muy cortos, rara vez enlongados, simples o ramificados. **Hojas** grandes comúnmente suculentas, con espina terminal y márgenes con dientes desarmados o armados. **Inflorescencia**, en espiga, racimo o panícula, con flores en umbelas racimosas. **Flores** hermafroditas, en general con estambres que maduran antes que el pistilo. **Perianto** tubular a hipocrateriforme. **Tépalos**, seis erectos a curvos, similares o dimórficos e imbricados en botón. **Estambres**, seis exertos, filamentos largos insertos en el tubo o en la base de los tépalos. **Anteras** versátiles. **Ovario** ínfero, trilocular, suculento, paredes gruesas, placentación axilar y óvulos en dos hileras por lóbulo. **Pistilo** elongado, filiforme y tubular. **Estigma** con 3 lóbulos, papiloso-glandular. **Fruto**, una cápsula loculicida, dehiscente. **Semillas** aplanadas y negras.

Descripción de las especies estudiadas

Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck., var. *salmiana*

Nombre común: "magüey verde" "magüey de pulquero"

Planta con vástagos surculosos, formando rosetas de 1.5 a 2.0 m de alto. **Hojas** de 100-200 cm de largo y de 20-35 cm de ancho, lanceoladas, acuminadas; carnosas, de color verde a glauco grisáceas, cóncavas a acanaladas hacia la parte superior, ápice sigmoide, margen sinuado, a veces mamilado; dientes más grandes en la parte media, de 5 a 10 mm de largo, separados por 3 a 5 cm, de color castaño a castaño grisáceo, las cúspides erectas a retrorsas. **Espinas** largas, gruesas, subuladas, de 5-10 cm de largo, de color café oscuro, acanaladas en la parte superior, decurrentes, a veces hasta la mitad de la hoja, con un margen cómeo y ancho. **Inflorescencia** robusta, de 7-8 m de altura, pedúnculo con brácteas

carnosas y grandes, panícula amplia, con 15-20 grandes umbelas en la mitad superior del eje. **Flores** de 80-110 mm de largo, carnosas, amarillas. **Ovario** de 50-60 mm de largo, grueso cilíndrico con constricciones en el cuello. **Tubo** infundibuliforme, de 21-24 mm de largo y 20 mm de ancho y grueso entre los surcos de la espina. **Tépalos** desiguales, oblongos, de 21-25 mm de largo y 6 mm de ancho, los internos ligeramente más cortos, con una quilla amplia, filamentos de 55-70 mm de largo, insertados a la mitad del tubo medio. **Anteras** de 30-35 mm de largo, amarillas y excéntricas. **Pistilos** elongándose en la post-floración. **Fruto**, cápsula de 5.5-7.0 cm de largo y 2.0-2.2 cm de ancho, rostro agudo, leñoso, pardo. **Semillas** de 8-9 mm de largo y 6-7 mm de ancho, negras lacrimiformes (Figura 1).

Distribución: parcelas agrícolas de temporal, áreas de plantaciones y reforestaciones, traspatio, solarés en Saltillo, Arteaga y General Cepeda.

Usos: deslinde de parcelas agrícolas y predios; reforzamiento de bordos; la cutícula de las hojas se utiliza en la elaboración de barbacoa, las hojas secas como combustible y el quiote (inflorescencia) es forraje para el ganado; además en la extracción de aguamiel, reforestación y plantaciones, así como en los programas de reconversión productiva (PROCAMPO).

Material revisado: Coahuila, Mpio. Arteaga, Loc. La Efigenia, Coord. N25° 15' 23" O101° 32' 16", 2350 msnm; Mpio. Arteaga, Loc. San Antonio de las Alazanas, Coord. N25° 15' 34" O100° 33' 07", 2125 msnm; Mpio. G. Cepeda, Loc. El Porvenir de Tacubaya, Coord. N25° 22' 35" O101° 20' 01", 1988 msnm; Mpio. G. Cepeda, Loc. La Gloria, Coord. N25° 22' 33" O101° 16' 44", 1360 msnm; Mpio. G. Cepeda, Loc. Narigua, Coord. N25° 29' 06" O101° 37' 52", 1409 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Cuauhtémoc, Coord. N25° 16' 49" O100° 56' 51", 2204 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Cameros, Coord. N25° 07' 17" O101° 06' 20", 2092 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Tanque de Emergencia, Coord. N25° 16' 57" O100° 38' 20", 2163 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. San Pedro, Coord. N24° 57' 56" O101° 08' 45", 2002 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. El Mesón, Coord. N25° 27' 06" O101° 14' 17", 1543 msnm.; Mpio. Saltillo, Loc. Los Llanos de la Unión, Coord. N25° 22' 20" O101° 26' 44", 1923 msnm.; Mpio. Saltillo, Loc. El Recreo, Coord. N25° 23' 50" O101° 00' 37", 2036 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. El Jagüey de Ferniza, Coord. N25° 13' 38" O101° 00' 34", 2040 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Guadalupe Victoria, Coord. N25° 00' 12" O101° 04' 32", 2000 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Las Colonias, Coord. N25° 16' 57" O100° 38' 20", 2160 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Las Mangas, Coord. N24° 54' 14" O101° 06' 21", 1866 msnm.

***Agave salmiana* Otto ex Salm.-Dyck. ssp. *crassispina* (Trel.) Gentry**

Plantas relativamente con pocas hojas, más pequeñas que *A. salmiana* var. *salmiana*, arregladas en rosetas de 80-120 cm de alto. **Hojas** de 60-90 cm

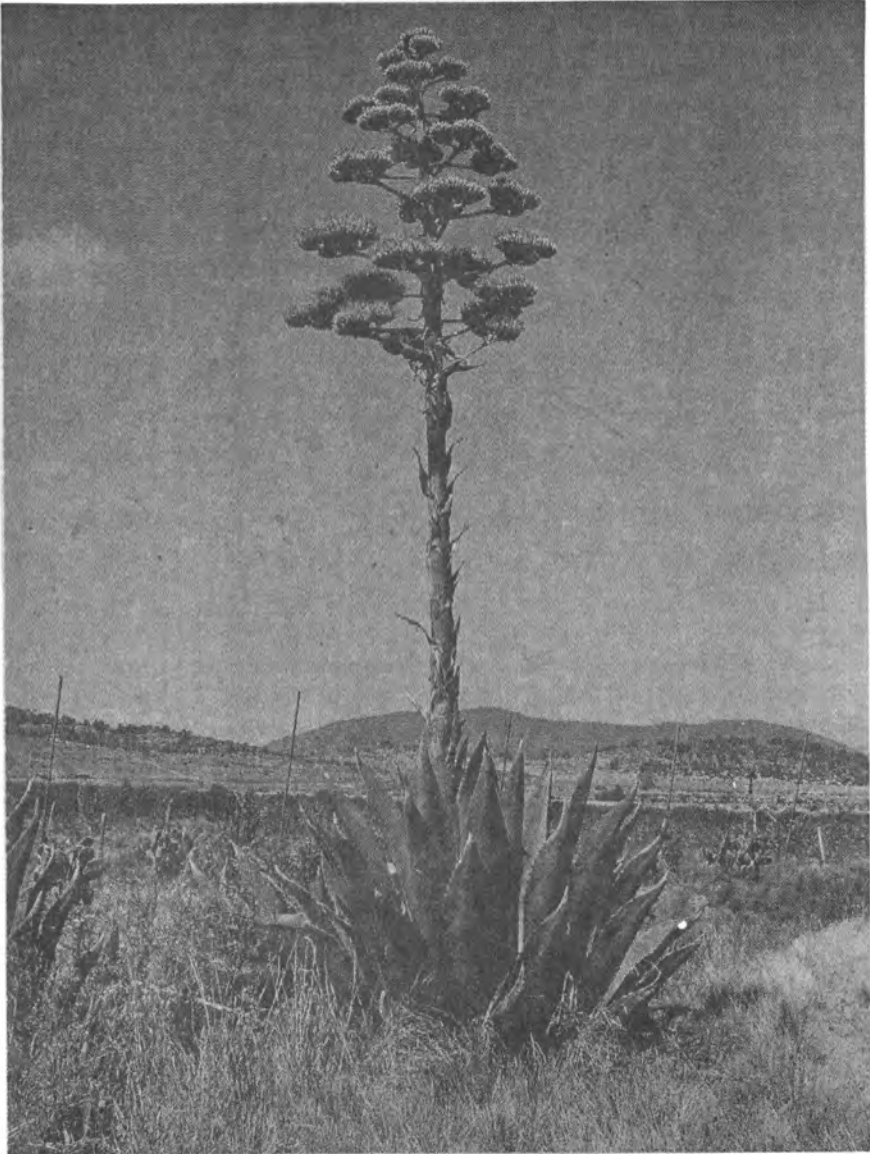


Figura 1. Ejemplar de *Agave salmiana* var. *salmiana* en el sureste del Estado de Coahuila.

de largo y 16-25 cm de ancho, lanceoladas, gruesas y rígidas, angostas hacia la base, delgadas y cóncavas en la parte media, acuminadas de color verde a grisáceo; con márgenes ondulados a crenados, y dientes basales firmes, de 7-12 mm de largo, de color café oscuro o grisáceo con la edad y de 1-3 cm de separación entre ellos. **Espina** terminal de 5-9 cm de largo, acanalada, decurrente, de color café oscuro. **Inflorescencia**, carnosa y brácteas cerradas. **Flores** de 7-9 cm de largo, suculentas y por lo regular de color amarillo. **Ovario** de 3.8-5.0 cm de largo, cilíndrico y cuello no constricto. **Tubo** de 1.1-1.4 cm de largo y de 1.7-2.0 cm de ancho, con paredes gruesas y acanaladas. **Tépalos** desiguales de 2.1-3.0 cm de largo y filamentos de 5.2-7.0 cm de largo, insertados ligeramente por encima del tubo medio. **Anteras** de 3.0-3.5 cm de largo y color amarillo.

Distribución: áreas de cultivo en Saltillo.

Usos: delimitación de parcelas.

Material revisado: Coahuila, Mpio. Saltillo, Loc. Los Llanos de la Unión N25° 22' 20" O101° 26' 44", 1923 msnm.

***Agave americana* L. var. *americana* Sp. Pl. 1753**

Nombre común: "maguey cenizo"

Plantas con hojas suculentas arregladas en rosetas de 1-2 m de alto, y de 2-3 m de ancho. **Hojas** la mayoría de 10-20 x 1.5-2.5 cm, lanceoladas y engrosadas en la base, planas o acanaladas, o reflexas, generalmente acuminadas, de color gris-glaucos claro a verde claro, cutícula lisa a ligeramente áspera, margen ondulado crenado; dientes de longitud variable, el más largo de 5-10 mm, cúspides delgadas rectas a flexosas o curvadas, amplias hacia la base y de 2-6 cm de separación entre ellas, de color café a grisáceo. **Espinas** de 3-5 cm de largo, cónicas a subuladas, en ocasiones acanaladas por arriba de la parte media, altura y de color café brillante a gris. **Inflorescencia** de 5-9 m de altura, eje derecho, con brácteas triangulares muy pequeñas; las panículas generalmente largas, ovales, con 15-35 ramas de umbelas que se separan entre un $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ del eje. **Flores** 70-100 mm de largo. **Ovario** verdoso, delgado, abierto, de 30-45 mm con el cuello acanalado. **Tubo** de 8-20 mm de profundidad y de 30-45 mm de ancho, infunbuliforme, con pared gruesa, profundamente acanalada. **Tépalos** desiguales, el más grande externo, de 25-35 mm de largo, linear-lanceolados, rugosos, algunas veces rojodentados, y en la floración, los 2-3 internos más cortos, con la quilla estrecha y grande, apostillada hacia el interior, filamentos frecuentemente muy largos, de 60-90 mm de largo, algo aplanados, insertados en la parte media del tubo, 5-10 mm arriba de la base. **Pistilo** sólido, con estigma trilobulado. **Anteras** de 30-36 mm de largo, amarillas, céntricas a excéntricas en post-floración. **Fruto**, cápsulas oblongas, de 4-5 cm de largo, corto-estipitadas y puntiagudas. **Semillas** lunadas a lacrimiformes, de 7-8 x 5-6 mm y de color negro brillante (Figura 2).

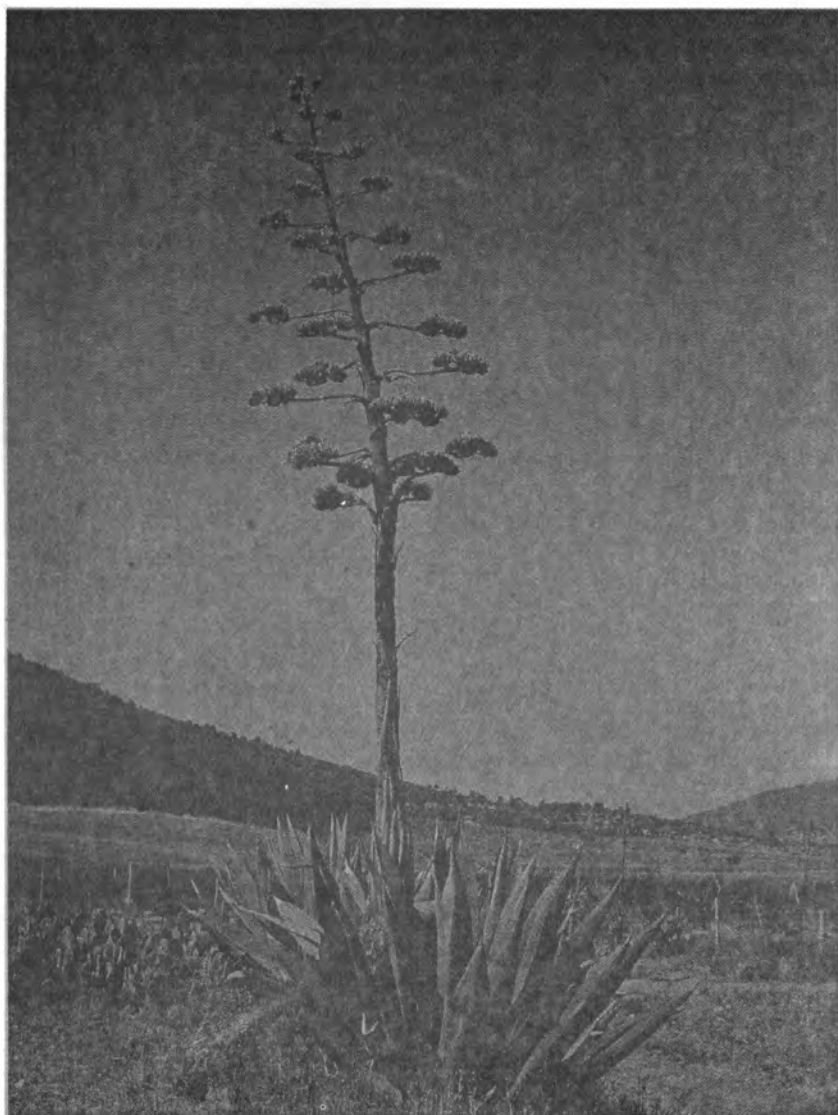


Figura 2. Ejemplar de *Agave americana* var. *americana* en el sureste del Estado de Coahuila.

Distribución: en áreas de cultivos agrícolas, traspatio, reforestación, agostaderos, plantaciones comerciales y para la extracción de aguamiel en Arteaga, Saltillo y General Cepeda.

Usos: delimitación de parcelas agrícolas y predios, reforzamiento de bordos, forraje (hojas e inflorescencia) para el ganado bovino; las hojas cuando están verdes se utilizan en la elaboración de barbacoa, la inflorescencia o "quiote" como alimento, para la extracción de aguamiel, como material de construcción, y en reforestaciones, plantaciones o programas de reconversión productiva (PROCAMPO).

Material revisado: Coahuila, Mpio. Arteaga, Loc. La Efigenia, Coord. N25° 15' 23" O101° 32' 16", 2350 msnm; Mpio. Arteaga, Loc. San Antonio de las Alazanas, Coord. N25° 15' 34" O100° 33' 07", 2125 msnm; Mpio. G. Cepeda, Loc. Guelatao, Coord. N25° 24' 23" O101° 24' 07", 1381 msnm; Mpio. G. Cepeda, Loc. El Porvenir de Tacubaya, Coord. N25° 22' 35" O101° 20' 01", 1988 msnm; Mpio. G. Cepeda, Loc. La Gloria, Coord. N25° 22' 33" O101° 16' 44", 1360 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. San Francisco el Caracol, Coord. N25° 15' 23" O100° 32' 16", 1499 msnm.; Mpio. Saltillo, Loc. Rancho 8 Hermanos, Coord. N25° 27' 30" O101° 07' 09", 1559 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Carneros, Coord. N25° 07' 17" O101° 06' 20", 2092 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. San Pedro, Coord. N24° 57' 56" O101° 08' 45", 2002 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. El Mesón, Coord. N25° 27' 06" O101° 14' 17", 1543 msnm; Mpio. Saltillo, Loc. Los Llanos de la Unión, Coord. N25° 22' 20" O101° 26' 44", 1923 msnm.

***Agave americana* L. var. *marginata* Trel.**

Nombre común: "maguey ornamental"

Tiene las mismas características que el *Agave americana* var. *americana* a excepción de los márgenes amarillos de sus hojas.

Distribución: parcelas agrícolas del Ejido Los Llanos de la Unión Saltillo, Coahuila.

Usos: esta variedad es ornamental y se utiliza en áreas urbanas de la ciudad de Saltillo, tales como: parques, camellones, calles, jardines de escuelas, universidades e instituciones de administración pública; en el ejido Los Llanos de la Unión se usa para el reforzamiento de los bordos en parcelas agrícolas, con excelentes resultados y con una buena adaptación a las condiciones de temporal.

Material revisado: Coahuila, Mpio. Saltillo, Loc. Los Llanos de la Unión, Coord. N25° 22' 20" O101° 26' 44", 1923 msnm

***Agave americana* L. ssp. *protoamericana* Gentry**

Nombre común: "maguey serrano"

Rosetas acaulecentes, cortas, surculosas. **Hojas** lanceoladas, de 80-135 x 17-22 cm, algo rígidas, poco angostas por encima de la base carnosa, de plana hasta

acanalada en el haz, ligeramente glauca, de color gris a verde pálido, a veces marcadas con bandas; el margen crenado a sinuado, dientes generalmente regulares de tamaño y con espacios de 5-10 mm entre sí, con las bases anchas, rectas a curvadas y de color café oscuro a gris. **Espinas** de 3-6 cm de largo, amplias en la base, de color café oscuro a café grisáceo, decurrentes, acanaladas. **Paniculas** de 6-8 m de altura con 15-20 brácteas laterales pequeñas, y ramificaciones entre $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ del eje. **Flores** de 75-90 mm de largo, sobre pedicelos delgados, bracteolados. **Ovario** de 38-45 mm de largo, cilíndrico o fusiforme. **Tubo** profundamente infundibuliforme, de 15-20 mm de largo, carnoso y acanalado. **Tépalos** desiguales, angostos por la involución durante la floración, los exteriores son de 20-30 mm de largo, lineares a lanceolados, ápice levemente en forma de capucha, rugoso, papilado y a veces de color oscuro. **Filamentos** de 60-70 mm de largo, insertos en el tubo medio. **Anteras** de 25-35 mm de largo, excéntricas. **Fruto**, cápsulas pequeñas de 3.5-4.0 x 1.6-2.0 cm, oblongas, con pared delgada, de color café claro y cespitadas. **Semillas** de 7.0-7.5 x 5-6 mm, lacrimiforme, negras, margen alado y uniforme.

Distribución: Ejido Porvenir de Tacubaya, General Cepeda.

Usos: subespecie silvestre, útil en las reforestaciones de agostaderos y como forraje para el ganado.

Material revisado: Coahuila, Mpio. G. Cepeda, Loc. El Porvenir de Tacubaya, Coord. N25° 22' 35" O101° 20' 01", 1988 msnm.

