

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 26 NÚM. 90 120 p. MÉXICO, D.F. JUL-DIC 2001

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN FORESTAL

CIENCIA FORESTAL

en México

VOL. 26

JUL-DIC 2001

NÚM. 90

CONTENIDO

Pág.

EDITORIAL

3

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE CINCO
ESPECIES DE ENCINO DEL ESTADO DE GUANAJUATO

5

J. Amador Honorato Salazar y Martha E. Fuentes López

CINCO CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE
Pinus caribaea var. *hondurensis* Barr et Golf.

29

Amparo Borja-de-la-Rosa, David J. Meza-Juárez y Alejandro Romero-
López

DESAFILADO DE SIERRAS BANDA EN EL ASERRÍO DE ENCINOS

55

Rogelio Flores Velázquez, Martha Elena Fuentes López y Juan
Quintanar Olguín

ESTRUCTURA FORESTAL DE UN BOSQUE DE MANGLES EN EL
NORESTE DEL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO

73

Francisco Corella Justavino, Juan Ignacio Valdez Hernández, Víctor
Manuel Cetina Alcalá, Félix V. González Cossio, Antonio Trinidad
Santos y Juan Rogelio Aguirre Rivera

PROPAGACIÓN *IN VITRO* DEL NIM (*Azadirachta indica* A. Juss.)
MEDIANTE BROTES AXILARES

103

Amelia Capote Rodríguez y Jesús Estrada Ortiz

CONSEJO ARBITRAL

115

CONSEJO EDITORIAL

119

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES DE ENCINO DEL ESTADO DE GUANAJUATO

J. Amador Honorato Salazar y Martha E. Fuentes López¹

RESUMEN

La utilización eficiente de los encinos mexicanos depende, en parte, de un mejor conocimiento de las propiedades y características de su madera. En este estudio se evaluaron y caracterizaron las propiedades físicas y mecánicas de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato: *Quercus obtusata*, *Q. rugosa*, *Q. castanea*, *Q. durifolia* y *Q. laurina*; las primeras dos son encinos blancos y las demás son encinos rojos. La mayoría de los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo con los procedimientos de la norma ASTM D143-83, y particularmente los de impacto, con aquellos de la norma NFB51-009. Los resultados obtenidos indican que la densidad básica promedio fue mayor en los encinos blancos que en los encinos rojos, mientras que la relación entre la contracción tangencial y la radial fue más baja en los primeros que en los segundos. Los valores promedio de resistencia, determinados en la condición saturada y al 12% de contenido de humedad, para flexión estática, compresión axial, impacto y compresión perpendicular al hilo, no mostraron una clara diferencia entre ambos tipos de encino. Con base en estos valores, las características de resistencia de la madera de las cinco especies estudiadas varían de categoría media a categoría alta en la condición saturada, y de alta a muy alta al 12% de contenido de humedad. Se recomiendan varios usos para las cinco especies de encino, desde mangos para herramientas hasta productos reconstituidos.

Palabras clave: Contracción, densidad básica, encinos blancos, encinos rojos, propiedades físicas, propiedades mecánicas.

Fecha de recepción: 04 de septiembre de 1998.

Fecha de aceptación: 22 de marzo de 2004.

¹INIFAP, C.I.R, Centro, Campo Experimental San Martinito. Correo-e: amadorh@computex.com.mx

ABSTRACT

Efficient utilization of the Mexican oaks depends upon a better knowledge of specific properties and general characteristics of its wood. This study assesses and describes the physical and mechanical properties of five Mexican oak species from the State of Guanajuato: two white oaks (*Quercus obtusata* and *Q. rugosa*) and three red oaks (*Q. castanea*, *Q. durifolia* and *Q. laurina*). Most of the tests were performed according to standard ASTM D143-83 procedures. Impact bending tests were conducted following the procedures in standard NFB51-009. Results indicate that the average basic density was higher in white oaks than in red oak species, while the average radial-tangential ratios were lower for white oaks than for red oak species. The average strength values determined in the saturated condition and at 12% of moisture content for static bending, compression parallel to grain, impact bending, compression perpendicular to grain, did not show a clear difference between white and red oaks. According to these values, the wood strength properties for the five species vary from medium to high category in the saturated condition, and from high to very high at 12% of moisture content. Several uses ranging from tool handles to reconstituted products from the five oak species are recommended.

Key words: Shrinkage, basic density, white oak, physical properties, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

La madera se ha usado a través de los siglos para un amplio rango de propósitos en los cuales la resistencia es un factor de importancia crítica. Como resultado de las pruebas de ensayo y error realizadas durante mucho tiempo, se han asociado ciertas maderas con cualidades y usos especiales, atribuyéndoles estándares tradicionales de resistencia y durabilidad. Sin embargo, es preciso llevar a cabo pruebas adecuadas para saber qué tan resistente es la madera para darle el uso correcto.

Asimismo, debido al aumento de la población y la demanda de productos maderables, se ha ejercido una sobreexplotación de ciertas especies maderables, lo que ha reducido sus existencias considerablemente. Esto ha originado la búsqueda de especies opcionales substitutas que tengan un potencial de producción alto y características tecnológicas similares o superiores. Desafortunadamente, se desconocen las propiedades tecnológicas de muchas especies forestales, entre las que se incluyen los encinos.

Aun cuando los encinos en nuestro país están representados por más de 150 especies (Martínez, 1981; Nixon, 1993), ocupando el segundo lugar de abundancia y distribución, sólo se ha aprovechado en promedio un 10% del volumen autorizado

en los últimos cinco años (SAGAR, 1998). La mayor parte de este aprovechamiento se ha destinado a la elaboración de leña, carbón y celulósicos, principalmente.

El poco aprovechamiento de los encinos se debe principalmente a los problemas que se presentan durante su procesamiento e industrialización, ya que se requiere de técnicas y cuidados diferentes a los que se utilizan en las coníferas. Otro factor, sin duda, es la falta de estudios tecnológicos en las especies potencialmente comerciales que existen en el país.

La mayor parte de los estudios físico-mecánicos en encinos han sido enfocados a la determinación de propiedades físicas, principalmente densidades básicas, contracciones lineales y volumétricas. La determinación de propiedades mecánicas ha sido más limitada y solamente se ha trabajado con 12 especies (Honorato, 1997). Los valores de dichas propiedades han servido como referencia para compararlas con otras especies maderables y con base en los resultados, se han propuesto algunos usos apropiados (Rendle, 1969; Negrete, 1970; Echenique y Becerra, 1972; Arcia, 1979; Torelli, 1982).

Existen diferencias en las propiedades físicas y mecánicas entre los encinos rojos y blancos. Los encinos rojos presentan valores promedio de contracciones lineales, contracciones volumétricas, relación anisotrópica y punto de saturación de la fibra mayores que los encinos blancos (Honorato, 1997).

Los valores promedio de contracciones volumétricas, relación anisotrópica y punto de saturación de la fibra también son mayores en encinos rojos que en encinos blancos de los Estados Unidos de Norte América (Forest Products Laboratory, 1955), aunque los valores para los encinos mexicanos son mayores. En cambio, los valores promedio de resistencia mecánica bajo diferentes condiciones de carga, no tienen un comportamiento definido. En ciertas condiciones, los encinos rojos son más resistentes que los encinos blancos (Honorato, 1997). Este comportamiento es similar para ambos tipos de encino, igualmente en los Estados Unidos (Forest Products Laboratory, 1955) que a su vez presentan valores de resistencia menores que los encinos mexicanos.

Otros estudios realizados en el país también han mostrado que existe una correlación entre la estructura anatómica y algunas propiedades físicas y mecánicas (Guerrero *et al.*, 1995), lo que sugiere que la densidad básica, resistencia a flexión estática y a compresión paralela, son afectadas por el porcentaje de parénquima axial, mientras que la contracción tangencial lo es por el área porcentual de pared de fibras y de los rayos uniseriados.

La resistencia mecánica de la madera a flexión, tensión y compresión está relacionada con el ángulo de los anillos de crecimiento y el de aplicación de carga. Aun para madera seca, los ángulos pequeños entre la orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de la carga aplicada reducen la resistencia

críticamente (Kollman y Côté, 1968). En el caso del encino, la reducción crítica de resistencia se presenta a un ángulo de 10° con respecto a los anillos de crecimiento y en la resistencia a flexión, que puede ser hasta de un 50% de su valor inicial (Fuentes *et al.*, 1988).

La temperatura también tiene un efecto importante en la resistencia de la madera de encino. Young (1957) señaló que la reducción de resistencia a la tensión y compresión es en forma lineal entre 26.6 y 82.2°C. Cuando se toma en cuenta el efecto del contenido de humedad en la madera, estas propiedades también disminuyen linealmente cuando se aumenta el contenido de humedad, desde 6% hasta el punto de saturación de la fibra, aunque la disminución es mayor cuando la dirección de la aplicación de la carga es radial, que en la dirección tangencial (Schniewind, 1962). La reducción es mucho mayor y en forma curvilínea bajo el efecto combinado de temperaturas y contenidos de humedad altos.

Davis y Thompson (1964) también indican que la rigidez de los encinos rojos disminuye linealmente con la temperatura por arriba de 125°C y está altamente correlacionada con los cambios en el contenido de carbohidratos, ocasionados por la degradación térmica de estos compuestos químicos.

El comportamiento del encino a compresión bajo el sistema de barra de presión Hopkinson, es diferente cuando se satura con diferentes líquidos que causan expansión (Renaud *et al.*, 1996a); así el módulo de elasticidad, el esfuerzo al límite proporcional y a la carga máxima son mayores cuando se utiliza glicerol, pero menores cuando se usa NaOH al 8%, en comparación con agua respectivamente. Además, la madera es menos rígida cuando se deforma a velocidades bajas de deformación que a velocidades altas. En este caso, se supone que el agua se comporta como un sólido y contribuye a reforzar el material leñoso, ya que el agua no puede migrar fuera de los microporos de la pared celular (Renaud *et al.*, 1996b).

Sin embargo, la falta de datos sobre características y propiedades de muchas especies de encinos mexicanos ha hecho que la utilización de estas especies no sea eficiente y adecuada; por lo tanto, para que los encinos sean usados en una variedad de productos y tengan una aceptación en el mercado nacional, es necesario que se conozca más sobre la estabilidad dimensional y propiedades físico-mecánicas de especies que no se han estudiado. Así, como parte de la búsqueda de maderas mexicanas con un potencial de producción alto, el presente trabajo se llevó a cabo con cinco especies de encino del Estado de Guanajuato, lo que, paralelamente, contribuye a la caracterización tecnológica de los encinos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un recorrido de campo en el Ejido las Cieneguitas, del Estado de

Guanajuato, donde se colectaron las muestras botánicas y se marcaron los árboles que se derribarían. La determinación taxonómica de las especies se hizo en el Herbario Nacional Forestal (INIF) "Luciano Vela Gálvez" del CENID-COMEF, INIFAP. Las especies identificadas fueron las siguientes: *Quercus obtusata* Humb. et Bonpl., *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. durifolia* Seem, *Q. castanea* Née y *Q. rugosa* Née, de las cuales las dos primeras pertenecen al grupo de encinos blancos (*Leucobalanus*) y las tres restantes, al grupo de encinos rojos (*Erytrobalanus*).

Se seleccionaron árboles sanos de fuste recto y con alturas entre 18 y 27 m, con un DAP entre 30 y 56 cm. Se colectaron dos árboles de *Quercus obtusata*, *Q. durifolia* y *Q. rugosa*, tres de *Q. laurina* y uno de *Q. castanea*; se obtuvo una troza de 2.7 m de longitud de cada árbol, cortada a una altura de 1.5 m por arriba del tocón. La madera se aserró de acuerdo con el procedimiento descrito por Quiñones (1974), lo que produjo barras de 5.7 x 5.7 cm de sección transversal por 122 cm de longitud (Fig. 1).

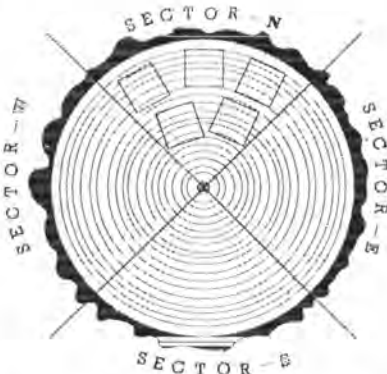


Figura 1. Obtención de probetas por sectores.

Cada barra se numeró en forma progresiva indicando el número de árbol, el número de troza, el sector correspondiente (N, S, E, W) y el tipo de ensayo. El 50% de las barras de cada árbol se destinó para ensayos en condición saturada, a un contenido de humedad de la madera por arriba del punto de saturación de la fibra. El resto del porcentaje se utilizó en los ensayos en condición seca, a un contenido de humedad aproximado de 12%. El número de probetas por ensayo por árbol varió de 5 a 62.

La elaboración y dimensión final de las muestras para los diferentes tipos de ensayo se realizó de acuerdo a la metodología establecida por la norma americana ASTM D143-83 (ASTM, 1992). Esta norma también se aplicó para determinar las propiedades físicas y mecánicas, con excepción del ensayo

de impacto en el cual se empleó la norma francesa NFB51-009 (L'Association Francaise de Normalization, 1942).

Las propiedades físicas fueron las siguientes: contenido de humedad, densidad básica, densidad anhidra, densidad al 12% y densidad verde; contracciones volumétricas y contracciones lineales tangenciales y radiales. Las propiedades mecánicas se obtuvieron mediante las siguientes pruebas o ensayos mecánicos: flexión estática, compresión axial, compresión perpendicular a la fibra, impacto, dureza lateral, dureza transversal, cortante paralelo a la fibra, tensión perpendicular y rajado.

Los datos derivados de las diferentes pruebas permitieron calcular los valores promedio de las propiedades físicas y mecánicas de las especies. Los valores promedio y el coeficiente de variación se calcularon a partir del procedimiento de una muestra no estratificada con las siguientes fórmulas (Pearson, 1952; Pearson y Williams, 1958):

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n n_i x_i}{N} \quad (1)$$

$$CV \ (%) = \left(\frac{100 \sigma_b}{\mu} \right) \sqrt{1 + \frac{\sigma_i^2}{\sigma_b^2}} \quad (2)$$

donde:

- X_p = Media ponderada de la especie
- n_i = Número de especímenes tomados del i-ésimo árbol
- x_i = Media de la propiedad considerada del i-ésimo árbol
- N = Número total de especímenes.
- CV = Coeficiente de variación
- σ_i^2 = Varianza entre árboles
- σ_b^2 = Varianza dentro de árboles
- μ = Media de la especie

Debido a que el acondicionamiento de las muestras secas fue un poco diferente al 12% de contenido de humedad, los valores de resistencia fueron ajustados al 12% mediante la siguiente expresión (Dinwoodie, 1981):

$$\log R_{12} = \log R_s + \frac{PSF-CH_{12}}{PSF-CH_r} \log \left(\frac{R_r}{R_s} \right) \quad (3)$$

donde:

- R_{12} = Resistencia considerada al 12% de contenido de humedad
- R_s = Resistencia considerada en condición saturada
- R_r = Resistencia considerada en condición seca al contenido de humedad real
- PSF = Punto de saturación de la fibra
- CH_{12} = Contenido de humedad del 12%
- CH_r = Contenido de humedad real

Stamm (1971) y Skaar (1972) han señalado que existe una relación entre la densidad básica y la contracción volumétrica de la madera. Esta relación puede servir para estimar el punto de saturación de la fibra mediante lo siguiente:

$$PSF (\%) = \frac{\beta_v}{DB} \quad (4)$$

donde:

- β_v = Contracción volumétrica
- DB = Densidad básica

Algunas veces, la ecuación (4) no es adecuada para obtener el punto de saturación de la fibra (Kelsey, 1956; Chafe, 1986), debido a que a bajos contenidos de humedad no existe una relación lineal entre la contracción y el contenido de humedad, o bien, a que algunas especies presentan un alto contenido de extractivos. El error puede reducirse con el modelo de Kelsey (1956):

$$PSF (\%) = 12 + \frac{\beta_{v,12}}{DB} \quad (5)$$

donde:

- $\beta_{v,12}$ = Contracción volumétrica de la condición saturada al 12% de contenido de humedad
- DB = Densidad básica.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza y la comparación mínima significativa de los valores promedio para las propiedades físicas y mecánicas en condición saturada y seca, por especie. Los valores promedio de las diferentes propiedades se ubicaron de acuerdo a la clasificación sugerida por Torelli, (1982), y Echenique y Plumptre (1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promedio de las propiedades físicas de las diferentes especies estudiadas se muestran en los cuadros 1 al 3; las propiedades mecánicas, en los cuadros 4 al 8. En la comparación de promedios, los valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación están entre paréntesis.

Propiedades físicas

El conocimiento de la densidad básica de la madera es de gran importancia, puesto que se relaciona con otras propiedades físicas y mecánicas. Generalmente los encinos blancos presentan valores de densidad básica más altos que los encinos rojos (Honorato, 1997). Los resultados destacan también que los encinos blancos (*Q. obtusata* y *Q. rugosa*) tienen mayor densidad básica que los encinos rojos (*Q. laurina*, *Q. durifolia* y *Q. castanea*).

Cuadro 1. Densidades promedio de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Especie	N	Densidades promedio (g/cm ³)							
		Verde		Al 12%		Anhídra		Básica	
<i>Q. obtusata</i>	12	1.23 (8.3)	a	0.91 (10.4)	b	0.87 (10.1)	a	0.72 (9.9)	a
<i>Q. rugosa</i>	24	1.23 (4.1)	a	0.96 (13.6)	a	0.88 (11.4)	a	0.72 (8.7)	a
<i>Q. laurina</i>	27	1.15 (3.6)	b	0.77 (5.3)	c	0.73 (6.5)	b	0.60 (5.7)	b
<i>Q. durifolia</i>	27	1.18 (2.0)	b	0.81 (4.6)	c	0.76 (4.1)	b	0.62 (4.4)	b
<i>Q. castanea</i>	12	1.18 (1.5)	b	0.82 (3.1)	c	0.76 (3.5)	b	0.62 (4.1)	b

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación están entre paréntesis.

El valor de densidad básica promedio de las dos especies de encinos blancos fue de 0.72 g/cm^3 , lo cual concuerda con el rango de valores de 0.69 a 0.76 g/cm^3 señalados en la literatura para los encinos blancos. En cambio, los valores para los encinos rojos fueron de 0.60 a 0.62 g/cm^3 , ubicándose dentro del rango de 0.51 a 0.89 g/cm^3 para los encinos rojos del país (Cuadro 1). Los resultados obtenidos para *Q. rugosa*, *Q. laurina* y *Q. castanea* son similares a los mencionados por Negrete (1970), Fuentes (1990) y García y González (1990), respectivamente. De acuerdo con la clasificación propuesta por Torelli, (1982) y Echenique y Plumptre (1990), la madera de los encinos blancos se clasifica como "muy pesada", mientras que la de los encinos rojos como "pesada".

La comparación de medias mostró que existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las densidades básicas de los encinos blancos y los encinos rojos estudiados. Esta diferencia podría atribuirse a la presencia de tilídes en los elementos de vaso, gomas, cristales y extractivos en las cavidades celulares de los encinos blancos (De la Paz, 1974, 1982, 1985a; Tejeda, 1994). La manifestación de estas inclusiones y materiales extraños incrementa la densidad básica de la madera (Kollmann y Côté, 1968), por lo que los encinos blancos tienen una mayor densidad básica que los rojos.

La magnitud de contracción transversal de la madera de encino y sus diferencias entre las direcciones radial y tangencial son importantes en el secado debido a la susceptibilidad a desarrollar defectos, tales como grietas y rajaduras. La contracción transversal de la madera es una manifestación externa de los cambios que ocurren en las paredes celulares; por lo tanto, se espera que la contracción transversal sea más o menos proporcional a la densidad básica puesto que ambas están en función del grosor de la pared celular. Los resultados promedio de contracción total en la dirección radial (β_{rT}) de las especies estudiadas aparentemente siguen este tipo de comportamiento, aunque *Q. castanea* presentó la contracción total radial más alta (Cuadro 2).

Las contracciones totales tangenciales (β_{tT}) y volumétricas (β_{vT}) no parecen tener una relación directa con respecto a la densidad básica. *Q. castanea* registró los valores más altos en contracciones lineales, mientras que las otras cuatro especies mostraron valores similares en contracción tangencial. *Q. obtusata* presentó el valor más bajo en contracción volumétrica (Cuadro 2). La diferencia de contracción lineal y volumétrica entre las especies estudiadas puede deberse al grosor de la pared celular de los elementos característicos que constituyen la madera. Los resultados obtenidos por De la Paz (1974, 1982, 1985a, 1985b) y Tejeda (1994), indican que el grosor de la pared celular de las fibras de *Q. castanea* es mayor al de las otras cuatro especies, en una proporción que varía de 1:1.46 a 1:1.7. Esto hace que la magnitud de las contracciones en dicha especie sea más pronunciada, sobre todo en aquellos elementos celulares que rodean los rayos (McIntosh, 1957).

Cuadro 2. Contracciones lineales y volumétricas de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Especie	Contracciones promedio (%)								
	Radial (β_{lr})			Tangencial (β_{lt})			Volumétrica (β_{lv})		
	N	Al 12%	Total	N	Al 12%	Total	N	Al 12%	Total
<i>Q. obtusata</i>	25	2.54 ^c (27.1) _d	5.30 ^a (38.2)	25	8.21 ^c (21.0)	14.10 ^b (10.4) _c	12	9.34 ^c (22.9)	16.21 ^b (8.9)
<i>Q. rugosa</i>	27	2.79 ^b (23.1) _c	5.12 ^a (32.1)	28	10.03 ^b (22.6)	13.80 ^b (14.5) _c	24	12.8 ^a (20.8)	17.72 ^a (10)
<i>Q. laurina</i>	36	3.07 ^b (44.4)	5.21 ^a (40.7)	33	9.68 ^b (26.4)	13.28 ^c (15.8)	27	11.01 ^b (11.8)	17.46 ^a (7.9)
<i>Q. durifolia</i>	29	2.12 ^d (19.4)	4.70 ^a (45.1)	25	8.62 ^b (49.8) _c	14.42 ^b (9.5)	27	12.10 ^a (16.8) _b	17.89 ^a (7.4)
<i>Q. castanea</i>	15	3.95 ^a (11.8)	5.52 ^a (12.3)	17	13.9 ^a (12.6)	16.14 ^a (8.2)	12	13.30 ^a (7.68)	17.94 ^a (4.0)

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis.

Los valores de las contracciones lineales y volumétricas indican que la madera de los cinco encinos en estudio tiene cambios dimensionales entre altos y muy altos. Con excepción de la contracción radial total, la comparación de medias muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) entre especies para las contracciones lineales y volumétricas. En términos de uso, los valores más altos de contracción sugieren una menor estabilidad dimensional.

La relación anisotrópica ($RAN = \beta_{lt}/\beta_{lr}$) obtenida fue de 2.55 a 3.07 (Cuadro 3), misma que depende principalmente de la presencia de rayos uniseriados y poliseriados. De acuerdo con McIntosh (1957), los rayos poliseriados contribuyen en 33% y los uniseriados en 40% a la relación anisotrópica por arriba de la unidad. Kollman y Côté (1968) señalaron que existe una tendencia de la relación anisotrópica de aumentar a medida que la densidad disminuye. La explicación de este comportamiento se basa en el hecho de que la influencia de las características en los cambios dimensionales de las células de rayo en la dirección radial se incrementa más eficientemente conforme la densidad de la madera disminuye.

Cuadro 3. Relación anisotrópica y punto de saturación de la fibra de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato

Especie	β_{tr}/β_{tr}	Punto de saturación de la fibra (PSF) (%)			
		Con ecuación (4)		Con ecuación (5)	
<i>Q. obtusata</i>	2.66	22.70 (12.6)	c	27.09 (11.2)	c
<i>Q. rugosa</i>	2.69	24.78 (8.0)	b	32.53 (12.9)	a b
<i>Q. laurina</i>	2.55	29.14 (7.8)	a	32.00 (8.6)	b
<i>Q. durifolia</i>	3.07	28.76 (9.7)	a	32.49 (19.3)	a b
<i>Q. castanea</i>	2.92	28.81 (6.6)	a	35.20 (7.4)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis.

Adicionalmente, la diferencia entre los cambios dimensionales en la dirección radial y tangencial depende del contenido de humedad (McIntosh, 1957; Kollman y Côté, 1968). Sin embargo, lo anterior es válido si únicamente se toma en cuenta el punto de saturación de la fibra, puesto que a partir de este punto se originan los cambios. A medida que el punto de saturación de la fibra es mayor, la magnitud de estos cambios, también será mayor.

La densidad básica y el punto de saturación de la fibra determinan el comportamiento en los cambios dimensionales de la madera, como se observa en los resultados obtenidos para las especies estudiadas. Luego entonces, dado que el punto de saturación de la fibra se determinó con la ecuación (4), hay una gran dependencia de las contracciones totales y la densidad básica, la cual se refleja en los valores bajos observados en *Q. obtusata* y *Q. rugosa* (Cuadro 3).

Tomando en consideración los valores de todas las probetas de las cinco especies de encino, se definió una relación entre la contracción volumétrica y la

densidad básica (Figura 2), que es semejante a la indicada en otros análisis publicados hasta la fecha (Chafe, 1986). De forma similar, la regresión lineal de los datos describe una línea que intercepta al eje "y" a más del 12%. Cuando la regresión lineal es a partir de cero, se genera una pendiente de 27.2%, con el auxilio de la ecuación 4, que es el promedio del punto de saturación de la fibra de las cinco especies. Los valores del punto de saturación de la fibra, que resultaron de la ecuación (5), son mayores que los que se obtienen con la relación de Stamm (1971). Así, el punto de saturación de la fibra (PSF) para *Q. obtusata* continúa siendo el más bajo.