***Agave scabra* Salm.-Dick ssp. *scabra* Gentry.**

Nombre común: "maguey bronco"

Planta acaulescente, con vástagos libres, pedunculados, rosetas abiertas con 30-40 hojas al madurar y de 70-100 cm de alto. **Hojas** generalmente de 60-100 cm de largo y 12-16 cm de ancho, rígidas, lanceoladas, estrechas en la base y planas hacia el ápice, con estriado profundo en la parte media, acuminadas, ásperas, de color verde pálido a gris, glaucas, dientes en su extremo inferior, deflexos y de 8-15 mm de longitud. **Espinas** terminales de 3.5-6.0 cm de longitud, tubuladas, estrechas, ásperas en la base, decurrentes o involutas, en los márgenes de la hoja. **Inflorescencias** de 4-6 m de largo, al desarrollarse se abren con 8-12 ramificaciones, con umbelas pequeñas y compactas. **Flores** de 6-8 cm de longitud, amarillas. **Ovarios** de 3-4 cm de longitud y color verde brillante. **Tubo** de 13-20 mm, dentado. **Tépalos** de 18-25 mm de longitud y 4-6 mm de ancho, desiguales, erectos, lanceolar-lineares, regulares, insertos justo encima de la parte media del tubo. **Anteras** de 24-30 mm de largo y céntricas. **Fruto** de 4-5 cm de largo y 1.7-2.0 cm de ancho, oblongo y puntiagudo. **Semillas** de 5 mm de longitud y 6-7 mm de ancho, de forma lunada (Figura 3).

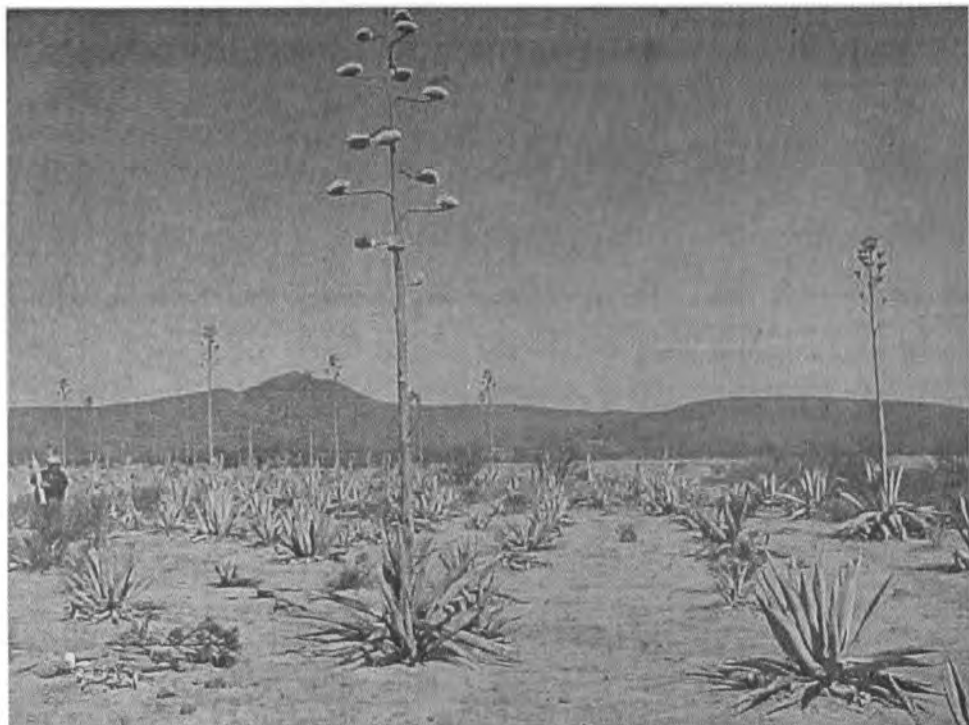


Figura 3. Al centro ejemplar de *Agave scabra* spp. *scabra* en el sureste del Estado de Coahuila.

Distribución: Ejido La Rosa, Mpio.de General Cepeda.

Usos: planta silvestre utilizada en la reforestación de agostaderos; además su inflorescencia o "quiote" se consume cocido.

Material revisado: Coahuila, Mpio. G. Cepeda, Loc. La Rosa, Coord. N25° 29' 21" O101° 23' 46", 1228 msnm.

CONCLUSIONES

En la región sureste del estado de Coahuila se identificaron tres especies, con tres variedades y tres subespecies del género *Agave* (maguey cultivado). *Agave salmiana* var. *salmiana*, *Agave salmiana* ssp. *crassispina*, *Agave americana* var. *americana*, *Agave americana* var. *marginata*, *Agave americana* ssp. *protoamericana* y *Agave scabra* ssp. *scabra*.

Agave salmiana var. *salmiana* y *A. americana* var. *americana*, son las más

utilizadas por los habitantes de las comunidades ejidales del área de estudio, pues se usan en programas de reforestación, para delimitar parcelas agrícolas y reforzamiento de bordos, así como para la extracción de aguamiel o dentro de programas de reconversión productiva.

REFERENCIAS

- Arias C., G., J. Villanueva D. y M. A. Martínez C. 1991. Establecimiento y manejo de maguey para la obtención de forraje, INIFAP-CIRNE. Folleto para productores No. 10. San Luis Potosí, S. L. P. México. 12 p.
- Arizaga, S. y A. Martínez P. 2004. Conservación de la familia Agavaceae en México. *In*: Memorias del IV Congreso Mexicano y III Latinoamericano de Cactáceas y otras Suculentas. Guadalajara, Jal., México. p. 67.
- Ayala, L. y G. Ruiz S. 1999. Usos del maguey pulquero *Agave salmiana* en México. *In*: Mundo Agropecuario Año 3. No. 3. Grupo Multitecnia, S. A. de C. V. Morelia, Mich. México. 24 p.
- Benthams, G. and J. D. Hooker. 1883. *Genera Plantarum*. London 3(2): 447-1258.
- Berger, A. 1915. Die Agaven Beitrage Zu Einer Monographie. Verlag Von Gustav Fisher, Jenna. Deutschland. 228 p.
- Castillo, D., J. M. Aguilera Ch. y J. A. Villarreal Q. 1993. Inventario florístico del Campo Experimental "La Saucedá" municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. INIFAP-CIRNE Campo Experimental "La Saucedá", Saltillo, Coahuila, México. Folleto Técnico No. 7. 20 p.
- Century Plant, Maguey. 2005. *Agave americana* L. http://www.desert-tropicals.com/Plants/t_Agavaceae/Agave americana.html (7 de octubre de 2005).
- Floridata. 2005. *Agave americana*. http://floridata.com/ref/A/agav_ame.cfm (7 de octubre de 2005).
- García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación de Köppen para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana. UNAM. 2ª Edición. México, D. F. 147 p.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press. Phoenix, AZ. USA. 670 p.
- Gioanetto, F. y E. Franco J. 2004 Usos medicinales y etnobotánica de las Agavaceae y Nolinaceae en México y Centroamérica. *In*: Memorias del Simposio Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae. Los agaves de importancia económica en México. Mérida, Yuc., México. p. 67.
- González S., R. 1994. Valor nutricional de dos especies de maguey forrajero *Agave salmiana* y *Agave atrovirens* utilizados en zonas áridas y semiáridas de México con relación a sus características fenológicas. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 36p.
- Granados, D. 1993. Los agaves en México. Difusión Cultural, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 252 p.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1997. El maguey forrajero como alternativa productiva en zonas áridas y semiáridas. *In: Tecnologías Llave en Mano*. División Forestal, INIFAP Produce, México, D. F. pp. 69-85.
- Melgoza, A. y J. S. Sierra T. 2003. Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyllirion* spp. (sotol) en Chihuahua, México. *Rev.Cien. For. en Méx.* Vol. 28(93): 25-40.
- Mezcal de Oaxaca. 1998. <http://www.oaxaca.gob.mx/mezcal/spanish/infcom.htm> (21 de septiembre de 2005).
- Pinkava D., J. 1979. Vegetation and flora of the Bolson of Cuatro Ciénegas region, Coahuila, Mexico. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 38: 35-74.
- Rodríguez, A., J. A. Villarreal Q. y J. Valdés R. 1994. Vegetación y flora de la Sierra de Parras, Coahuila. *Agraria* 10(2): 179-109.
- Ramírez L., F. 1996. Respuesta a la fertilización y riego del maguey *Agave salmiana* para uso forrajero en el Cañón de San Antonio de las Alazanas. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 77 p.
- Ruvalcaba M., J. 1983. El maguey manso. Historia y presente de Epazoyucan, Hgo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 122 p.
- The mangrove tree. 2005. Agave-pulque. *Agave salmiana*. <http://www.themangrovetree.com/shop/item.asp?itemif=1570> (7 de octubre de 2005).
- Trelease, W. 1920. Amaryllidaceae. *In: Trees and Shrubs of Mexico*. Contr. U. S. Natl. Herb. 23: 107-142, 1645-1646.
- Vázquez, R., A. García D., J. C. Ibarra F. y J. A. Villarreal Q.. 2001a. Las plantas del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Lista actualizada, complementada y ordenada alfabéticamente. *Agraria* 3(7): 171.
- Vázquez, R., I. Cabral C., J. A. Villarreal Q. y J. Valdés R. 2001b. Las plantas de pastizales del rancho experimental ganadero "Las Norias", municipio de Acuña, Coahuila. *Agraria* 3(8): 39.
- Villarreal J., A. 1994. Flora vascular de la Sierra de la Paila, Coahuila, México. *Sida* 16(1):109-138.
- Villarreal J., A. 2001. Listados florísticos de México. *In: XXIII Flora de Coahuila*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 138 p.

ÍNDICE DE SITIO PARA *Cedrela odorata* L. (CEDRO ROJO) EN QUINTANA ROO, MÉXICO

Xavier García Cuevas¹, J. Germán Flores Garnica² y
Juan de Dios Benavides Solorio²

RESUMEN

Evaluar la productividad de un sitio forestal permite predecir la cantidad de madera que el suelo puede producir en cierto periodo. Los métodos indirectos son la forma más común de hacerlo por su sencillez, porque utilizan variables fáciles de medir en campo y funcionan como predictores de crecimiento. Esta investigación se realizó en Quintana Roo, México y para ello se tomó información de remediciones de plantaciones puras de *Cedrela odorata* (cedro rojo), con el objetivo de ajustar el modelo de Schumacher con el Método de la Curva Guía para desarrollar ecuaciones anamórficas y polimórficas de índice de sitio. En el análisis se aplicaron técnicas de regresión no lineal mediante el Método de Mínimos Cuadrados con el procedimiento NLIN (Regresión no lineal) y la opción DUD (sin uso de derivadas) del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). Los estadísticos de bondad de ajuste del modelo fueron: Cuadrado Medio del Error (CME = 6.33412) y Pseudo R² (R² = 0.84). De acuerdo a lo anterior el modelo obtenido es válido para predecir la altura dominante en función de la edad y es factible trabajar bajo la hipótesis de que para el caso de plantaciones con *Cedrela odorata* es posible medir la productividad de los suelos forestales mediante el índice de sitio como indicador.

Palabras claves: *Cedrela odorata*, curvas anamórficas, curvas polimórficas, índice de sitio, método de la curva guía, modelo de Schumacher.

Fecha de recepción: 20 de enero de 2004

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2007

¹ Campo Experimental Chetumal. Centro de Investigación Regional del Sureste. INIFAP. garcia.xavier@inifap.gob.mx

² Campo Experimental Altos de Jalisco. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP.

ABSTRACT

To assess the productivity of the forest site makes it possible to predict the amount of wood that the soil may produce at a particular time. Indirect methods are the most common way to do it, as they are simple, the use variables that are easy to measure in the field and they work as growth predictors. This research was carried out in Quintana Roo, México. Remeasurements data of pure (red cedar) *Cedrela odorata* plantations were used. The aim of this study was to apply the Schumacher model and the Guide Curve Method to develop anamorphic and polymorphic site index equations. For the data analysis and generation of the equation, non-linear regression techniques were used through the Minimum Square Method, using the Statistical Analysis System (SAS) program with its non-linear regression procedure (NLIN), and the DUD option (Doesn't use derivatives). The adjustment statistics considered here were: Mean Square Error (MSE = 6.33412) and Pseudo R^2 ($R^2 = 0.84$). Thus, the model is valid to predict the dominant height as an age function and under the hypothesis that it is possible to measure productivity of the forest soils by using the site quality index as an indicator.

Key words: *Cedrela odorata*, anamorphic curves, polymorphic curves, site quality index, guide curve method, Schumacher model.

INTRODUCCIÓN

El hábitat de un bosque está compuesto por la suma total de los factores geológicos, edáficos, climáticos, bióticos y genéticos, que influyen en la capacidad del medio para sustentar a los seres vivos, incluyendo a los árboles y otros tipos de plantas presentes en el sitio (Pritchett, 1986; Spurr y Barnes, 1982), definido éste como un área con características específicas que alberga un tipo y calidad de vegetación. Su evaluación integral se efectúa por medio del índice de sitio, que representa la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo a una edad de referencia (Zepeda y Rivero, 1984). En Dasonomía se usa para determinar la capacidad de un lugar para soportar el crecimiento de las especies forestales (Spurr y Barnes, 1982).

La clasificación del sitio se basa en variables climáticas, edáficas y de vegetación, o en clases, las cuales perfilan cierta probabilidad de crecimiento y productividad (Avery y Bukhart, 1983). Para calificarlo se requiere comprender el significado de conceptos como "capacidad productiva", "productividad del sitio" y "calidad de estación" (Zepeda y Rivero, 1984), lo que ayudará, por ejemplo, a tipificar la capacidad potencial de producción de madera de un rodal para una especie o un tipo de bosque en particular. En otras palabras, se obtiene un índice que establece, de forma muy aproximada, la máxima cantidad de

volumen de madera que el suelo es capaz de producir en un cierto periodo (Clutter *et al.*, 1983; Davis y Jonson, 1987).

Conocer la productividad de un sitio forestal, por lo general, implica hacer mediciones de sus características (geológicas, edáficas, climáticas, bióticas y genéticas) y del rodal (altura, edad, etc.), con las que se formulan indicadores (Madrigal, 1995); uno de ellos es la calidad de sitio (Benavides y Manzanilla, 1993), cuyas técnicas de evaluación y estimación han evolucionado, hasta tener en la actualidad varios sistemas de clasificación, todos interesantes de acuerdo a sus objetivos (Pritchett y Fisher, 1987).

Los métodos que se aplican para lograr lo anterior pueden ser directos e indirectos. Los primeros son muy precisos y manejan registros permanentes de producción, con datos de volumen por unidad de superficie o altura del arbolado. Los segundos consideran la relación que existe entre las características del sitio y de la vegetación (Clutter *et al.*, 1983).

Los indirectos constituyen la modalidad más común para estimar la calidad de sitio, debido a que para su construcción se utilizan variables fáciles de medir en campo, son sencillos y se obtienen a bajo costo, conducen a resultados de manera muy precisa y funcionan como predictores de crecimiento (Carmean y Lenthall, 1989). La relación altura - edad (Índice de sitio) es la medida más práctica, consistente y útil como indicador de la calidad de sitio (Davis y Johnson, 1987).

Calidad de sitio

Con base en este concepto, la productividad es relativa de acuerdo a la especie, de manera que un área representa un alto potencial productivo para un taxón y bajo para otro (Clutter *et al.*, 1983).

Índice de sitio

Es uno de los métodos más usados para calificar la calidad de sitio en masas coetáneas, preferentemente puras, con base en las relaciones de altura dominante - edad. Se considera que la altura promedio es afectada por la edad y la densidad del rodal, así como por la calidad de sitio. Por ello es común usar la altura dominante a una determinada edad, ya que es el mejor indicador del potencial productivo del bosque en un lugar en particular, puesto que es una variable que no está influenciada por la densidad (Alder, 1980). Sin embargo, dicho parámetro deja de ser un buen indicador de la calidad de sitio para rodales jóvenes de especies de muy rápido crecimiento, como las que se desarrollan en los trópicos, o en ciertos taxa que presentan gran variabilidad en sus patrones de desarrollo.

Tipos de familias de curvas de índice de sitio

Una familia de curvas consiste en la construcción de un sistema de ecuaciones de crecimiento en altura, que revelan el comportamiento para diferentes calidades de estación y durante toda la vida del rodal (Stage, 1963). En la determinación de índice de sitio, se reconocen dos variantes: a) anamórficas y b) polimórficas

Curvas anamórficas.- Se caracterizan por mostrar la misma forma, ya que son proporcionales entre sí, y la pendiente de la altura a cualquier edad guarda una relación constante entre ellas (Clutter *et al.*, 1983). También tienen un punto de inflexión a la misma edad; es decir, las curvas de índice de sitio son anamórficas, si hay una tasa relativa de crecimiento constante para todos los índices de sitio a una edad específica y el punto de inflexión es a la misma edad para todas ellas (Zepeda y Rivero, 1984). Cuando se grafican en escala logarítmica son rectas paralelas, con igual pendiente, pero con diferente ordenada al origen.

Curvas polimórficas.- Su pendiente es variable, generalmente no guardan una relación de paralelismo y son independientes unas de otras; por lo tanto sus puntos de inflexión ocurren a edades diferentes. En ellas se observa que la culminación del crecimiento en altura se alcanza más pronto en sitios de buena calidad (Clutter *et al.*, 1983); Zepeda y Rivero, 1984; Acosta, 1991). Por lo anterior, la tasa relativa de crecimiento es variable para todos los índices de sitio; lo que significa que es distinta para cada edad. Las curvas polimórficas, al no ser proporcionales unas a otras, indican que existen distintos hábitos de crecimiento para las diversas clases de índice de sitio (Clutter *et al.*, 1983).

Las curvas polimórficas son articuladas (no cruzadas) o desarticuladas (cruzadas). Las primeras se relacionan, aunque de manera no proporcional sin intersectarse en los intervalos de interés; mientras que las segundas son independientes, pero es posible que se crucen en los puntos antes referidos (Clutter *et al.*, 1983).

Existen numerosos estudios sobre este tema en ecosistemas forestales templados, y pocos con especies de las regiones tropicales. Por lo tanto se planteó el estudio que se describe a continuación con el objetivo de elaborar ecuaciones de índice de sitio mediante el método de la curva guía con el modelo de Schumacher en sus versiones anamórfica y polimórfica para plantaciones forestales de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en Quintana Roo, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona de interés se localiza en el sureste de México, dentro del área de influencia del Sitio Experimental "San Felipe Bacalar" ubicado entre las coordenadas

geográficas $18^{\circ}44'49.2''$ a $18^{\circ}52'10.5''$ de latitud Norte y $88^{\circ}19'28.5''$ a $88^{\circ}30'52.6''$ de longitud Oeste, Municipio de Othón Pompeyo Blanco, Quintana Roo, México, a una altitud promedio de 10 m (Figura 1).

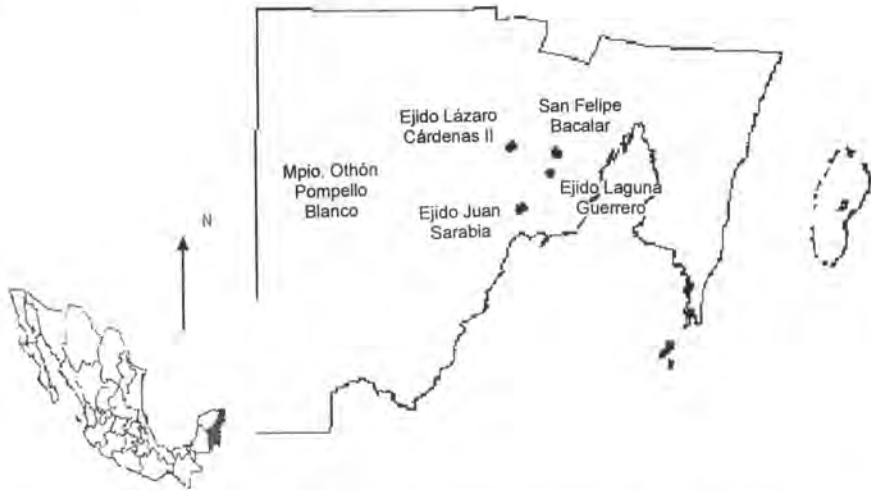


Figura 1. Localización geográfica del Sitio Experimental "San Felipe Bacalar" en Quintana Roo, México.