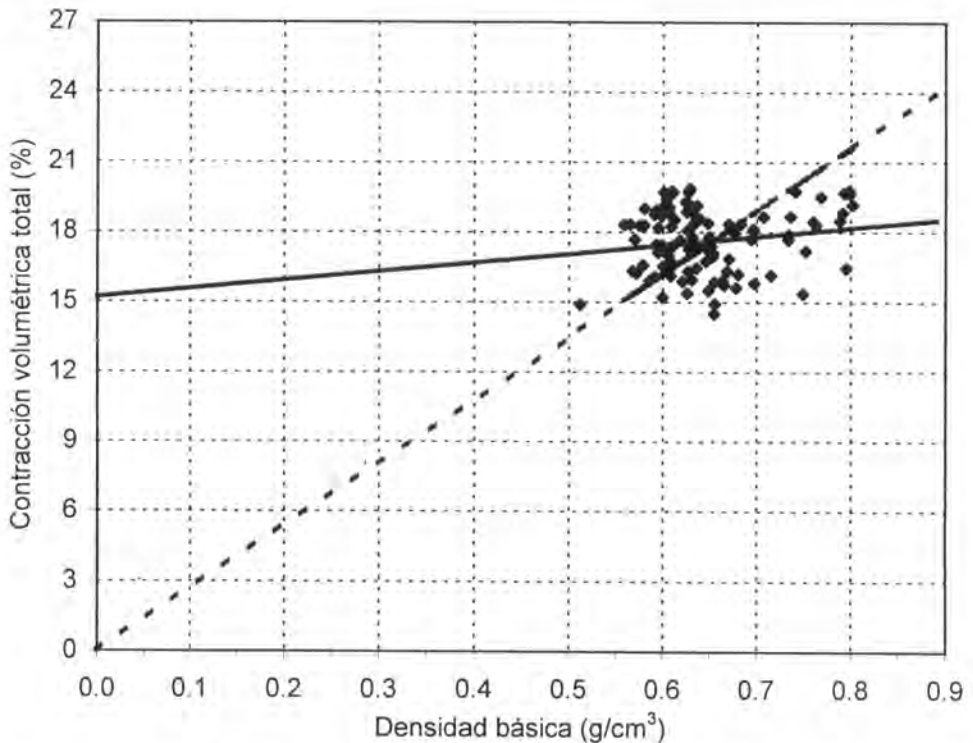


Figura 2. Relación de la contracción volumétrica total y la densidad básica de cinco especies de encinos.

La variación de los valores derivados de las ecuaciones (4) y (5) puede deberse al error de la curvatura por los bajos contenidos de humedad en la relación contracción-contenido de humedad. Es posible que la diferencia de los valores en el PSF de las especies esté influenciado por la cantidad de extractivos, sobre

todo si están dentro de la pared celular (Chafe, 1986). Sin embargo, en la actualidad no existen datos sobre la cantidad de extractivos de las diferentes especies de encinos estudiadas, que permitan establecer relación alguna.

Los valores de densidad básica y contracción radial de *Q. laurina*, coinciden con los señalados por Fuentes (1990); sin embargo, los de contracción tangencial y volumétrica son mayores a los mencionados por el mismo autor. Asimismo, los de densidad básica, contracciones lineales y volumétricas para *Q. rugosa*, son mayores que los indicados por Ordóñez *et al.* (1988), lo cual puede atribuirse a las diferentes condiciones de crecimiento del arbolado donde se recolectaron las muestras.

Propiedades mecánicas

El uso de la madera implica que en algunas situaciones ésta deba sujetarse a cargas externas en diferentes direcciones, produciéndose así diversos y variados tipos de esfuerzos, ya sea en forma aislada o combinada. Por lo tanto, es importante conocer las propiedades de resistencia mecánica de la madera, particularmente cuando se usa como elemento estructural en propósitos de construcción diferentes.

Las cargas a flexión producen un patrón complejo de deformaciones tridimensionales a tensión, compresión y cortante. En esta condición de carga, los diferentes tipos de células que la componen sufren extensiones en la parte inferior y contracciones en la parte superior en donde se aplica la carga. Como consecuencia, se generan esfuerzos en los planos horizontales y verticales del elemento sujeto a flexión (Bodig y Jayne, 1982).

Las propiedades de resistencia a flexión estática obtenidas para las especies de encino muestran que *Q. castanea* presentó los valores promedio más altos en la condición saturada en comparación con el resto de las especies; mientras que en la condición al 12%, *Q. laurina* y *Q. castanea* también exhibieron valores altos (Cuadro 4).

Los resultados en condición saturada indican que la madera de las especies de interés tiene un módulo de elasticidad muy alto y un módulo de ruptura de medio a alto. Con 12% de contenido de humedad, la clasificación es alta para el esfuerzo al límite de proporcionalidad, excesivamente alta para el módulo de elasticidad y media para el módulo de ruptura (Cuadro 4).

La resistencia a compresión axial tiene una función importante cuando se requiere utilizar a la madera como material de construcción en forma de postes o columnas. Los resultados revelan diferencias significativas entre las especies bajo condición saturada y con 12% de contenido de humedad (Cuadro 5).

El esfuerzo máximo unitario en condición saturada se clasifica como medio para

Cuadro 4. Flexión estática en condición saturada y al 12% de contenido de humedad en la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Flexión estática en condición saturada						
Especie	N	ELP	MOE	MOR	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	15	458.65 (11.3)	262654.77 (19.8)	680.99 (10.4)	0.0460 (23.3)	0.1817 (34.5)
<i>Q. rugosa</i>	20	375.56 (16.9)	209803.52 (27.4)	624.48 (17.4)	0.0388 (26.0)	0.2044 (35.4)
<i>Q. laurina</i>	23	421.34 (26.1)	262668.61 (20.6)	673.35 (19.3)	0.0389 (38.5)	0.2059 (72.9)
<i>Q. durifolia</i>	27	398.37 (17.9)	235079.84 (23.1)	607.97 (11.1)	0.0389 (29.3)	0.1951 (28.0)
<i>Q. castanea</i>	6	544.95 (4.5)	308839.68 (22.1)	766.54 (5.5)	0.0546 (12.0)	0.2259 (29.9)
Flexión estática al 12% de contenido de humedad						
Especie	N	ELP	MOE	MOR	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	10	749.69 (11.3)	4341844.11 (28.6)	1108.28 (19.7)	0.0071 (27.5)	0.0454 (69.2)
<i>Q. rugosa</i>	15	710.53 (8.5)	3643444.11 (14.2)	1194.16 (15.2)	0.0072 (12.7)	0.0448 (44.3)
<i>Q. laurina</i>	23	861.79 (27.5)	4144610.90 (32.4)	1222.67 (15.5)	0.096 (33.0)	0.0471 (26.0)
<i>Q. durifolia</i>	18	661.49 (16.6)	2979624.31 (15.4)	1021.51 (13.3)	0.0078 (26.0)	0.0370 (29.7)
<i>Q. castanea</i>	7	884.47 (8.8)	3770372.99 (11.4)	1225.66 (13.4)	0.0108 (12.9)	0.0393 (39.1)

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. ELP = Esfuerzo al límite proporcional, (kg/cm^2), MOR = Módulo de Ruptura (kg/cm), MOE = Módulo de elasticidad (kg/cm^2), WLP = Trabajo al límite proporcional ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$), WCM = Trabajo a la carga máxima ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$).

la mayor parte de las especies, excepto para *Q. laurina* que es alto. En la condición 12% de contenido de humedad, este tipo de esfuerzo se clasifica como muy alto, con excepción de *Q. durifolia* que, igualmente, es alto (Cuadro 5).

Los elementos de madera de planeadores, máquinas, artículos deportivos, escaleras, mangos para herramientas y estructuras fallan más frecuentemente bajo la influencia de esfuerzos de impacto que por sobre carga estática. Por eso es importante conocer la capacidad de la madera para resistir el choque o el impacto.

La resistencia al impacto en condición saturada de las especies estudiadas, medida por medio del trabajo total de ruptura (W), resultó ser media para *Q. laurina* y *Q. durifolia*, alta para *Q. rugosa* y muy alta para las otras dos especies, lo que permite ubicarlas como maderas con buena capacidad de amortiguamiento (Cuadro 6). Asimismo, su coeficiente de resiliencia (k) al 12% de contenido de humedad clasifica a las cinco especies como maderas resistentes, que equivalen a una capacidad media de amortiguamiento. Los valores promedio entre especies muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para ambas condiciones de humedad.

La resistencia de la madera en compresión perpendicular a la fibra es importante en muchas estructuras de madera y en los durmientes para líneas férreas e indica la capacidad que tiene la madera de ser densificada por la acción de fuerzas externas (Kollman y Côté, 1968). Los valores de esfuerzo al límite proporcional obtenidos indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las especies para ambas condiciones de humedad. No obstante, para la condición saturada sólo *Q. rugosa* fue diferente de las otras cuatro especies (Cuadro 7). Los valores obtenidos en condición al 12% ubican a la madera de las especies estudiadas como altamente resistentes.

La dureza es esencial para la trabajabilidad de la madera y para pisos, bloques de soporte, mazos de madera, entre otros. La dureza en los extremos y lateral de las especies estudiadas es más alta en los encinos blancos que en los encinos rojos para ambos contenidos de humedad. Los valores que se obtuvieron con 12% de contenido de humedad permiten ubicarlas como maderas de dureza alta en los extremos y lateral (Cuadro 7). Asimismo, los resultados concuerdan con los reportados por Becerra (1977) y Goche (1993) para la madera de encinos rojos, y por Fuentes (1990) para encinos blancos y rojos. Sin embargo, Machuca (1995) reporta valores inferiores para la dureza en los extremos en condición saturada y al 12% de contenido de humedad.

La resistencia al esfuerzo cortante puede ser el factor limitante para el diseño de elementos estructurales y laminados, dado que la resistencia en la madera a este tipo de esfuerzo es relativamente bajo. Los resultados reunidos en el Cuadro 7, no indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las especies en condición

Cuadro 5. Compresión axial en condición saturada y 12% de contenido de humedad en la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Compresión axial en condición saturada						
Especie	N	ELP	MOE	EMC	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	19	294.67 (17.6) a	348171.36 (80.5) a	331.03 (12.2) a	0.2007 (73.8) a	0.6511 (58.7) b
<i>Q. rugosa</i>	28	238.88 (23.8) b	212814.66 (40.7) a	289.20 (16.6) b	0.1469 (38.4) a	1.0960 (54.4) a
<i>Q. laurina</i>	30	306.60 (25.5) a	240966.01 (57.2) a	349.83 (25.2) a	0.2228 (43.3) a	0.8642 (54.7) b
<i>Q. durifolia</i>	26	229.99 (19.1) b	229115.85 (118.9) a	276.43 (15.3) b	0.1904 (109.5) a	0.8584 (52.0) b
<i>Q. castanea</i>	11	256.60 (19.1) b	240330.86 (76.8) a	313.36 (15.7) b	0.1769 (39.8) a	0.9594 (40.48) a

Compresión axial al 12 % de contenido de humedad						
Especie	N	ELP	MOE	EMC	WLP	WCM
<i>Q. obtusata</i>	16	499.39 (20.0) a	327990.02 (33.3) b	590.11 (15.3) b	0.3951 (26.3) a	2.648 (28.9) b
<i>Q. rugosa</i>	23	422.64 (15.0) b	259218.88 (28.7) b	558.38 (13.0) c	0.3634 (27.3) a	2.876 (39.5) a
<i>Q. laurina</i>	29	526.12 (17.7) a	301939.15 (33.5) b	619.68 (14.2) a	0.6074 (30.6) a	1.821 (29.7) c
<i>Q. durifolia</i>	25	438.55 (15.0) b	331069.28 (48.6) b	539.20 (11.9) c	0.3354 (36.9) a	2.183 (55.3) c
<i>Q. castanea</i>	11	539.33 (10.4) a	424854.30 (41.8) a	627.96 (8.7) a	0.3799 (26.7) a	1.858 (39.4) c

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. ELP = Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2), MOE = Módulo de elasticidad (kg/cm^2), EMC = Esfuerzo máximo de compresión, WLP = Trabajo al límite proporcional ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$) WCM = Trabajo a la carga máxima ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$).

Cuadro 6. Resistencia al impacto en condición saturada y 12% de contenido de humedad en la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Impacto en condición saturada											
Especie	N	W	F	RI	MOR	K					
<i>Q. obtusata</i>	31	5.64 (29.2)	a	6.48 (16.8)	a	209.23 (16.8)	a	744.56 (15.2)	b	0.277 (5.4)	d
<i>Q. rugosa</i>	59	4.41 (52.8)	b	5.32 (17.9)	b	171.82 (17.9)	b	656.14 (18.5)	c	0.287 (3.3)	c
<i>Q. laurina</i>	71	2.70 (43.5)	d	5.72 (24.4)	b	184.88 (24.4)	b	731.94 (23.8)	b	0.293 (3.1)	b
<i>Q. durifolia</i>	87	3.45 (35.9)	c	5.82 (25.5)	b	188.10 (25.5)	b	707.35 (27.4)	b	0.284 (3.2)	c
<i>Q. castanea</i>	24	4.81 (26.1)	b	5.78 (11.8)	b	186.84 (11.8)	b	811.26 (11.9)	a	0.308 (1.4)	a
Impacto al 12 % de contenido de humedad											
Especie	N	W	F	RI	MOR	K					
<i>Q. obtusata</i>	51	3.97 (33.1)	b	6.93 (31.3)	a	223.87 (31.3)	a	1057.06 (36.4)	a	0.322 (4.9)	a
<i>Q. rugosa</i>	64	5.08 (44.8)	a	6.50 (17.3)	a	209.88 (17.3)	a	988.42 (17.8)	a	0.323 (3.8)	a
<i>Q. laurina</i>	82	3.32 (22.7)	c	6.53 (14.0)	a	211.00 (14.0)	a	928.29 (31.7)	a	0.308 (10.1)	b
<i>Q. durifolia</i>	84	3.40 (47.2)	c	5.89 (22.7)	c	190.16 (22.7)	c	796.50 (19.7)	c	0.304 (4.7)	b
<i>Q. castanea</i>	32	3.12 (53.9)	c	6.18 (26.0)	b	199.58 (26.0)	b	908.61 (25.2)	b	0.317 (3.8)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. W = Trabajo total de ruptura (kg.m), F = Fuerza (kg), RI = Reacción instantánea (kg), MOR = Módulo de elasticidad (kg/cm^2), K = Coeficiente de resiliencia.

Cuadro 7. Resistencia a compresión perpendicular, dureza y cortante de la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Condición saturada											
Especie	Compresión perpendicular			Dureza (kg)			Cortante				
	N	ELP		N	Extremos	Lateral	N	EM			
<i>Q. obtusata</i>	16	80.77 (10.7)	a	14	798.73 (11.0)	a	791.83 (14.6)	a	21	109.39 (15.3)	a
<i>Q. rugosa</i>	23	67.30 (13.4)	b	21	752.01 (12.5)	a	732.67 (19.3)	a	24	113.90 (20.2)	a
<i>Q. laurina</i>	30	81.97 (9.2)	a	21	678.66 (9.1)	b	622.25 (13.6)	b	36	112.76 (21.9)	a
<i>Q. durifolia</i>	21	84.98 (8.1)	a	27	673.82 (7.1)	b	658.41 (8.7)	b	28	121.21 (11.1)	a
<i>Q. castanea</i>	7	85.36 (8.0)	a	6	692.33 (6.7)	b	631.55 (8.2)	b	15	116.55 (13.2)	a

Al 12% de contenido de humedad											
Especie	Compresión perpendicular			Dureza (kg)			Cortante				
	N	ELP		N	Extremos	Lateral	N	EM			
<i>Q. obtusata</i>	19	190.42 (19.3)	a	19	1443.24 (18.3)	a	1319.69 (25.6)	a	26	208.37 (20.0)	a
<i>Q. rugosa</i>	21	172.31 (30.0)	a b	21	1361.27 (23.7)	a b	1233.79 (25.9)	a	28	192.46 (27.1)	a
<i>Q. laurina</i>	31	135.90 (10.5)	c	31	1109.11 (8.0)	c	898.27 (9.1)	b	42	182.82 (16.1)	a
<i>Q. durifolia</i>	28	139.83 (8.8)	c	28	1099.08 (6.8)	c	904.04 (6.8)	b	30	184.18 (16.5)	a
<i>Q. castanea</i>	11	148.36 (10.9)	b c	10	1203.41 (6.5)	b c	1001.57 (5.1)	b	16	199.40 (15.3)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. ELP = Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2), EM = Esfuerzo máximo (kg/cm^2).

saturada y al 12%. Estos últimos valores permiten clasificar la resistencia de las especies bajo este tipo de esfuerzo como muy alto.

La resistencia al rajado puede ser una propiedad deseable cuando se usa la madera en cajas de empaque que deben ser clavadas o atornilladas, así como también en algunos otros usos en los que se desea hacer uniones de piezas de madera con conectores metálicos. El Cuadro 8 destaca que el esfuerzo máximo de rajado es mayor en algunas especies que en otras, tanto en condición saturada como en la condición al 12%. El valor más alto se presentó en *Q. obtusata* para la condición saturada y en *Q. castanea* para la condición al 12%.

La tensión perpendicular al hilo de la madera generalmente es muy baja y en condiciones de uso se tiende a evitar los esfuerzos de tensión porque producen rajaduras en la madera. De acuerdo con la clasificación propuesta por Novelo (1964), los valores de resistencia a tensión perpendicular obtenidos al 12 % para las especies de encino son medios para *Q. obtusata*, *Q. durifolia* y *Q. rugosa*, y altos para *Q. laurina* y *Q. castanea*. Los valores más altos fueron los de *Q. obtusata*, *Q. laurina* y *Q. durifolia* en condición saturada, mientras que al 12% sólo fue el de *Q. castanea* (Cuadro 8).

Los valores de las diferentes propiedades mecánicas de *Q. rugosa*, en condición saturada y al 12%, son mayores que las reportadas por Ordóñez *et al.* (1988). Para *Q. laurina*, la mayor parte de los valores son menores a los mencionados por Fuentes (1990), aunque en compresión axial al 12% los valores de esfuerzo al límite proporcional, esfuerzo máximo y módulo de elasticidad son mayores, así como también los de dureza en los extremos y lateral para ambas condiciones de humedad, y el esfuerzo máximo de tensión al 12%. Los resultados en condición seca de esfuerzo al límite de proporcionalidad a flexión y compresión axial para *Q. castanea* son menores a los de Fuentes *et al.* (1988), pero los del módulo de elasticidad son mayores en el presente estudio (Cuadro 8).

La diferencia en las propiedades físicas y mecánicas en el presente estudio y con respecto a otros estudios, puede deberse a muchos factores ajenos a la madera, entre los que pueden mencionarse el sitio y las condiciones de crecimiento de las especies. Esto trae como consecuencia que las propiedades físicas y mecánicas varíen entre árboles y dentro de los árboles. El contenido de humedad y dimensiones de las probetas también tiene una influencia en los resultados que se obtuvieron. Adicionalmente, si no existe una separación de la madera de duramen y la madera de albura durante la preparación de las probetas, entonces existe otra fuente de variación que posiblemente influyó en los resultados.

En el presente estudio no se hizo una separación entre la madera de albura y la de duramen, lo que dio lugar a un alto porcentaje de muestras con mezcla de ambos. De acuerdo con Hamilton (1961), las propiedades físicas y mecánicas

Cuadro 8. Resistencia a rajado y tensión perpendicular de la madera de cinco especies de encino del Estado de Guanajuato.

Condición saturada						
Especie	Rajado			Tensión perpendicular		
	N	EM		N	EM	
<i>Q. obtusata</i>	23	93.12 (25.6)	a	20	65.97 (43.0)	a
<i>Q. rugosa</i>	33	72.44 (40.3)	b	37	46.46 (42.5)	b
<i>Q. laurina</i>	40	83.93 (31.7)	a b	36	65.82 (42.6)	a
<i>Q. durifolia</i>	27	84.54 (31.1)	a b	34	68.26 (34.2)	a
<i>Q. castanea</i>	12	79.55 (29.8)	a b	10	49.93 (29.2)	b

Al 12% de Contenido de Humedad						
Especie	Rajado			Tensión perpendicular		
	N	EM		N	EM	
<i>Q. obtusata</i>	29	99.09 (30.7)	b	32	66.36 (30.5)	b
<i>Q. rugosa</i>	35	94.82 (40.8)	b	23	57.85 (37.2)	b
<i>Q. laurina</i>	50	101.49 (27.8)	b	43	69.51 (33.5)	b
<i>Q. durifolia</i>	38	111.52 (29.7)	b	31	62.10 (33.8)	b
<i>Q. castanea</i>	17	130.95 (24.5)	a	18	85.91 (28.2)	a

Valores con la misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores del coeficiente de variación se muestran entre paréntesis. EM = Esfuerzo máximo (kg/cm^2)

también varían dependiendo de la posición de donde proceden las probetas, tanto en la altura como en el diámetro; así sus resultados indican que la densidad básica más alta puede encontrarse en el centro y la más baja en la periferia del diámetro; así, la dureza lateral sigue un comportamiento similar a la densidad. Lo anterior podría explicar la diferencia entre los valores obtenidos y aquellos sugeridos por diferentes investigadores, así como los altos coeficientes de variación, dado que las probetas se sacaron del centro y de la periferia.

Las diferencias significativas entre especies ($p \leq 0.05$) para la mayoría de las propiedades mecánicas es importante en términos de uso, principalmente en la selección de demandas específicas de diseño estructural o en productos que requieren alta resistencia mecánica. Sin embargo, podrían establecerse valores de uso mínimo que permitirían evitar problemas en el uso de la madera. Es decir, utilizar los valores de las propiedades físicas y mecánicas más bajos cuando se desconozca la especie. Para lograr lo antes mencionado será necesario realizar evaluaciones similares a la actual en las especies de encinos que no se han estudiado.

De acuerdo con los resultados obtenidos y con las especificaciones señaladas por Echenique y Plumtre (1990) se establece que los usos más recomendables de la madera de las cinco especies de encino del Estado de Guanajuato son: mangos para herramientas resistentes al impacto, muebles económicos y de alta calidad, durmientes, pisos con tráfico de peatones, elementos estructurales de techos, muros y pisos. También es posible utilizarlos en la fabricación de productos laminados, reconstituídos y tarimas (Lewis y Heenbik, 1971; Shedlauskas *et al.*, 1996).

CONCLUSIONES

Los cambios dimensionales lineales totales varían de 13.28 a 16.14% en la dirección tangencial y de 4.70 a 5.52% en la dirección radial; mientras que los cambios volumétricos totales están dentro de un rango de 16.21 y 17.94%. La relación anisotrópica de las especies estudiadas se estableció entre 2.55 y 3.07, lo que permite clasificar a los cambios dimensionales de la madera entre altos y muy altos.

La densidad básica es más baja en las especies de encinos rojos que en las de encinos blancos. En los encinos rojos osciló entre 0.60 y 0.62 g/cm³, mientras que en los blancos fue de 0.72 g/cm³.

Los valores del punto de saturación de la fibra dependen del criterio elegido; se puede tomar la contracción volumétrica total o la contracción al 12% de contenido de humedad para relacionarla con la densidad básica. Cuando se utiliza la contracción intermedia se obtienen valores mayores.

Las propiedades mecánicas de la madera de las especies estudiadas varían en función de las condiciones de aplicación de carga. Sin embargo, la resistencia en condición saturada está entre media y alta, mientras que al 12% de contenido de humedad entre alta y muy alta.

REFERENCIAS

- Arcia G., D. 1979. Anatomía y características físicas de la madera de tres encinos del Estado de México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 75 p.
- ASTM. 1992. Standards, methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D 143. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.09 Wood. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA. pp. 37-78.
- Becerra, J. 1977. Usos probables de la madera de dos encinos del Estado de Durango. *Ciencia Forestal* 2 (5):63-70.
- Bodig, J. and B. A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA. 712 p.
- Chafe, S. C. 1986. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. Part 1. The shrinkage/specific gravity ratio. *Wood Science and Technology* 20:293-307.
- Davis, W. H. and W. S. Thompson. 1964. Influence of thermal treatments of short duration on the toughness and chemical composition of wood. *Forest Prod. J.* 14 (8):350-356.
- De la Paz Pérez O., C. 1974. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango. *Boletín Técnico. INIF.* No. 43. México. 35 p.
- De la Paz Pérez O., C. 1982. Estructura anatómica de cinco especies del género *Quercus*. *Boletín Técnico. INIF.* No. 88. México. 63 p.
- De la Paz Pérez O., C. 1985a. Características anatómicas de siete especies del género *Quercus*. *Boletín Técnico. INIF.* No. 123. México. 72 p.
- De la Paz Pérez O., C. 1985b. Variación de la estructura anatómica de los encinos y su efecto en el aprovechamiento de los mismos en el II Seminario Nacional sobre Utilización de encinos. Publicación especial No. 49. SARH-INIFAP. México. pp. 291-312.
- Dinwoodie, J., M. 1981. Timber, its nature and behaviour. Van Nostrand Reinhold Company, London, UK 190 p.
- Echenique M., R. y J. Becerra. 1972. Algunas características físico-mecánicas de la madera de tres especies de la Cordillera Neovolcánica. *Nota Técnica* 6. INIF. México. 7 p.
- Echenique M., R. and R. A. Plumtre. 1990. A guide to the use of Mexican and Belizean timbers. Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford. Oxford, U.K. 196 p.
- Fuentes L., M. E. 1990. Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino

- (*Quercus*) del estado de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.
- Fuentes T., F. J., R. E. Montes y R. Rodríguez. 1988. Estudio sobre el comportamiento de encino a ensayos de flexión, compresión y tensión, variando el ángulo de aplicación de la fuerza. *Amatl* 2 (2):1-8.
- Forest Products Laboratory. 1955. Wood Handbook. Agriculture Handbook No. 72. Washington, DC, USA. 528 p.
- García G., J. y E. González. 1990. Contribución al conocimiento de dos especies de encino (*Quercus glaucooides* Mart. et al., y *Quercus castanea* Neé) del sureste de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.
- Goche T., J. R. 1993. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus sideroxylla* del Estado de Durango. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p.
- Guerrero O. L., R. A. Guzzi, G. M. Bárcenas y E. F. Ortega. 1995. Relación de la estructura de la madera de *Quercus sartorii* Liebm. con cuatro propiedades físico-mecánicas. III Seminario Nacional sobre Utilización de Encinos. Reporte Científico Número Especial 15. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N. L. México. pp. 475-495.
- Hamilton, J. R. 1961. Variation of wood properties in Southern red oak. *Forest Prod. J.* 11 (6):267-271.
- Honorato S., J. A. 1997. Propiedades físicas y mecánicas de los encinos mexicanos. INIFAP, Campo Experimental San Martinito. Documento Interno. 7 p.
- Kelsey, K. E. 1956. The shrinkage intersection point - its significance and the method of its determination. *Forest Prod. J.* 6 (11):411-417.
- Kollman, F. and W. A. Côté. 1968. Principles of wood science and technology. Vol. I: Solid wood. New York, USA. 592 p.
- L'Association Francaise de Normalization. 1942. Norme Francaise, bois essai de choc ou flexión dynamique. NFB51-009. Paris, France.
- Lewis, W. C. and B. G. Heenbik. 1971. Reconstituted products from oak. *In: Proceedings of the uses of oaks.* USDA. Madison WI, USA. pp 106-110.
- Machuca, V. R. 1995. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Veracruz, México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 144 p.
- Martínez, M. 1981. Los encinos de México. Anales del Instituto de Biología UNAM, Comisión Forestal del Estado de Michoacán. Serie Técnica Manejo No. 8, 2a Edición. Michoacán, México. 358 p.
- McIntosh, D. C. 1957. Transverse shrinkage of red oak and beech. *Forest Prod. J.* 7 (3):114-120.
- Negrete L., J. 1970. Algunas características físicas y anatómicas de la madera de cuatro especies de encinos (*Quercus*) del Estado de Michoacán. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 65 p.