Con base en la clasificación de Koëppen modificada por García (1983), la fórmula climática del lugar es $Aw(x')_i$, que corresponde a un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y parte del invierno; la oscilación térmica promedio mensual es menor a 5°C . La temperatura media anual es de 25.5°C y la precipitación anual de 1260 mm, con una época seca bien definida entre diciembre y mayo (INEGI, 1986; García, 1998; García *et al.*, 1998).

La topografía del terreno es casi plana y en ella se presentan la mayor parte de los suelos citados para la Península de Yucatán, que, según la terminología maya y su equivalente de la FAO – UNESCO (1970), citados por Ortiz (1997) corresponden a: T'zekel (Litosol), Kakab (Rendzina); K'ankab (Luvisol crómico), Yax-hoom (Vertisol pélico), Ak'alche (Vertisol gleyco) y Sabana (Gleysol) (Chavelas, 1976; García, 1998; García *et al.*, 1998).

En la región existen los siguientes tipos de vegetación (Chavelas, 1976; García, 1998; García *et al.*, 1998): selva mediana subperennifolia, en suelos someros (T'zekel y K'ankab); selva mediana subperennifolia, sobre suelos profundos (Yax-hoom); selva baja caducifolia, en suelos temporalmente inundables (conocidos comúnmente como bajos o Ak'alche); sabanas, en áreas inundadas casi en forma

permanente (Gleysol). Así mismo, hay asociaciones de manglares y palmares a las orillas de las lagunas en lugares con humedad alta y suelos profundos.

Base de datos

Se utilizó información de ocho plantaciones de *Cedrela odorata* clasificadas por tipo de suelos y 18 mediciones y remediciones de las mismas, con edades entre 3 y 28 años, establecidas en el Sitio Experimental "San Felipe Bacalar" y los ejidos de Lázaro Cárdenas II, Juan Sarabia y Laguna Guerrero en Quintana Roo, México (Figura 1). Las mediciones del diámetro normal se hicieron con cinta diamétrica y la altura total con clinómetro Suunto®. Las variables registradas fueron: edad, diámetro normal (1.30 m sobre la base del árbol), altura total y tipo de suelo de acuerdo a la clasificación maya.

Modelo de Índice de Sitio

Se realizó un análisis estadístico para generar la familia de curvas anamórficas y polimórficas mediante el método de la curva guía, el cual consiste en ajustar en forma analítica una expresión matemática para obtener una curva promedio para todo el intervalo de observaciones altura dominante – edad. A partir de ella se trazaron otras proporcionales arriba y abajo de la curva guía, las cuales representan diferentes índices de sitio (Cuadro 1).

Para analizar los datos y generar las fórmulas se aplicaron técnicas de regresión no lineal mediante el Método de Mínimos Cuadrados con los procedimientos NLIN (Regresión no lineal) y la opción DUD (sin uso de derivadas) del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1992). Los estadísticos de bondad de ajuste del modelo fueron: Cuadrado Medio de Residuales y Pseudo R^2 .

Las familias de curvas anamórficas o polimórficas se construyeron despejando los parámetros de escala o de forma de la ecuación generada, ya que éstos definen el tipo al que corresponden (Cuadro 1).

i) Curvas anamórficas.- De la fórmula de índice de sitio se despejó el parámetro asintótico, su expresión se sustituyó en la ecuación original, con lo que éste se consideró implícito y el o los parámetros de forma son comunes para todos los sitios. Al variar la edad y el índice de sitio deseado, pero manteniendo constante la edad base, se generó la familia de curvas anamórficas. A continuación se resume el proceso y las ecuaciones se presentan en el Cuadro 1.

- a) Las ecuaciones de crecimiento en su forma integral se ajustan a la base de datos para generar la curva guía.
- b) Cuando la edad (E) se hace igual a la edad base (E_0), entonces la altura dominante (H) será igual al índice de sitio (IS).

Cuadro 1. Ecuaciones de crecimiento en altura dominante, índice de sitio, familias de curvas y calificación de índice de sitio para plantaciones de *Cedrela odorata* en algunas plantaciones de Quintana Roo, México.

Modelo	Ecuación Integral	IS	Familia de curvas	Calificación de IS
Schumacher (anamórfica)	$H = B_0 e^{-\beta_1 E^{-1}}$	$IS = B_0 e^{-\beta_1 E_0^{-1}}$	$H = IS e^{-\beta_1 (E_0^{-1} - E^{-1})}$	$IS = H e^{-\beta_1 (E_0^{-1} - E^{-1})}$
Schumacher (polimórfica)	$H = B_0 e^{-\beta_1 E^{-1}}$	$IS = B_0 e^{-\beta_1 E_0^{-1}}$	$H = B_0 \left(\frac{IS}{B_0} \right)^{\frac{E_0}{E}}$	$IS = B_0 \left(\frac{H}{B_0} \right)^{\frac{E}{E_0}}$

H = Altura dominante; E_0 = Edad base (años); β_0 = Parámetros asíntotico; β_1 = Pendiente de las curvas; IS = Índice de sitio; E = Edad (años); Ecuación integral; Ecuación de Índice de Sitio, Ecuación para generar familias de curvas; Ecuación para calificar el Índice de Sitio.

- c) Como β_0 es un parámetro dependiente del sitio y el IS es igual a la altura dominante a la edad base, para graficar la familia de curvas se despeja β_0 de la ecuación y su expresión se sustituye en las ecuaciones integrales, con lo que se obtiene la expresión para generar las familias de curvas anamórficas de índice de sitio, sustituyendo las etiquetas del índice de sitio deseado, mismas que deben estar acordes con la dispersión de los datos observados.
- d) Para calificar la calidad de sitio de un rodal, conocida la edad y la altura dominante, se despeja IS de las ecuaciones que generan las familias de curvas (Cuadro 1).

ii) Curvas polimórficas.- Para graficar la familia de curvas polimórficas, de la ecuación integral ⁽¹⁾ se despeja β_1 (parámetros dependientes del sitio por ejemplo velocidad de crecimiento) y resultan las expresiones del Cuadro 1 ^(2, 3 y 4). Estas fórmulas sirvieron para calificar el índice de sitio para cada plantación. El valor asintótico se considera constante para todos los lugares y lo que varía es la velocidad del crecimiento.

Los pasos para su construcción son los siguientes:

- a) Las ecuaciones de crecimiento en su forma integral ⁽¹⁾ se ajustan a la base de datos para generar la curva guía.
- b) Cuando la edad (E) se hace igual a la edad base (E_0), entonces la altura dominante (H) será igual al índice de sitio (IS) ⁽²⁾.
- c) De la ecuación de IS se despeja β_1 y se sustituye en las ecuaciones integrales, con lo que se obtienen las expresiones que generan las familias de curvas polimórficas mediante el método de la curva guía ⁽³⁾.
- d) Al despejar el índice de sitio de la expresión correspondiente a la familia de curvas, se genera la que califica el índice de sitio para un rodal que crece en un lugar específico ⁽⁴⁾.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la altura dominante de las plantaciones evaluadas

En la Figura 2 se ordenan los pares de datos de altura dominante-edad de 1,351 observaciones. La selección del número de árboles dominantes y codominantes en cada plantación se realizó con base en los criterios mencionados por Alder (1980) y Clutter *et al.* (1983) los cuales indican que en una superficie de 1 ha se deben escoger los 100 ejemplares con dichas características. En las plantaciones de menor superficie, el número de árboles fue proporcional a la misma.

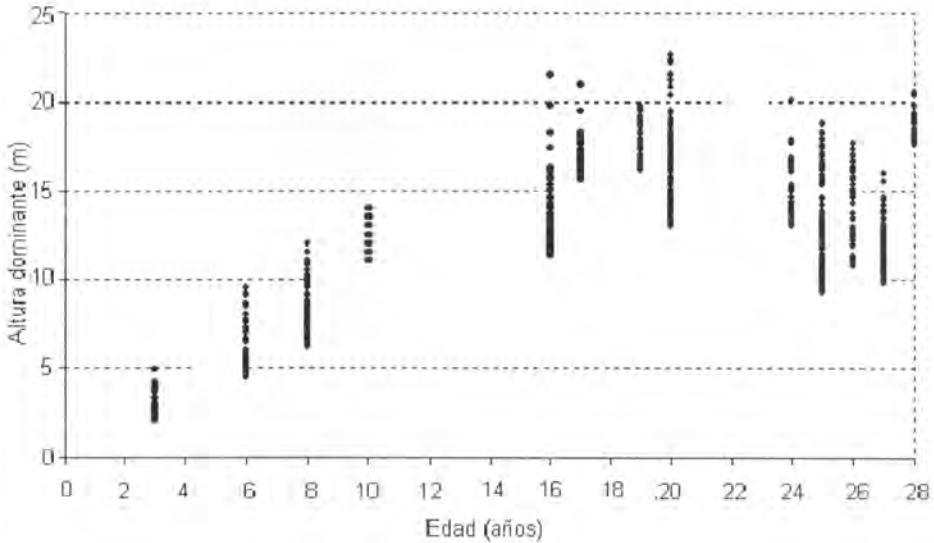


Figura 2. Dispersión de los datos observados de altura dominante en *Cedrela odorata*.

En el Cuadro 2 se muestran los estadísticos básicos de la altura dominante. De acuerdo al incremento promedio anual, en los suelos Pus-lum (Rendzina) los árboles tuvieron valores mayores, siguiéndoles los que crecieron en T'zekel (Litosol), Yax-hoom (Vertisol) y los presentes en un suelo combinado Pus-lum-Yax-hoom (pus yax), respectivamente.

Los resultados sugieren una diferencia del crecimiento de las plantaciones en función del suelo. Así, los mejores tipos para el establecimiento de cedro rojo son los Pus-lum y T'zekel. Al respecto, se tienen evidencias de que la distribución natural de la especie es más representativa en la parte centro y norte del estado de Quintana Roo, donde predominan esos suelos con drenaje excesivo (Glogiewicz, 1998).

Análisis de varianza

Se ajustó el modelo de Schumacher y se obtuvo una ecuación que permite predecir la altura dominante en función de la edad (cuadros 3, 4 y 5).

Con base en el nivel de significancia del modelo ($\alpha = 0.0001$), se concluyó que es válido para predecir la altura dominante en función de la edad y es posible calificar la productividad de los suelos con el índice de sitio como indicador.

Cuadro 2. Características y estadísticos básicos de la altura de árboles dominantes de *Cedrela odorata* en algunas plantaciones de Quintana Roo, México.

Plant	Suelo	Edad	N	Altura dominante (m)					
				Promedio	IMA	STD	CV	MAX	MIN
1	Yax-hoom	3	109	2.4	0.80	0.5	19.8	4.9	2.1
2	Yax-hoom	24	40	15.3	0.64	1.7	11.0	20.1	13.1
3	Pus-lum	6	51	8.3	1.38	0.7	9.0	9.5	7.5
3	Pus-lum	8	61	9.7	1.21	1.1	10.8	12.0	8.5
3	Pus-lum	10	50	12.1	1.21	0.9	7.5	14.0	11.0
3	Pus-lum	17	50	16.8	0.99	1.2	6.9	21.0	15.6
3	Pus-lum	19	52	17.5	0.92	1.1	6.2	19.8	16.2
3	Pus-lum	20	51	18.2	0.91	1.8	9.9	22.7	16.1
4	Pus-lum	25	102	11.2	0.45	1.5	13.2	15.3	9.2
4	Pus-lum	27	103	11.6	0.43	1.4	11.9	16.0	9.8
5	Pus-lum	25	27	16.5	0.66	1.0	5.9	18.8	15.5
5	Pus-lum	28	29	18.6	0.66	0.8	4.5	20.6	17.6
6	Pus-lum	26	41	14.0	0.54	1.9	13.5	17.7	10.8
7	Pus-Yax	6	108	5.1	0.85	0.7	14.0	8.0	4.5
7	Pus-Yax	8	111	7.3	0.91	1.0	13.1	10.0	6.2
7	Pus-Yax	16	106	12.9	0.81	1.8	13.6	21.5	11.3
7	Pus-Yax	20	103	14.7	0.74	1.5	10.3	20.9	13.1
8	T'zekel	8	34	9.3	1.16	0.7	7.4	11.0	8.5

Plant = Plantación; N = Número de árboles; IMA = Incremento medio anual en altura (m/año); STD = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación; MÁX = Máximo (m); MIN = Mínimo (m); Pus-Yax = Pus - lum - Yax-hoom.

Cuadro 3. Análisis de varianza para construir curvas de índice de sitio para *Cedrela odorata* en algunas plantaciones de Quintana Roo, México

FV	GL	SC	CM
Regresión	2	176902.92500	88451.46250
Residual	1348	8538.39740	6.33412
Total no corregido	1350	185441.32240	
Corregido total	1349	29456.02647	

FV = Fuente de variación; GL = Grados de libertad; SC = Suma de cuadrados; CM = Cuadrados Medios.

Cuadro 4. Características de las curvas de índice de sitio para *Cedrela odorata* en algunas plantaciones de Quintana Roo, México.

Parámetro	Estimado	Error estándar asintótico	Intervalos de confianza asintóticos (95%)	
β_0	19.02571753	0.21761819	18.59880301	19.45263205
β_1	-6.38354776	0.15453373	-6.68670574	-6.08038979

Matriz de correlación asintótica

Correlación	β_0	β_1
β_0	1	-0.84317249
β_1	-0.84317249	1

β_0 = Asintota; β_1 = Pendiente.

El Cuadrado Medio de Residuales fue bajo. En el presente estudio se utilizó para el ajuste de la regresión el Método de Mínimos Cuadrados, en consecuencia, cuando se minimiza el Cuadrado Medio del Residual y se detectan valores pequeños, el modelo explica con mayor precisión los datos observados.

Otro criterio trascendente para comprobar la bondad de ajuste de un modelo es el valor del Pseudo Coeficiente de Determinación (Pseudo R^2). En este caso la Pseudo R^2 fue 0.84, el cual se considera relativamente alto. De acuerdo

con Clutter *et al.* (1983), cuando se ajustan curvas de índice de sitio, no se discriminan datos, ya que el objetivo es obtener un patrón de cómo crecerían los árboles a lo largo de su vida, por lo que es común que los valores de R^2 en las ecuaciones sean bajos.

Al verificar el cumplimiento de los supuestos de regresión, se observó que hay normalidad de los errores en el modelo linealizado, puesto que la prueba de Shapiro - Wilk (W : Normal = 0.973373) es altamente significativa ($Pr < W = 0.0001$). Tampoco hubo autocorrelación en los errores ya que el valor del estadístico de Durban Watson ($DW = 1.18$) es cercano a 2 (SAS, 1992). Además, los residuales se comportaron como una línea recta respecto de la normal y sus porcentajes se asemejan a una campana de Gauss (SAS, 1992) (Figura 3).

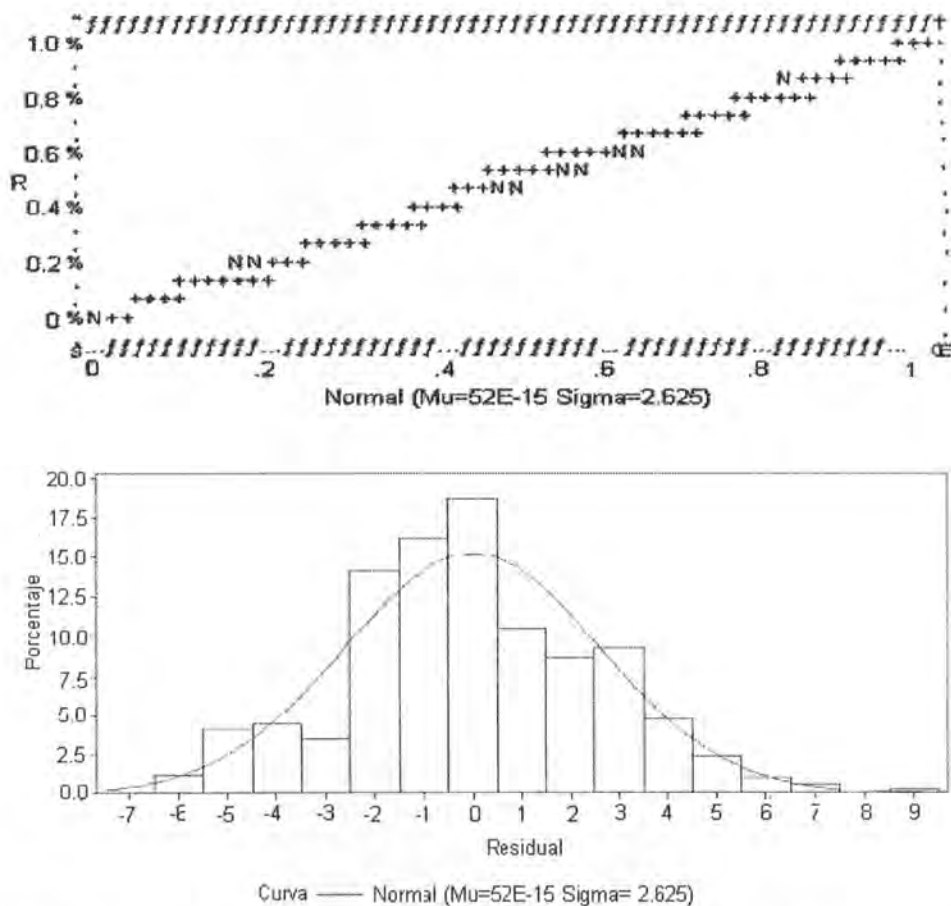


Figura 3. Pruebas gráficas de normalidad para distribución de residuales de los datos de altura dominante de *Cedrela odorata*.

Ecuación generada

La ecuación que resultó para predecir la altura dominante de cedro rojo es la siguiente:

$$H = B_0 e^{-\beta_1 E^{-1}}$$

$$H = 19.02571753 e^{-6.38354776 E^{-1}}$$

En la expresión anterior, el parámetro β_0 corresponde al valor asintótico (Cuadro 1) o máxima altura que los árboles alcanzan (teóricamente a una edad infinita), en este caso a la edad de 28 años, pues representa el universo de datos de altura dominante-edad utilizadas para el ajuste de la ecuación.

El parámetro β_1 (Cuadro 4) se considera dependiente del sitio y representa la velocidad de crecimiento o el número de unidades que aumenta β_0 cuando varía una unidad en β_1 , adecuando las escalas con la forma exponencial.

Estimación de la altura dominante

A partir de la ecuación generada se estima la altura dominante en las plantaciones de cedro rojo, en un intervalo de edades de uno a 28 años. Por ejemplo, para los 16 años, se sustituye la edad en la ecuación y resulta una altura dominante de 12.77 m (Figura 4).

Estimación del índice de sitio

Cuando la edad (E) es igual a la edad base (E_0), misma que se definió como la correspondiente al turno definido por los plantadores del estado, la altura dominante (H) será igual al índice de sitio (IS). La edad base se sustituye en la ecuación:

$$IS = B_0 e^{-\beta_1 E_0^{-1}}$$

$$IS = 19.02571753 e^{-6.38354776 (20^{-1})} = 13.82 \text{ m} \approx 14 \text{ m}$$

Es decir, para una misma plantación que actualmente tiene 16 años de edad y una altura dominante de 12.77 m, a la edad base de 20 años, se esperaría que tuviera un índice de sitio de 14 m, o sea que, a dicha edad alcanzará una altura de 14 m.

Generación de familias de curvas anamórficas

Un aspecto importante a considerar antes de generar la familia de curvas es la elección de la edad base. En el presente estudio se eligió la de 20 años porque

$$H = 19.02571753e^{-638354776(16^{-1})} = 12.77 \text{ m.}$$

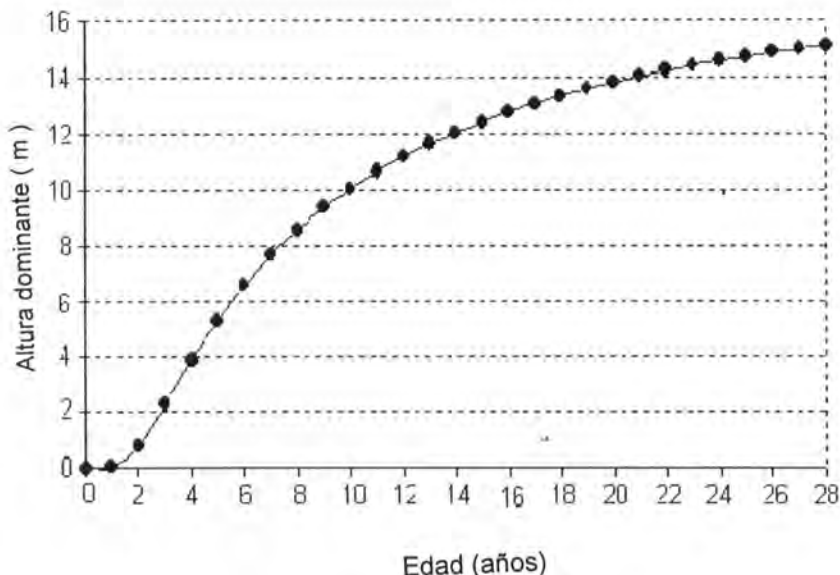


Figura 4. Altura dominante para *Cedrela odorata* en algunas plantaciones de Quintana Roo, México.

en la región los programas de plantaciones forestales comerciales de cedro han fijado un turno técnico con esa duración, lapso en el que se espera que los árboles adquieran un diámetro y un fuste de tamaño comercial.

De las expresiones de índice de sitio se despeja el parámetro asintótico y se sustituye en la ecuación integral; el valor asintótico está implícito y el o los parámetros de forma son comunes para todos los sitios. La ecuación utilizada es:

$$H = ISe^{-6.38354776(E_0^{-1}-E^{-1})}$$

Una vez seleccionada la edad base y definida la tendencia de la curva guía, así como los números de clases de calidad de sitio y la equidistancia entre ellas, se procedió a trazar sus respectivas curvas, obteniendo los datos

que se ilustran en la Figura 5a. En todos los casos la curva guía corresponde al índice de sitio de 14 m.

Las curvas se caracterizan por presentar la misma forma, es decir, guardan la misma proporción en cualquiera de sus puntos. Los de inflexión se observan a la misma edad, ya que tienen igual pendiente, por lo que el incremento es proporcional para todos los sitios (Figura 5a).

El punto de inflexión o la edad a la cual ocurre el máximo incremento corriente anual (ICA) es a los 3.19 años, mientras que a los 6.38 años se verifica el máximo incremento medio anual (IMA) y coincide con el ICA, ambos determinados de forma analítica.

Generación de familias de curvas polimórficas

Se acepta que β_0 es un parámetro dependiente del sitio, representa la velocidad de crecimiento y el IS es igual a la altura a la edad base. Para elaborar la familia de curvas polimórficas (Cuadro 1), mediante manipulación algebraica se despejó β_1 , se sustituyó en la ecuación integral y se obtuvo la expresión:

$$H = 19.02571753 \left(\frac{IS}{19.02571753} \right)^{\left(\frac{E_0}{E} \right)}$$

En la Figura 5b se advierte que los puntos de inflexión para cada índice de sitio ocurren a diferentes edades y tanto los valores asintóticos, como los incrementos máximos se manifiestan primero en los sitios de mayor calidad.

Las curvas sobreestiman el crecimiento en altura de los árboles con índices de sitio de mayor calidad a edades tempranas (por ejemplo: las curvas de índice de sitio igual a 17) y los subestima en calidades de sitio pobres (la curva de índice de sitio igual a 11).

Calificación de índice de sitio

Las ecuaciones generadas en las versiones anamórficas y polimórficas para calificar el índice de sitio son las siguientes:

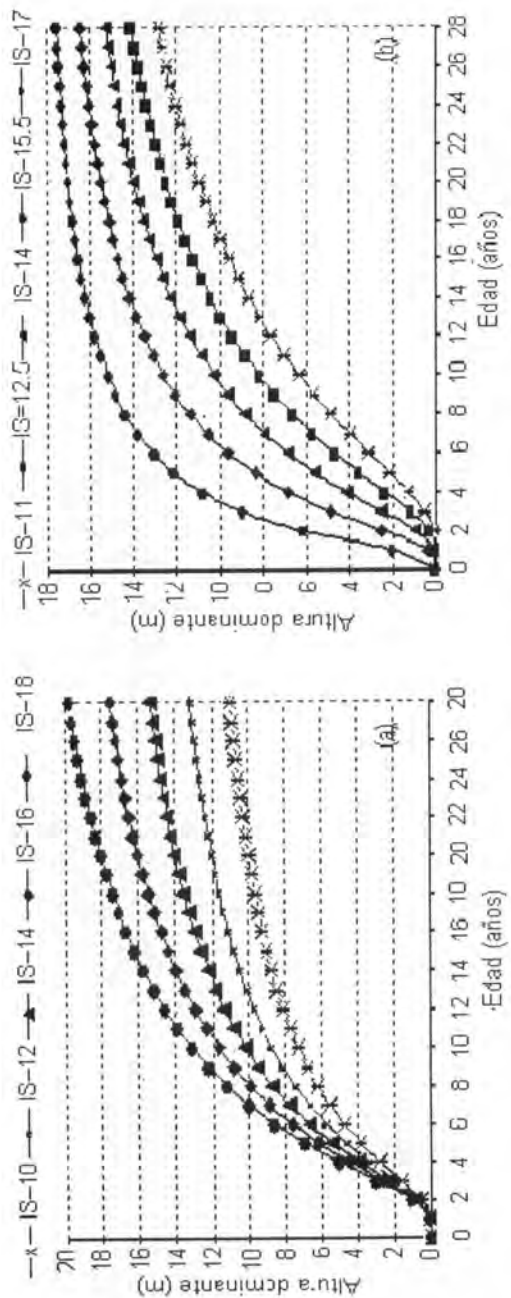


Figura 5. Familias de curvas anamórficas(a) y polimórficas (b) de índice de sitio para *Cedrele odorata*, a la edad de 20 años en algunas plantaciones de Quintana Roo, México.

Anamórfica:
$$IS = H e^{-6.38354776 \left(\frac{E}{E_0} - 1 \right)}$$

Polimórfica:
$$IS = 19.02571753 \left(\frac{H}{19.02571753} \right)^{\frac{E}{E_0}}$$

Si de una plantación de 25 años de edad, que crece en un suelo tipo Pus-lum (Cuadro 5) y que en ese momento tiene una altura dominante de 16.5 m, se desea conocer su productividad (índice de sitio) a una edad base de 20 años, en la ecuación anamórfica, se sustituyen los valores conocidos como se indica a continuación:

$$IS = 16.5 e^{-6.38354776 \left(20^{-1} \cdot 25^{-1} \right)} = 15.48 \text{ m}$$

Lo anterior significa que a la edad base de 20 años se espera que la plantación tenga una altura dominante de 15.48 m y le corresponde un índice de sitio de 15 m (Cuadro 5 y Figura 5a).

La versión polimórfica, para el mismo dato resulta en (Cuadro 4 y la Figura 5b):

$$IS = 19.02571753 \left(\frac{16.5}{19.02571753} \right)^{\frac{25}{20}} = 15.92 \text{ m.}$$

A partir del Cuadro 4 se deduce que, en promedio, los índices de sitio anamórficos para los suelos Pus-lum son de 15.47 m, para el T'zekel es de 15.01 m, para el Yax-hoom de 14.58 m y para la combinación Pus-lum-Yax-hoom de 12.80 m. Los promedios de índices de sitios polimórficos para Pus-lum son de 14.92 m, para T'zekel de 14.29 m, para Yax-hoom de 12.30 m y por último Pus-lum-Yax-hoom de 13.61 m. Se observa que en general los valores anamórficos son mayores que los polimórficos; no obstante que estos últimos sobrestiman el crecimiento en altura de los árboles desarrollados en lugares con índices de sitio de mayor calidad a edades tempranas. Sin embargo las plantaciones evaluadas corresponden a diferentes calidades de sitio y los datos son promedios.

Los suelos de tipo Pus-lum y T'zekel constituyen el mejor sustrato para el establecimiento de plantaciones de *Cedrela odorata* en el sur de Quintana Roo.

Cuadro 5. Calificación del índice de sitio para *Cedrela odorata* a la edad base de 20 años en algunas plantaciones de Quintana Roo, México.

Planta	Suelo	Altura (m)	Edad (años)	IS anamórfico	IS polimórfico
1	Yax-hoom	2.4	3	14.64	13.95
2	Yax-hoom	15.3	24	14.51	14.65
3	Pus-lum	8.3	6	17.48	14.83
3	Pus-lum	9.7	8	15.66	14.53
3	Pus-lum	12.1	10	16.65	15.17
3	Pus-lum	16.8	17	17.77	17.12
3	Pus-lum	17.5	19	17.80	17.57
3	Pus-lum	18.2	20	18.20	18.20
4	Pus-lum	11.2	25	10.51	9.81
4	Pus-lum	11.6	27	10.68	9.75
5	Pus-lum	16.5	25	15.48	15.92
5	Pus-lum	18.6	28	16.98	18.43
6	Pus-lum	14.0	26	13.00	12.77
7	Pus-lum-Yax-hoom	5.1	6	10.74	12.82
7	Pus-lum-Yax-hoom	7.3	8	11.78	12.97
7	Pus-lum-Yax-hoom	12.9	16	13.97	13.94
7	Pus-lum-Yax-hoom	14.7	20	14.70	14.70
8	T'zekel	9.3	8	15.01	14.29

IS = Índice de sitio

Comparación de las familias de curvas

La comparación de ambos métodos de construcción de las familias de curvas se realizó con base en la fidelidad con que representan a los valores observados. En la Figura 6a se muestra que, en general, las curvas anamórficas de índice de sitio estimadas cubren la tendencia del intervalo de dispersión de la nube de los datos considerados, por lo que se acepta que el método propuesto es bueno para los propósitos del estudio. Algunos puntos reales quedan fuera debido a que se trata de plantaciones atípicas que, de acuerdo con Clutter *et al.* (1983), no se eliminan para efectos de mejorar los ajustes de las ecuaciones.

Para las curvas polimórficas, la Figura 6b describe que a edades tempranas, las curvas de índice de sitio generadas para la clase más pobre (IS = 11) estiman valores por defecto y la más alta lo hace para valores por exceso (IS = 17), de forma notable; a edades mayores, las curvas generadas para clases de índice de sitio altas tienden a subestimar los valores observados.

En las figuras 6a y 6b se aprecia que las clases de índice de sitio para las curvas anamórficas son más grandes que las polimórficas, ya que a medida que las clases son iguales a las obtenidas en las anamórficas, las estimaciones tienden a ser menos reales y, como el crecimiento es muy acelerado en las primeras edades, el incremento termina antes de un año y no se observa la culminación para la curva de mayor calidad de sitio.

Las ecuaciones generadas deben ser aplicadas dentro del intervalo de las variables dimensionales y las edades consideradas en este trabajo. No debe incluirse información de plantaciones jóvenes (inferiores a cinco años), ya que esos árboles todavía experimentan un rápido incremento en altura y los datos procedentes de su medición influyen en el ajuste del modelo; en consecuencia, no funcionan como un buen indicador de la calidad sitio.

CONCLUSIONES

Mediante el método de la curva guía y el modelo de Schumacher es posible construir curvas anamórficas y polimórficas de índice de sitio para plantaciones forestales de *Cedrela odorata*; por lo tanto, se formuló una ecuación que permite predecir la altura dominante en función de la edad.

Las curvas polimórficas generadas sobreestiman el crecimiento en altura de los árboles para rodales con índice de sitio de mayor calidad a edades tempranas y lo subestiman en calidades de sitio pobres.

Las familias de curvas anamórficas de índice de sitio representan con más fidelidad el intervalo de dispersión de los valores, por lo que son las adecuadas para calificar el índice de sitio de plantaciones forestales de *Cedrela odorata* en el sur de Quintana Roo.

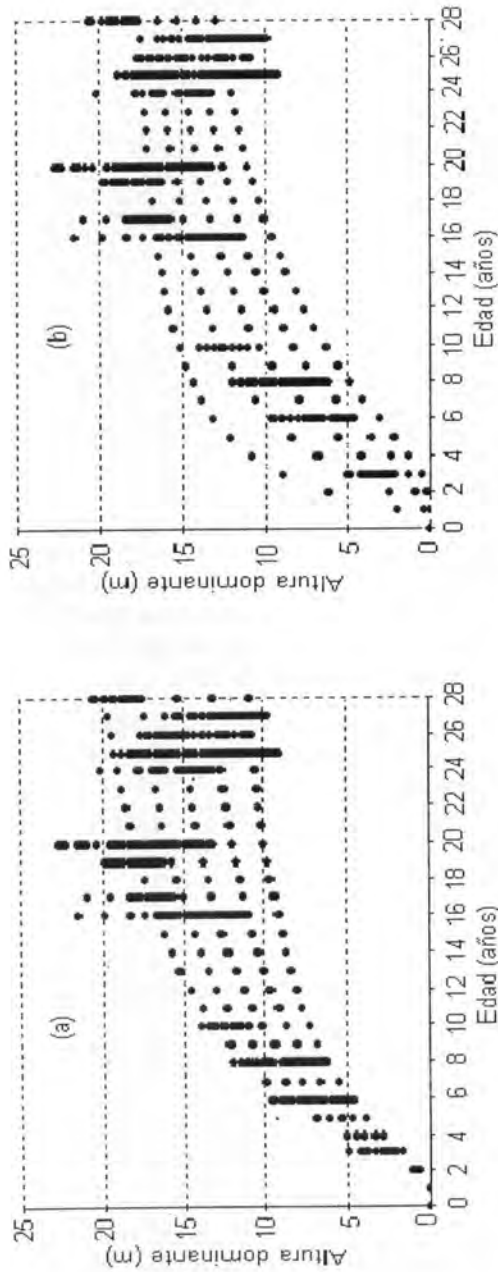


Figura 6. Comparación gráfica de valores observados y predichos de las familias de curvas anamórficas (a) y polimórficas (b) de índice de sitio para *Cedrela odorata*, a la edad base de 20 años en algunas plantaciones de Quintana Roo, México

Los suelos de tipo Pus-lum y T'zekel constituyen el mejor sustrato para el establecimiento de plantaciones de *Cedrela odorata* en el sur de Quintana Roo.

Las ecuaciones generadas deben ser aplicadas dentro del intervalo de las variables dimensionales y las edades consideradas en este estudio.

REFERENCIAS

- Acosta M., M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb., en el C. E. F. "San Juan Tetla", Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de Méx. México. 80 p.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación. FAO: Comité de Montes. Roma, Italia. 118 p.
- Avery T., E. and H. E. Bukhart. 1983. Forest measurements. Mc Graw Hill Co. New York, NY. USA. 331 p.
- Benavides S., J. D. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de la calidad de sitio mediante índices de sitio de *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, para el A. D. F. Tapalpa, Estado de Jalisco. Rev. Cienc. For. en Méx. 18(74): 121-138.
- Carmean, W. H. and D. J. Lenthall. 1989. Height growth and site index curves for jack pine in North Central Ontario. Can. J. For. Res. 19 (2):215-224.
- Chavelas P., J. 1976. Campo Experimental Forestal San Felipe Bacalar. Ciencia Forestal. INIF. 1 (3): 65-74.
- Clutter J., L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. USA. 333 p.
- Gondit, R., S. P. Hubbell, J. V. Frankie, R. Sukumar, N. Manokaran, R. B. Foster and P. S. Ashton. 1996. Species-area and species-individual relationships for tropical trees – a comparison of three 50 ha plots. Journal of Ecology 84(4): 549-562.
- Davis, S. L. and K. N. Johnson. 1987. Forest management. McGraw-Hill Co. New York, NY. USA. 730 p.
- García C., X. 1998. Predicción del rendimiento de *Swietenia macrophylla* King. (Caoba) en plantaciones forestales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. de Méx., México. 114 p.
- García C., X., H. Ramírez M., C. Rodríguez F., J. Jasso M. y C. A. Ortiz S. 1998. Índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México. Rev. Cienc. For. en Méx. 23(84): 9-18.

- García, E. 1983. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D. F. México. 252 p.
- Glogiewicz, J. 1998. *Cedrela odorata* L. In: Árboles útiles de la región tropical de Norteamérica. Washington. D. C. USA. 291 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1986. Anuario estadístico del estado de Quintana Roo. Gobierno del Estado de Quintana Roo. México. 728 p.
- Madrigal H., S. 1995. Determinación de la productividad de dos especies de pino considerando características físicas y químicas del suelo, en Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de Méx. México. 115 p.
- Ortiz S., C. A. 1997. Fundamentos de pedología. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Edafología. Montecillos, Edo. de Méx. México. 85 p.
- Potts, M. D., P. S. Ashton, L. S. Kaufman and J. B. Plotkin. 2002. Habitat patterns in tropical rain forests: a comparison of 105 plots in Northwest Borneo. *Ecology* 83 (10): 2782-2789.
- Pritchett W., L. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Ed. Limusa. México, D. F. México. pp. 307-334.
- Pritchett, W. L. and R. H. Fisher. 1987. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons, Inc. 2nd ed. New York, NY. USA. 494 p.
- Spurr S., H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. A.G.T. Editor. México, D. F. México. 690 p.
- Stage A., R. 1963. A mathematical approach to polymorphic site index curves for Grand fir. *For. Sci.* 9(2):167-180.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1992. SAS/STAT User's Guide. Release 6.03-Edition. Cary, NC. USA. 1028 p.
- Zepeda B., E. M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal* 9(51): 3-38.

TABLAS DE VOLUMEN CON CORTEZA PARA *Pinus douglasiana* Y *Pinus pseudostrobus* DEL SUR-OCCIDENTE DE MICHOACÁN

Efrain Velasco Bautista¹, Salvador Madrigal Huendo², Ignacio Vázquez Collazo²,
Francisco Moreno Sánchez¹ y Antonio González Hernández¹

RESUMEN

Un parámetro poblacional interesante en los inventarios forestales es el volumen maderable del fuste de la masa arbórea. En virtud de que en el sur-occidente de Michoacán las ecuaciones de volumen existentes son a nivel de género, en el presente estudio se elaboraron tablas de volumen fustal para *Pinus douglasiana* y *P. pseudostrobus*. Se trabajó en tres municipios de dicha región, donde la información de campo se obtuvo por medición directa y con tele-relascopio. En las categorías diamétricas de mayor frecuencia se midieron nueve árboles como mínimo, distribuidos en las diferentes calidades de estación. Se probaron los modelos matemáticos: de Da Silva y Borders, Schumacher, Korsun, Logarítmico de la Variable Combinada y Thornber. Después de verificar el cumplimiento de los supuestos básicos de regresión y de evaluar los resultados del análisis de varianza, para ambas especies de *Pinus*, se seleccionó el modelo logarítmico de la variable combinada. Dado que los modelos de los dos taxa presentaron coeficientes de regresión similares, se realizó la prueba de homogeneidad; el resultado indicó que se trata de dos modelos estadísticamente diferentes. Se recomienda su aplicación únicamente en el sitio de muestreo, así como el uso de tele-relascopio por su eficiencia en las lecturas de pendiente y unidades taquimétricas a lo largo del fuste.

Palabras clave: Inventario forestal, modelos de regresión, medición forestal, *Pinus douglasiana*, *Pinus pseudostrobus*, tablas de volumen.

Fecha de recepción: 21 de octubre de 2005

Fecha de aceptación: 27 de junio de 2007

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) - INIFAP. Correo-e: velasco.efrain@inifap.gob.mx

² Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP.