- Nixon, K. C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: Ramamoorthy, T. P. R., Bye, A. Lot, J. Fa (Eds.). Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press. New York, USA. pp. 447-458.
- Novelo G., G. 1964. Posibles aplicaciones de la madera de cuatro especies tropicales con base en sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 42 p.
- Ordóñez, V., G. Barcenas y A. Quiroz. 1988. Características físico-mecánicas de diez especies de San Pablo Malcuiltianguis, Oaxaca. Boletín Técnico. La madera y su uso 21. Instituto de Ecología, LACITEMA-UAM. México. 30 p.
- Pearson, R. G. 1952. The sampling of timber for standard mechanics tests. Aust. J. Appl. Sci. 3:25-52.
- Pearson, R. G. and E. J. Williams. 1958. A review of method for the sampling of timber. Forest Prod. J. 8 (10):263-268.
- Quiñones J., O. 1974. Características físicas y mecánicas de la madera de cinco especies mexicanas. Boletín Técnico No. 42. INIF. México. 19 p.
- Renaud, M., M. Rueff and A. C. Rocaboy. 1996a. Mechanical behaviour of saturated wood under compression. Part 1. Behaviour of wood at high rates of strain. Wood Science and Technology 30:153-164.
- Renaud, M., M. Rueff and A. C. Rocaboy. 1996b. Mechanical behaviour of saturated wood under compression. Part 2. Behaviour of wood at low rates of strain, some effects of compression on wood structure. Wood Science and Technology 30:237-243.
- Rendle, B. J. 1969. World Timbers 1. Europe and Africa. Ernest Ben Ltd. London, UK 191 p.
- Schniewind, A. P. 1962. Tensile strength perpendicular to grain as a function of moisture content in California black oak. Forest Prod. J. 12 (5):249-252.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1998. Anuario estadístico de la producción forestal. Subsecretaría de Planeación. México. 129 p.
- Shedlauskas, J. P., H. B. Manbeck, J. J. Janowiak, R. Hernandez, R. C. Moody, Labosky, Jr. P. and P. R. Blankenhorn. 1996. Efficient use of red oak for glued-laminated beams. Transaction of the ASAE 39 (1):203-209.
- Skaar, C. 1972. Water in wood. Syracuse University Press. Syracuse, New York, USA. 218 p.
- Stamm, A. J. 1971. Review of nine methods for determining the fiber saturation points of wood and wood products. Wood Science and Technology 4 (2):114-128.
- Tejeda, V. F. 1994. Descripción anatómica de la madera de ocho especies de encinos del Municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis Profesional, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 127 p.
- Torelli, N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. UEK. México. 73 p.
- Young, R. L. 1957. Mechanical properties of red oak related to drying. Forest Prod. J. 7 (11):315-324.

CINCO CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf.

Amparo Borja-de-la-Rosa¹, David J. Meza-Juárez² y Alejandro Romero-López³

RESUMEN

El presente estudio se realizó con 88 árboles de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, procedentes de la plantación forestal ubicada en "La Sabana", Oaxaca. Los objetivos planteados consistieron en determinar la densidad básica, las contracciones lineales de la madera, estimar el porcentaje de madera tardía existente en los anillos de crecimiento y calcular los índices de calidad de la pulpa para papel. Estas características fueron determinadas por anillo de crecimiento y a tres alturas del fuste (0.30, 1.30 y 3.70 m). Los resultados indican que la proporción de madera tardía, la densidad básica, las contracciones radiales y tangenciales aumentan en función de la distancia a la médula, mientras que a mayor altura disminuyen la densidad y las contracciones radiales; asimismo se presenta una relación anisotrópica baja. La longitud, el grosor de paredes y el diámetro total de las traqueidas se incrementa conforme se avanza de la médula hacia la corteza en las tres alturas del fuste. Las traqueidas de un anillo desde la médula son más largas en la parte elevada del mismo y disminuyen su longitud hacia la base del árbol. En los diámetros del lumen se aprecia una relación inversa en función a la distancia desde la médula. Este estudio permite determinar que la pulpa de la madera es buena para la elaboración de papel.

Palabras clave: Calidad de pulpa para papel, contracciones lineales, densidad básica, dimensiones de traqueidas, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, porcentaje de madera tardía.

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002.

Fecha de aceptación: 30 de marzo de 2004.

¹ Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Correo-e: aborja@taurus1.chapingo.mx

² Colegio de Posgraduados.

³ Comisión Federal de Electricidad.

ABSTRACT

The present technological study was carried out with 88 trees of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from a forest plantation located in "La Sabana", Oaxaca. The objectives were to determine the basic density and the lineal shrinkage of the wood, to estimate latewood per cent in growth rings and to calculate the quality indexes for paper pulp. These characteristics were determined by growth rings in three different stem heights (0.30, 1.30 and 3.70 m). The proportion of latewood, basic density and radial and tangential shrinkage increase as the distance from the pith does, however at higher heights in the stem, the density and radial shrinkage tend to diminish, and the anisotropic relationship of shrinkage was low. Length, cell walls width and total diameter of the tracheids increase with the distance from the pith to the bark at the three stem heights. The tracheids are longer in any particular ring from the pith at the highest part of the stem and reduce their length towards the base of the tree. In contrast, the diameter of the lumen has an inverse relationship in regard to the distance from the pith. The pulp wood of this species is considered good for paper production.

Key words: Quality indexes of paper pulp, lineal shrinkage, basic density, tracheids dimensions, *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, latewood percentage.

INTRODUCCIÓN

México tiene un gran potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, principalmente en los trópicos, que como opción impulsaría el desarrollo del país al abastecer de materia prima a la industria maderera nacional y aún a la extranjera, y paralelamente, permitiría reducir la presión a los bosques naturales al disminuir la extracción de maderas.

En 1973 se realizó un estudio en la Región Mixe del estado de Oaxaca, en el que se comparó el crecimiento y la supervivencia de varias especies de pinos tropicales; de ellos, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf. presentó los mejores resultados (Acevedo *et al.*, 1994), que sugieren que esta especie es de gran valor, aunque es necesario ampliar los conocimientos acerca de las propiedades tecnológicas de su madera y de la calidad de su pulpa, cuando el destino de la materia prima es la elaboración de papel.

El propósito de este estudio fue generar información acerca de algunas características tecnológicas de la madera de *P. caribaea* var. *hondurensis* en función de la edad de la plantación. Para ello se analizó el porcentaje de madera tardía existente en los anillos de crecimiento, las dimensiones longitudinales y transversales de las traqueidas, los índices de calidad de la pulpa para papel, la densidad básica y las contracciones lineales de la madera; esto permitirá evaluar su materia prima y poder asignarle un uso óptimo, o bien, definir el momento en

el que las características de la madera son las requeridas para el fin con que se estableció la plantación.

Hernández (1985) menciona que Hartig realizó un estudio pionero en 1894, con un roble de 246 años, que lo muestreó a 1.30 metros de altura; encontró un peso específico de 0.73 g/cm^3 cerca de la médula y de 0.46 g/cm^3 en la parte interna. De igual forma este autor refiere que Want en 1937 reportó que el peso específico de la madera de *Pinus silvestris* L., aumenta desde un mínimo situado en las proximidades de la médula, hasta un valor máximo para una determinada anchura del anillo de crecimiento.

La medición de madera temprana y tardía ha sido estudiada por Muller-Stoll (citado por Hernández, 1985) quien mostró que en *Pinus pinea* Mill., el peso específico en madera temprana y tardía fue de 0.52 y 0.64 g/cm^3 respectivamente. Esa misma tendencia se obtuvo en *Pinus bankasiana* Lamb. en la que el peso específico correspondiente a la madera temprana fue de 0.33 g/cm^3 , mientras que en la madera tardía el valor se elevó a 0.69 g/cm^3 , con lo que la proporción de madera tardía y temprana fue quizás el factor más importante en la variación del peso específico dentro de los árboles.

Zobel *et al.* (1959) indicaron que en *Pinus taeda* L. y *P. ellioti* Engelm., el peso específico se comporta en relación inversa con la altura del árbol. Kramer (1966) señaló que el peso específico de *Tsuga microphylla* en la parte baja del árbol es alto y que a medida que la altura aumenta, el valor es más pequeño.

Voorhies y Jameson (1968) estudiaron la variación de longitud de traqueidas en el crecimiento juvenil de *Pinus ponderosa* P. & C. Lawson, en el sureste de Estados Unidos. Este tipo de información tiene aplicaciones prácticas en la producción de pulpa; así como en la explicación de las variaciones en los valores de contracción y ciertas propiedades mecánicas de la madera. Obtuvieron que la longitud de fibra presenta un comportamiento asintótico con la edad y que la maduración de las fibras ocurre aproximadamente a los cincuenta años.

Guth (1970) determinó la densidad, el porcentaje de madera tardía, la longitud y el diámetro de las traqueidas, año por año, y en sentido de la médula a la corteza, observó que en todas esas características, salvo el diámetro de las traqueidas, van en aumento de la médula a la corteza. Así mismo, se recomendaron como indicadores de la calidad de la madera a temprana edad la longitud de las traqueidas, la densidad y el porcentaje de madera tardía.

Larios (1979) precisó la variación de las dimensiones en las traqueidas de *Pinus hartwegii* Lindl. y *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham., en dirección de la médula a la corteza; calculó el coeficiente de flexibilidad, el índice de rigidez, el coeficiente de Peteri y la relación de Runkel, y concluyó que las dos especies muestran índices de calidad intermedios y se califican como regulares para la elaboración de papel.

Ladrach (1987) evaluó 156 árboles de *Pinus oocarpa* Schiede entre 4 y 11 años de edad y obtuvo como resultado que la densidad específica aumenta con la edad y disminuye con la altura: a 12 m fue de 0.49 y a 19 m de 0.44; algo similar ocurre con la longitud de las traqueidas, de 2.90 mm a los 4 años y de 3.82 mm a los 12 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado provino de la plantación "La Sabana", establecida en los municipios de San Juan Cotzocón y Santiago Yaveo, al noroeste del estado de Oaxaca, en los límites con el estado de Veracruz, entre los paralelos 17°20' y 17°26' de latitud norte y los meridianos 95°23' y 95°33' de longitud oeste. La altura sobre el nivel del mar va desde 100 hasta 200 m (Reyes y Zamora, 1977; INEGI, 1984). En el área predomina un clima cálido húmedo con lluvias en verano y un período de sequía en invierno, corresponde al tipo Am(w)(l)g (García, 1983).

Se seleccionaron 88 árboles de los cuales se sacaron tres trozas de 40 cm cada una: la primera (A), de 0.30 a 0.70 m de altura; la segunda (B), de 1.30 a 1.70 m y la tercera (C), de 3.70 a 4.10 m.

Preparación de probetas

Las trozas de 40 cm se seccionaron a partir de su base, en cinco rodajas de 2 cm de longitud cada una; la primera se desechó porque presentaba mayor desecación. Las cuatro rodajas restantes se sumergieron en agua durante una o dos semanas con el fin de saturarlas. Para extraer las probetas se hicieron dos cortes paralelos a partir de la médula hacia la corteza, con un ancho de 2 cm; cada anillo de crecimiento fue separado y numerado con lápiz tinta, de la médula hacia la corteza (probetas individuales para el caso de la densidad, contracción y longitud de traqueidas); para la determinación de la proporción de madera tardía no fue necesario disgregar los anillos.

Estimación del porcentaje de madera tardía

La madera tardía presente en cada anillo de crecimiento, se obtuvo al medir el espesor de la madera temprana y la anchura total del anillo con una lupa estereoscópica graduada en milímetros. La cantidad de madera tardía anual se calculó mediante diferencia aritmética y se expresó en porcentaje.

Medición de traqueidas

La preparación de material disociado fue realizada según la metodología de Huerta (1978) modificada en el laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma

Chapingo. De cada probeta se separaron astillas de madera, que fueron colocadas en frascos de vidrio y se les agregó una mezcla de ácido acético y peróxido de hidrógeno en partes iguales. Los frascos sellados se sometieron a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. El material disociado se enjuagó y fue teñido con fushina; se hicieron preparaciones temporales, y las observaciones se realizaron en un microscopio de pantalla.

Se midieron 18 traqueidas por anillo, la longitud se determinó con el objetivo de 2.5x, los diámetros total y el del lumen con el de 40x; los valores se establecieron en centímetros y se transformaron a micras mediante un factor de conversión para cada objetivo.

Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel

Con los valores medios de la longitud, diámetro total, diámetro del lumen y grosor de la pared celular de las traqueidas se calcularon los índices de calidad de pulpa para papel correspondientes a cada anillo de crecimiento y a las tres alturas de cada árbol con las siguientes fórmulas:

$$CR = \frac{2w}{D} \quad CF = \frac{L}{D} \quad IE = \frac{L}{D} \quad RR = \frac{2w}{l}$$

Donde:

- CR = Coeficiente de rigidez
- 2w = Grosor de las paredes
- D = Diámetro total de la traqueida
- CF = Coeficiente de flexibilidad
- l = Diámetro del lumen
- IE = Índice de esbeltez
- L = Longitud de la traqueida
- RR = Relación de Runkel

Densidad básica

La densidad básica se determinó a partir de una probeta por anillo de crecimiento, en una balanza analítica se tomaron lecturas del peso y del volumen; para este último se usó el método de desplazamiento de fluidos. Las muestras se colocaron en un horno de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 72 horas a fin de obtener el peso y volumen anhidro; el cálculo final se hizo con la siguiente fórmula:

$$Db = \frac{Po}{Vv}$$

Donde:

- Db = Densidad básica
- Po = Peso anhidro (g)
- Vv = Volumen en verde (cm^3)

Contracciones lineales totales

Las contracciones lineales resultaron de medir con un Vernier de aproximación a la centésima, las dimensiones tangenciales y radiales en estado saturado, inmediatamente después fueron colocadas en un horno a $103^\circ \pm 2^\circ$ durante 72 horas con el objeto de tener las dimensiones en estado anhidro. Las contracciones se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$\beta_{(tot)}(\%) = \frac{D_v - D_o}{D_v} \cdot 100$$

Donde:

- $\beta_t(\%)$ = Contracción tangencial total en porcentaje
- $\beta_r(\%)$ = Contracción radial total en porcentaje
- D_v = Dimensión en verde (mm)
- D_o = Dimensión anhidra

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa en la Figura 1 una clara tendencia de aumento en la proporción de madera tardía en función de la edad, debido a que con el paso del tiempo los anillos disminuyen en grosor al igual que la formación de madera temprana. Asimismo, los valores en las tres alturas muestran un patrón similar en su comportamiento.

En las tres alturas, la menor proporción de madera tardía se registró en el anillo número uno, que fue de 11.46, 10.44 y de 9.07%, respectivamente; para la altura A los valores fueron de 66.37% y para la altura B de 66.17%, que corresponden a los porcentajes más altos y se ubicaron en el último anillo; en la altura C el valor máximo de 65.3% se presentó en el anillo 15, con una disminución posterior. La desviación estándar general se calculó en 15.95, y las de cada tramo en 16.06, 16.19 y 16.25. Estos resultados se deben a que la proporción de madera tardía aumenta con la edad, porque al paso del tiempo los anillos disminuyen en grosor.

Los valores promedio de madera tardía en las tres alturas A, B y C, fueron de 41.2, 39 y 37.1%; esta reducción de la proporción de la madera tardía es similar a la citada por Markstron *et al.* (1973), lo que coincide con Daniel *et al.* (1982)

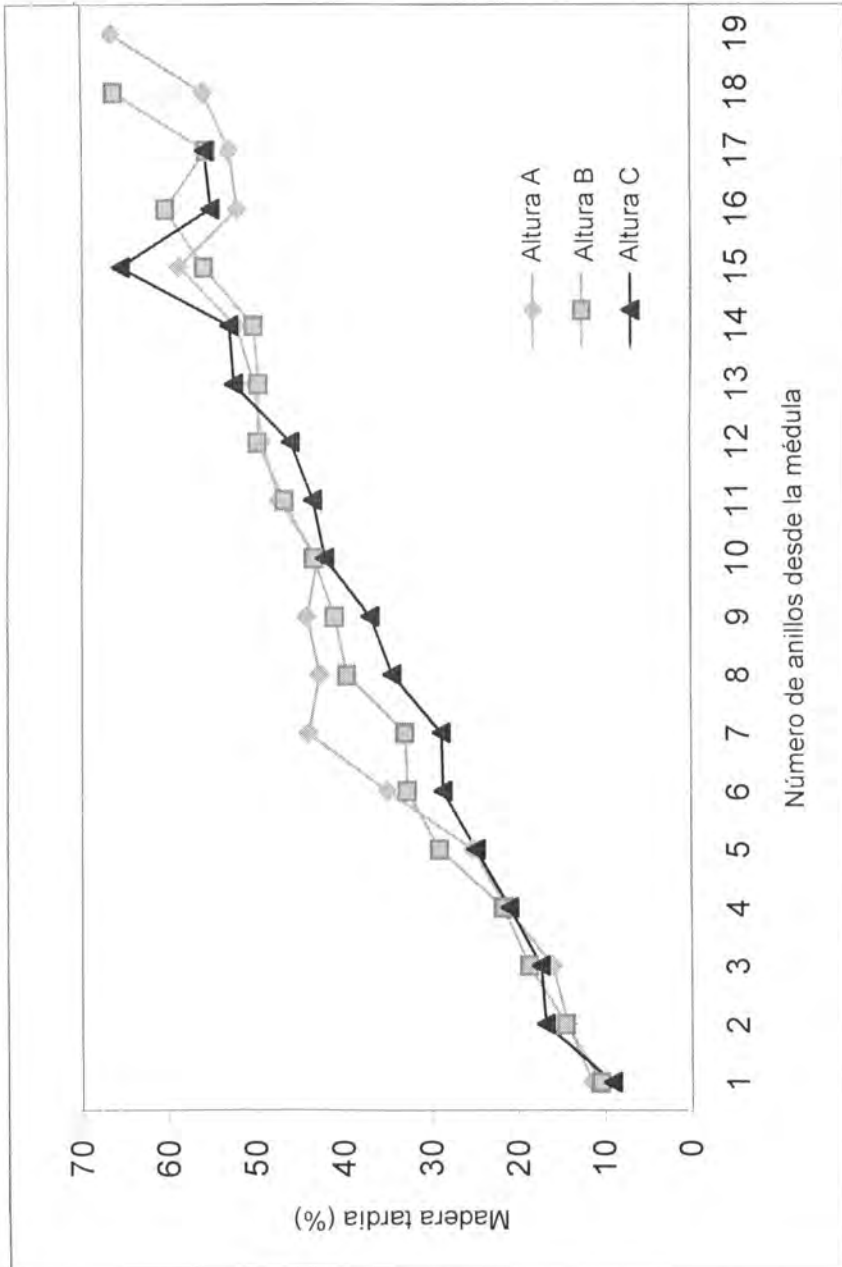


Figura 1. Porcentaje de madera tardía en las tres alturas.

quienes explicaron que debido a mecanismos fisiológicos se tiene mayor proporción de madera temprana en la parte alta del árbol.

Con relación a la longitud de las traqueidas, en las tres alturas estudiadas se presentó la misma tendencia (Figura 2); las longitudes mínimas fueron de 1792.88 μ en la altura A, 2033.07 μ en la B y 1963.30 μ en la C. En la altura A la mayor longitud correspondió a un anillo cercano a la corteza (18), la cual fue de 5400.32 μ , en la altura B ocurrió en el último anillo cercano a la corteza (16) con 5707.34 μ y en la altura C el penúltimo anillo (14) tuvo una longitud de 5905.96 μ . En promedio, la longitud de las traqueidas fue de 4411.88 μ , con desviaciones estándar de 1088, 1094, 1215, respectivamente y desviación general de 1121.

Plumtre (1984) obtuvo comportamientos similares en individuos de 14 y 20 años de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, con longitudes de 2000 μ hacia la médula y de 6000 μ en las proximidades de la corteza, estos valores disminuyen lentamente con la edad. En este estudio no se observó el decremento en la longitud de las traqueidas debido a la edad de los árboles. En el Cuadro 1 se muestra una comparación con varias coníferas, donde *P. caribaea* destaca por tener las traqueidas más largas.

Cuadro 1. Comparación de la longitud de traqueidas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Longitud de traqueidas (micras)	Referencia
<i>Pinus arizonica</i>	3385	Hernández (1994)
<i>Pinus montezumae</i>	3458	Fuentes (1987)
<i>Pinus hartwegii</i>	3616	Larios (1979)
<i>Abies religiosa</i>	3755	Larios (1979)
<i>Picea chihuahuana</i>	3926	Sánchez (1999)
<i>Pinus arizonica</i>	4139	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus cooperi</i>	4190	Cruz y Borja (1995)
<i>Pinus caribaea</i>	4412	Presente estudio

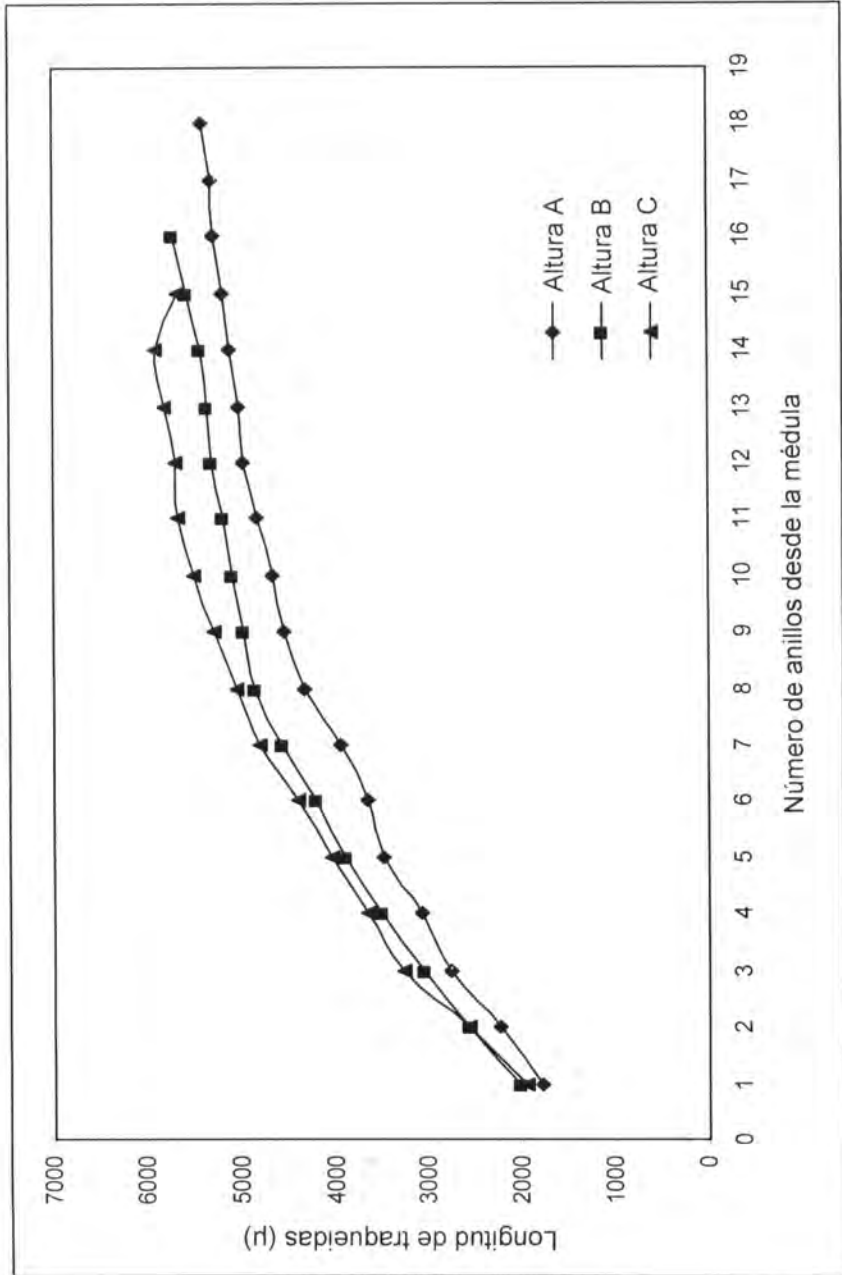


Figura 2. Longitud de traqueidas en las tres alturas.

En cuanto al diámetro total, el valor promedio mínimo ocurrió en el primer anillo y fue de 49.68 μ para la altura A, de 4.147 μ en la B y de 41.96 μ en la C. Referente al diámetro máximo, este se ubicó para la altura A, en el anillo 15 con 51.00 μ ; para la altura B, en el anillo 12 con 51.64 μ y para la altura C, en el anillo 8 con 57.27 μ en promedio. El diámetro total presentó un rango de 40.68 a 52.27 μ , con un promedio general de 47.72 μ .

El diámetro del lumen máximo tanto para la altura A como para la B se obtuvo en el anillo inicial con valores de 34.63 y 35.75 μ , respectivamente. Los diámetros menores se midieron en la altura A, en el anillo más cercano a la corteza (22.06 μ) y para la altura B en el último anillo (22.73 μ). Algo similar se determinó para la altura C, sólo que en ésta el mayor diámetro promedio correspondió al segundo anillo. El rango para los diámetros del lumen fue de 15.95 a 38.94 μ y el promedio general de 27.99 μ .

Con relación al grosor de las paredes, en las tres alturas, el valor más bajo se presentó en el primer anillo con 6.06, 2.96 y 2.96 μ y el mayor en el último anillo con 24.85, 13.14 y 14.38 μ , respectivamente, con lo que se tiene un rango muy amplio que va de 2.96 a 24.38 μ y un promedio general de 13.48 μ .

Los índices de calidad de pulpa para papel se calcularon con los datos antes expuestos de las dimensiones de las traqueidas. En la Figura 3 se muestra el coeficiente de rigidez que relaciona el grosor de las paredes y el diámetro total. En la altura A el coeficiente de rigidez mínimo es de 0.26 y el máximo de 0.50; en la altura B el valor mínimo es de 0.13 y el máximo de 0.24 y en la altura C el valor mínimo es de 0.11 y el máximo de 0.27 con sus respectivas desviaciones estándar de 0.1088, 0.0603 y 0.0721 y una general de 0.1305. Así mismo, el coeficiente de rigidez se incrementa a medida que se aproxima a la corteza, con un promedio general de 0.28.

Según la clasificación de Petroff y Normand (1968), existen paredes delgadas y muy delgadas en el centro del fuste y paredes delgadas con grosores medios en la periferia, por lo que las traqueidas de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* presentan buena superficie de contacto y unión entre ellas, lo que les da una alta resistencia a la tensión. Los coeficientes son más bajos en las alturas B y C.

En el Cuadro 2 se observa que *P. caribaea* var. *hondurensis* en comparación con otras coníferas tiene un coeficiente de rigidez muy bajo a excepción de *Picea chihuahuana*, este valor indica que las células se pueden colapsar fácilmente, lo que proporciona una mayor resistencia a la tensión en el papel (Porres y Valladares, 1979).

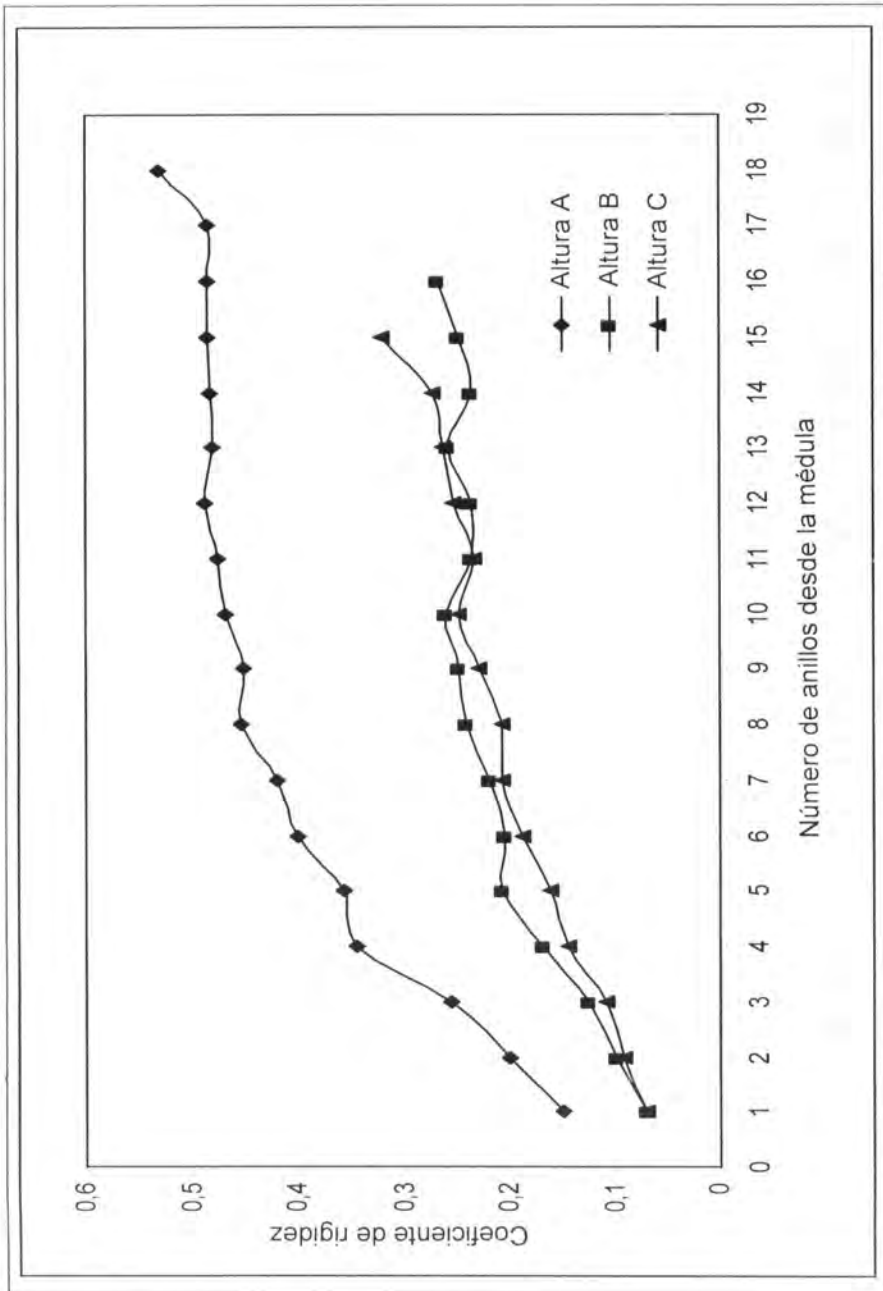


Figura 3. Coeficiente de rigidez en las tres alturas.

Cuadro 2. Comparación del coeficiente de rigidez de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Coeficiente de rigidez	Referencia
<i>Picea chihuahuana</i>	0.20	Sánchez (1999)
<i>Pinus caribaea</i>	0.28	Presente estudio
<i>Pinus montezumae</i>	0.32	Fuentes (1987)
<i>Pinus arizonica</i> ¹	0.33	Hernández (1994)
<i>Pinus arizonica</i>	0.40	Borja y Tamarit (1997)
<i>Abies religiosa</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus hartwegii</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus cooperi</i>	0.55	Cruz y Borja (1995)

En las tres alturas evaluadas, este coeficiente tuvo valores superiores hacia la médula, los cuales disminuyeron hasta un mínimo en la proximidad de la corteza (Figura 4). Para la altura A en el anillo uno fue de 0.74, para la B de 0.73 y para C de 0.77, los valores en el último anillo resultaron ser: 0.50, 0.43 y 0.46, respectivamente, con un promedio general de 0.59 y las correspondientes desviaciones estándar de 0.1095, 0.1206 y 0.1442; así como una desviación estándar general de 0.1220.

Según la clasificación de Petroff y Normand (1968), los datos anteriores son un indicativo de paredes con grosores medios; además las fibras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* son elípticas en su sección transversal y presentan tanto buena superficie de contacto como unión entre fibra y fibra, por lo que se colapsan en forma parcial (Porres y Valladares, 1979).

En el Cuadro 3 se comparan el coeficiente de flexibilidad de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas y se aprecia que sólo es inferior al de *Picea chihuahuana* y *Pinus montezumae*. Con base en este coeficiente, se puede considerar a la madera de *P. caribaea* como materia prima de buenas características para la producción de pulpa para papel.

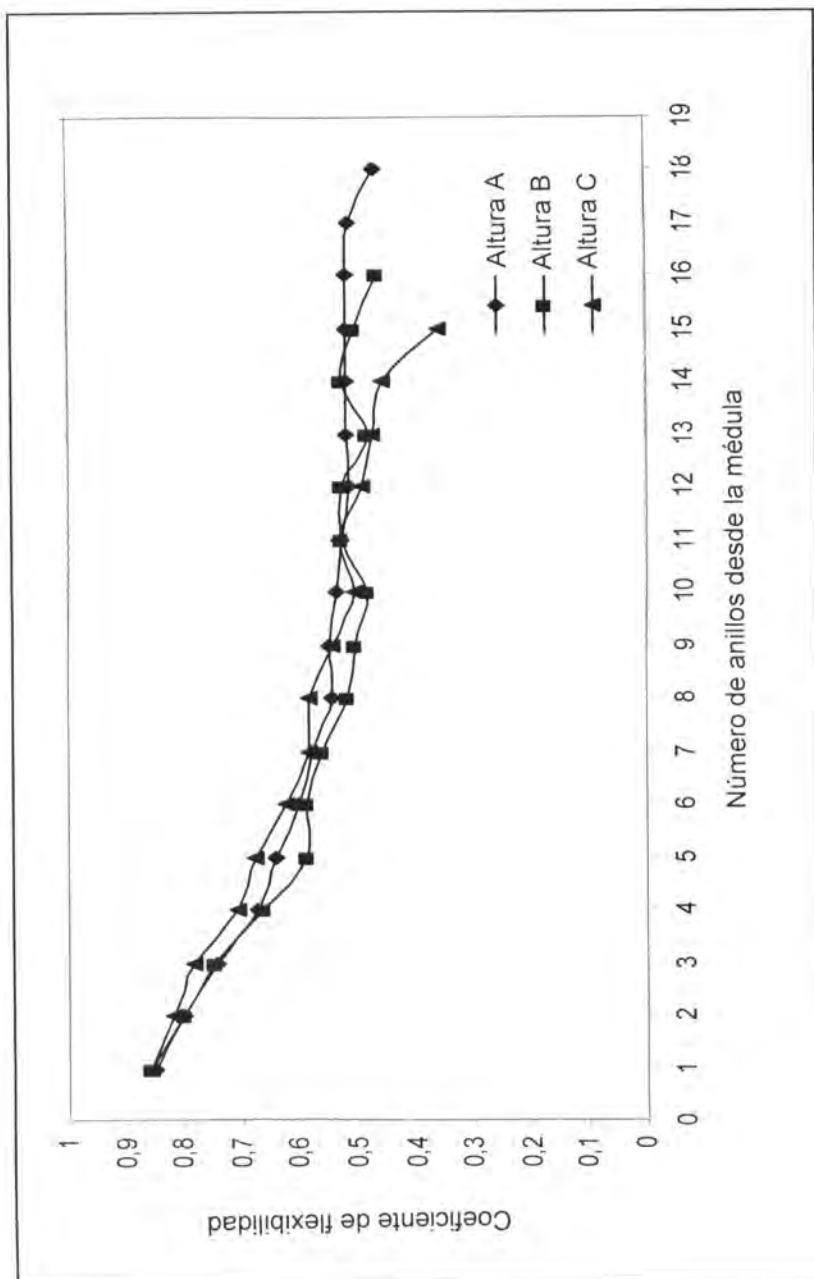


Figura 4. Coeficiente de flexibilidad en las tres alturas.

Cuadro 3. Comparación del coeficiente de flexibilidad de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Coeficiente de flexibilidad	Referencia
<i>Pinus arizonica</i>	0.30	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus arizonica</i> ¹	0.35	Hernández (1994)
<i>Pinus cooperi</i>	0.45	Cruz y Borja(1995)
<i>Abies religiosa</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus hartwegii</i>	0.52	Larios (1979)
<i>Pinus caribaea</i>	0.59	Presente estudio
<i>Pinus montezumae</i>	0.68	Fuentes (1987)
<i>Picea chihuahuana</i>	0.79	Sánchez (1999)

En la Figura 5 se observa la tendencia de aumento del coeficiente de Peteri de la médula hacia la corteza. Se considera que la longitud de las traqueidas es uno de los principales indicadores para determinar la utilidad que tiene una especie en la elaboración de pulpa para papel, ya que entre más largas sean dichas estructuras es mejor, puesto que proporcionan mayor resistencia al rasgado, debido posiblemente al enlazamiento entre las fibras como resultado de una distribución de fuerzas en el papel (Larios, 1979). Las alturas A, B y C presentaron en los primeros anillos y en los últimos, valores de 61.0, 67.55 y 66.0 y de 109.0, 116.45 y 117.0, respectivamente, con un promedio general de 91.55; desviaciones estándar de 20.0304 (A), 19,8787 (B) y 24.1797 (C) y una desviación estándar general de 21.0638.

Entre mayor sea el valor del coeficiente de Peteri será mayor el entrelazamiento de las fibras, lo que da como resultado una mayor resistencia al rasgado de la pulpa sin refinar, ya que al aumentar el refinado se producen cortes, disminuyendo la longitud. Con mayores longitudes se incrementa la longitud de rompimiento de la hoja. Este coeficiente también indica un mejor entrelazamiento de las fibras. En el Cuadro 4 *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sobresale entre otras siete coníferas por su coeficiente de Peteri más alto.

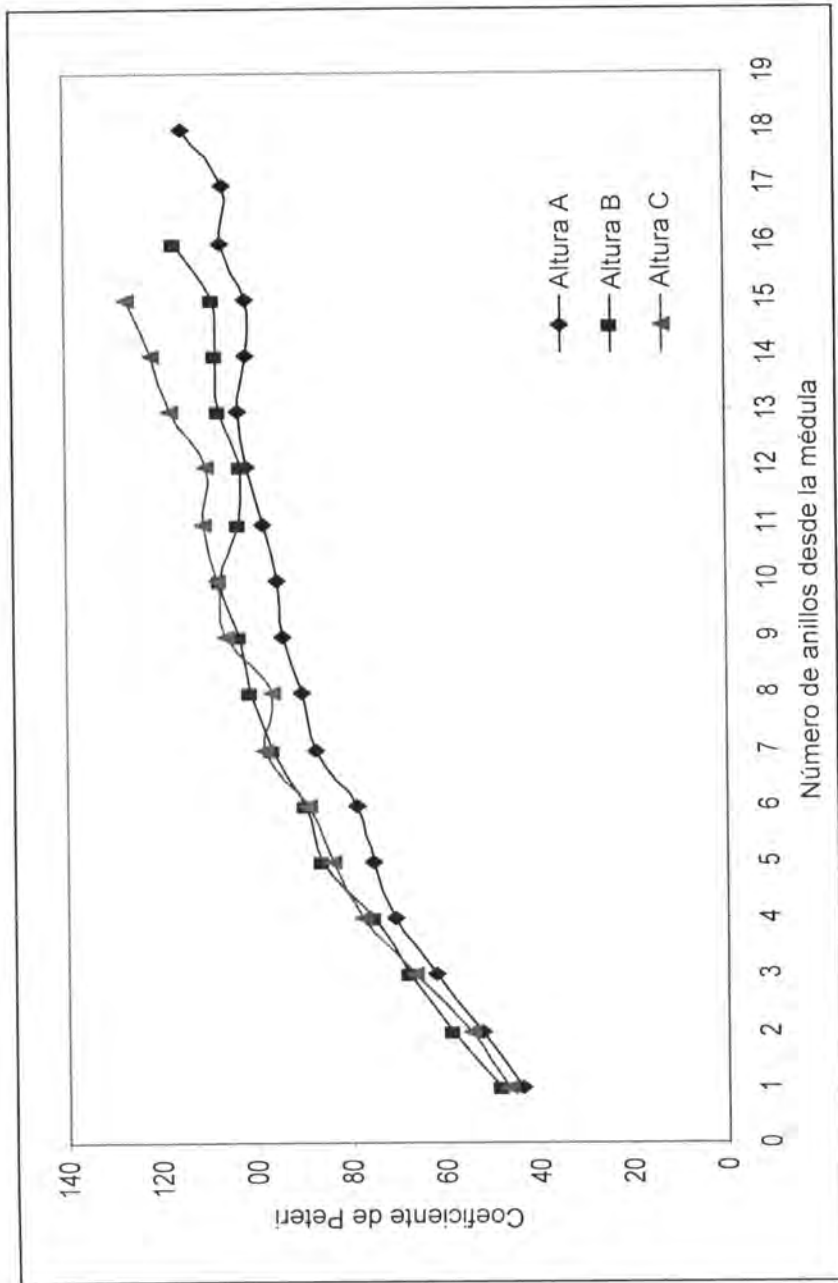


Figura 5. Coeficiente de Peteri en las tres alturas.

Cuadro 4. Comparación del coeficiente de Peteri de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas

Especie	Coeficiente de Peteri	Referencia
<i>Pinus montezumae</i>	65.91	Fuentes (1987)
<i>Pinus hartwegii</i>	70.73	Larios (1979)
<i>Abies religiosa</i>	74.61	Larios (1979)
<i>Pinus arizonica</i> ¹	78.5	Hernández (1994)
<i>Pinus cooperi</i>	80.95	Cruz y Borja (1995)
<i>Pinus arizonica</i>	85.44	Borja y Tamarit (1997)
<i>Picea chihuahuana</i>	90.25	Sánchez (1999)
<i>Pinus caribaea</i>	91.55	Presente estudio

La Relación de Runkel vincula el grosor de la pared celular con el diámetro del lumen, y se considera como el indicador principal para determinar la calidad de pulpa para papel. La Figura 6 ilustra la tendencia de esta relación en las tres alturas. En los primeros anillos se encontraron valores de 0.36, 0.19 y 0.15 para las alturas A, B y C y en los últimos de 1.00, 0.57 y 0.60, con un promedio general de 0.51 y desviaciones estándar de 0.2709, 0.1528 y 0.2175 respectivamente y una desviación estándar general de 0.2796.

Estos valores indican que la pulpa de la base del árbol tiene calificaciones de buena a regular, mientras en las alturas B y C las calificaciones van de buenas a excelentes, lo cual permite generalizar que la pulpa de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* procedente de "La Sabana" es muy buena para la elaboración de papel, sobre todo en los primeros anillos de crecimiento y a cualquier altura.

En el Cuadro 5 se puede observar que según el valor de la clasificación de la Relación de Runkel la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* fue clasificada como buena para el papel (Porres y Valladares, 1979).

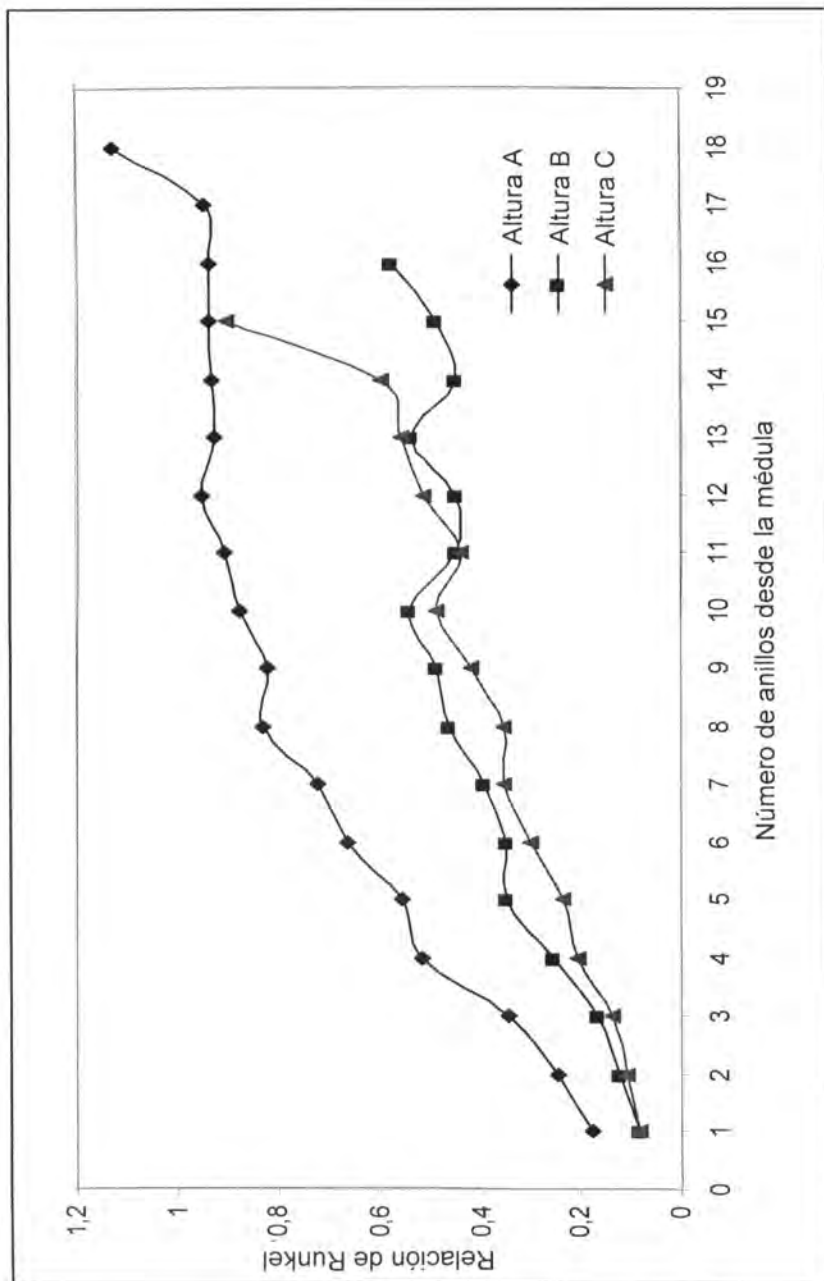


Figura 6. Relación de Runkel en las tres alturas.

Cuadro 5. Comparación de la Relación de Runkel de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Relación de Runkel	Referencia
<i>Picea cl.ihuahuana</i>	0.27	Sánchez (1999)
<i>Pinus caribaea</i>	0.51	Presente estudio
<i>Pinus arizonica</i>	0.52	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus montezumae</i>	0.55	Fuentes (1987)
<i>Pinus arizonica</i> 1	0.61	Hernández (1994)
<i>Pinus hartwegii</i>	1.17	Larios (1979)
<i>Abies religiosa</i>	1.21	Larios (1979)
<i>Pinus cooperi</i>	1.55	Cruz y Borja (1995)

En la Figura 7 se muestra el comportamiento de la densidad básica en la altura A, que aumenta a un ritmo de crecimiento acelerado hasta el anillo seis, a partir del cual se estabiliza, y disminuye en los últimos tres anillos. Los rangos van desde 0.39 a 0.65 g/cm³, el promedio es de 0.58 g/cm³, con una desviación estándar de 0.0766. La altura B tiene un patrón de comportamiento similar a la altura inferior, excepto en los dos últimos anillos en los que se manifiesta un incremento; los rangos en dicha altura son de 0.40 a 0.69 cm³, y el promedio de 0.50 g/cm³, presenta una desviación estándar de 0.0865.

Por último, en la altura C, asciende en forma constante la densidad básica conforme crece el número de anillos de la médula hacia la corteza, y varía desde 0.38 a 0.65 g/cm³, un promedio de 0.53 g/cm³, con una desviación estándar de 0.0925. El rango total de la densidad básica es de 0.38 a 0.69 g/cm³, y el promedio total de 0.56 g/cm³, con una desviación estándar general de 0.0864 por lo que se clasifica como una madera semipesada (Vignote y Jiménez, 1996).

La densidad básica disminuye conforme se incrementa la altura, lo que es similar a lo citado por Lenhart *et al.* (1977) en *Pinus taeda* L.; Markstrom *et al.* (1983), en *Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws y Ladrach (1987) en *Pinus oocarpa* Schiede.

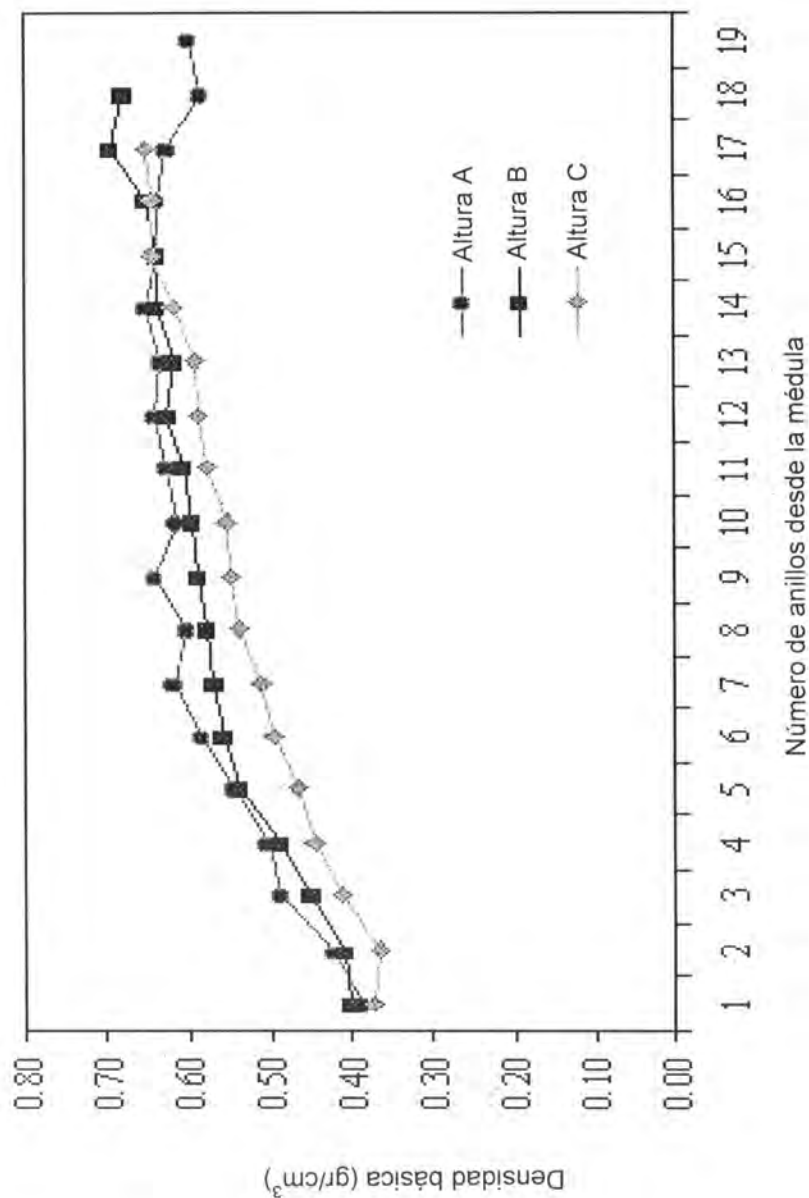


Figura 7. Densidad básica en las tres alturas.

Barnes *et al.* (1977) obtuvieron valores parecidos en *Pinus caribaea* a los seis años de edad, lo mismo que Resch y Bastendoff (1978) a edades de entre 10 y 17 años; Plumptre (1984) en plantaciones de África calculó densidades de 0.41 a 0.68 g/cm³ en árboles de ocho a 17 años y mencionó que la densidad básica de *Pinus caribaea* en áreas de crecimiento natural, con árboles de 30 años de edad, presenta un rango de 0.381 a 0.50 g/cm³.

El Cuadro 6 indica que la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* es la más densa en comparación con varias especies maderables, las cuales no provienen de plantaciones, ya que se espera que la madera de plantaciones sea menos densa.

Cuadro 6. Comparación de la densidad básica de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con otras coníferas.