ABSTRACT

An interesting population parameter of the forest inventories is the log volume of trees. Since in the south western region of the state of Michoacán the existing volume equations are at the gender level, two specific tables were formulated, for *Pinus douglasiana* and for *P. pseudostrabus*. Field work was achieved in tree municipalities of this region, where data were obtained by direct measurement and by tele relaskop. Nine trees at least were measured in the diametric categories of major frequency, distributed in the different station qualities. Da Silva & Borders (1993), Schumacher, Korsun, Thornber and the logarithmic of the combined variable mathematical models were tested. After verifying the fulfillment of the basic assumptions of regression and assessing the results of the variance analysis for both pine species, the last model was selected. Since the models presented similar coefficients of regression, the test of homogeneity was made. Results show two statistically different models. It is advisable to use these equations just in those places where sampling was accomplished, as well as to use tele-relaskop for its efficiency in providing slope records as well as tachimetric units along the trunk.

Key words: Forest inventory, regression models, forest measurement, *Pinus douglasiana*, *Pinus pseudostrabus*, volume table.

INTRODUCCIÓN

"Las tablas de volumen son de gran importancia ya que constituyen el fundamento de los inventarios forestales, los que a su vez son el cimiento de la silvicultura y de los métodos de ordenación de montes" (Romahn *et al.*, 1994).

En este contexto un parámetro poblacional de interés es el volumen maderable de los fustes. En general se estima mediante algún diseño de muestreo, cuyas unidades son parcelas de área fija. En dicho proceso se toma en cuenta la suma del volumen por árbol que pertenece a cada unidad.

Las principales ecuaciones que se ajustan en mayor grado a los datos de campo se clasifican en dos categorías: aritméticas y logarítmicas (Caballero, 1972).

Ecuaciones aritméticas.- En ellas no intervienen logaritmos ni expresiones matemáticas complejas, como es la elevación de una variable a una potencia fraccionaria, los exponentes utilizados son los dígitos uno y dos, aunque no excluyen otros números enteros. Destaca la ecuación australiana (Spurr, 1952; Husch, 1963), cuya expresión es:

$$V = a + bD^2 + cA + dD^2 A$$

Donde:

V = Volumen del árbol

D = Diámetro normal

A = Altura del árbol

a, b, c = coeficientes de regresión

Ecuaciones logarítmicas.- Son de carácter exponencial se representan y resuelven por medio de logaritmos (Spurr, 1952; Husch, 1963). Las tradicionales son:

$$\text{Schumacher: } V = aD^b A^c \Rightarrow \ln V = \ln a + b \ln D + c \ln A$$

$$\text{Korsun: } V = a(D+1)^b A^c \Rightarrow \ln V = \ln a + b \ln(D+1) + c \ln A$$

$$\text{Dwight: } V = aD^b A^{3-b} \Rightarrow \ln V = \ln a + b \ln D + (3-b) \ln A$$

$$\text{Variable combinada: } V = a(D^2 A)^b \Rightarrow \ln V = \ln a + b \ln(D^2 A)$$

$$\text{Thorner: } V = a(A/D)^b (D^2 A) \Rightarrow \ln V = \ln a + b \ln(A/D) + \ln(D^2 A)$$

Donde:

V = Volumen del árbol

D = Diámetro normal

A = Altura del árbol

a, b, c = coeficientes de regresión

Hernández *et al.* (1999) generaron ecuaciones de volumen para *Pinus michoacana* Martínez. y *P. douglasiana* Martínez en el sureste de Nayarit. En ambas especies el mejor modelo fue el Logarítmico de la Variable Combinada, mismo que es de fácil aplicación; resultados similares obtuvieron Navarro *et al.* (2000) para predecir el volumen fustal de *Pinus cembroides* Zucc. en el sureste de Coahuila y Cumplido (2002) al comparar modelos aritméticos y logarítmicos con el fin de estimar el volumen fustal con corteza y sin corteza para de *P. arizonica* Engelm., *P. ayacahuite* Ehrenberg & Schldt. y *P. durangensis* Martínez en el estado de Chihuahua. Las ecuaciones de la Variable Combinada y la australiana no mostraron un buen ajuste. Por otra parte, aun cuando todos los modelos logarítmicos presentaron R^2 altas, Cuadrados Medios del Error bajos y diferencias significativas en los parámetros, se eligió el Logarítmico de la Variable Combinada, debido a que es más práctico por el menor número de parámetros que considera.

En el ejido Monterde, municipio de Guazapares, Chih., Armendáriz *et al.* (2003) generaron ecuaciones de volumen para *Pinus herrerae* Martínez y *P. durangensis* a partir del modelo antes citado por su mejor ajuste en comparación con los de Schumacher, Dwight, Korsun y Thornber.

Madrigal y Vázquez (2004) para *P. montezumae* Lamb., *P. herrerae* y *P. pseudostrobus* Lindl. en la región oriente de Michoacán, evaluaron las ecuaciones de Schumacher, Logarítmica de la Variable Combinada, Korsun y Thornber; de ellas la primera fue la que tuvo el mejor ajuste. Resultados similares registraron Muñoz *et al.* (2005) al trabajar con *P. lawsonii* Roetzl. y *P. pringlei* Shaw.

La elaboración de ecuaciones tradicionales de volumen requiere de los datos de altura del árbol y diámetro normal (DAP). Sin embargo, la medición en campo de la primera es difícil. La expresión de volumen desarrollada por Da Silva y Borders (1993) para *Pinus taeda* L. en Estados Unidos la evita mediante el uso de dos diámetros en la parte inferior del tronco para predecir el volumen del árbol; en esta ecuación el dato de la altura no es necesario (Lynch, 1995):

$$V = a + b(VTI)$$

Donde:

VTI = Volumen de la troza generada por diámetros en la parte inferior del tronco

Lares (1994) propuso un cambio en los modelos de Schumacher y el Logarítmico de la Variable Combinada a partir del diámetro normal y el diámetro del tocón en *P. douglasiana*. Los dos presentaron una R^2 menor y un r Cuadrado Medio del Error mayor con respecto a los originales, por lo que el autor concluye que los parámetros propuestos no predicen satisfactoriamente el volumen total del árbol, a diferencia de los usados por Schumacher.

Las tablas de volúmenes de la región oriente de Michoacán elaboradas por la Comisión Forestal del estado datan de 1957 y se utilizaron hasta 1990; en ese año la misma institución hizo otras para tres grupos de especies de *Pinus*. En 1985 la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal 10 "Suroccidental" (UCODEFO 10 "Suroccidental") preparó ecuaciones para los géneros *Pinus* spp. y *Quercus* spp., las cuales se aplican de forma conjunta con las generadas en 1995 por la Dirección Forestal Estatal, en el segundo inventario forestal (SEDAGRO, 1995).

Dado que para la región sur-occidente del estado de Michoacán las ecuaciones de volumen son a nivel de género, en el presente estudio se ajustan ecuaciones para predecir el volumen fustal con corteza de árboles en pie de *Pinus douglasiana* y *P. pseudostrobus*, mediante la comparación de cinco modelos matemáticos y probar si los dos modelos generados son iguales estadísticamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Información de campo

El trabajo se llevó a cabo en la región sur-occidente del estado de Michoacán, en el período comprendido de noviembre de 2004 a mayo de 2005. Los árboles correspondientes a *Pinus douglasiana* se midieron en los municipios de Aguililla, Coalcomán de Vázquez y Tumbiscatio, mientras que los de *P. pseudostrabus*, en los de Aguililla y Coalcomán de Vázquez. Con el fin de delimitar la aplicación espacial de las ecuaciones de volumen generadas, con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se georreferenciaron los lugares en donde se tomaron los datos dasométricos (Figura 1).

Para las dos especies de interés, la información de campo se obtuvo por la medición directa (cubicación de árboles en aprovechamientos forestales) y con un tele-reloscopio [Tele-relaskop, FOB FEINMECH-OPTISCHE A-5020 SALZBURG (Bitterlich)]. En las categorías diamétricas de mayor frecuencia se midieron nueve individuos como número mínimo, distribuidos en las diferentes calidades de estación definidas en la zona (medición indirecta).

Análisis de la información de campo

Los volúmenes de las trozas se calcularon mediante la ecuación de Smalian (Romahn *et al.*, 1994). En el caso de los ejemplares seleccionados para realizar la medición indirecta, la punta se cubió con la fórmula del paraboloide apológico; los diámetros de las trozas resultaron de multiplicar las unidades taquimétricas por la distancia a partir de la cual se realizó la observación, mientras que su longitud se calculó mediante la diferencia entre las distancias, multiplicadas por las pendientes tomadas en los extremos que definieron las trozas simuladas. Dado el poco ahusamiento de los taxa estudiados, el volumen del tocón se estimó por la fórmula del cilindro (Romahn *et al.*, 1994).

El volumen y la altura total de cada árbol proceden de la suma de los volúmenes y longitudes individuales de las trozas que lo integran, respectivamente, incluyendo el tocón; además del volumen comprendido entre el diámetro del tocón y el diámetro normal.

Lo anterior permitió generar una base de datos que incluye las siguientes variables: diámetro normal (m), altura total (m), volumen de la troza entre el diámetro del tocón y el normal (m^3) y el volumen fustal del árbol (m^3).

El análisis de la información se realizó con el programa de regresión (PROC REG) del Sistema de Análisis Estadístico (SAS) (Rebolledo, 2002). Se probaron los modelos: Da Silva y Borders (1993), Schumacher, Korsun,



Figura 1. Puntos de muestreo georreferenciados.

Logarítmico Variable Combinada y Thornber; a excepción del primero, se acostumbra citar a los restantes en estudios relacionados con ecuaciones de volumen, razón por la cual se decidió considerarlos.

Para determinar el modelo con mejor ajuste a los datos, además de verificar el cumplimiento de los supuestos básicos de regresión, se tomaron en cuenta los criterios:

- a) Coeficiente de determinación R^2 (cercano a 1)
- b) Cuadrado medio del error (bajo)
- c) Coeficientes de regresión significativos (valor de $p < 0.05$)
- d) Sencillez del modelo (menor número de variables independientes)

Se calcularon el Factor de Inflación de la Varianza (FIV), el estadístico de Durbin-Watson, el estadístico Shapiro-Wilk y, se graficaron los residuales en contra del valor predicho del logaritmo del volumen del árbol, con el propósito de probar, respectivamente, el cumplimiento de los supuestos: no existencia de multicolinealidad, los errores no están correlacionados, tienen una distribución normal y el error presenta una varianza constante.

Una vez seleccionado el mejor modelo, se procedió a construir la tabla de volumen correspondiente a cada una de las especies.

Homogeneidad de modelos

Con el fin de explorar la utilización de una sola ecuación, se realizó una prueba de homogeneidad de los coeficientes de regresión correspondientes a los modelos logarítmicos de la variable combinada generados para *Pinus douglasiana* y *P. pseudostrobus*. A continuación se indica el estadístico de prueba utilizado (Martínez y Castillo, 1987):

$$F_c = \frac{[(SC(MC) - SC(MR))] / 2}{SCE / (n - 4)}$$

Donde:

F_c = F calculada

$SC(MC)$ = Suma de cuadrados de la regresión con el modelo completo.

SCE : = Suma de cuadrados del error con el modelo completo.

$SC(MR)$ = Suma de cuadrados de la regresión con el modelo bajo la hipótesis conjunta de que los coeficientes de regresión de los dos modelos son iguales.

n = Número de observaciones de *Pinus douglasiana* más el número de observaciones *P. pseudostrobus*

La F calculada se comparó con el valor tabulado de la F de Snedecor con 2 grados de libertad en el numerador y (n-4) grados de libertad en el denominador, con una probabilidad de $\alpha = 0.05$, siendo éste el nivel de significancia.

La regla de decisión considerada fue la siguiente:

Si la F calculada es mayor que la F tabulada, entonces se trata de dos modelos diferentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tamaño de muestra

Pinus douglasiana se trabajó con 214 árboles (22% mediante medición directa y 78% con tele-relascopio) presentes en las cuatro calidades de estación definidas y en el intervalo de categorías diamétricas de 10 a 90 cm, lo que indica una buena distribución de la muestra (Cuadro 1).

De *P. pseudostrobus* se evaluaron 213 árboles (19% mediante medición directa y 81% con tele-relascopio) distribuidos en las diferentes calidades de estación y en un intervalo de categorías diamétricas entre 10 a 110 cm, lo cual también indica una buena distribución de la muestra (Cuadro 2).

En ambos casos el tamaño de muestra es el que resultó una vez que los valores atípicos fueron ignorados en el análisis, lo cual fue necesario para garantizar el cumplimiento de los supuestos del modelo de regresión.

Análisis estadístico

La ecuación original propuesta por Da Silva y Borders (1993) considera que el

Cuadro 1. Número de árboles medidos para *Pinus douglasiana*

Calidad de Estación	Categoría Diamétrica (cm)																			Total general
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90			
Buena						5	7	7	7	13	10	7	7	6	6	2	1		78	
Excelente										3	1	1	1	3	1	2	1		13	
Mala	1	9	11	2	2			1											26	
Regular			2	12	7	11	14	11	9	8	6	7	1	1					97	
Total general	1	11	23	9	13	19	18	17	15	24	17	15	9	10	7	4	2		214	

Cuadro 2. Número de árboles medidos para *Pinus pseudostrabus*.

Calidad de Estación	Categoría Diamétrica (cm)																			Total general	
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	105		110
Buena	1				11	13	11	13	9	12	6	9	7	4	3	1	2				102
Excelente								1	1	3	3	5	3	5	4	3	1	2	1	2	34
Mala	1	7	1																		10
Regular		6	20	12	7	10	8	3	1												67
Total general	1	14	21	12	18	24	19	17	11	15	9	14	10	9	7	4	3	2	1	2	213

volumen del árbol está relacionado linealmente con el de la troza inferior del mismo. Sin embargo, su ajuste directo (en ambas especies) parece no ser el adecuado, ya que se viola el supuesto de homoscedasticidad, pues los residuales se distribuyen en forma de un embudo abierto hacia fuera (Gujarati, 2000), por lo que se propuso como idóneo el potencial (Little y Hills, 1983; Sit and Poulin-Costello, 1994; Pérez, 2003; Montgomery *et al.*, 2004):

$$V = a(VTI)^b$$

Este al ser transformado mediante el logaritmo natural resolvió el problema de heteroscedasticidad.

$$(\ln V = \ln a + b \ln(VTI))$$

Los modelos analizados (transformados mediante el logaritmo natural) para *P. douglasiana* cumplen con los supuestos clásicos de regresión (Cuadros 3 y 4), es decir:

- La varianza de los errores es constante u homocedástica (excepto en el modelo de Korsun), ya que la distribución de los residuales es aleatoria.
- No existe autocorrelación en los errores, ya que los valores del estadístico de Durbin-Watson son relativamente cercanos a 2 (Pérez, 2003).
- Existe normalidad de los errores, puesto que en todos los casos el valor de p correspondiente a la prueba de Shapiro-Wilk es mayor a 0.05.
- No existe multicolinealidad, ya que los FIV < 10 (Gujarati, 2000; Montgomery *et al.*, 2004).

En los Cuadros 5 y 6 se aprecia que los modelos analizados (transformados mediante el logaritmo natural) para *P. pseudostrobus*, cumplen con los supuestos de no autocorrelación y no multicolinealidad; así mismo, todos, excepto el modelo de Korsun, presentan varianza constante, pero el supuesto de normalidad solo lo satisface el modelo de Logarítmico de la Variable Combinada ($p > 0.05$).

Selección del modelo para *Pinus douglasiana*

El modelo de Korsun se descartó por carecer de varianza constante (Cuadro 3). Aun cuando en el resto de los modelos evaluados los coeficientes de regresión resultaron ser significativos (Cuadro 4) (valor de $p < 0.05$), el de Da Silva y Borders (1993) tuvo una R^2 menor y un CME mayor (Cuadro 3); los otros tres revelaron valores similares de R^2 cercanos a 1 y CME bajos, lo cual indica que cualquiera de ellos se ajusta bien a los datos, pero se escogió el Logarítmico de la

Cuadro 3. Estadísticos de los modelos evaluados para estimar volumen fustal en función de diámetros inferiores o de diámetro normal y altura de *Pinus douglasiana*.

Modelo	GL	CME	F _{cal}	Prob F	R ²	DR	DW	Valor W	Prob W
Da Silva y Borders Transformado	213	0.04798	6661.17	<.0001	0.9692	Aleatoria	1.610	0.994087	0.5609
Schumacher	213	0.02237	7265.90	<.0001	0.9857	Aleatoria	1.555	0.993055	0.4137
Korsun	213	0.04351	3683.72	<.0001	0.9722	Arco	1.478	0.992292	0.3232
De la Variable Combinada	213	0.02332	13927.7	<.0001	0.9850	Aleatoria	1.475	0.992292	0.3232
Thornber	213	0.02237	7265.90	<.0001	0.9857	Aleatoria	1.555	0.993055	0.4137

GL= Grados de Libertad; CME= Cuadrado Medio del Error; F_{cal}= Valor de F Calculada; Prob F= Probabilidad exacta de "F"; R² = Coeficiente de determinación; DR= Dispersión de Residuales; DW= Estadístico de Durbin-Watson; W= Estadístico de Shapiro-Wilks; Prob W = Probabilidad de W

Cuadro 4. Coeficientes de regresión estimados de los modelos evaluados para *Pinus douglasiana*.

Modelo	$\hat{\beta}_i$	FIV	Valor de $\hat{\beta}_i$	Valor t	Prob t
Da Silva y Borders Transformado	$\hat{\beta}_0$	0	2.72953	82.89	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	1.00000	1.24808	81.62	<.0001
Schumacher	$\hat{\beta}_0$	0	-0.33723	-1.59	0.1128
	$\hat{\beta}_1$	3.27513	2.08835	54.70	<.0001
	$\hat{\beta}_2$	3.27513	0.80587	13.76	<.0001
Korsun	$\hat{\beta}_0$	0	-5.59649	-29.17	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	2.96499	6.94480	37.89	<.0001
	$\hat{\beta}_2$	2.96499	1.07858	13.88	<.0001
De la variable Combinada	$\hat{\beta}_0$	0	-1.00655	-65.19	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	1.00000	0.98957	118.02	<.0001
Thornber	$\hat{\beta}_0$	0	-0.33723	-1.59	0.1128
	$\hat{\beta}_1$	1.91028	-0.15887	-3.17	0.0018
	$\hat{\beta}_2$	1.91028	0.96474	85.00	<.0001

$\hat{\beta}_i$ = Estimador de β_i ; FIV = Factor de Inflación de la Varianza; Prob t = Probabilidad exacta de "t"; Valor t = Valor de t Student

Cuadro 5. Estadísticos de los modelos evaluados para estimar volumen fustal en función de diámetros inferiores o de diámetro normal y altura para *Pinus pseudostrabus*.

Modelo	GL	CME	F _{cal}	Prob F	R ²	DR	DW	Valor W	Prob W
Da Silva y Borders Transformado	212	0.05991	5799.02	<.0001	0.9649	Aleatoria	1.480	0.986946	0.0479
Schumacher	212	0.01264	14137.1	<.0001	0.9926	Aleatoria	1.737	0.985542	0.0287
Korsun	212	0.04186	4195.54	<.0001	0.9756	Arco	1.219	0.967743	0.0001
De la Variable Combinada	212	0.01288	27741.1	<.0001	0.9925	Aleatoria	1.746	0.988484	0.0844
Thornber	212	0.01264	14137.1	<.0001	0.9926	Aleatoria	1.737	0.985542	0.0287

GL= Grados de Libertad; CME= Cuadrado Medio del Error; F_{cal}= Valor de F Calculada; Prob F= Probabilidad exacta de "F"; R² = Coeficiente de determinación; DR= Dispersión de Residuales; DW= Estadístico de Durbin-Watson; W= Estadístico de Shapiro-Wilks; Prob W = Probabilidad de W

Cuadro 6. Coeficientes de regresión estimados de los modelos evaluados para *Pinus pseudostrabus*.