Especie	Densidad básica g/cm ³	Referencia
<i>Abies religiosa</i>	0.34	Larios (1979)
<i>Picea chihuahuana</i>	0.37	Sánchez (1999)
<i>Pinus arizonica</i> 1	0.38	Hernández (1994)
<i>Pinus arizonica</i>	0.42	Borja y Tamarit (1997)
<i>Pinus cooperi</i>	0.43	Cruz y Borja (1995)
<i>Pinus montezumae</i>	0.43	Fuentes (1987)
<i>Pinus hartwegii</i>	0.44	Larios (1979)
<i>Pinus caribaea</i>	0.56	Presente estudio

Con relación a la contracción radial, se puede observar en la Figura 8 que la altura A no muestra un patrón uniforme a partir del anillo doce, los valores varían en un intervalo de 4.2 a 10.32% y el promedio resultante es del 7.0%. De manera diferente la altura B, en la cual se manifiesta un ascenso uniforme hasta el penúltimo anillo de crecimiento, los valores extremos a esta altura son de 3.2 y 9.0%, el promedio del 6.1%. La altura C mantiene un comportamiento semejante a la altura B. La variación dentro de dicha altura es de 4.3 a 7.6%, con un promedio de 5.9%. Las desviaciones estándar de las tres alturas fueron

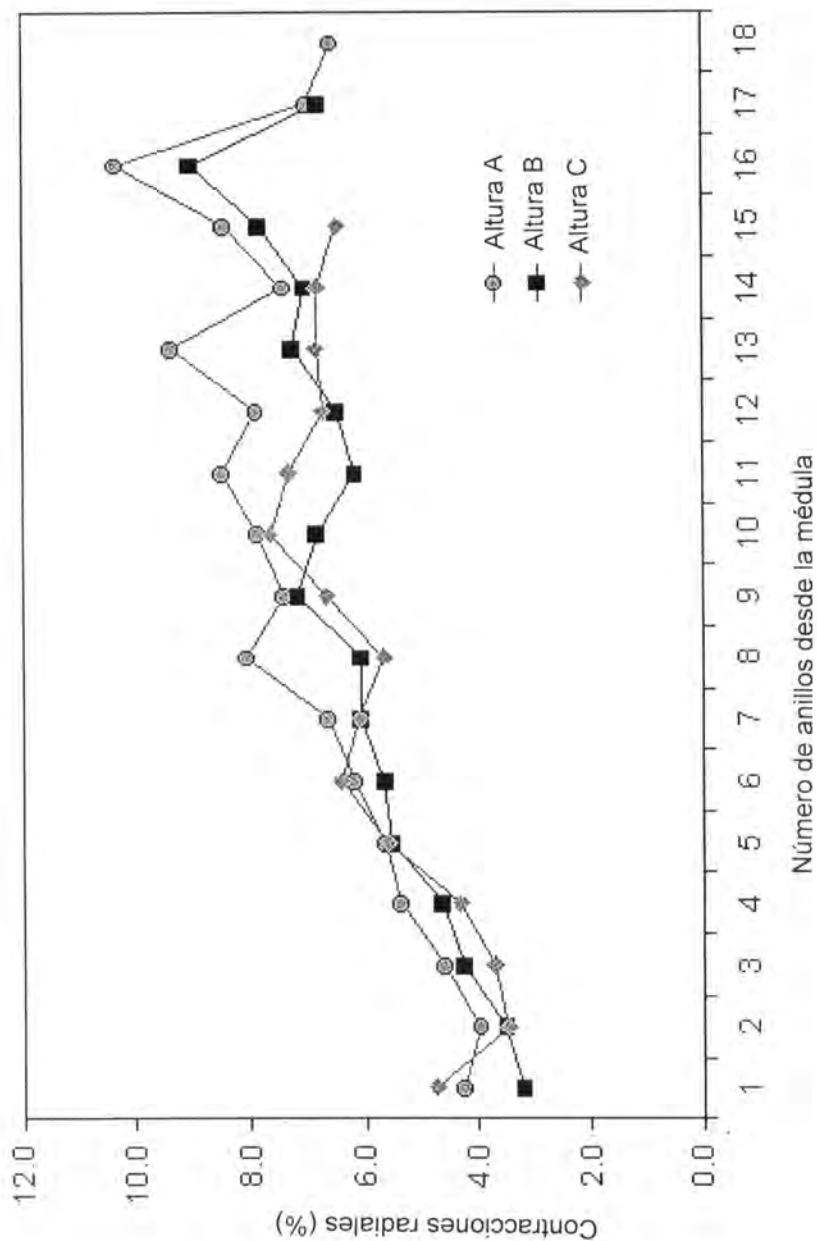


Figura 8. Contracción radial en las tres alturas.

de 1.6838 (A), 1.5469 (B) y 1.3128 (C) y una general de 1.5729. Estos resultados coinciden con los registrados por Plumptre (1984), para la misma especie en las Islas Fiji; lo mismo ocurre con los valores obtenidos en rodales naturales, lo cual puede obedecer a que las condiciones de crecimiento son parecidas. El promedio total fue de 6.2%, considerándose como muy alto (Salinas, 2000).

La Figura 9 presenta un patrón de comportamiento de las contracciones tangenciales muy similar hasta el decimoquinto anillo en las tres alturas. Para la altura A el rango va desde 3.9 a 7.7%, con un promedio de 6.9% (desviación estándar de 1.5266). En la altura B el porcentaje de contracciones aumenta de 4.1 a 8.5%, con 7.1% en promedio (desviación estándar de 1.382). Por otro lado, en la altura C se tiene un mínimo de 4.7% y un máximo de 7.8%, con 6.9% de promedio y desviación estándar de 1.2011; una desviación estándar general de 1.327. El promedio total de las contracciones fue de 7.0%, lo que lo clasifica como "alto" según Salinas (2000). Plumptre (1984), citó que en rodales naturales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, la contracción tangencial es de 7.8 a 8.0% y en las plantaciones de la misma especie en las Islas Fiji es de 6.4%.

La relación anisotrópica es el resultado de la interacción entre la contracción tangencial total y la contracción radial. En la especie estudiada fue de 1.10 y se considera baja según la clasificación de Salinas (2000), lo cual indica que es una madera dimensionalmente estable.

CONCLUSIONES

La madera tardía en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* está presente en 39.46% en tres alturas del fuste: 0.30 a 0.70 m, de 1.30 a 1.70 m y de 3.70 a 4.10 m. En todas ellas las traqueidas más largas se localizan cerca de la corteza.

El coeficiente de rigidez señala que las traqueidas tienen una alta resistencia a la tensión, lo que implica que tienen una buena superficie de contacto y buena unión entre ellas.

Los valores más altos del coeficiente de flexibilidad se ubican en la cercanía de la médula. La madera juvenil se caracteriza por tener paredes delgadas y muy flexibles.

La relación de Runkel da calificaciones de buenas a excelentes para el material de estudio, lo cual significa que la pulpa de la madera de *P. caribaea* es muy recomendable para la elaboración de papel, especialmente en los primeros anillos de crecimiento y en las tres alturas estudiadas.

Los valores superiores del coeficiente de Peteri se presentan en la proximidad de la corteza, lo que denota un mejor enlace de las traqueidas y un aumento en

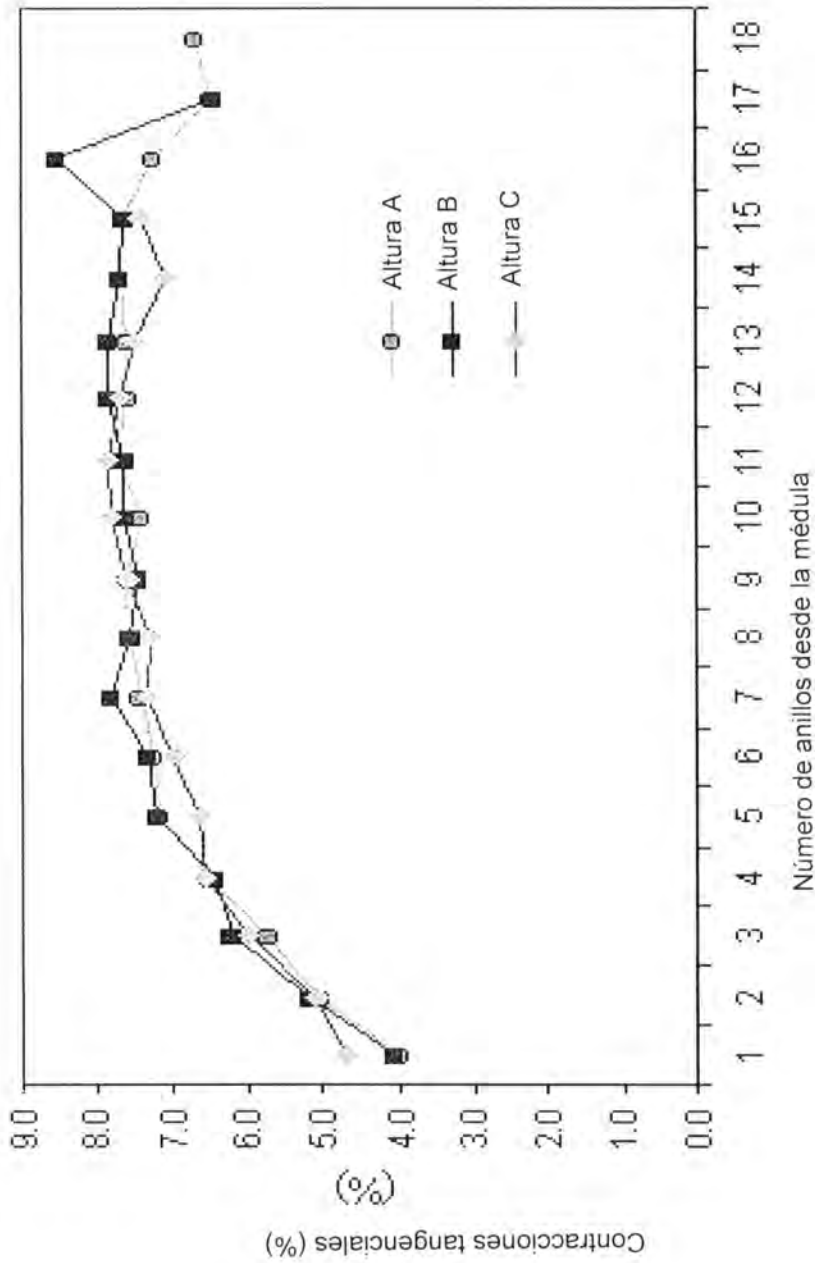


Figura 9. Contracción tangencial en las tres alturas.

la resistencia al rasgado. Además con estas traqueidas rígidas, largas y duras será más poroso el papel, por lo que es ideal para la elaboración de papel secante e higiénico.

La densidad básica de la madera de esta especie se clasificó como semipesada; las contracciones resultaron ser muy altas y con baja relación anisotrópica.

REFERENCIAS

- Acevedo-H. A., M. Kanninen y E. Korhonen. 1994. La Sabana: experiencia de 20 años de una plantación forestal comercial. *In*: Memoria de la IV Reunión nacional sobre plantaciones forestales. SARH-SFF-INIFAP. México, D.F. pp. 377 - 422.
- Barnes, R., J. J. Woodend, M. A. A. Schweppenhauser and L. J. Mullin. 1977. Variation in diameter growth and wood density in six years old provenance trials of *Pinus caribaea* Moroleet on five sites in Rhodesia. *Silvae Genetica* 26(5-6):163-167.
- Borja de la R., A. y J. C. Tamarit U. 1997. Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. del estado de Durango. *Rev. Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 1(1):103-108.
- Cruz D., J. R. y A. Borja de la R. 1995. Estudio tecnológico de la madera de *Pinus cooperi* Blanco, del estado de Durango. *Rev. Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 1(1):11-16.
- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México. 490 p.
- Fuentes S., M. 1987. Análisis de digestión de los índices de calidad de pulpa para papel de la madera de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. 73 p.
- García, E. 1983. Apuntes de climatología. Larios, S. A. 3ª ed. México, D. F. 153 p.
- Guth, E. B. 1970. Variación del largo de fibra en el leño de *Pinus elliottii*. *IDIA* (5):31-35.
- Hernández H., F. 1985. Variación natural en *Pinus hartwegii*: peso específico y longitud de traqueidas en Zoquiapan, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 53 p.
- Hernández T., M. 1994. Estudio comparativo de la madera juvenil y la madera madura de *Pinus arizonica* en la región de Guanaceví, Durango. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 85 p.
- Huerta C., J. 1978. Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas mexicanas. 3ª ed. Bol. Téc. Inst. Nal. de Invest. For. No. 51. México. 36 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1984. Carta geológica. Minatitlán. Escala 1:250 000. SPP. México. E-15, C-15.
- Kramer, R. L. 1966. Variation of specific gravity in western hemlock trees. *TAPPI* 49(5):227-229.

- Ladrach, W. E. 1987. Wood quality of *Pinus oocarpa*. Cartón de Colombia, S. A. Bol. 116. 7 p.
- Larios S., P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Edo. de México. 68 p.
- Lenhart, J. D., B. E. Cutter and K. H. Shinn. 1977. Specific gravity at various positions along stem of planted loblolly pine trees. *Forest Products Journal* 27(4):43-44.
- Markstrom, D. C., H. E. Troxell and C. E. Bolldt. 1993. Wood properties of old immature ponderosa pine after thinning. *Forest Products Journal* 33(4):33-36.
- Petroff, G. and D. Normand. 1968. The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of fiber for tropical hardwoods. *Pulp and paper development in Africa and the Near East*. FAO 1:269-287.
- Plumptre, R. A. 1984. *Pinus caribaea*: Wood Properties. Tropical Forestry Paper. Bol. 17, Volumen 2. 148 p.
- Porres, C. e I. Valladares J. 1979. Producción de pulpa y papel con materias primas autóctonas centroamericanas. Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial de Guatemala. 72 p.
- Resch, H. and K. Bastendorff. 1978. Some wood properties of plantation pines, *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa*. *Wood Fiber and Science* 10(3):210-217.
- Reyes, C. R. y C. Zamora S. 1977. Estudio de una sabana de montaña localizada en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur. *Ciencia Forestal* 2(26):36-64.
- Salinas H., S. 2000. Sistemas de clasificación de las características, propiedades y procesos de transformación primaria de las maderas. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 196 p.
- Sánchez B., S. 1999. Determinación de la transición de la madera juvenil a la madera madura de *Picea chihuahuana* Mtz. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 62 p.
- Vignote, P., S. y F. J. Jiménez, P. 1996. Tecnología de la Madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España. 602 p.
- Voorhies, G. and D. A. Jameson. 1968. Fiber length in southwestern young-growth ponderosa pine. *Forest Products Journal* 19(5):52-55.
- Zobel, B., C. Webb and F. Henson. 1959. Core and juvenile wood of loblolly and slash pine trees. *TAPPI* 42(5):345-355.

DESAFILADO DE SIERRAS BANDA EN EL ASERRÍO DE ENCINOS

Rogelio Flores Velázquez¹, Martha Elena Fuentes López¹
Juan Quintanar Olguín¹

RESUMEN

La industria maderera en México está diseñada para maderas suaves y no existen tecnologías adecuadas para trabajar maderas duras, por lo que se requiere de nuevas alternativas de procesamiento en el aserrío que permitan incrementar su productividad. En un aserradero de 5" se probaron dos sierras banda, una con dientes recubiertos con una aleación de estelite 12 y otra con dientes recalcados. La trocería fue colectada en los estados de Puebla y Guanajuato. Se aserró un volumen equivalente a 103.5 m³ de madera en rollo, que hicieron un total de 1900 m lineales de corte. Las trozas fueron aserradas en cuadrados de dimensiones uniformes en peralte y longitud. El desafilado de los dientes se hizo tomando el negativo del perfil del ángulo de corte; también se midió el consumo de energía durante el corte de las trozas. Los resultados indican que el desafilado y el consumo de energía fueron siempre mayores en la sierra con dientes recalcados, y se presentó un incremento gradual en la variación de grosor de las piezas aserradas con la sierra de dientes recalcados que llegó a ser hasta de 5 mm, en tanto que con la de dientes recubiertos siempre se mantuvo en 2 mm. Con la sierra de dientes recubiertos con estelite 12 se aserró un 137.5% de mayor volumen de madera de encino que con la sierra de dientes recalcados.

Palabras clave: Aserrío, desafilado, dientes recalcados, dientes recubiertos con estelite 12, *Quercus*, sierra banda.

ABSTRACT

The Mexican wood industry is designed for saw milling softwoods and there are not suitable technologies for saw milling hardwoods. Therefore, new alternatives are required to saw mill hardwoods that allow to increase hardwood processing productivity. Bearing in mind this problem, two bandsaws of 5 inches wide were

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002.

Fecha de aceptación: 19 de abril de 2004.

¹INIFAP, C.I.R. Centro, Campo Experimental San Martinito. Correo-e: cesmar@compu-redes.net.mx

tested. The teeth of one bandsaw were tipped with stellite 12 (treated bandsaw) and the teeth of the other one were normal (normal bandsaw). Logs were saw milled into flitches of uniform dimensions in depth and longitude. The measure of sawtooth dulling was made by taken a negative of the cutting angle and energy spend was also measure during the cut of the logs. The results indicate that sawtooth dulling and energy spend were always greater on the normal bandsaw than on the treated bandsaw. The normal bandsaw presented a steady increase in thickness variation of the cutted boards, reaching up to 5 mm in variation, while the cutting variation of the treated bandsaw was always within 2 mm.

Key words: Sawmill, sawtooth dulling, normal teeth, teeth tipped with stellite 12, *Quercus*, band saws.

INTRODUCCIÓN

Los encinos, después de los pinos son el segundo grupo más importante por su distribución y abundancia en México. Aunque esto no se ve reflejado en la producción maderable, ya que de acuerdo con los datos reportados por la SEMARNAT (2001), en 1999 se aprovecharon 662,509 m³ a nivel nacional, lo que representó el 7.7% de la producción nacional total.

Aproximadamente el 90% de la industria forestal la conforma la relacionada con el aserrío, la cual a su vez aporta el 73% de la producción nacional maderable en el aprovechamiento de especies de coníferas principalmente, así como de encino, tropicales y otras latifoliadas, con una participación porcentual de 86.61, 8.19, 3.54 y 1.66%, respectivamente (SEMARNAT, 2001).

El mayor volumen de aprovechamientos está constituido por coníferas y especies de densidad baja o media, lo que ha originado que la maquinaria y equipos estén diseñados para procesar maderas suaves. Por lo tanto, el grupo de encinos resulta difícil de aserrar debido a sus características de densidad alta, gran dureza y frecuentemente significativos contenidos de sílice que actúan como abrasivo, causando así un desafilado rápido en la herramienta de corte y una merma en la productividad, con lo que se incrementan los costos de operación del proceso.

La necesidad de aprovechar al encino en forma industrial a fin de incorporar a la producción nacional un mayor volumen de madera y utilizarla en la obtención de productos con un mayor valor agregado, requiere de la búsqueda de nuevas alternativas en la actividad primaria del aserrío.

La dificultad para aserrar encinos está relacionada con el tabú en la utilización de sierras banda que no reúnen las especificaciones necesarias para este tipo de madera y en una inadecuada combinación de la geometría de los dientes (paso de diente, profundidad de garganta, espacio libre lateral, ángulo de corte, ángulo del diente y ángulo libre).

La sierra es uno de los elementos más importantes en el proceso de aserrío, por lo que sus características de construcción deben satisfacer, además, los siguientes altos requerimientos: flexibilidad, resistencia a la fatiga, dureza, resistencia al desgaste y al impacto, y uniformidad estructural para proporcionar el mayor rendimiento y buena calidad de superficie aserrada.

La parte más importante de las sierras son los dientes, por el hecho de constituir los elementos de corte. El conocimiento sobre su comportamiento durante el mismo, se vuelve indispensable en el proceso de producción. Kirbach (1986) menciona que existen seis problemas de mayor importancia que repercuten en los beneficios potenciales del aserrío con sierras banda, como son: simetría y mantenimiento de los dientes, fisuras en el centro de la hoja, torcedura de la sierra, desgaste del perfil del volante y la relación de velocidad y profundidad del corte en función de la capacidad de alimentación de la garganta.

De los trabajos existentes, algunos centralizan su temática sobre las características que deben reunir las sierras banda para procesar diferentes tipos de madera. Una de ellas es mantener la adecuada geometría de los dientes, para aumentar la resistencia al desgaste y aserrar un volumen mayor de madera con mayor calidad de corte, haciendo una buena combinación de las siguientes variables: paso de diente, profundidad de garganta, espacio libre lateral, ángulo de corte, ángulo del diente y ángulo libre.

Con el paso de diente, también conocido como "espaciamiento entre dientes", que es la distancia entre una y otra punta de los dientes, se determina la cantidad de trabajo que una sierra debe realizar. Para maderas duras y muy duras, Zavala y Gándara (1976) y Sandvik (1964) determinaron que el distanciamiento debe ser de $1 \frac{1}{4}$ a $2 \frac{3}{4}$ ". Sin embargo otros autores como Tusset y Durán (1979) y Schrewe (1983) mencionan que éste también está relacionado con el ancho y calibre de la sierra y el diámetro de los volantes. Por otro lado, Lustrum (1984), definió que el paso de diente menor corresponde a sierras de 3 a 6" de ancho, calibres de 18 a 19 y diámetros de volantes de 4 a 6', mientras que el paso de diente mayor es de sierras de 12 a 16" de ancho con calibres de 12 a 13 y diámetros de volantes de 8 a 10'.

La profundidad de garganta, cuya función es alojar el aserrín y arrojarlo fuera del corte, si es más grande, puede tener una mayor capacidad de alojamiento. En maderas duras, el volumen de aserrín que se genera es menor que con maderas suaves en una proporción de 3 y 6 veces más el volumen de madera sólida, respectivamente. Diversos autores coinciden en que la profundidad de garganta apropiada para maderas duras debe ser $\frac{1}{3}$ del paso de diente (Sandvik, 1964; Tusset y Duran, 1979; Sierras y Maquinaria S. A., 1980; Schrewe, 1983 y Kirbach, 1986) o menor que 10 veces el calibre de la sierra (Quezada y Roseberry, 1969).

En cuanto a los ángulos del diente, se ha buscado que no sea tan pequeño para evitar que la punta se debilite y llegue a romperse bajo el efecto de la carga de corte, ni tan grande como para restringir la velocidad de alimentación y causar mayor consumo de energía. Los que han resultado efectivos para aserrar cualquier tipo de madera son los siguientes ángulos: del diente de 44°, de corte de 30° y libre de 16° (Koch, 1964; Zavala y Gándara, 1976).

Para maderas duras, los rangos que se consideran normales y que han dado buenos resultados son: ángulo de corte de 20 a 30°, siendo los más comunes de 20 a 22° (Schrewe, 1983; Kirbach, 1986); ángulo del diente de 45 a 60° y ángulo libre de 8 a 12° (Lustrum, 1984). Con respecto al ángulo posterior, para aserrar madera de encino cuya densidad básica promedio es de 0.62 g/cm³, se recomienda que sea de 33° (Allen, 1984).

Para cada tipo de sierra, existe un espacio libre lateral conveniente, mismo que varía en función de la geometría de los dientes, el contenido de humedad, el filo de corte, la alineación del equipo y la especie. Sin embargo, para maderas duras se requiere que dicho espacio sea 25% mayor que el calibre de la sierra (Allen, 1984; Lustrum, 1984).

El ángulo de corte, también conocido como "ángulo de ataque", no debe ser mayor a 35° y no menor a 15° para evitar que la sierra se salga de la pista de los volantes, o que se presenten fisuras causadas por endurecimiento superficial en el lomo del diente (Lustrum, 1984; Kirbach, 1986).

Los estudios realizados en México sobre el aserrío de encinos han consistido en probar diferentes características de la sierra banda, con el propósito de aumentar su vida de trabajo y disminuir los costos de operación. La evaluación se basa en el volumen de madera aserrada y el tiempo efectivo de corte. Así, se ha establecido que para sierras de 8", las características que dan mejores resultados son: paso de diente de 1 ½", profundidad de garganta de ½", ángulo de ataque de 28°, ángulo de diente de 50° y ángulo libre de 12° (Béjar, 1982); en sierras de 6" las características que resultaron más adecuadas son: paso de diente de 1", profundidad de garganta de 3/8", ángulo de ataque de 26 a 30°, ángulo del diente de 45 a 50° y ángulo libre de 14 a 15° (Quiñónez y Herrera, 1984).

Además de adoptar las especificaciones antes señaladas, también se puede aplicar vanadio o estelite en la punta de los dientes para aumentar la resistencia al desgaste y la rigidez de los mismos, hasta en 100% en maderas blandas o 12 veces más en maderas duras (Kirbach y Bonac, 1982a; Kirbach, 1984b).

Existen otros métodos para reducir el desgaste de los dientes; éstos son: mediante recubrimiento con carburo, endurecimiento con platino de cromo, revestimiento con metales duros y endurecimiento con alta frecuencia. Estos métodos involucran la formación de la punta de corte del diente con otros

materiales, excepto con el método con alta frecuencia que no involucra un material diferente al acero normal de la sierra (Kirbach, 1984). Sin embargo, solamente el recubrimiento con estelite y el revestimiento con metales duros han sido los más utilizados.

En Estados Unidos de América y Canadá se han realizado algunos estudios sobre el desgaste de los dientes en el aserrío de enebro del sur (*Thuja plicata* Don), en los que se ha aplicado un recubrimiento de estelite, deloro y carburo de tungsteno, éste último con contenidos de cobalto al 6 y 18%. Se considera que esta especie, debido a su composición química, desafilas las sierras en tan sólo dos horas de trabajo, mientras que con otras especies puede operar hasta por cuatro horas sin que haya pérdida significativa en la precisión de corte (Kirbach y Bonac, 1982).

A este respecto, de las aleaciones con deloro se obtuvo la mayor resistencia al desgaste en más de tres veces. Con el recubrimiento de estelite 12 la madera de enebro mostró mejores resultados que el carburo de tungsteno, siendo comparativamente menor el desafilado de los dientes recubiertos con estelite en un 25 a 50% cuando se probó con un contenido de cobalto de 6%. En dientes con recubrimiento de 18% de cobalto no existió comparación debido a su excesivo desafilado (Kirbach y Bonac, 1982b).

En el presente estudio se describe el trabajo realizado en dos diferentes tipos de sierras con características similares para aserrar trocería de encino. Para seleccionarlas se tomaron en consideración las propiedades más relevantes de la madera de encino que influyen en el proceso de asierre y con base en ellas, se seleccionó la sierra banda adecuada que permite un desempeño y operación óptimos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en un aserradero de 5", marca Willer Schiffer, que consta de las siguientes partes: a) una torre o sierra principal con base de hierro fundido; dos volantes estructurales de 44" (1.22 m) de diámetro, ancho de pista de 4 5/16" (11 cm), accionada por un motor de 50 H.P. marca U.S. con 1200 rpm a 60 Hz, diámetros de las poleas impulsora y receptora de 13 3/4" (35 cm) y 22" (56 cm) respectivamente y, b) un carro portatrozas de 5 m de longitud y 2.60 m de ancho, con 3 escuadras de 90 cm de apertura máxima, 3 ejes y alimentación por medio de poleas y malacate.

Se probaron dos sierras banda de 5" de ancho, seleccionadas con base en una amplia revisión bibliográfica, en las recomendaciones dadas por los fabricantes de sierras y en los resultados derivados de experimentos realizados previamente en el Campo Experimental "San Martinito", del INIFAP.

En una de las sierras, los dientes fueron recubiertos por una aleación de estelite 12, cuya composición química fue proporcionada por el fabricante de sierras (Cuadro 1). En la segunda sierra probada, los dientes fueron recalcados (suajeados); las características de éstas, se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Composición química de la estelite 12 y su resistencia al desgaste.

Composición química				Dureza
Co	Cr	W	C	Rc
59.0 %	29.0 %	9.0 %	1.8 %	47-51.0 %

Durante el aserrío se tomaron diversos datos que permitieron evaluar la eficiencia de corte de ambas sierras, para lo cual se utilizaron los siguientes instrumentos de medición: cronómetros, flexómetros, vernier, voltamperímetro marca Square D, modelo 2102VD Clase 1.0, xilohigrómetro marca Lignomat y un microscopio de video marca Nikon, modelo Labophot-2.

Cuadro 2. Características de las sierras banda probadas.

Tipo	Calibre	Paso de diente	Profundidad de garganta	Ángulo de ataque	Ángulo del diente	Ángulo libre
SE12	18	1 ¼"	7/16"	30	44	16
SR	18	1 ¼"	7/16"	30	44	16

SE12 = Sierra con dientes recubiertos de estelite 12.

SR = Sierra con dientes recalcados.

Se trabajó con trocería de encino de las especies más abundantes que tuvieran diámetros aserrables y fustes rectos, y fue colectada en la parte norte de los estados de Puebla y Guanajuato. Se aserró un volumen equivalente a 103.5 m³ de madera en rollo, que hicieron un total de 1900 m lineales de corte. De estos, se cortaron 1100 m en la sierra con recubrimiento de estelite (SE12) y 800 m en la sierra con dientes recalcados (SR). Las trozas fueron aserradas en cuadrados con dimensiones uniformes en peralte y longitud de 8" (20 cm) y 8' (2.44 m) respectivamente, variando solamente en el ancho.

Una vez que se obtuvieron los cuadrados de cada troza, se aplicó una velocidad de alimentación promedio de 25 m/min a una velocidad de corte de 2287.18 m/min (7487.46 ft/min) hasta que se terminó el filo de las sierras.

Los datos que permitieron evaluar la eficiencia de corte de cada una de las sierras, fueron los siguientes:

Medición del desafilado de los dientes.- considerando que el peralte o profundidad de corte es constante, el desafilado se midió a intervalos de 100 m de recorrido o trayectoria de corte hasta que se terminó el filo de los dientes. Realizando con cada una de las sierras, una medición antes de empezar el asierro de trocería, lo cual se usó como testigo.

La medición del desafilado de los dientes se efectuó mediante el método desarrollado por Kirbach (1986), a partir del cual se obtuvo un perfil de los dientes al presionar el canto de una tira de latón suave sobre la punta de los mismos, que visto al microscopio, se puede observar un negativo del perfil del diente.

Posteriormente se realizó la evaluación de las mediciones en un microscopio de video, mediante el que se comparó el perfil inicial y los subsecuentes, y se midió la distancia entre la punta de corte inicial y la de corte desafilada. La unidad de medición para este caso son las nanomicras ($1\mu\text{m} = 0.01016 \text{ mm} = 0.0004 \text{ pulg.}$).

La intensidad de muestreo que se siguió fue de 10%, que es equivalente a una muestra de 24 dientes por sierra, distribuidos de manera equidistante a lo largo de la sierra, marcados con una capa de pintura de aceite y numerados para asegurar que el control de las mediciones se realizara sobre los mismos dientes después de cada intervalo de recorrido de corte.

Tiempo efectivo de corte.- la medición de esta variable se realizó tomando el tiempo que tarda la sierra en efectuar un corte a lo largo de la troza, el cual fue acumulativo hasta terminar de probar cada sierra.

Contenido de humedad.- para conocer el contenido de humedad de los cuadrados se realizaron tres lecturas con un medidor eléctrico en cada una de las tablas aserradas, dos en los extremos y una en el centro de la tabla, y se anotó el valor del contenido de humedad, el número del cuadrado y el número de la tabla.

Consumo de energía.- se midió con un voltamperímetro conectado a los cables de alimentación eléctrica del motor del aserradero. Las lecturas se tomaron en 10 tablas después de cada intervalo de recorrido de corte, midiendo el voltaje antes de efectuar el corte de cada una de las tablas y los amperes que se requirieron al realizar el mismo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la medición del retraimiento del filo (desafilado) de

los dientes en ambas sierras se ordenan en los Cuadros 3 y 4. Durante un proceso de corte normalmente se presentan tres etapas distintivas en el retraimiento del filo, las cuales, en el estudio de sierras con los dientes recalcados estuvieron bien definidas. La inicial se ubica entre los primeros 100 m lineales de corte, con un desafilado y un consumo de energía reducidos. La segunda etapa, desde los 100 m hasta los 500 m lineales de corte, con un mayor desgaste del filo de los dientes y un consumo de energía 75% más alto.

Cuadro 3. Resultados del retraimiento en la sierra con dientes recalcados.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Desgaste del diente (mm)
1	101.26	101.26	0.000
2	101.45	202.71	0.274
3	103.99	306.70	0.479
4	98.13	404.83	0.935
5	101.60	506.43	1.376
6	101.60	606.03	1.863
7	101.60	709.63	2.688

De los 500 m lineales de corte en adelante se puede observar claramente la última etapa del desafilado y en ella se manifiesta una acentuada degradación del filo de los dientes de la sierra y un consumo de energía del doble que en la segunda etapa. Estos resultados sobre el comportamiento del desgaste coinciden con lo que reporta CSR Training Center (1991).

Para la sierra con dientes recubiertos de estelite 12, los resultados indican que las etapas del desafilado no están bien definidas, aún cuando la primera etapa se podría delimitar hasta los 400 m lineales de corte, punto donde el consumo de energía es más elevado. Una segunda etapa de desgaste del filo puede ser considerada entre los 500 y 800 m lineales de corte, punto al que corresponde también un consumo de energía alto (Cuadro 4). La última etapa puede ser considerada de los 800 m lineales de aserrado donde el consumo de energía es 80% superior al de la primera etapa (Figura 1).

Cuadro 4. Resultados del retrainamiento en la sierra con dientes recubiertos con estelite.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Desgaste del diente (mm)
1	101.97	101.97	0.1250
2	101.15	203.12	0.1446
3	105.02	308.14	0.3773
4	98.45	406.59	0.4444
5	82.09	488.68	0.4890
6	101.60	590.28	0.6657
7	101.60	691.88	0.6889
8	101.60	793.48	0.8128
9	101.60	895.05	0.9353
10	116.84	1011.92	1.1268

Respecto del desgaste del filo de los dientes en función del contenido de humedad en la trocería, no existió una tendencia definida (Cuadro 5 y 6). En la sierra con dientes de estelite, la madera con menor contenido de humedad causó un desafilado mayor que la madera húmeda (Cuadro 5). Para la sierra con dientes recalcados, los resultados sugieren un efecto inverso, es decir que a mayor contenido de humedad, ocurre un desafilado mayor (Cuadro 6), lo que de acuerdo a la bibliografía no sucede, ya que a mayores contenidos de humedad de la madera se causa menor desgaste en el filo de los dientes. Sin embargo, en ambas sierras, el coeficiente de correlación entre estas variables revela que el contenido de humedad tiene poco efecto en el desafilado de los dientes, lo que posiblemente se deba a que no hubo una distribución de la trocería acorde a su contenido de humedad.

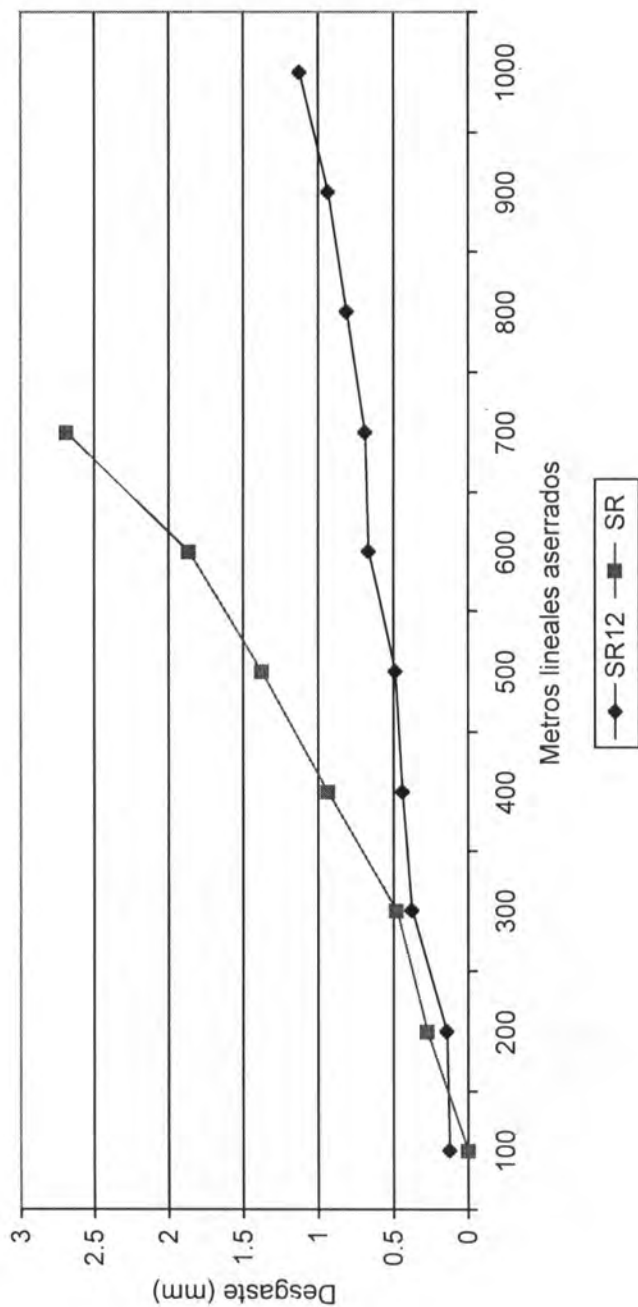


Figura 1. Comportamiento del desafilado de las sierras cada 100 m lineales aserrados.

Cuadro 5. Comportamiento del desgaste del diente, consumo de energía y variación de grosor de las tablas, durante el aserrado de encino con la sierra de dientes recubiertos con estelite.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Contenido de humedad (%)	Desgaste del diente (mm)	Consumo energía (Kwatts)	Variación en grosor (cm)
1	101.97	101.97	64.73	0.1250	42.908	0.200
2	101.15	203.12	66.03	0.1446	46.476	0.331
3	105.02	308.14	62.95	0.3773	36.776	0.217
4	98.45	406.59	63.00	0.4444	41.191	0.315
5	82.09	488.68	56.30	0.4890	29.371	0.167
6	101.60	590.28	61.50	0.6657	61.699	0.252
7	101.60	691.88	62.79	0.6889	64.153	0.246
8	101.60	793.48	62.41	0.8128	78.877	0.265
9	101.60	895.05	59.19	0.9353	79.228	0.286
10	116.84	1011.92	62.84	1.1268	69.762	0.222

Se observó que al aserrar la madera seca mediante la sierra con estelite, se requirió un consumo de energía mayor a 60% que la madera más húmeda (Cuadro 5). Sin embargo, el análisis de resultados con la sierra de dientes recalados mostró un efecto inverso (Cuadro 6). Este comportamiento puede atribuirse al hecho de que cuando se aserró la trocería más seca, se usaron las velocidades de alimentación más bajas, pues tanto el movimiento de la sierra como el del carro son dados por el mismo motor.

Cuando el contenido de humedad de la madera fue menor, la variación en el corte fue mayor. En la sierra con estelite, el rango de variación se presentó de 2 a 3 mm, mientras que con la sierra con dientes recalados, fue casi del doble (de 3 a 5 mm).

Cuadro 6. Comportamiento del desgaste del diente, consumo de energía y variación de grosor de las tablas, durante el aserrado de encino con la sierra de dientes recalcados.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Contenido de humedad (%)	Desgaste del diente (mm)	Consumo energía (Kwatts)	Variación en grosor (cm)
1	101.26	101.26	63.64	0.000	42.6244	0.264
2	101.45	202.71	72.52	0.274	57.993	0.383
3	103.99	306.70	65.92	0.479	48.729	0.362
4	98.13	404.83	55.41	0.935	46.132	0.503
5	101.60	506.43	76.89	1.376	69.099	0.447
6	101.60	606.03	74.46	1.863	82.505	0.425
7	101.60	709.63	73.8	2.688	99.911	0.526

Los resultados indican un efecto significativo del desafilado y del consumo de energía sobre la variación en el corte. Al presentarse mayor desgaste en el filo de los dientes, se tuvo mayor variación de corte y por lo tanto, mayor energía. En la sierra con dientes de estelite se observó que cuando los dientes de la sierra mantuvieron un filo adecuado, la variación fue mínima, lo que produjo tablas más uniformes, de buena calidad y con un consumo bajo de energía (Figura 2). Por el contrario, cuando el desafilado se acentuó, se perdió uniformidad en el grosor de las tablas y el consumo de energía fue mayor. El comportamiento fue similar en la sierra con dientes recalcados, sólo que con un efecto más pronunciado (Figura 3).

El análisis de los resultados obtenidos en el consumo de energía en función del desgaste del filo de los dientes mostraron una alta correlación, ya que éste es mucho más alto cuando el desafilado es pronunciado. Con sierra de estelite fue más bajo en 30% con respecto al de la sierra con dientes recalcados, lo que se explica porque al presentar mayor duración de su filo, el requerimiento de energía también es menor y por consecuencia se aumenta la producción y la tersura en la superficie de la madera aserrada.

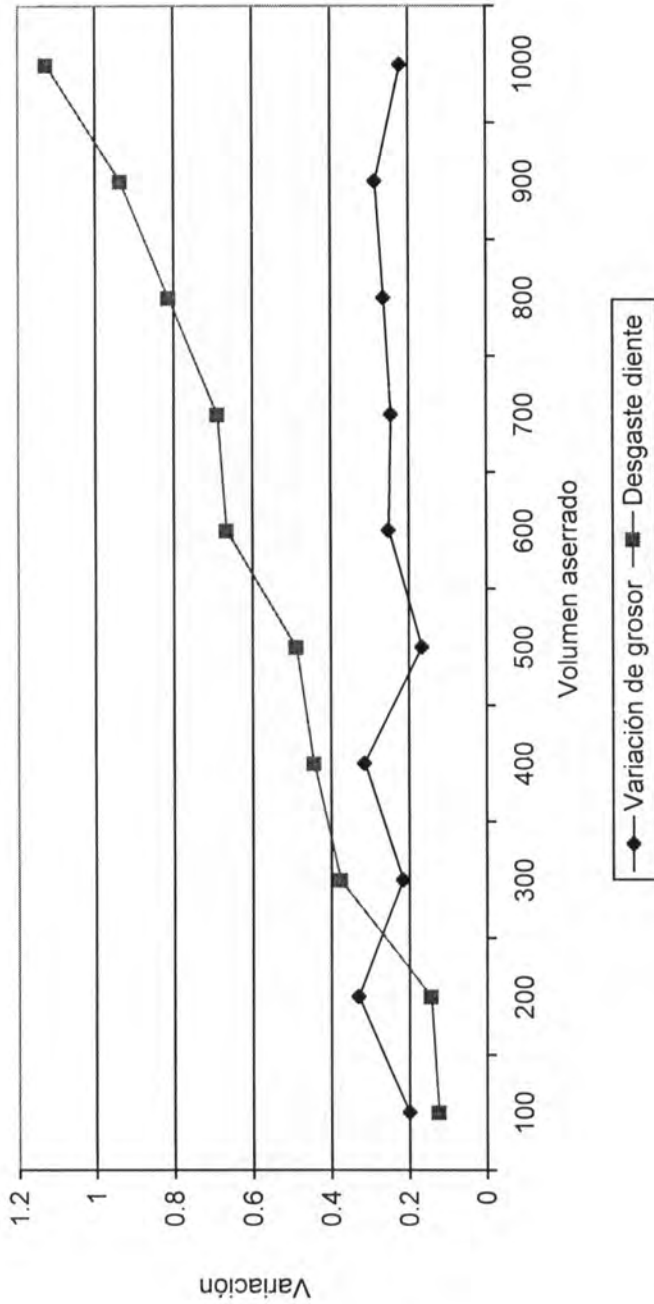


Figura 2. Comportamiento del desafilado y variación de grosor cada 100 m lineales aserrados por medio de sierra con estelite.

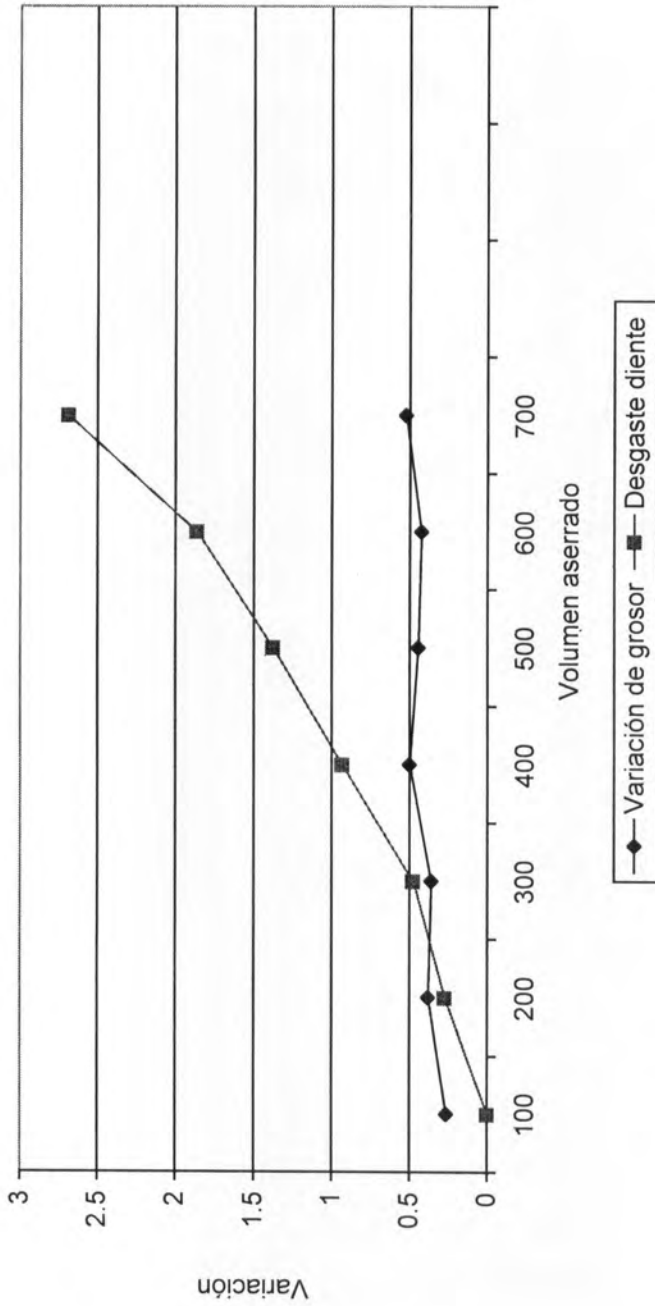


Figura 3. Comportamiento del desafilado y variación de grosor cada 100 m lineales aserrados con sierra de dientes recalcados.

El análisis de los resultados muestran que la longitud aserrada tuvo influencia sobre el desgaste de los dientes de la sierra con dientes recubiertos entre los 600 y 1100 m con una variación mayor en el corte y en el consumo de energía. Para la sierra con dientes recalcados este efecto se alcanzó en 500 m lineales aserrados, con un desgaste mayor después de aserrar 1100 m con la sierra de estelite, lo que repercutió también en un consumo de energía más alto y una variación de corte más drástica que se inició desde los 200 m de longitud aserrada. Comparativamente entre las dos sierras probadas, la de estelite tuvo un rendimiento superior a 220%. Estos resultados coinciden con lo reportado por Kirbach y Bonac (1982a), que atribuyen una mayor resistencia al desgaste por la composición química de los materiales que se utilizan para recubrir los dientes.

El tiempo efectivo de corte acumulado total para aserrar 800 m con la sierra con dientes recalcados fue de 106.4 min y de 92.15 min para aserrar 1100 m lineales por medio de la sierra con dientes de estelite (Cuadros 7 y 8). Es evidente que además de tener un rendimiento mayor con esta última y conservar la seguridad en el corte, también fue posible aumentar la velocidad de avance de la madera hacia la sierra.

Cuadro 7. Tiempo efectivo de corte en la sierra con dientes recalcados.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Tiempo efectivo de corte (min)
1	101.26	101.26	18.96
2	101.45	202.71	17.58
3	103.99	306.70	17.23
4	98.13	404.83	23.91
5	101.60	506.43	10.58
6	101.60	606.03	6.21
7	101.60	709.63	6.05

Otros estudios realizados con este tipo de sierras han demostrado que el tiempo de aserrado con sierras de estelite es ocho veces mayor que utilizando sierras con dientes ordinarios. En este caso en particular, se concluyó que

Cuadro 8. Tiempo efectivo de corte en la sierra con dientes recubiertos con estelite.

Etapa de asierre	Longitud aserrada por etapa (m)	Longitud acumulada (m)	Tiempo efectivo de corte (min)
1	101.97	101.97	13.16
2	101.15	203.12	12.06
3	105.02	308.14	19.15
4	98.45	406.59	18.93
5	82.09	488.68	10.94
6	101.60	590.28	6.55
7	101.60	691.88	5.85
8	101.60	793.48	4.35
9	101.60	895.05	4.72
10	116.84	1011.92	6.64

el rendimiento de la sierra con estelite fue 62% mayor que por medio de la sierra con dientes recalcados.

CONCLUSIONES

La sierra con dientes recubiertos con estelite 12 presentó la mayor resistencia al desafilado, lo que permitió aserrar 137.5% más de volumen de madera de encino. Esta sierra tuvo un consumo de energía 30% menor que la de dientes recalcados.

La variación en el corte fue menor en 80% que la variación de la sierra con dientes recalcados.

El rendimiento de la sierra con estelite fue 62% mayor que en la sierra con dientes recalcados.

REFERENCIAS

- Allen, E. 1984. Band saw tooth and gullet design. *In: Workshop on design and operation of circular and band saws.* University of California, Berkeley, CA. 21 p.
- Béjar M., G. 1982. Aserrío de la madera de encino. *Bol. Div. Inst. Nac. de Invest. For. México.* 62. 33 p.
- CSR Training Center. 1991. *Tecnologia delle lavorazioni.* Italia. 195 p.
- Kirbach, E. D. 1984a. Improve saw performance by tipping saws with stellite. *Canadian Forest Industries* (1): 50-53.
- Kirbach, E. D. 1984b. New methods for reducing saw tooth wear and maintenance. *Modern Sawmill & Panel Techniques 1.* Vol. 1 Proceeding of North American Sawmill & Panel Clinic. Oregon pp. 40-49.
- Kirbach, E. D. 1986. Problems and solutions in maintenance and operation of band saws. *Foreintel Canada Corp.* 25 p.
- Kirbach, E. and T. Bonac. 1982a. Dulling of sawteeth tipped with a stellite and two cobalt-cemented tungsten carbides. *Forest Prod. Journal* 32 (9): 42-45
- Kirbach, E. and T. Bonac. 1982b. Alloy tipping for reduced sawtooth dulling. *Forest Prod. Journal* 32 (9): 36-40
- Koch, P. 1964. *Wood machining processes.* Donald Press Company. New York. 530 p.
- Lustrum S., J. 1984. Balanced saw performance. *In: Proc. Annu. Harwood. Symp.* Harwood Res. Counc. Ashville. pp. 16-37.
- Quezada F., A. y R. Roseberry L. 1969. Acondicionamiento y manutención de sierras huinchas. *Manual No. 6.* Instituto Forestal. Chile 101 p.
- Quiñónez O., J. O. y A. Herrera B. 1984. Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país. *Ciencia Forestal* 9 (52): 3-10.
- Sandvik. 1964. *Manual sobre hojas de sierra cinta ancha para madera.* Sandvikens Jerverks AB. Suecia. 63 p.
- Schrewe, H. 1983. *Manual de acondicionamiento y mantenimiento de la sierra cinta.* FAO. Lima. 92 p.
- SEMARNAT. 2001. *Anuario estadístico de la producción forestal 1999.* México. 156 p.
- Sierras y Maquinaria S.A. 1980. *Perfiles de diente.* Nota técnica, mimeógrafo. México. 4 p.
- Tuseet, R. y F. Duran. 1979. *Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización.* Ed. Hemisferio Sur. Uruguay. 603 p.
- Zavala Z., D. y J. A. Gándara. 1976. *Determinación del tipo de diente más adecuado de la sierra banda para aserrar maderas duras.* Proyecto de Investigación. Inst. Nac. Invest. For. 13 p.

ESTRUCTURA FORESTAL DE UN BOSQUE DE MANGLES EN EL NORESTE DEL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO

Francisco Corella Justavino¹, Juan Ignacio Valdez Hernández¹, Víctor Manuel Cetina Alcalá¹, Felix V. González Cossio², Antonio Trinidad Santos³ y Juan Rogelio Aguirre Rivera⁴

RESUMEN

En el estero El Sábalo, Pantanos de Centla, Tabasco, se realizó una caracterización de cuatro rodales de mangles desde un punto de vista dasométrico (densidad, área basal, altura del dosel) y se cuantificó su incremento en diámetro y altura, así como el número de individuos que murieron y se incorporaron durante un año. En cada rodal se establecieron al azar tres parcelas de 100 m² (10 x 10 m), dentro de las cuales se incluyeron todos los árboles mayores a 2.5 cm de DAP. Con el fin de conocer el desarrollo de estos rodales, se aplicaron tres índices de valoración de su estructura: valor de importancia (IVI), valor forestal (IVF) y de complejidad (IC), y se contabilizaron los individuos muertos o nuevos por especie y categoría diamétrica. Los resultados indicaron que mientras *Rhizophora mangle* tuvo los valores más altos de densidad (1109 individuos ha⁻¹), mortalidad (400 individuos ha⁻¹ año⁻¹) e incorporación (334 individuos ha⁻¹ año⁻¹), *Laguncularia racemosa* mostró los incrementos más altos en diámetro (28.1 cm ha⁻¹ año⁻¹) y altura (19.2 m ha⁻¹ año⁻¹). En comparación con manglares de otras localidades, los rodales en el presente estudio tuvieron un desarrollo estructural intermedio (IC=31.8), debido principalmente a un valor relativamente bajo de área basal promedio (24.4 m² ha⁻¹), no obstante la elevada altura de su dosel (23.5 m).

Palabras clave: Características dasométricas, desarrollo del rodal, incorporación, índices estructurales, mangles, mortalidad.

Fecha de recepción: 13 de agosto de 2001.

Fecha de aceptación: 22 de abril de 2004.