Modelo	$\hat{\beta}_i$	FIV	Valor de $\hat{\beta}_i$	Valor t	Prob t
Da Silva y Borders Transformado	$\hat{\beta}_0$	0	2.82409	77.16	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	1.00000	1.24261	76.15	<.0001
Schumacher	$\hat{\beta}_0$	0	-1.40884	-8.56	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	3.30836	1.91066	70.90	<.0001
	$\hat{\beta}_2$	3.30836	1.07997	24.60	<.0001
Korsun	$\hat{\beta}_0$	0	-6.64543	-33.67	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	2.81709	5.93802	37.07	<.0001
	$\hat{\beta}_2$	2.81709	1.48736	20.18	<.0001
De la variable Combinada	$\hat{\beta}_0$	0	-1.04088	-91.33	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	1.00000	0.98252	166.56	<.0001
Thorner	$\hat{\beta}_0$	0	-1.40884	-8.56	<.0001
	$\hat{\beta}_1$	2.20263	-0.08310	-2.24	0.0261
	$\hat{\beta}_2$	2.20263	0.99688	114.94	<.0001

\hat{B}_i = Estimador de β_i ; FIV = Factor de Inflación de la Varianza; Prob t= Probabilidad exacta de "t"; Valor t= Valor de t Student

Variable Combinada porque además de tener propiedades estadísticas deseables, es práctico. Los resultados obtenidos coinciden con lo citado por Hernández *et al.*, 1999; Navarro *et al.*, 2000; Armendáriz *et al.*, 2003; Cumplido, 2002; Madrigal y Vázquez, 2004; Muñoz *et al.*, 2005.

La dispersión de los residuales y la gráfica de normalidad de los mismos correspondiente al modelo Logarítmico de la Variable Combinada se muestran en las figuras 3 y 4, respectivamente y en el Cuadro 7 se presenta la tabla de volumen obtenida a partir de:

$$V = 0.36548(D^2 A)^{0.98957}$$

Donde:

D = diámetro normal

A = altura

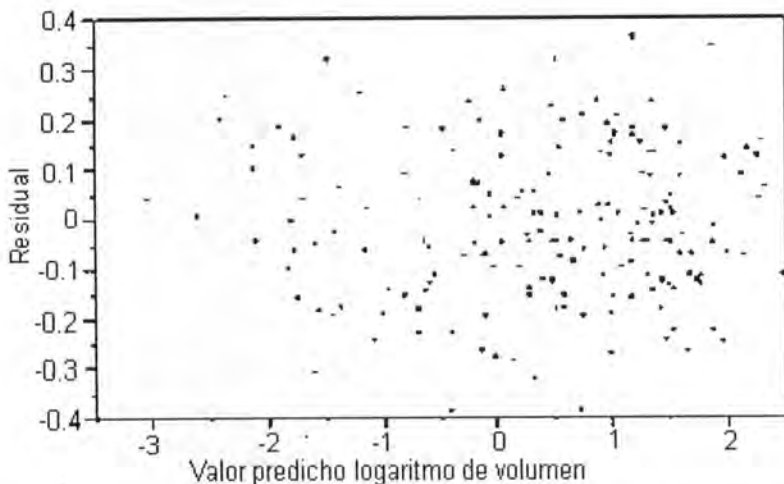


Figura 3. Dispersión de residuales contra el valor predicho del logaritmo de volumen fustal con base en el modelo logarítmico de la variable combinada para *Pinus douglasiana*.

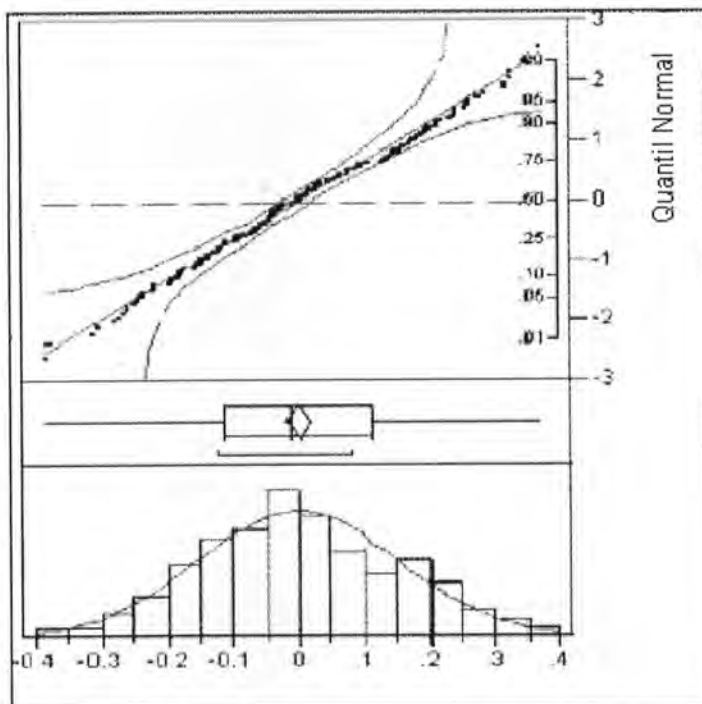


Figura 4. Distribución normal de los residuales con base en el modelo Logarítmico de la Variable Combinada para *Pinus douglasiana*.

El modelo de Da Silva y Borders (1993) no resultó ser el mejor, pero sí el más práctico, ya que además de presentar buenas propiedades estadísticas, tiene la ventaja de que el volumen se estima con tan solo medir dos diámetros en la parte inferior del tallo.

Selección del modelo para *Pinus pseudostrobus*

La importancia del supuesto de normalidad de los errores radica en que los estadísticos t ó F y los intervalos de confianza y predicción dependen de él (Montgomery *et al.*, 2004); los resultados evidencian que sólo el modelo de la variable combinada lo cumple, por lo que resulta apropiado para predecir el volumen fustal con corteza en el caso de *Pinus pseudostrobus*. Por otra parte, este mismo presentó coeficientes de regresión significativos (valor de $p < 0.05$), R^2 cercano a 1 y CME bajo (Cuadros 5 y 6).

Cuadro 7. Tabla de volumen (m³) para *Pinus douglasiana* obtenida a partir del modelo $V = 0.36548(D^2 A)^{0.98957}$

Diámetro (m)	Altura (m)						
	10	15	20	25	30	35	40
0.10	0.0374	0.0559	0.0743	0.0927	0.111	0.1293	0.1476
0.15	0.0635	0.1248	0.1658	0.2068	0.2477	0.2885	0.3293
0.20	0.1476	0.2205	0.2931	0.3655	0.4377	0.5099	0.5819
0.25	0.2295	0.3429	0.4558	0.5684	0.6808	0.793	0.905
0.30	0.3293	0.4919	0.6538	0.8154	0.9766	1.1376	1.2983
0.35	0.4468	0.6673	0.8871	1.1063	1.3250	1.5434	1.7614
0.40	0.5819	0.8692	1.1554	1.4409	1.7258	2.0102	2.2942
0.45	0.7347	1.0974	1.4588	1.8192	2.1789	2.5380	2.8965
0.50	0.905	1.3518	1.7970	2.2410	2.6841	3.1264	3.5681
0.55	1.0929	1.6324	2.1700	2.7062	3.2413	3.7754	4.3088
0.60	1.2983	1.9392	2.5778	3.2148	3.8504	4.4849	5.1185
0.65	1.5211	2.272	3.0203	3.7666	4.5114	5.2548	5.9971
0.70	1.7614	2.631	3.4974	4.3616	5.224	6.0849	6.9445
0.75	2.0191	3.0159	4.0092	4.9998	5.9884	6.9752	7.9605
0.80	2.2942	3.4268	4.5554	5.6810	6.8042	7.9255	9.0451
0.85	2.5867	3.8637	5.1361	6.4052	7.6716	8.9359	10.1982
0.90	2.8965	4.3264	5.7513	7.1724	8.5905	10.0061	11.4197

Los valores sombreados corresponden al área recomendada de aplicación del modelo.

La dispersión de los residuales y la gráfica de normalidad correspondiente al modelo seleccionado se consignan en las figuras 5 y 6, y en el Cuadro 8; la tabla de volumen se calculó con base en la ecuación:

$$V = 0.35314(D^2 A)^{0.98252}$$

Donde:

D = diámetro normal

A = altura

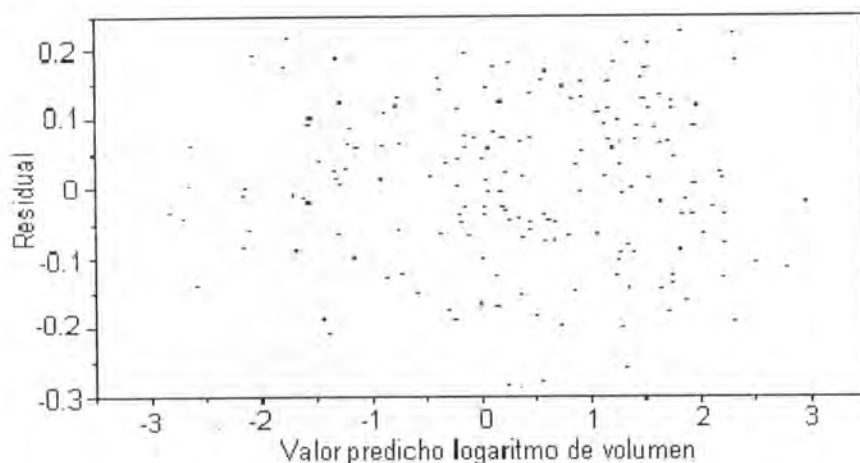


Figura 5. Dispersión de residuales contra el valor predicho del logaritmo de volumen gustal con base en el modelo logarítmico de la variable combinada para *Pinus douglasiana*.

Homogeneidad de modelos

El valor de la F calculada (F_c) al aplicar la fórmula correspondiente fue de 5.96.

Al considerar un nivel de significancia de 0.05 (5%) resultó una $F_{0.05, 2, 423}=3.01$. Dado que 5.96 es mayor que 3.01, se concluye que se deben usar los modelos logarítmicos de la variable combinada generados para *Pinus douglasiana* y *P. pseudostrobus*.

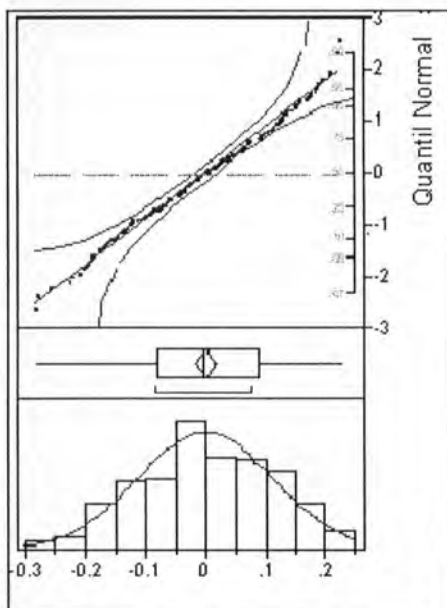


Figura 6. Distribución normal de los residuales con base en el modelo Logarítmico de la Variable Combinada para *Pinus pseudostrobus*.

CONCLUSIONES

El modelo Logarítmico de la Variable Combinada ofreció el mejor ajuste desde el punto de vista estadístico y el más práctico para las dos especies estudiadas.

Las ecuaciones de volumen fueron:

Pinus douglasiana:

$$V = 0.36548(D^2 A)^{0.98957}$$

Pinus pseudostrobus:

$$V = 0.35314(D^2 A)^{0.98252}$$

Cuadro 8. Tabla de volumen (m^3) para *Pinus pseudostrobus* obtenida a partir del modelo $V = 0.35314(D^2 A)^{0.98252}$

Diámetro (m)	Altura (m)									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	50
0.10	0.0368	0.0548	0.0726	0.0905	0.1082	0.1259	0.1435	0.1611	0.1787	0.1787
0.15	0.0816	0.1215	0.1611	0.2006	0.2400	0.2793	0.3184	0.3575	0.3965	0.3965
0.20	0.1435	0.2138	0.2836	0.3531	0.4224	0.4915	0.5604	0.6292	0.6978	0.6978
0.25	0.2225	0.3314	0.4397	0.5475	0.6549	0.7620	0.8688	0.9754	1.0818	1.0818
0.30	0.3184	0.4742	0.6292	0.7834	0.9371	1.0903	1.2432	1.3957	1.5479	1.5479
0.35	0.4311	0.6420	0.8517	1.0605	1.2686	1.4760	1.6830	1.8895	2.0955	2.0955
0.40	0.5604	0.8347	1.1073	1.3787	1.6492	1.9189	2.1879	2.4564	2.7243	2.7243
0.45	0.7063	1.0520	1.3957	1.7378	2.0787	2.4187	2.7577	3.0961	3.4337	3.4337
0.50	0.8688	1.2940	1.7167	2.1375	2.5569	2.9750	3.3921	3.8082	4.2236	4.2236
0.55	1.0478	1.5606	2.0703	2.5778	3.0835	3.5878	4.0908	4.5927	5.0936	5.0936
0.60	1.2432	1.8516	2.4564	3.0585	3.6585	4.2568	4.8536	5.4490	6.0433	6.0433
0.65	1.4549	2.1669	2.8748	3.5795	4.2817	4.9819	5.6803	6.3772	7.0727	7.0727
0.70	1.6830	2.5066	3.3254	4.1406	4.9529	5.7628	6.5707	7.3769	8.1815	8.1815
0.75	1.9273	2.8706	3.8082	4.7418	5.6720	6.5996	7.5248	8.4480	9.3693	9.3693
0.80	2.1879	3.2587	4.3232	5.3829	6.4390	7.4919	8.5422	9.5902	10.6362	10.6362
0.85	2.4647	3.6710	4.8701	6.0640	7.2536	8.4398	9.6230	10.8036	11.9819	11.9819
0.90	2.7577	4.1074	5.4490	6.7848	8.1158	9.4430	10.7668	12.0878	13.4061	13.4061
0.95	3.0669	4.5678	6.0598	7.5453	9.0256	10.5015	11.9737	13.4427	14.9089	14.9089
1.00	3.3921	5.0522	6.7025	8.3455	9.9827	11.6151	13.2435	14.8683	16.4899	16.4899
1.05	3.7334	5.5606	7.3769	9.1852	10.9872	12.7839	14.5761	16.3644	18.1492	18.1492
1.10	4.0908	6.0928	8.0830	10.0644	12.0389	14.0076	15.9713	17.9308	19.8864	19.8864

Los valores sombreados corresponden al área recomendada de aplicación del modelo

La prueba de homogeneidad indicó que los modelos Logarítmicos de la Variable Combinada de ambas especies son diferentes estadísticamente.

Las ecuaciones sólo son aplicables en los municipios en donde se tomó la información de campo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo Sectorial Forestal CONAFOR-CONACYT por haber financiado el proyecto "Desarrollo de técnicas para elaborar tablas o ecuaciones de predicción volumétrica para dos especies de pino del sur-occidente de Michoacán". No. CONAFOR 2003 – CO3 – 10594, y de manera especial a todas aquellas personas que con su esfuerzo contribuyeron a la toma de datos de campo.

REFERENCIAS

- Aleixo da Silva, J. A. and B. E. Borders. 1993. A tree volume equation based on two lower stem diameters for loblolly pine in the Southeastern United States. *South. J. Appl. For.* 17(3):160-162.
- Armendáriz O., R., A. Quiñónez Ch., M. Cano R., P. Juárez T., H. O. Rubio A. y J. Rentería A. 2003. Tablas de volúmenes para *Pinus herrerae* y *P. duranguensis* en el Ejido Monterde, municipio de Guazapares, Chih. Folleto Técnico No. 21. CIR- Norte. INIFAP. Ciudad Madera, Delicias, Chih. 20 p.
- Caballero D., M. 1972. Tablas y tarifas de volúmenes: Análisis de algunas de las metodologías existentes y su aplicación a las condiciones de los bosques mexicanos. I.N.I.F. Nota No. 7. 55 p.
- Cumplido O., R. 2002. Tablas de volúmenes y de incrementos para tres especies del género *Pinus* de tres predios del estado de Chihuahua, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 114 p.
- Gujarati, D. N. 2000. *Econometría básica*. McGraw-Hill Co. Tercera edición. Santa Fé de Bogotá. Colombia. 824 p.
- Hernández M., E., P. Morales L., O. Delgado de J., E. H. Cornejo O., y S. Valencia M. 1999. Predicción de volúmenes de fuste para *Pinus michoacana* Mart. y *Pinus douglasiana* Mart. en el sureste de Nayarit. UAAAN. Foresta-AN. Nota Técnica No. 4. Coahuila, México. 9 p.
- Husch, B. 1963. *Forest mensuration and statistics*. The Ronald Press Company. New, York. NY. USA. 474 p.

- Lares Z., M. A. 1994. Estimación del tamaño de muestra en regresión y modificación de los modelos de Schumacher y el logarítmico de la variable combinada. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 36 p. México.
- Lynch, T. B. 1995. Use of a tree volume equation based on two lower-stem diameters to estimate forest volume from sample tree counts. *Can. J. For. Res.* 25 (6): 871-877.
- Little, T.M y F. J. Hills. 1983. Métodos estadísticos para la investigación en agricultura. Editorial Trillas.S.A. México D. F. México. 270 p.
- Madrigal H., S. e I. Vázquez C. 2004. Ecuaciones de predicción volumétrica para tres especies de *Pinus spp.* en la Región Oriente de Michoacán. *Ciencia Nicolaita. Revista Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.* Vol. 39:189-206.
- Martínez G., A. y A. Castillo M. 1987. Teoría de la regresión con aplicaciones agronómicas. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. 490 p.
- Montgomery, D.C., E. A. Peck y G. G. Vining. 2004. Introducción al análisis de regresión lineal. Compañía Editorial Continental. México, D.F. México. 588 p.
- Muñoz F., H. J., S. Madrigal H., M. Aguilar R., J. García M. y M. Lara R. 2005. Tablas de volumen para *Pinus lawsonii* Roehl. y *P. pringlei* Shaw. en el Oriente de Michoacán. *Rev. Cien. For. en Méx.* 28 (94):81-103.
- Navarro M., S. A., L. M. Torres E., A. Cano P., S. Valencia M. y E. H. Cornejo O. 2000. Predicción de volúmenes de fuste para *Pinus cembroides* Zucc., en el Sureste de Coahuila. *Foresta-AN. Nota Técnica No. 3 UAAAN.* 16 p.
- Pérez L., C. 2003. Estadística. Problemas resueltos y aplicaciones. Pearson Prentice Hall. Madrid, España. 485 p.
- Romahn de la V., C. F., H. Ramírez H. y J. L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 354 p. México.
- Rebolledo R., H. H. 2002. Manual SAS por computadora: análisis estadístico de datos experimentales. Editorial Trillas, S.A. México, D.F. México. 208 p.
- Secretaría de desarrollo agropecuario y Forestal/SEDAGRO. 1995. Inventario Forestal Estatal. Tablas de volúmenes para los diferentes géneros y regiones. Gobierno del estado de Michoacán. Morelia, Mich. México. 141p.
- Sit, V. and M. Poulin-Costello. 1994. Catalogue of curves for curve fitting. Ministry of Forests Research Program. Forest Science Research Branch. Victoria, British Columbia. Canada. 110 p.
- Spurr, S. H. 1952. Forest inventory. The Ronald Press Company. New York. NY. USA. 476 p.

NOTA TÉCNICA

CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA DEL MEZQUITAL EN LA ZONA DE LAS POCITAS, BAJA CALIFORNIA SUR

Rigoberto Meza Sánchez¹ y Esteban Osuna Leal¹

RESUMEN

El mezquite (*Prosopis* spp.) es una opción productiva en términos de generación de recursos económicos para los pobladores rurales de las zonas áridas y constituye un elemento importante para la estabilidad de los ecosistemas. Se realizó el presente trabajo en la zona de Las Pocitas, al norte del municipio de La Paz, BCS con el objetivo de conocer el estado actual del mezquital. Por el método de muestreo de vegetación mediante cuadrante de punto central se ubicaron los individuos seleccionados de la especie de interés en 10 localidades, a los cuales se les midió la altura, diámetro de la copa y de tallo(s) al ras del suelo y volumen de madera mediante la segmentación visual de troncos y ramas. Para cada variable se realizó el ANVA y una comparación de medias con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$. Los resultados indican una densidad de 278 árboles ha^{-1} , una altura promedio de 4.43 m, cobertura promedio de la copa de 24.67 m^2 , diámetro basal promedio del tallo de 21.10 cm, volumen de madera en pie de 67.50 dm^3 individuo⁻¹ y un volumen de 18.77 m^3 ha^{-1} ; estas variables mostraron diferencias altamente significativas entre las localidades. Se concluye que el mezquital de la zona de Las Pocitas está en buen estado, y ofrece una cubierta vegetal eficiente de protección al ecosistema.