¹ Colegio de Postgraduados. Programa Forestal. IRENAT. Correo-e: ignaciov@colpos.mx

² Colegio de Postgraduados. Programa de Estadística. ISEI.

³ Colegio de Postgraduados. Programa de Edafología. IRENAT.

⁴ Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas.

ABSTRACT

The characterization of four mangrove stands at the estero El Sábalo, Pantanos de Centla, Tabasco, was carried out from a structural point of view (density, basal area, canopy height). The increment of the stands in diameter and height, as well as the number of dead and recruited individuals during a year was also evaluated. Three 100 m² plots (10 x10 m) were randomly established in each stand, measuring all trees greater than 2.5 cm in diameter at breast height (DAP). With the purpose to know the development of these stands, three structural indices were applied: importance value (IVI), forest value (IVF), and complexity index (IC); and the counting was made of the dead and new specimens by mangrove species and diameter category. Results indicate that *Rhizophora mangle* had the highest values of density (1109 individuals ha⁻¹), mortality (400 individuals ha⁻¹ year⁻¹) and recruitment (334 individuals ha⁻¹ year⁻¹); however *Laguncularia racemosa* showed the highest increments in diameter (28.1 cm ha⁻¹ year⁻¹) and height (19.2 m ha⁻¹ year⁻¹). In comparison to mangroves of other regions, the stands in the present study hold an intermediate structural development (IC = 31.8), mainly due to a relatively low value of average basal area (24.4 m² ha⁻¹), in spite of their high canopy height (23.5 m).

Key words: Tree mensuration, stand development, recruitment, structural indexes, mangroves, mortality.

INTRODUCCIÓN

Los manglares son comunidades vegetales que existen en la zona de convergencia entre el mar y la tierra, comúnmente en áreas tropicales y subtropicales y poseen adaptaciones ecofisiológicas que les permiten desarrollarse en terrenos frecuentemente inundados y salinos. Junto con los pastos marinos y arrecifes coralinos, confieren a la zona costera una productividad primaria 10 a 25 veces superior a la de la mayoría de los ecosistemas marinos y terrestres conocidos (Mitsch y Gosselink, 1986). Este tipo de vegetación forestal es de suma importancia en la protección y estabilización de la línea costera ante la constante acción erosiva del mar y de fenómenos atmosféricos como ciclones y huracanes (Jiménez y Soto, 1985; Tomlinson, 1986; FAO, 1994; Farnsworth y Ellison, 1997), y también proporcionan una gran variedad de productos a las comunidades humanas, tales como madera, taninos, medicinas, pesquerías y cacería (Hamilton y Snedaker, 1984; Vannucci, 1990; Jiménez, 1994).

A pesar de la importancia ecológica y socio-económica de los manglares, éstos están siendo destruidos, debido en gran parte a un desconocimiento de los bienes y servicios que dichos ecosistemas brindan, así como de su estructura, composición y desarrollo, por lo que es necesario generar dicha información para establecer un manejo adecuado.

Hace casi tres décadas, y con objeto de conocer mejor su estructura, Lugo y Snedaker (1974) relacionaron la fisonomía de los manglares en el sur de Florida con la topografía, patrones locales de mareas y drenajes terrestres superficiales. Estos investigadores identificaron cinco tipos de bosque: borde, ribereño, sobrelavado, de cuenca y enano. Posteriormente, Pool *et al.* (1977) usaron esta clasificación en siete lugares de Florida, Puerto Rico, México y Costa Rica y establecieron áreas de muestreo de 0.1 ha para su evaluación, en las cuales cuantificaron el número de especies y de individuos, área basal y la altura del dosel, así como los índices de complejidad del rodal (Holdridge, 1967) y de valor de importancia por especie (Curtis y McIntosh, 1951). Estudios similares se han llevado a cabo en Río Cocal (Puerto Rico) por Martínez *et al.* (1979), en Agua Brava (Nayarit) por Valdez (1991) y San Blas (Nayarit) por Valdez (1994), en los cuales describieron la estructura de los manglares con mediciones ubicadas en un punto a escala temporal, pues son escasos los trabajos que consideran registros para un periodo de crecimiento determinado (Jiménez, 1994).

La estructura de estos bosques se ha evaluado en México desde enfoques diferentes: inventario forestal para aprovechamiento maderable (Hernández, 1945); distribución de especies vegetales con relación a la geomorfología (Thom, 1967); composición florística por zona de inundación (Vázquez, 1971); fisonomía y florística en relación con la latitud (Lot-Helgueras *et al.*, 1975); distribución vertical y horizontal de la vegetación (Menéndez, 1976); patrón de zonación vegetal con respecto a algunos parámetros ambientales (López Portillo, 1982); estructura del rodal y uso de la vegetación (Valdez, 1991); ecología y socioeconomía (Tovilla, 1998) y producción de hojarasca (Rico-Gray y Lot-Helgueras, 1983; Bolio, 2000). No obstante lo anterior, no existen estudios que aborden el desarrollo de la estructura del rodal en manglares de nuestro país. Por tal motivo, y con el propósito de obtener información útil para un manejo apropiado de este recurso forestal, la presente investigación tuvo los siguientes objetivos:

- 1) Caracterizar los rodales de mangles desde un punto de vista dasométrico: densidad, área basal, altura del dosel.
- 2) Cuantificar su incremento en diámetro y altura, así como el número de individuos que mueren y se incorporan al término de un año de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el estero El Sábalo (18° 35'-18° 40' latitud norte, 92° 27'-92° 29' longitud oeste), que forma parte del Río San Pedro y San Pablo, dentro de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, al Noreste del

estado de Tabasco, México (Figura 1). El clima es cálido húmedo (Am) con precipitación promedio anual de 1573 mm y temperatura media anual de 26.6 °C (CONAGUA, 2000); la estación de sequía se presenta de febrero a mayo y la de lluvias de junio a enero, con un máximo de precipitación en octubre-noviembre.

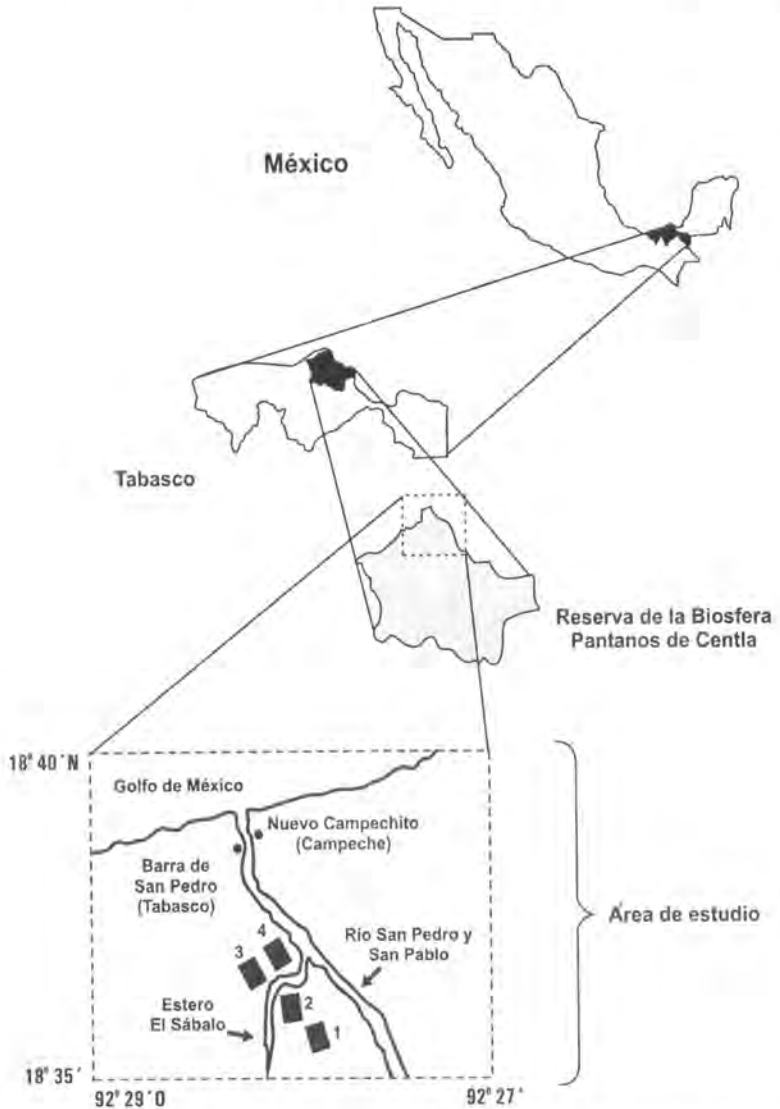


Figura 1. Localización del área de estudio y ubicación de los rodales evaluados (1 a 4) alrededor del estero El Sábalo, Pantanos de Centla, Tabasco.

Características de los rodales evaluados

De acuerdo con la clasificación de Lugo y Snedaker (1974), los rodales estudiados pertenecen a un manglar tipo ribereño, y fueron escogidos con base en la presencia de arbolado maduro de las principales especies de mangles y por su escasa perturbación humana. Los rodales 1 y 2 están ubicados en la ribera derecha del estero, mientras el 3 y el 4 se ubican en el margen izquierdo, están conformados de la siguiente manera:

El rodal 1 es monoespecífico de *Avicennia germinans* (L.) Stearn (mangle negro) que comprende una superficie de 2 ha. Es el menos inundado por las mareas y ocupa la zona más interna del manglar desde el estero en dirección tierra adentro, en donde limita con masas puras de *Bucida buceras* L. (pukté) y *Haematoxylum campechianum* L. (tinto). El rodal 2 está compuesto de *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. (mangle blanco) y *Avicennia germinans*, en una superficie de 10 ha. Ocupa una zona intermedia del manglar que colinda hacia el estero con un rodal mixto de *R. mangle* y *L. racemosa* y hacia tierra firme limita con otro de *A. germinans*. El rodal 3 está constituido por dos especies: *R. mangle* y *L. racemosa*, sobre una superficie aproximada de 2.4 ha en la zona más cercana al estero. La parte posterior es contigua a otro rodal representado por *R. mangle*, *L. racemosa*, *A. germinans* y *Conocarpus erectus* L. (mangle botoncillo). El rodal 4 está representado por *R. mangle* y *L. racemosa*, sobre una superficie de 2.8 ha y está también en la zona más cercana al estero. Limita hacia tierra firme con un rodal mixto de *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*.

Procedimiento de muestreo y medición de variables dasométricas

Se establecieron tres parcelas de 100 m² (10 x 10 m) al azar en cada rodal, dentro de las cuales se midió a todos los árboles mayores de 2.5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), de acuerdo con Pool *et al.* (1977). La información respecto al número de árboles, diámetro, área basal, altura y cobertura de dosel se organizó para cada especie y por categoría diamétrica de 5 cm de amplitud. Por lo tanto, la categoría 5 se refiere a aquellos árboles que midieron de 2.5 a 7.4 cm de DAP, la categoría siguiente a los que midieron de 7.5 a 12.4 cm de DAP y así sucesivamente. Se realizaron dos mediciones posteriores a los seis y a los 12 meses.

La altura total del arbolado se determinó con una pistola Haga y el diámetro para *L. racemosa* y *A. germinans* se midió con una cinta diamétrica a 1.3 m de la superficie del suelo y 20 cm arriba de la parte final de las raíces zancudas, de acuerdo con los criterios de Valdez (1991) para *R. mangle*. La densidad de cobertura del dosel se estimó con la ayuda de un diagrama de porcentajes de cubrimiento al nivel de copas de los árboles (Walker y Hopkins, 1990).

Cálculo del área basal y de índices estructurales

El área basal (AB) de los árboles se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} (DAP)^2$$

Se utilizaron tres índices de valoración estructural de los rodales: a) Índice de Valor de Importancia (IVI), b) Índice de Valor Forestal (IVF) y c) Índice de Complejidad (IC).

El IVI es un índice de importancia estructural desarrollado principalmente para rodales mezclados (Curtis y McIntosh, 1951) y se calcula de acuerdo a:

$$IVI = Dr + Domr + Fr$$

Donde:

- Dr = densidad relativa
- $Domr$ = dominancia relativa
- Fr = frecuencia relativa

El IVF se aplicó con el propósito de considerar la altura de todos los individuos medidos en el rodal, así como de la densidad de cobertura de dosel en el mismo, mediante la fórmula:

$$IVF = DAPr + Ar + Cr$$

Donde:

- $DAPr$ = diámetro relativo a la altura del pecho
- Ar = altura relativa
- Cr = cobertura relativa

El IC es una expresión de la diversidad y abundancia de especies en diferentes tipos de rodales y fue calculado por primera vez en algunos bosques de Costa Rica por Holdridge (1967). Este índice es una medida que integra las características estructurales y florísticas y cuantifica el grado de desarrollo estructural de un rodal en 0.1 ha (Holdridge *et al.*, 1971; Pool *et al.*, 1977) como sigue:

$$IC = s d b h 10^{-3}$$

Donde:

- s = No. de especies
- d = densidad de árboles mayores de 2.5 cm de DAP
- b = área basal (m^2)
- h = altura (m) de los tres árboles más altos

Las distribuciones del número de árboles por categoría diamétrica fueron ajustadas mediante ecuaciones de regresión siguiendo el procedimiento de mínimos cuadrados en el paquete SAS (Schlotzhauer y Littell, 2000). También se realizaron análisis de regresión entre el número de individuos incorporados y muertos, así como entre la altura del dosel y el DAP de los árboles por especie.

RESULTADOS

El número de árboles y diámetro para los rodales y especies evaluadas durante un año de estudio se muestran en el Cuadro 1 y en las Figuras 2a a 2c los modelos de regresión relacionados con esta variable. Los datos con signos negativos se deben a la incorporación de árboles al final del año, que tenían características dasométricas menores a los existentes; en consecuencia, disminuyó el resultado promedio de las mediciones en el muestreo final con respecto al obtenido en el inicio del estudio.

El número de individuos de las tres especies de mangles en los cuatro rodales disminuyó conforme aumentó el diámetro del árbol (Figuras 2a a 2c), con excepción de *L. racemosa* en el rodal 2 (Figura 2b). El comportamiento general de la densidad favoreció a *R. mangle* con 1109 individuos ha^{-1} , seguido de *A. germinans* y *L. racemosa* con 774 y 718 individuos ha^{-1} , respectivamente. Con relación a los árboles que murieron durante el periodo de estudio, *R. mangle* generó la cifra más alta con 400 individuos ha^{-1} , seguido de *A. germinans* y *L. racemosa* con 142 y 125 individuos ha^{-1} (Cuadro 1).

Con respecto a los nuevos individuos, a *R. mangle* corresponde el mayor número con 334 árboles ha^{-1} , seguido de *L. racemosa* y *A. germinans* con 266 y 208 individuos ha^{-1} . Las tres especies incorporaron una mayor cantidad de individuos que la que perdieron en los cuatro rodales durante el periodo de evaluación, aunque *R. mangle* presentó una relación inversa en los rodales 2 y 3 (Figura 3a). Las categorías diamétricas con la mayor densidad forestal fueron la de 5 cm para *R. mangle* y *A. germinans* y la de 10 cm para *L. racemosa* (Cuadro 1).

La especie que presentó el valor más elevado en la suma del diámetro promedio de sus categorías diamétricas fue *A. germinans* (153.3 cm ha^{-1}) y siguen en importancia *L. racemosa* (134.9 cm ha^{-1}) y *R. mangle* (84.3 cm ha^{-1}).

Cuadro 1. Número de árboles y diámetro promedio a la altura del pecho en cada categoría diamétrica.

Ep ¹	CD ²	No. de árboles ³ (ha ⁻¹ año ⁻¹)				Diámetro ⁴ (cm)		
		No	M	I	Nf	Do	Df	Incremento (cm ha ⁻¹ año ⁻¹)
Rm	5	725	367	242	600	5.1	5.1	0.0
	10	375	33	67	409	9.8	9.8	0.0
	15	59	0	17	76	14.3	13.7	-0.6
	20	8	0	8	16	19.5	19.0	-0.5
	35	8	0	0	8	36.5	36.7	0.2
			1175	400	334	1109	85.2	84.3
Lr	5	109	109	208	208	6.6	3.9	-2.7
	10	225	8	17	234	10.3	9.9	-0.4
	15	134	8	25	151	15.1	14.6	-0.5
	20	67	0	8	75	20.3	19.9	-0.4
	25	17	0	8	25	24.8	24.6	-0.2
	30	25	0	-8	17	29.7	28.0	-1.7
	35	0	0	8	8	0.0	34.0	34.0
		577	125	266	718	106.8	134.9	28.1
Ag	5	417	125	167	459	5.0	4.9	-0.1
	10	142	17	33	158	9.6	9.8	0.2
	15	100	0	0	100	15.7	15.8	0.1
	20	25	0	8	33	20.1	19.9	-0.2
	25	8	0	0	8	25.3	25.5	0.2
	30	8	0	0	8	30.2	30.3	0.1
	35	8	0	0	8	47.0	47.1	0.1
			708	142	208	774	152.9	153.3
Total		2460	667	808	2601	344.9	372.5	27.6

¹Ep = especie; ²CD = categoría diamétrica; ³No = inicial, M = muriendo, I = incorporados, Nf = final; ⁴Do = al inicio, Df = final; Rm = *Rhizophora mangle*; Lr = *Laguncularia racemosa*; Ag = *Avicennia germinans*.

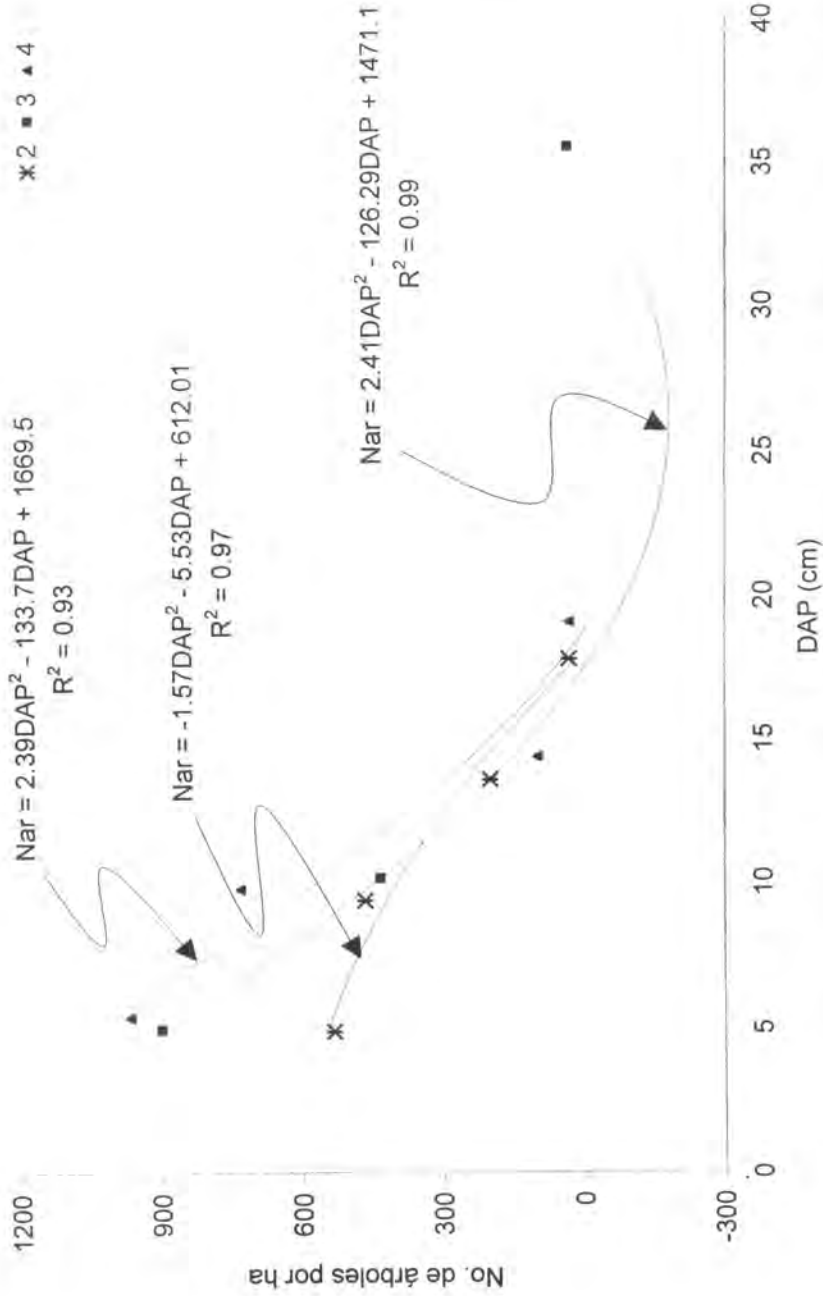


Figura 2a. Distribución del número de árboles de *R. mangle* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1 a 4). Las flechas indican modelos de regresión ajustados por rodal. Nar = número de árboles, DAP = diámetro a la altura del pecho.

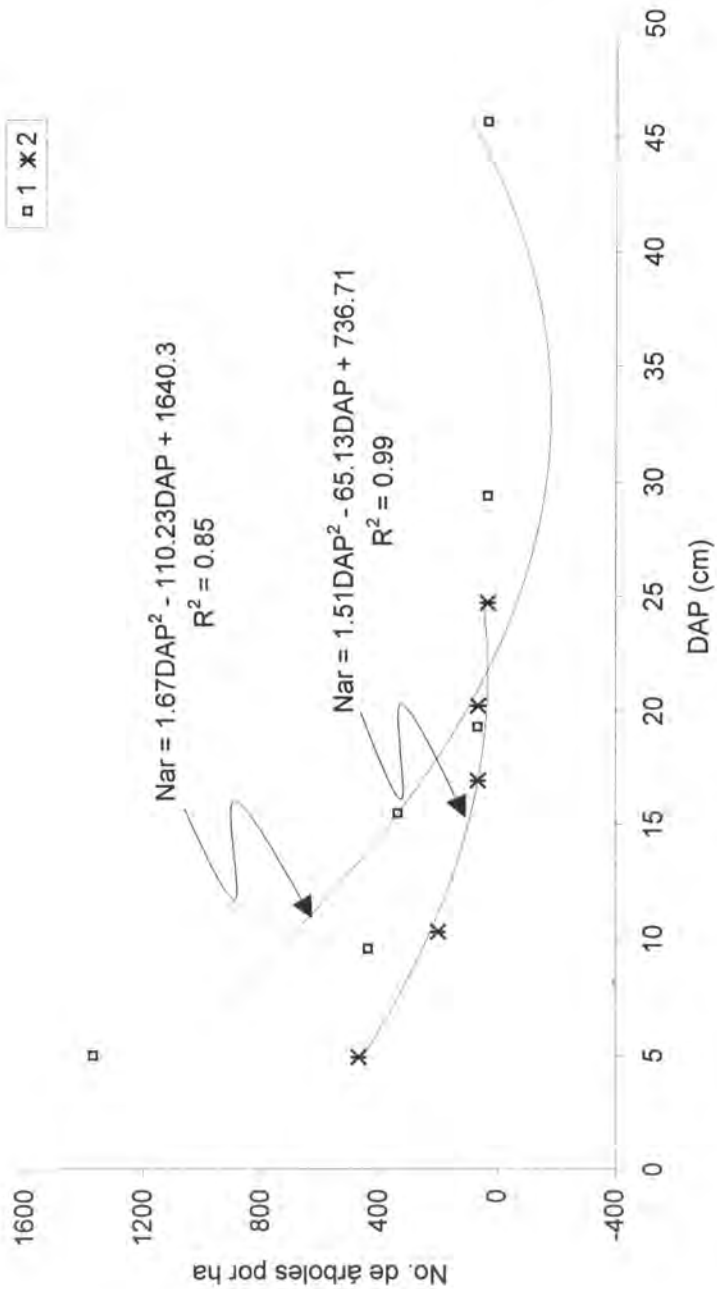


Figura 2b. Distribución del número de árboles de *L. racemosa* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1 a 4). Las flechas indican modelos de regresión ajustados por rodal. Nar = número de árboles, DAP = diámetro a la altura del pecho.

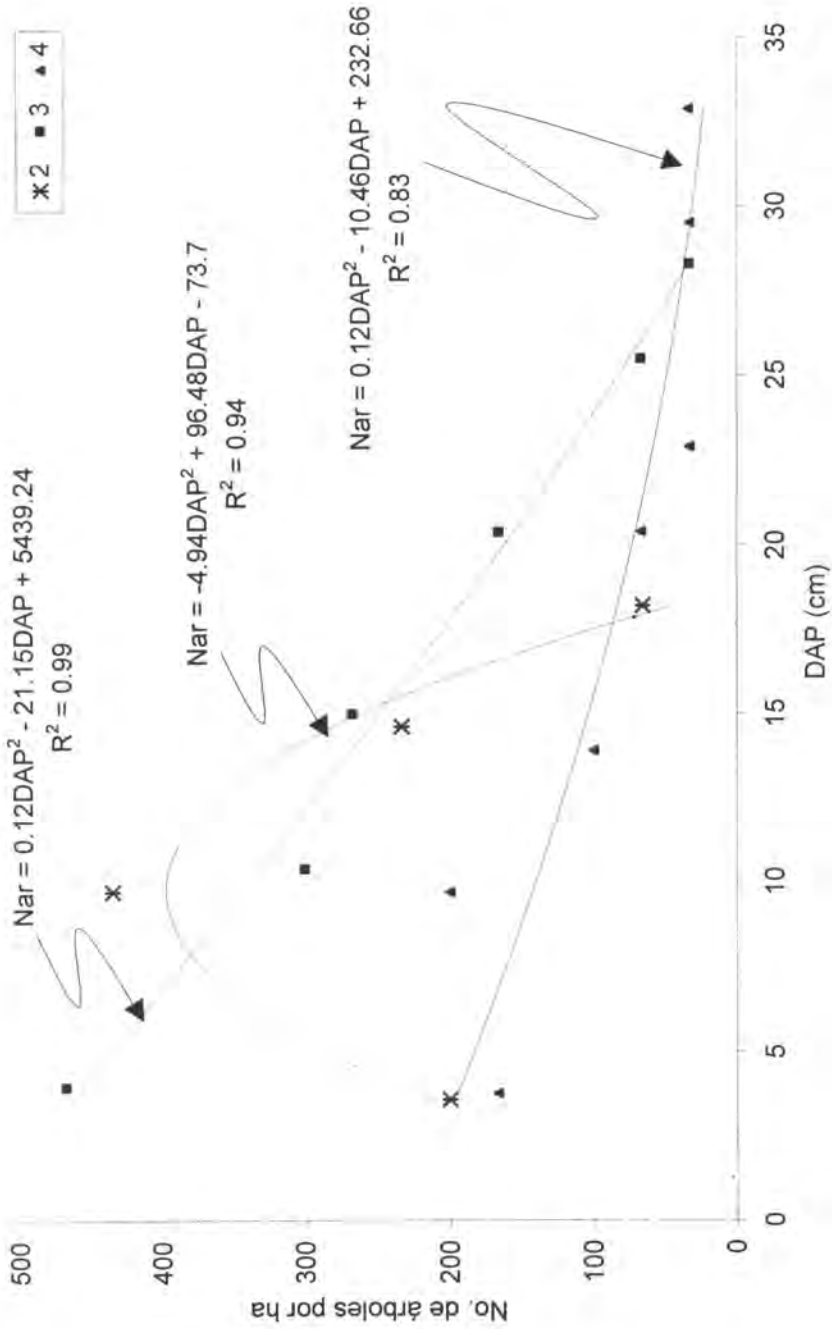


Figura 2c. Distribución del número de árboles de *A. germinans* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1 a 4). Las flechas indican modelos de regresión ajustados por rodal. Nar = número de árboles, DAP = diámetro a la altura del pecho.