Palabras clave: Baja California Sur, carbón, evaluación dasométrica, mezquite, *Prosopis* spp., vegetación de zonas áridas.

Fecha de recepción: 15 de octubre de 2003

Fecha de aceptación: 28 de junio de 2007

¹ Campo Experimental Todos Santos Baja California Sur, Centro de Investigación Regional Noroeste, INIFAP. Correo-e: meza.rigoberto@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Prosopis spp. (mesquite) is a productive option for the generation of economic resources for the rural inhabitants of the arid lands and a very important element for the stability of ecosystems. Field work was carried out of The Pocitas zone, which is located to the north of the municipality of La Paz, Baja California Sur, in order to know the current state of the populations of mesquite. The sampling vegetation method of central point quadrant was used in 10 locations, where the selected examples were located and their height, canopy and stem diameter were measured, in addition to wood volume through visual trunk and branch segmentation; the ANOVA of each variable and a hosieries comparison through the test of Tukey $p \leq 0.05$ was accomplished. Results showed an estimated density of 278 individual ha^{-1} , with an average height of 4.43 m per plant, cover of 24.67 m^2 , basal diameter of the stem of 21.10 cm, standing timber volume of 67.50 dm^3 individual $^{-1}$ and a volume of 18.77 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$; these variables showed highly meaningful differences between localities. It is concluded that the stands of mesquite of the zone The Pocitas are in good status, and offer an efficient vegetation protection cover to the ecosystem.

Key words: Baja California Sur, charcoal, dasometric assessment, "mesquite", *Prosopis* spp., arid zone vegetation.

El género *Prosopis* comprende 44 especies ampliamente distribuidas en las regiones áridas y semiáridas de Asia, África y América; 40 son nativas del continente americano, en México se citan nueve y sólo tres se localizan en Baja California Sur (Hasting *et al.*, 1972; Ffolliott y Thames, 1983; CONAZA-INE, 1994; Fagg y Stewart, 1994; Harsh y Tewari, 1998; Turner *et al.*, 1995).

En el Desierto Sonorense, *Prosopis articulata* S. Watson se desarrolla en Sonora, Baja California y Baja California Sur, desde el nivel del mar hasta casi los 800 m de altitud, al igual que *Prosopis glandulosa* Torrey var. *torreyana* (L. Benson) M.C. Johnston; *Prosopis palmeri* S. Watson se restringe a Baja California Sur, entre los 24.3° y 26.8° de latitud norte, y es un taxón considerado paleoendémico (Turner *et al.*, 1995).

La madera de la mayoría de los mezquites es fuerte y durable, buena para la elaboración de muebles, puertas, ventanas, pisos, objetos decorativos, artesanías y excelente como leña y carbón; es una de las más estables, con un coeficiente de contracción de 4 a 5%, comparado con 8 a 15% de otras maderas duras; su valor calorífico es de 5000 kcal kg^{-1} ; la gravedad específica varía de 0.7 a 1.0, con densidades de 700 a 1200 kg m^{-3} (López, 1986; Felker, 1996; Pasiecznik *et al.*, 2001).

En México la producción de leña y carbón de diferentes especies se incrementó casi 50% en el periodo de 1990 a 2001, con 704 mil m^3 en el último

año y se estima que 27.4 millones de personas utilizaron leña, 63.8% en el medio rural y el resto en zonas urbanas (INEGI, 2003). Para Estados Unidos de América, en 1995 la demanda de mezquite procesado fue de 14 mil toneladas, con ventas de seis millones de dólares en el mercado de la preparación de alimentos (parrilladas), y generó una derrama de 400 millones de dólares en la industria de comprimidos de carbón (Felker, 1996; CSAFR, 1997; Patch y Felker, 1997; Tripp y Arriaga, 2001).

Los mezquiales y huizachales en Baja California Sur cubren una superficie de 75 mil ha⁻¹ aproximadamente; de 1996 a 2001 se extrajeron 6,286 ha año⁻¹, con una producción promedio de 11 mil m³r de madera y un valor de producción de 3.077 millones de pesos. Los aprovechamientos autorizados por las dependencias gubernamentales competentes se incrementaron hasta llegar a ser del orden de 21,359.6 m³ en 2001; en los municipios de La Paz, Comondú y Loreto, 95.60% del volumen obtenido se utilizó para la elaboración de carbón, 1.20% para leña y el resto para postes (INEGI, 1996 - 2001; SARH, 1994).

La extracción del mezquite ha tenido un impacto no cuantificado sobre sus poblaciones silvestres pero se asume que puede superar a la regeneración natural, lo cual tendrá como consecuencia una disminución en la producción y un aumento en la desertización de la región. Por ello, es necesario conocer el estado actual del mezquital, como base para elaborar un plan adecuado de manejo, o bien para modificar las actuales prácticas de aprovechamiento, buscando el uso sostenible y la conservación de los recursos, así como el cumplimiento de la normatividad vigente.

La zona de estudio. El trabajo se realizó en el mezquital del arroyo de Las Pocitas (Figura 1), al norte del municipio de La Paz, BCS en donde se tomaron como referencia las siguientes localidades: Las Lisas (L1), La Matanza (L2), Agua Amarga (L3), Agua de Enmedio (L4), Sitio Norte de Las Pocitas (L5), Sitio Suroeste de Las Pocitas (L6), Los Tepetates (L7), Sitio Noreste de San Venancio (L8), Poza de San Venancio (L9) y Santa Fe (L10).

El muestreo se inició en el rancho Las Lisas (L1) y se terminó en la localidad de Santa Fe (L10), sitio que corresponde a la desembocadura del arroyo hacia el Océano Pacífico. En la región se estima que 4,000 ha están cubiertas por mezquite, ubicadas éstas entre los 24° 15' y 24° 30' de latitud norte y 111° 00' y 111° 15' de longitud oeste; la altitud varía de 100 m en Las Lisas a 10 m en Santa Fe. El área se caracteriza por presentar un ambiente de subtrópico árido cálido (Medina *et al.*, 1998); los datos meteorológicos registrados en el poblado de Las Pocitas (24.39° de latitud norte y 111.10° de longitud oeste) son de una temperatura máxima de 31.6 °C, temperatura mínima de 12.7 °C, precipitación media anual de 130 mm y una evapotranspiración potencial estimada de 1524.4 mm.

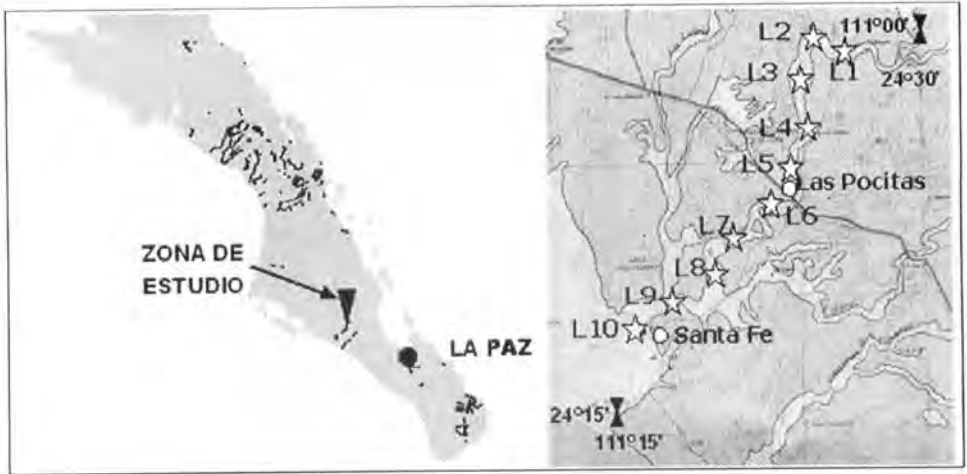


Figura 1. Ubicación de la zona y localidades de estudio.

Métodos. En fotografías aéreas amplificadas del INEGI-SINFA, escala 1:75,000 del 27 de abril de 1993, zona G12-10-11, línea 57, fotos 0009 y 0011, línea 56 foto 0012, se identificaron y delimitaron las áreas ocupadas por el mezquite; después en recorridos de campo se ubicaron las áreas ocupadas por el mezquite; después en recorridos de campo se ubicaron las áreas ocupadas por el mezquite y se localizaron los caminos de acceso. Para el muestreo de la población de *Prosopis* spp., se utilizó el método de muestreo de vegetación cuadrante de punto central; de manera aleatoria se eligieron 78 puntos, en cada uno de ellos se midió la distancia entre el punto y el árbol de mezquite más cercano en cada cuadrante. El número de individuos por unidad de área (densidad) se estimó mediante el cálculo de la distancia media (Bonham, 1989; Franco *et al.*, 1995).

Para la caracterización dasométrica a cada individuo de la especie de interés se le midió la altura con un clinómetro Brunton Clino Master[®], cobertura de la copa con cinta métrica Keson[®] modelo OTR-50 m, diámetro de tallo(s) al ras de suelo con un flexómetro Lufkin[®] de 1.0 m y el volumen de madera se determinó a partir de la medición y segmentación visual de troncos y ramas (Born y Chojnacky, 1985).

La cobertura aérea y basal se estimó con el diámetro mayor (DM) y el perpendicular a éste (Dm):

$$A = DM * Dm * 0.7854$$

Para calcular el volumen de tallos y ramas se utilizó el método de Huber que proporciona buenos resultados cuando los tallos no son muy largos y adoptan

formas cilíndricas, o de un paraboloido truncado. (Romahn *et al.*, 1994):

$$V = \sum (A_m * L)$$

Donde:

A_m = Sección media

L = Longitud del tallo o rama

El análisis estadístico de la información se hizo con el software Statgraphics versión 5.1 Demo; se calcularon las medias para cada variable y su distribución de frecuencias; con el propósito de identificar algún efecto por el aprovechamiento del *Prosopis* spp. en las localidades, se hizo un análisis de varianza y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), se correlacionó el volumen de madera con las dimensiones de los árboles y de éstos con la densidad de individuos.

Características del mezquital en la zona. Los resultados de los atributos dasométricos de las poblaciones estudiadas se reúnen en el Cuadro 1. La distancia media entre individuos fue de 6.0 ± 0.40 m con una densidad de 278 ± 34 individuos ha^{-1} , 50% de ellos presentó una distancia de 1 a 5 m (Cuadro 2), considerando el punto medio (2.5 m) se tuvo una densidad promedio de 1600 individuos ha^{-1} .

Cuadro 1. Características del mezquital en de Las Pocitas, BCS.

Atributo	μ	E.E.	P (%)
Distancia media (m)	6.00	0.40	6.6
Densidad (ind ha^{-1})	278	34	12.2
Altura (m)	4.43	0.23	5.2
Cobertura aérea (m^2)	24.67	2.81	11.3
Diámetro basal (cm)	21.11	1.93	9.1
Volumen (dm^3 ind $^{-1}$)	67.53	12.61	18.7

μ = Media muestral; E.E. = Error de estimación; P. = Precisión con respecto a la media.

Los árboles alcanzaron una altura promedio de 4.43 ± 0.23 m; 20.5% midieron de 0.6 a 2.4 m, alrededor del 70% se ubicaron en un intervalo de 2.71 a 7.2 m y el resto mostraron valores de hasta 12.0 m (Cuadro 2).

La cobertura aérea promedio fue de 24.67 ± 2.81 m²; para 58.60% de los ejemplares se registraron valores entre 0.058 a 22.00 m², 30.40% de 22.10 a 54.00 m² y los individuos restantes entre 54.10 a 141.37 m² (Cuadro 2). En función de la cobertura y la densidad, los individuos de *Prosopis* spp. cubren una superficie equivalente al 68.60% de cada hectárea de terreno en la zona de estudio, lo que incide en el adecuado funcionamiento de la cuenca y en la protección del suelo.

El diámetro basal del tallo en promedio fue de 21.10 ± 1.93 cm; 36% de los mezquites presentaron un área basal entre 0.02 a 95 cm², 46% de 95 a 962 cm² y 4% llegaron hasta el límite superior de 8171 cm² (Cuadro 2).

Cuadro 2. Proporción de árboles de *Prosopis* spp. en las variables evaluadas.

Variables	Limites				
D.M. (m)	1-5	5-11	11-17	17-23	23-25.5
Fr (%)	49.36	42.30	6.10	1.92	0.32
H (m)	0.6-2.4	2.4-4.8	4.8-7.2	7.2-9.6	9.6-12
Fr (%)	20.51	37.82	32.37	7.69	1.60
C.A. (m ²)	0.06-22	22-54	54-86	86-118	118-141
Fr (%)	58.65	30.45	8.01	1.60	1.28
A.B.	0.02-95	95-283	283-962	962-1963	1963-8171
Fr (%)	36.00	19.00	27.00	13.00	4.00
V (dm ³)	0.01-150	150-300	300-450	450-600	600-751
Fr (%)	85.25	10.25	19.20	19.20	6.40

D.M. = Distancia media; H = Altura; C.A. = Cobertura aérea; A.B. = Área basal; V = Volumen de madera; Fr = Frecuencia.

El volumen de madera en pie tuvo un valor de $67.5 \pm 12.60 \text{ dm}^3 \text{ ind}^{-1}$ (Cuadro 1); de los ejemplares muestreados 85.20% varió de 0.01 a 150.20 dm^3 , 10.2% de 150.3 a 300.40 dm^3 y para el resto se estimó entre 300.50 a 751.0 dm^3 (Cuadro 2). El volumen de madera presentó una correlación altamente significativa ($p \leq 0.01$, $n = 312$) con la altura ($r = 0.66$), el diámetro mayor de cobertura aérea ($r = 0.74$), la cobertura aérea ($r = 0.81$), el diámetro basal medio ($r = 0.73$) y el área basal ($r = 0.62$).

Considerando la densidad, se obtuvo un volumen de 18.77 m^3 de madera ha^{-1} , los cuales transformados a carbón equivalen a 7.2 ton ha^{-1} . Sin embargo, el método aplicado por los productores en las localidades de estudio es ineficiente y el rendimiento de carbón disminuye a 4.6 ton ha^{-1} , ésto con base en los resultados de Osuna (2001) al utilizar un horno de ladrillo.

No obstante la variabilidad, las estimaciones hechas con el método de muestreo cuadrante de punto central, con un tamaño de muestra de $n = 78$ puntos, son bastante aceptables ya que el error de estimación es inferior al 20% (Cuadro 1).

Características del mezquital en las localidades. El análisis de varianza (ANVA) mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre localidades (Cuadro 3), lo que constituye un indicio del impacto de los aprovechamientos en las áreas de muestreo.

Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables evaluadas en la zona de estudio.

Variable	Localidades ¹	F.C.	P ²
Distancia media	112.218	10.7	**
Altura	22.32	5.64	**
Cobertura aérea	2391.55	4.06	**
Diámetro basal	1261.45	4.57	**
Volumen	37440.0	3.07	**

¹ Cuadrado medio entre localidades; F.C. = valor de f calculado; P. = nivel de significancia.

² Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$).

Densidad.- En el Cuadro 4 se presentan los resultados de las estimaciones dasométricas; se observan diferencias en la distancia media (DM) con valores de

Cuadro 4. Características dasométricas del mezquital en las localidades de la zona.

Localidad	D.M. (m)*	D (ind ha ⁻¹)*	H (m) *	C.A. (m ²)*	D.B. (cm) *	V. ind ⁻¹ (dm ³) *	V. ha ⁻¹ (m ³)
L1	10.11 c	99	5.02 bc	41.02 c	31.45 b	109.76 b	10.86
L2	8.10 bc	152	5.55 c	31.64 bc	25.60 ab	112.9 b	17.16
L3	7.65 bc	171	4.71 bc	29.96 bc	28.80 b	106.6 b	18.23
L4	4.18 a	572	4.68 bc	20.92 ab	15.90 a	43.18 a	24.69
L5	4.92 a	413	2.52 a	10.36 a	12.10 a	12.55 a	5.18
L6	6.24 ab	257	3.36 ab	19.06 ab	15.20 a	33.23 a	8.54
L7	4.85 a	425	4.27 abc	14.62 ab	18.10 ab	47.94 ab	20.37
L8	4.25 a	553	4.69 bc	21.48 abc	19.75 ab	66.84 ab	36.96
L9	5.70 ab	308	4.74 bc	24.58 abc	21.28 ab	74.09 ab	22.82
L10	4.50 a	494	4.89 bc	33.52 bc	21.75 ab	66.61 ab	32.90

L = Localidad; D.M. = Distancia media; D = Densidad; H = Altura; C.A. = Cobertura aérea; D.B. = Diámetro basal; V = Volumen. * En las columnas las celdas con la misma letra son estadísticamente iguales (ps 0.05). Las Lisas (L1), La Matanza (L2), Agua Amarga (L3), Agua de Enmedio (L4), Sitio Norte de Las Pocitas (L5), Sitio Suroeste de Las Pocitas (L6), Los Tepetates (L7), Sitio Noreste de San Venancio (L8), Poza de San Venancio (L9) y Santa Fe (L10)

4.25 a 10.11 m y en el número de individuos de mezquite, el cual fue de 99 a 572 plantas ha^{-1} ; para la primera variable los menores registros se obtuvieron en las localidades de Agua de Enmedio (L4), Sitio Norte de Las Pocitas (L5), Los Tepetates (L7), Sitio Noreste de San Venancio (L8) y Santa Fe (L10) y son estadísticamente superiores a Las Lisas (L1), La Matanza (L2) y Agua Amarga (L3) con la mayor distancia media.

En términos generales la densidad del mezquite en la zona de Las Pocitas es buena, si se compara con los 10 a 610 individuos ha^{-1} citados por Villanueva (1993), Villanueva *et al.* (2000) y Hernández y Villanueva (2001) para algunas localidades de San Luis Potosí donde las condiciones de precipitación son más favorables (> 200 y 500 mm anuales).

Altura.- Los datos variaron de 2.52 a 5.55 m (Cuadro 4); fue similar entre localidades, excepto en los sitios vecinos al poblado de Las Pocitas (L5 y L6), donde se observaron los ejemplares más pequeños; esta talla menor puede ser el resultado del excesivo aprovechamiento de la especie en las cercanías a los centros de población y es probable que se trate de individuos jóvenes en pleno crecimiento, o rebotes de árboles previamente utilizados.

Al considerar la altura con la densidad (Figura 2), no se obtuvo una relación significativa ($r = -0.21$); sin embargo, hay una ligera tendencia al desarrollo de plantas más grandes en los lugares con mayor número de individuos por hectárea.

Aunque la precipitación en el área de estudio es inferior a la registrada en San Luis Potosí, el tamaño de los árboles de la zona de Las Pocitas se ubica entre los intervalos citados para algunas localidades de ese estado (2.5 a 8 m); lo mismo ocurre con la altura registrada (2 a 15 m) para otras especies de mezquite que crecen en Norteamérica (Felker, 1996; Ffolliott, 1999; Pasiecznik *et al.*, 2001).

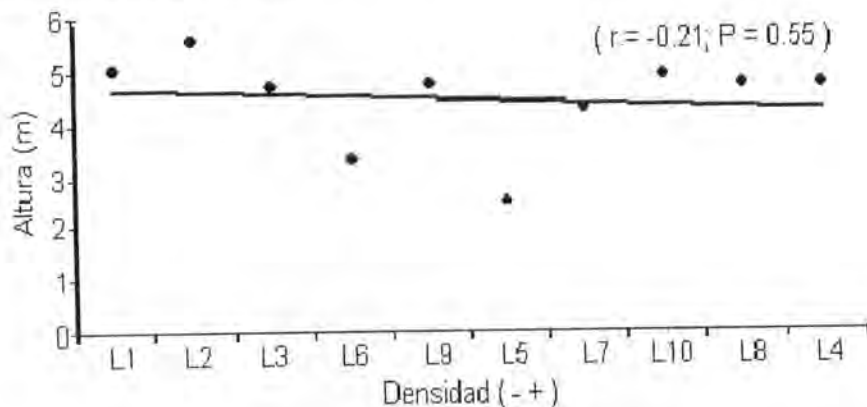


Figura 2. Relación densidad de plantas de mezquite con su altura.

Cobertura aérea.- Los ejemplares de mayor cobertura se observaron en Las Lisas (L1), La Matanza (L2), Agua Amarga (L3), Sitio Noreste de San Venancio (L8), Poza de San Venancio (L9) y Santa Fé (L10); aunque algunas de ellas son estadísticamente similares al resto de las localidades, en el sitio Norte de Las Pocitas (L5) se obtuvo el menor valor (Cuadro 4).

La cobertura de las plantas más grandes varió de 31.64 a 41.02 m², siendo la mínima de 10.36 m². Con respecto a la densidad, en Las Lisas, La Matanza y Agua Amarga, la proporción de terreno cubierta por mezquite fue más reducida que en el resto de los sitios, al igual que en los lugares que se ubican cerca al poblado de Las Pocitas (L5 y L6); de ahí que los árboles de mayor cobertura se presentaron en Santa Fe (L10), San Venancio (L8 y L9) y en Agua de Enmedio (L4).

La relación entre cobertura y densidad es negativa no significativa ($r = -0.54$) con la existencia de individuos de mayor cobertura en los sitios de baja densidad; sin embargo, se invierte a positiva y significativa ($r = 0.75$), con una dominancia superior (cobertura * densidad) en las áreas más pobladas (Figura 3).

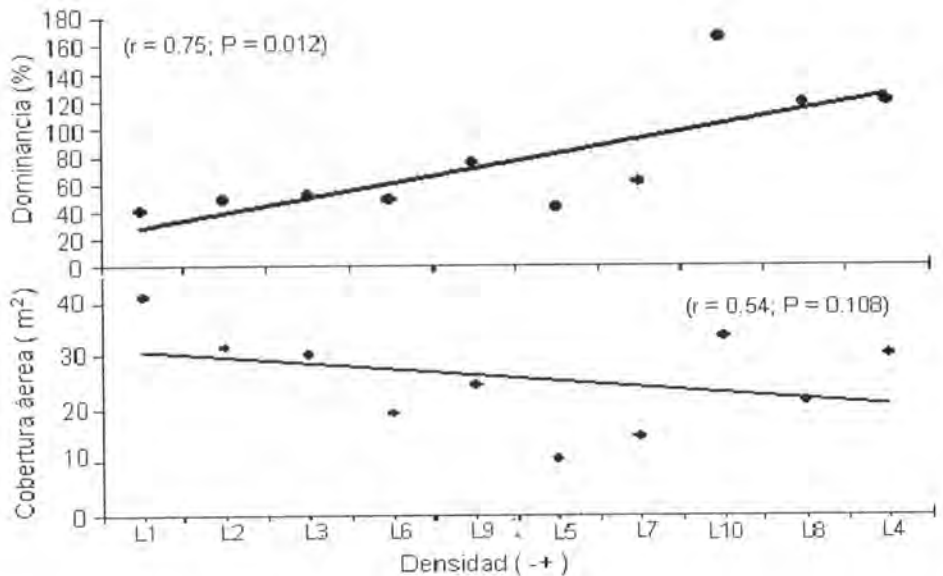


Figura 3. Relación densidad de plantas de mezquite con su cobertura aérea y dominancia.

Diámetro basal.- En las localidades de Las Lisas (L1) y Agua Amarga (L3) se obtuvieron diámetros superiores a los de las localidades de Agua de enmedio (L4) y en los sitios colindantes a Las Pocitas (Cuadro 4). Los valores

mayores fueron de 28.80 cm en Agua Amarga a 31.45 cm en Las Lisas, y los menores de 12.1 a 15.90 cm (L 4, L5 y L6). Los mayores diámetros se registraron en las localidades con densidades bajas y se determinó una relación negativa y significativa ($r = -0.68$) (Figura 4).

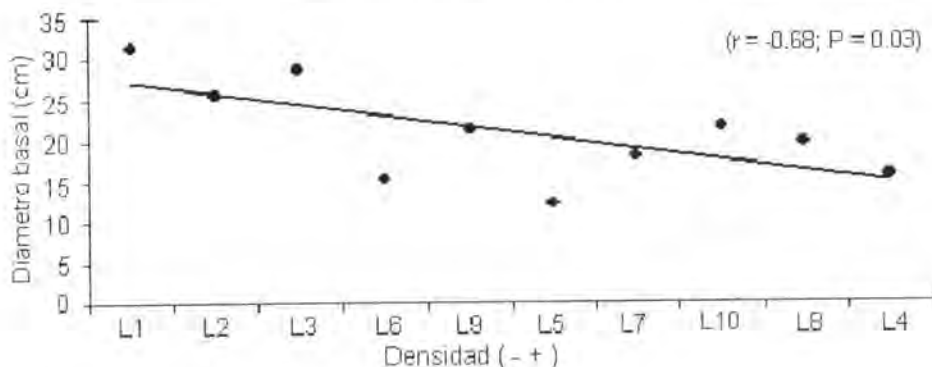


Figura 4. Relación densidad de plantas de mezquite con su diámetro basal.

Volumen de madera.- Varió de 12.55 dm^3 individuos⁻¹ en el sitio Norte de Las Pocitas (L5) a 112.90 dm^3 en La Matanza (L2) (Cuadro 4). Se observó diferencia entre las localidades de Las Lisas, La Matanza y Agua Amarga, con respecto a Norte de Las Pocitas, Agua de Enmedio y Sureste de Las Pocitas.

En las localidades de Santa Fé (L10) y sitio Noreste de San Venancio (L8) se calculó una existencia de madera superior a 30 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$; en Agua de Enmedio, Poza de San Venancio (L9) y Los Tepetates (L7) mayor a 20 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$; en tanto que Las Lisas y los sitios colindantes con Las Pocitas (L5 y L6) presentaron una menor cantidad de madera.

Existe una relación negativa y significativa ($r = -0.64$) entre el volumen por árbol y la densidad, con la presencia de grandes volúmenes por individuo en los lugares de baja densidad, relación que se invierte ($r = 0.61$) con la tendencia a incrementar el volumen de madera en pie por hectárea, en aquellos sitios que tienen más árboles por unidad de superficie (Figura 5).

Cabe mencionar que el volumen de madera incluye la madera total en pie, y que 15% de las plantas muestreadas incluyen alguna proporción de madera muerta, que es la considerada en las autorizaciones forestales para su extracción y posterior elaboración de carbón y leña.

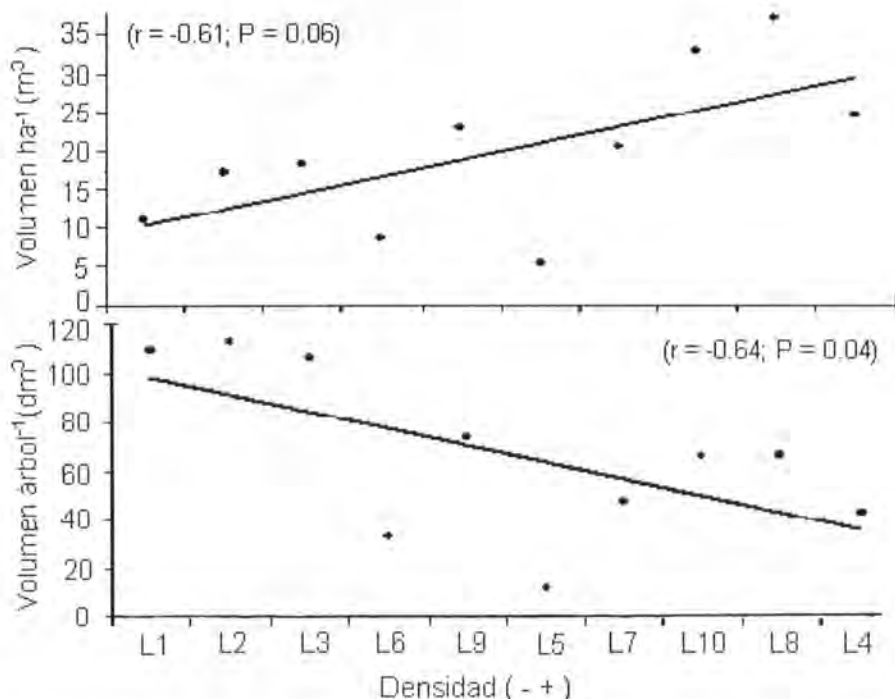


Figura 5. Relación densidad de plantas de mezquite con el volumen de madera.

En términos generales la asociación de mezquite existente en la zona de Las Pocitas, presenta buen estado, si se pondera la densidad de plantas por hectárea, su cobertura y el volumen de madera; no obstante, es muy probable que el área de distribución de *Prosopis* spp. haya disminuido, ya que en algunas de las localidades muestreadas se detectaron claros y tocones en la periferia de las mismas, como un indicio del aprovechamiento y la falta de incorporación de nuevos individuos; en dichos sitios los espacios disponibles son ocupados por especies de menor valor económico.

En las localidades sitio Noreste de San Venancio (L8), Santa Fe (L10) y Agua de Enmedio (L4) la densidad, el volumen de madera por hectárea y la cobertura del mezquite son superiores a los determinados para los mezquitales de San Luis Potosí (Villanueva, 1993; Villanueva *et al.*, 2000; Hernández y Villanueva, 2001) con diferencias en algunos casos por arriba del 100% en densidad y cobertura, y hasta 60% en el volumen de madera.

Así mismo, si el volumen se convierte a unidades de peso, con una densidad de 850 kg m⁻³ en promedio, el peso de la madera en pie fluctúa entre 20.98 y

31.41 ton ha⁻¹; mayores a las citadas para especies de *Prosopis* en Texas y California, Estados Unidos de América, con valores extremos de 4.09 a 36.08 ton ha⁻¹ (Whisenant y Burzlaiff, 1978; Sharifi *et al.*, 1982; Cornejo *et al.*, 1992).

En las localidades Agua de Enmedio (L4), sitio Noreste de San Venancio (L8) y Santa Fé (L10) es conveniente llevar a cabo un plan de aprovechamiento mediante aclareos y/o podas para eliminar los individuos suprimidos y mal conformados, ya que la densidad y cobertura de los mismos limita el crecimiento y desarrollo de sus vecinos. Esto permitirá obtener madera para leña combustible y elaboración de carbón, proveniente de ramas o de individuos vivos que serán eliminados, lo cual proporcionará espacio y recursos a los individuos mejor conformados que serán sujetos de futuros aprovechamientos y contribuirán a la regeneración del mezquital.

Las prácticas de aclareos se deben realizar en forma paulatina a través del tiempo hasta alcanzar 111 árboles ha⁻¹, con un distanciamiento promedio de 9.5 m (Patch y Felker, 1997) densidad que concuerda con la recomendada por Hernández y Villanueva (2001), quienes sugieren dejar en pie de 130 a 140 árboles ha⁻¹ y una cobertura mínima entre 30 y 50% (Ribaski y Menezes, 2002).

El estado actual del mezquital en la zona de Las Pocitas en función de la densidad de individuos, cobertura y volumen de madera en pie, se puede considerar como bueno.

Dadas las diferencias entre localidades en densidad y en las características dasométricas de los árboles de mezquite, los sitios colindantes al poblado de Las Pocitas (L5 y L6) son los más frágiles de toda la zona.

Existe una buena proporción de individuos juveniles, aunque hay la tendencia a la disminución de los árboles de mayor porte, por lo que se debe evitar al máximo el derribo total de árboles vivos de las tallas grandes, excepto si están enfermos, muy plagados o decadentes.

Los árboles de mayor porte se presentan en las localidades con menor número de individuos por hectárea; sin embargo en los sitios con densidad alta, se observó una tendencia de mayor cobertura y volumen de madera en pie por hectárea ocupada.

Con base en la densidad de individuos, cobertura y volumen de madera en pie, las localidades sitio Noreste de San Venancio (L8), Santa Fe (L10) y Agua de Enmedio (L4), requieren de prácticas silvícolas de aclareos y podas para los individuos oprimidos y mal conformados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento a la Fundación Produce Baja California Sur A.C. por el apoyo económico para la ejecución del estudio, a la Unión de Productores Forestales A.C. por las facilidades brindadas y al C. Pilar Cota Ruiz por su colaboración en los trabajos de campo.

REFERENCIAS

- Bonham, D. Ch. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. John Wiley and Sons, Co. New York, NY. USA. 338 p.
- Born, D. J. and D. C. Chojnacky. 1985. Woodland tree volume estimation: a visual segmentation technique. Research Paper INT-344. USDA - Forest Service. Ogden, UT. USA. 16 p.
- Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA) e Instituto Nacional de Ecología (INE), 1994. Mezquite (*Prosopis* spp.), cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. México. 31 p.
- Cornejo, O. E., S. Gronsky and P. Felker. 1992. Mature mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) stand description and preliminary effects of understory removal and fertilization on growth. *Journal of Arid Environment*. 22: 339-351.
- Center for Semi-Arid Forest Resources (CSAFR). 1997. Analysis of the mesquite lumber and BBQ industry. Annual Report 1995-1996. Caesar Kleberg Wildlife Research Institute, T&M University, Kingsville, TX. USA. pp. 24-26.
- Fagg, W. C. and J. L. Stewart. 1994. The value of *Acacia* and *Prosopis* in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments*. 27: 3-25.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudios FAO: Montes 41. FAO. www.fao.org/docrep/x5595s/X5595S00.htm (Febrero de 2003).
- Felker, P. 1996. Commercializing mesquite, leucaena and cactus in Texas. *In*: J. Janick (Ed.) 1996. Progress in new crops. Proceedings of the Third National Symposium New Crops: New Opportunities, New Technologies. ASHS Press, Alexandria, VA. pp. 133-137.
- Ffolliott F., P. 1999. Mesquite ecosystems in the southwestern United States. *In*: Ffolliott, F. P. and A. Ortega R. (Eds.). 1999. Ecology and management of forest, woodlands, and shrublands in the dryland regions of United States and Mexico: Perspectives for the 21st Century. University of Co-edition No.1. Arizona - Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. - USDA Forest Service. La Paz, B.C.S. México. pp: 95-106.

- Ffolliott, F. P. y J. L. Thames. 1983. Manual sobre taxonomía de *Prosopis* en México, Perú y Chile. Departamento de Agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/Q2580S/Q2580S00.HTM. (Mayo de 2006).
- Franco L., J., G. de la Cruz A., A. Cruz G., A. Rocha R., N. Navarrete S., G. Flores M., E. Kato M., S. Sánchez C., L. G. Abarca A. y C. M. Bedia S. 1995. Manual de ecología. 2ª ed. 3ª reimpresión. Ed. Trillas. México. 266 p.
- Harsh, N. L. and J. C. Tewari. 1998. *Prosopis* in the arid regions of India: Some important aspects of research and development. In: Tewari, J.C., N.M. Pasiecznik, L.N. Harsh and P.J.C. Harris (Eds.). 1998. Proceedings. *Prosopis* species in the arid and semi-arid zones of India. Henry Doubleday Research Association and The *Prosopis* Society of India. pp. 5-10.
- Hastings, J. R., R. M. Turner and D. K. Warren. 1972. An atlas of some plant distributions in the Sonoran Desert. University of Arizona. Technical Reports on the meteorology and climatology of arid regions. 21. Tucson, AZ. USA. 255 p.
- Hernández R., A. y J. Villanueva D. 2001. Establecimiento y manejo de un módulo silvopastoril de mezquite en la zona media de San Luis Potosí. Folleto Técnico No. 15. SAGARPA-INIFAP-CIR Noreste. Campo Experimental Palma de la Cruz. San Luis Potosí, S.L.P., México. 26 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1996. Anuario estadístico del Estado de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Aguascalientes, Ags. México. 268 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1997. Anuario estadístico del Estado de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Aguascalientes, Ags. México. 368 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1998. Anuario estadístico del Estado de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Aguascalientes, Ags. México. 366 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1999. Anuario estadístico del Estado de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Aguascalientes, Ags. México. 362 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Anuario estadístico de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Aguascalientes, Ags. México. 364 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001. Anuario estadístico de Baja California Sur. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Aguascalientes, Ags. México. 414 p.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2003. Estadísticas económicas. Volumen de la producción forestal maderable y no maderable, según principales productos, 1999-2001. *In:* www.inegi.gob.mx/estadistica/espa%F1ol/economia/ganaderia/gan_07.html (Febrero de 2003).
- L3pez G., J. J. 1986. Tecnolog3a forestal. *In:* Medina T., J.J. y L. A. Natividad B. Metodolog3a de planeaci3n integral de los recursos naturales. Serie-Recursos Naturales No.3. Universidad Aut3noma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. M3xico. pp. 153-161.
- Medina G., G., J. A. Ruiz C. y R. A. Mart3nez P. 1998. Los climas de M3xico. Una estratificaci3n ambiental basada en el componente clim3tico. Libro T3cnico No.1. SARH-INIFAP-CIR Pacifico Centro. M3xico. 103 p.
- Osuna L., E. 2001. Horno de ladrillo: M3todo eficiente para la elaboraci3n de carb3n con mezquite (*Prosopis* spp.) en Baja California Sur. Desplegable T3cnico No.2. INIFAP-CIR del Noroeste. Campo Experimental Todos Santos. La Paz, B.C.S. M3xico. s/p.
- Pasiecznick N., M., P. Felker, P. J. C. Harris, L. N. Harsh, G. Cruz, J. C. Tewari, K. Cadoret and L. J. Maldonado. 2001. The *Prosopis juliflora* – *Prosopis pallida* complex: a monograph. Henry Doubleday Research Association. Coventry, UK. 172 p.
- Patch, L. N. and P. Felker. 1997. Influence of silvicultural treatments on growth of mature mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) nine years after initiation. *Forest Ecology and Management* 94(1): 37-46.
- Ribaski, J. y A. Menezes. E. 2002. Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la regi3n semi-3rida brasilea. *Agroforester3a en las Am3ricas* 9 (2004): 8-13.
- Rornann de la V., C. F., H. Ram3rez M. y J. L. Trevi3o G. 1994. Dendrometr3a. Universidad Aut3noma Chapingo. Texcoco, Edo. de M3x. M3xico. 354 p.
- Secretar3a de Agricultura y Recursos Hidr3ulicos (SARH). 1994. Inventario Forestal Peri3dico del Estado de Baja California Sur. Sub-secretar3a Forestal y de la Fauna Silvestre. M3xico, D.F. 70 p.
- Sharifi, M. R., E. T. Nilsen and P. W. Rundel, 1982. Biomass and net primary production of *Prosopis glandulosa* (Fabaceae) in the Sonoran Desert of California. *American Journal of Botany*. 69:760-767.
- Tripp de J., M. y G. Arriaga. 2001. Estudio de casos sobre combustibles forestales. M3xico. Proyecto CGP/RLA/133/EC. FAO. Santiago de Chile, Chile. 17 p.
- Turner, M. R., E. J. Bowres and L. T. Burgess. 1995. Sonoran desert plants an ecological atlas. The University of Arizona Press. Tucson, AZ. USA. 504 p.

- Villanueva D., J. 1993. Distribución actual y características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata* H. and B. Johnst.) en el estado de San Luis Potosí. Boletín Divulgativo No. 74. 2ª ed. SARH-INIFAP. División Forestal. México. 36 p.
- Villanueva D., J., A. Hernández R. and J. A. Ramírez G. 2000. Mesquite: a multi-purpose species in two locations of San Luis Potosí, Mexico. In: Proceedings. Land Stewardship in the 21st Century: The contributions of watershed management. Proceedings RMRS-P-13. USDA Forest Service. Fort Collins, CO. USA. pp. 268-272.
- Whisenant, S. G. and D. F. Burzlaff. 1978. Predicting green weight of mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr). Journal of Range Management. 31: 396-397.