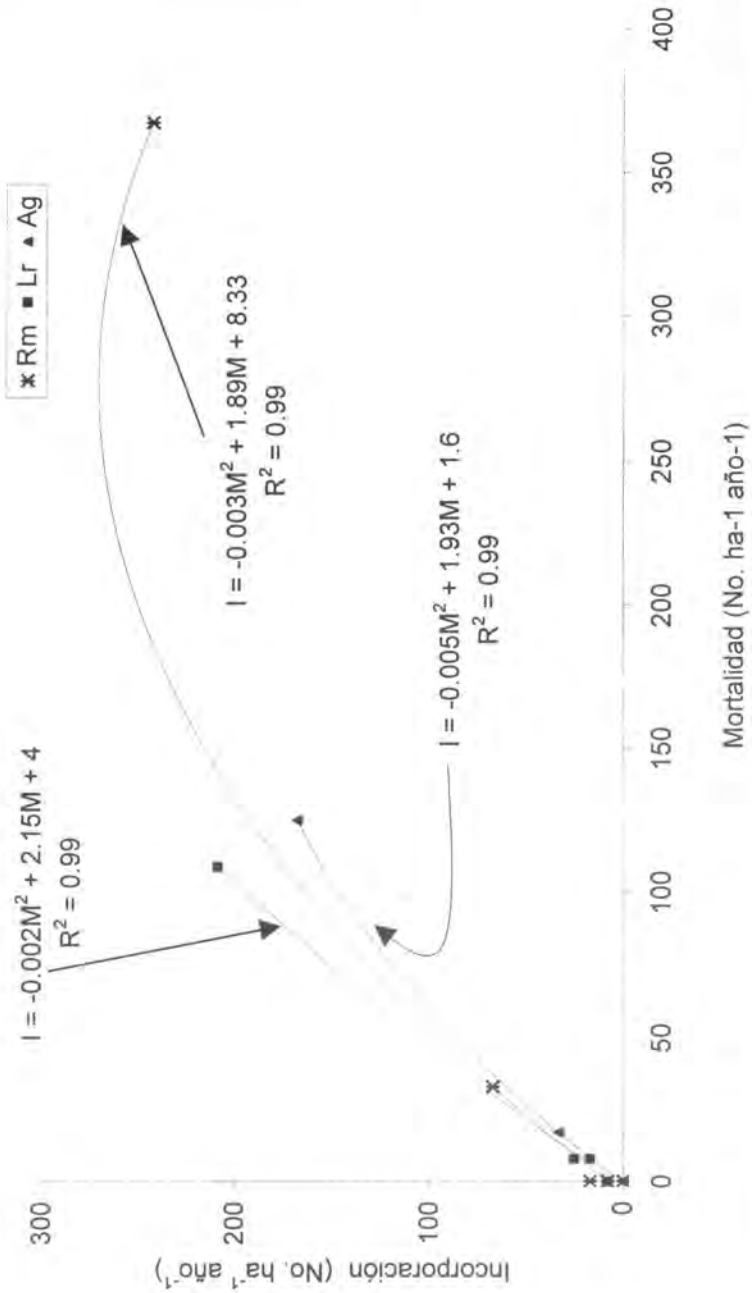


Figura 3a. Relación del número de árboles incorporados contra los muertos para *R. mangle* (Rm), *L. racemosa* (Lr) y *A. germinans* (Ag) en el área de estudio.
 I = incorporación, M = mortalidad.

En los incrementos sumados de cada categoría diamétrica, *L. racemosa* alcanzó el primer lugar ($28.1 \text{ cm ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), seguido de *A. germinans* ($0.4 \text{ cm ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y *R. mangle* ($-0.9 \text{ cm ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Cuadro 1).

La Figura 3b indica que a una mayor altura del dosel existe un mayor diámetro del árbol hasta aproximadamente la categoría de 25 cm de DAP, a partir del cual la altura permanece casi constante conforme el diámetro de los individuos sigue aumentando.

Tomando en cuenta valores promedio, *L. racemosa* presentó decrementos en diámetro en todas sus categorías diamétricas, principalmente en la de 5 y 30 cm, lo cual puede atribuirse a la incorporación de individuos en la categoría de 5 cm durante el año y al paso de aquellos en la de 30 cm a la categoría superior siguiente. En contraste, *A. germinans* mostró incrementos en la mayoría de sus categorías, con excepción de la de 5 y 20 cm, y *R. mangle* tuvo decrementos en dos categorías (15 y 20 cm) e incremento sólo en una (35 cm) (Figura 3c).

Un indicador de la cantidad del recurso maderable existente en un rodal es el área basal expresada como la suma del área transversal del tallo a la altura del pecho. La especie que en general tuvo el valor más elevado de área basal promedio fue *L. racemosa* con $10 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, seguida de *A. germinans* y *R. mangle* con 7.5 y $6.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 2). En cambio, el mayor incremento promedio lo tuvo *A. germinans* con $0.6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, seguido de *L. racemosa* y *R. mangle* con 0.5 y $0.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las categorías diamétricas más altas fueron la de 10 cm en *R. mangle* y la de 15 cm en *L. racemosa* y *A. germinans*; en tanto que el incremento promedio de esta variable fue mayor para las categorías de 35 cm en *L. racemosa* y de 10 cm en *R. mangle* (Cuadro 2).

Los valores más elevados de área basal (AB) y su incremento (IAB) fueron registrados para *R. mangle* en el rodal 4 para la categoría de 10 cm de DAP, aunque sólo el rodal 3 presentó IAB positivos en todas sus categorías diamétricas (Figura 4a). A pesar de que los mayores IAB fueron los de *L. racemosa* también en el rodal 4, igualmente se tuvieron aquí los menores IAB, con el más alto valor de AB en el rodal 3 para la categoría de 20 cm (Figura 4b). Los IAB de *A. germinans* en el rodal 1, si bien no fueron los de mayor valor en algunas categorías diamétricas, siempre tuvieron valores positivos; sin embargo, la distribución de AB en este rodal (monoespecífico) por categorías diamétricas fue más irregular que aquella en el rodal 2 (mezclado) (Figura 4c).

La altura es un indicador del desarrollo de la estructura de un rodal. En forma general, la especie que tuvo el valor más elevado de altura promedio acumulada fue *A. germinans*, seguida de *L. racemosa* y *R. mangle*; en tanto que con relación a los incrementos promedio, *L. racemosa* ocupó el primer

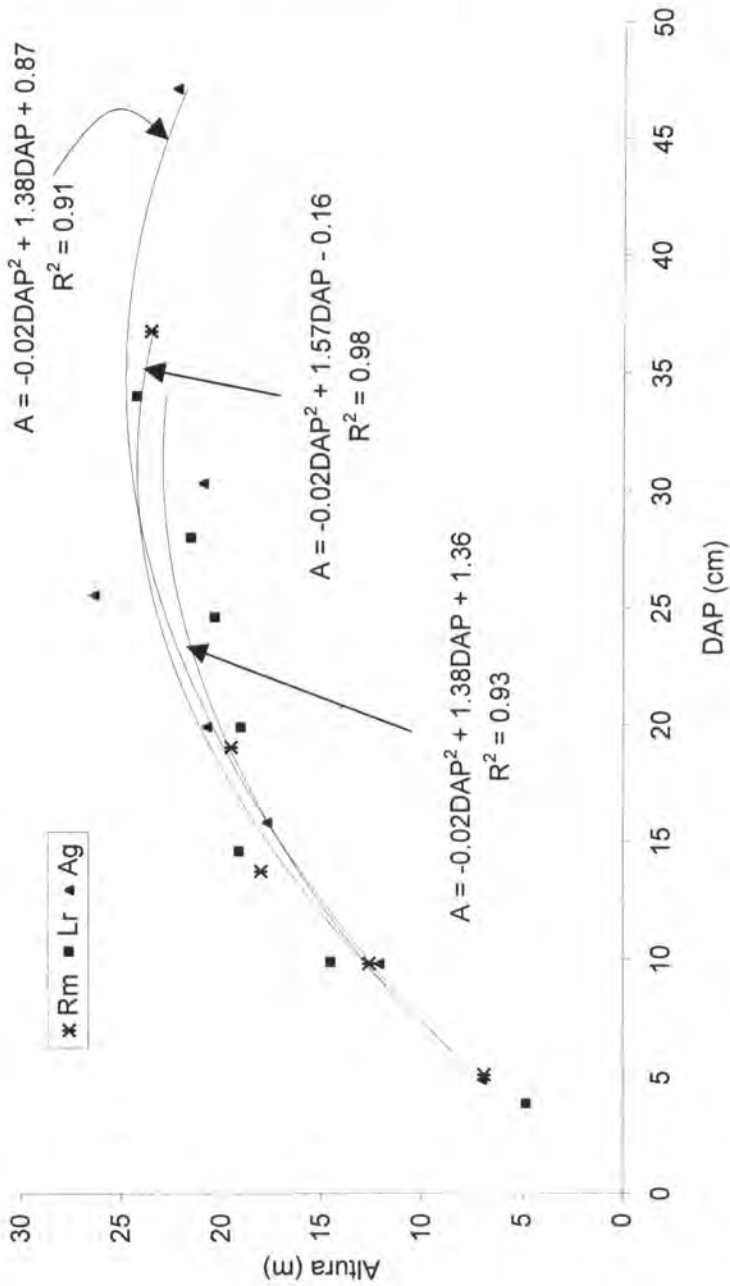


Figura 3b. Relación de la altura del dosel con el DAP por categoría diamétrica para *R. mangle* (Rm), *L. racemosa* (Lr) y *A. germinans* (Ag) en el área de estudio.
 A = altura del dosel, DAP = diámetro a la altura del pecho.

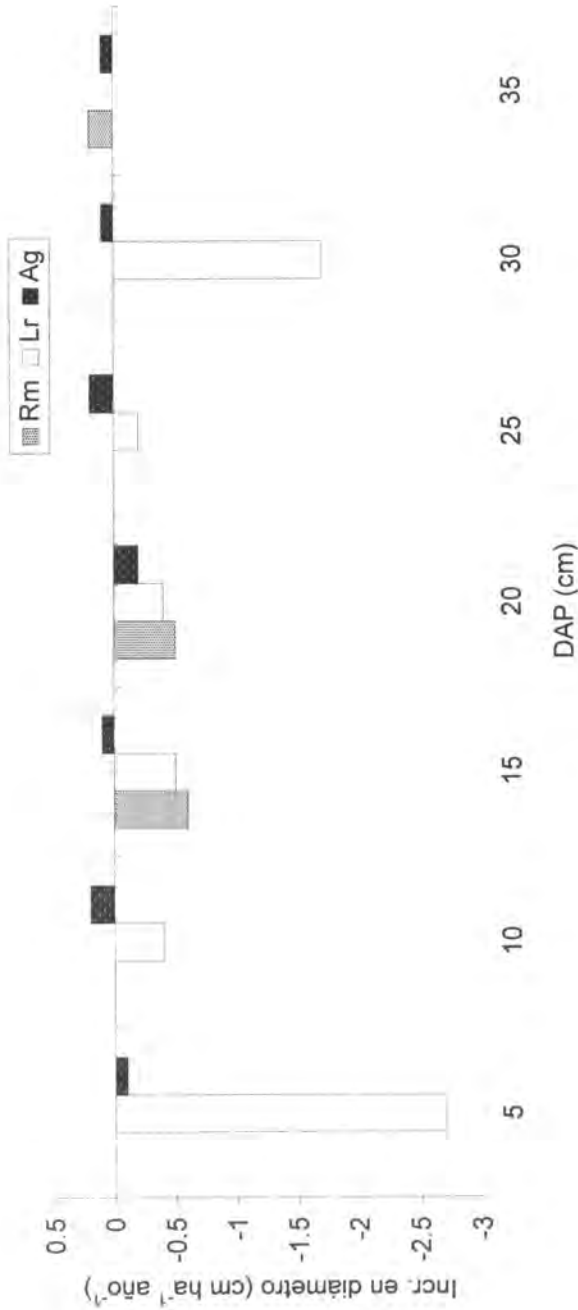


Figura 3c. Relación del incremento en diámetro por categoría diamétrica para *R. mangle* (Rm), *L. racemosa* (Lr) y *A. germinans* (Ag) en el área de estudio.
DAP = diámetro a la altura del pecho.

Cuadro 2. Número de árboles y diámetro promedio a la altura del pecho en cada categoría diamétrica.

Ep ¹	CD ²	Area basal ³ (m ² ha ⁻¹)		Incremento (m ² ha ⁻¹ año ⁻¹)
		ABo	ABf	
Rm	5	1.59	1.36	-0.23
	10	2.87	3.14	0.27
	15	0.95	1.14	0.19
	20	0.23	0.44	0.21
	35	0.80	0.81	0.01
			6.44	6.89
Lr	5	0.38	0.29	-0.09
	10	1.92	1.86	-0.06
	15	2.44	2.56	0.12
	20	2.20	2.34	0.14
	25	0.84	1.20	0.36
	30	1.74	1.07	-0.67
	35	0.00	0.70	0.70
		9.52	10.02	0.50
Ag	5	0.87	0.98	0.11
	10	1.05	1.22	0.17
	15	1.93	1.97	0.04
	20	0.80	1.02	0.22
	25	0.38	0.39	0.01
	30	0.55	0.56	0.01
	35	1.33	1.34	0.01
		6.91	7.48	0.57
Total		22.87	24.39	1.52

¹Ep = especie; ²CD = categoría diamétrica; ³ABo = inicial, ABf = final; Rm = *Rhizophora mangle*; Lr = *Laguncularia racemosa*; Ag = *Avicennia germinans*.

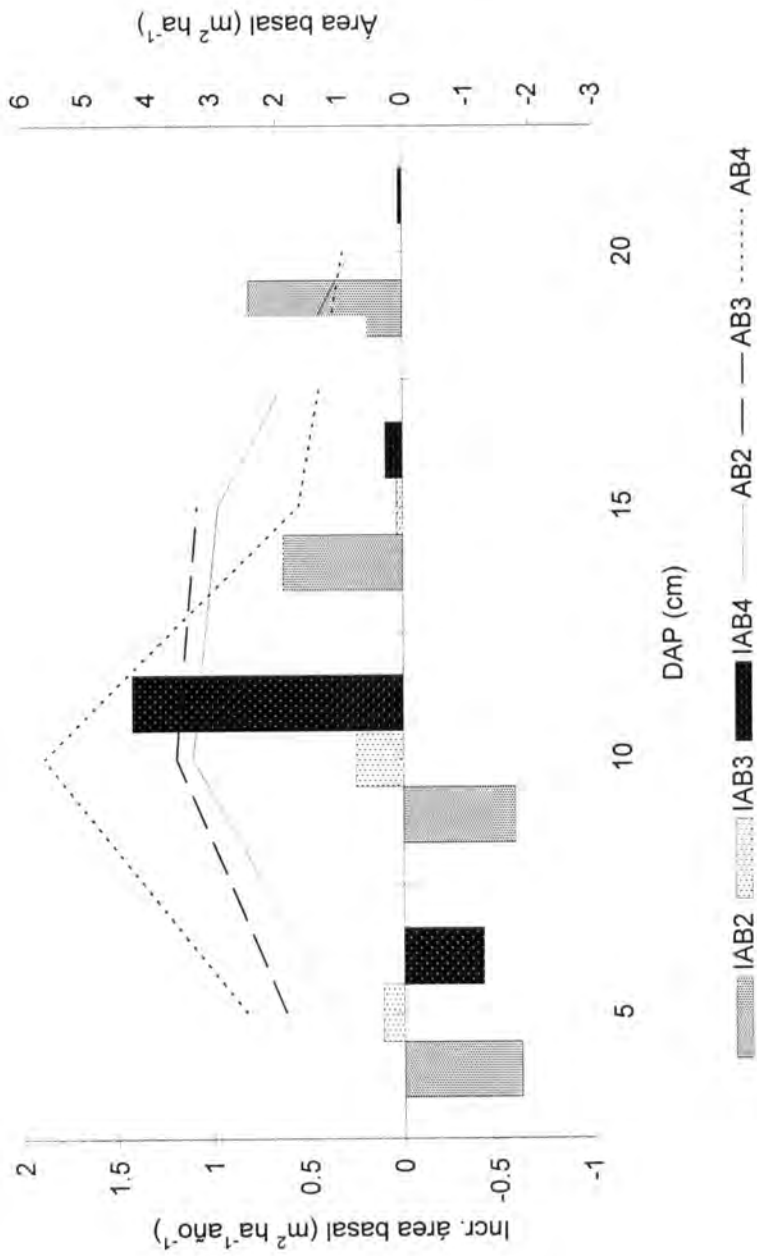


Figura 4a. Distribución del área basal (AB) y su incremento (IAB) en *R. mangle* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1-4).

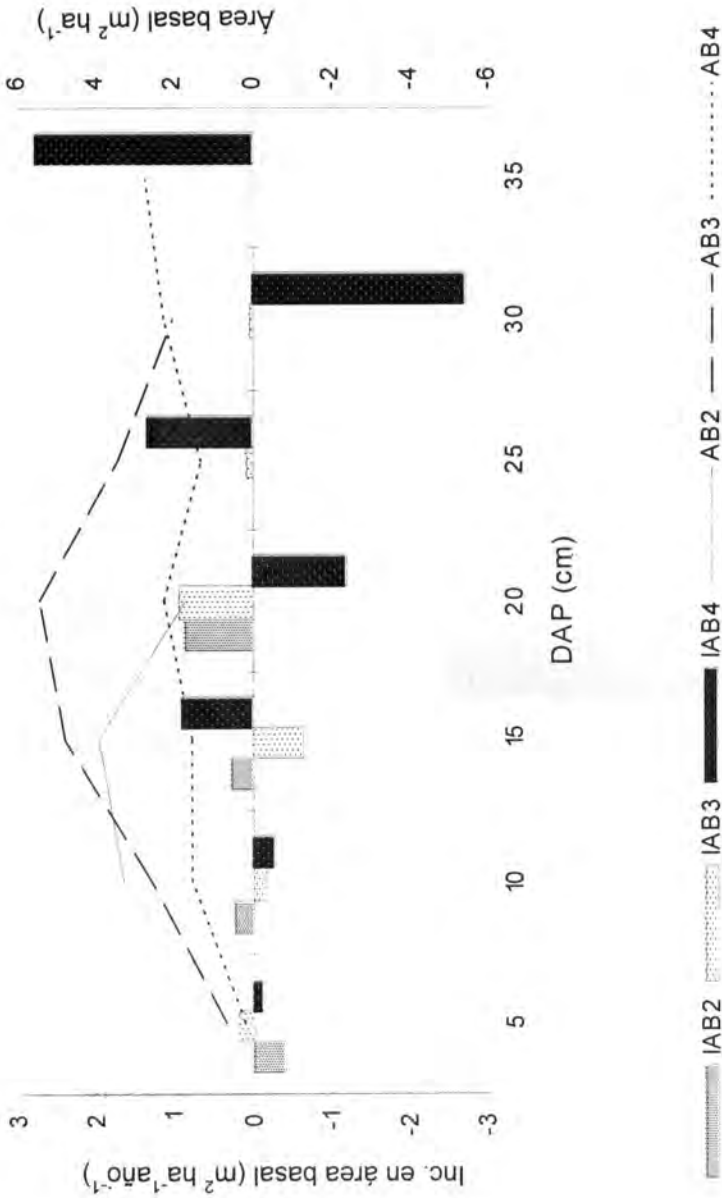


Figura 4b. Distribución del área basal (AB) y su incremento (IAB) en *L. racemosa* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1-4).

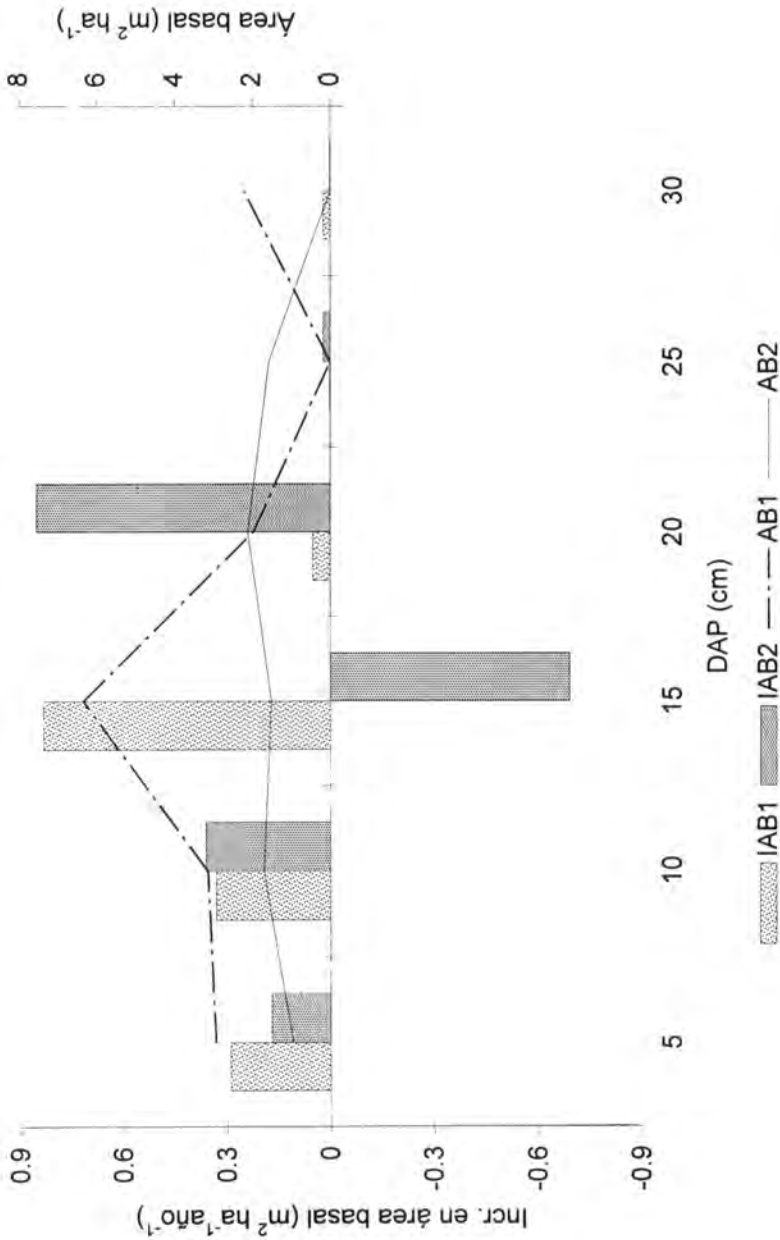


Figura 4c. Distribución del área basal (AB) y su incremento (IAB) en *A. germinans* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1-4).

lugar con $19.2 \text{ m ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, seguido por *A. germinans* y *R. mangle* con -0.5 y $-4.5 \text{ m ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 1). La altura más desarrollada por categoría diamétrica fue de *A. germinans* con 26.3 m en la categoría de 25 cm, seguida de *L. racemosa* con 24.2 m en la de 35 cm y *R. mangle* con 23.5 m también en la de 35 cm (Cuadro 3).

En todos los rodales y para las tres especies, se encontró que a una mayor altura correspondió un mayor diámetro en las especies estudiadas (Figuras 5a a 5c), con excepción de aquellas categorías diamétricas donde no se registraron individuos (p. ej. categoría de 25 cm en el rodal 1 de *A. germinans*). Los incrementos en altura (IA) no siguieron esta misma tendencia, ya que mientras los valores más altos se agruparon en la categoría de 20 cm en el rodal 2 tanto para *R. mangle* (Figura 5a) como *A. germinans* (Figura 5c), en *L. racemosa* se presentaron en los árboles entre 25 y 35 cm del rodal 4 (Figura 5b).

La cobertura de dosel expresa la proporción del estrato superior que cubre parcialmente la entrada de luz solar al sotobosque y tuvo un mayor valor en el rodal 1 (63%), seguido por los rodales 3 (62%), 4 (61%) y 2 (61%). Mientras que en el rodal 3 la densidad de cobertura del dosel aumentó en 1% al finalizar el año, en el resto de los rodales disminuyó en 1%.

A. germinans tuvo el valor promedio más importante de densidad de cobertura del dosel con 65%, seguido por *L. racemosa* y *A. germinans* con 61% y 60%, respectivamente (Cuadro 4). No hubo cambios en cobertura durante el año para *R. mangle*, y sólo una disminución de 1% en *L. racemosa* y *A. germinans*. Las especies que tuvieron en promedio una mayor cobertura por categoría diamétrica fueron *A. germinans* y *L. racemosa* en las categorías de 30 y 35 cm (Cuadro 4).

R. mangle presentó los valores más elevados de los índices de valor de importancia y de valor forestal tanto en el rodal 2 (IVI = 107%, IVF = 116%) como en el rodal 4 (IVI = 172%, IVF = 207%), mientras que *L. racemosa* los obtuvo en el rodal 3 (IVI = 168%, IVF = 169%). El más alto valor del índice de complejidad se presentó en el rodal 2 (IC = 58.5).

DISCUSIÓN

Los manglares estudiados en los Pantanos de Centla, Tabasco, fueron similares en composición florística a los evaluados por Pool *et al.* (1977) en Florida, Puerto Rico y Sinaloa, así como por Valdéz (1991, 1994) en Agua Brava y San Blas, Nayarit, y en Moin y Boca Barranca, Costa Rica. Se identificaron, además de las tres especies estudiadas, los géneros *Pterocarpus* y *Pelliciera* (Pool *et al.*, 1977; Jiménez, 1994).

Cuadro 3. Número de árboles y diámetro promedio a la altura del pecho en cada categoría diamétrica.

Ep ¹	CD ²	Altura ³ (m ha ⁻¹)		
		Ao	Af	Af - Ao (m ha ⁻¹ año ⁻¹)
Rm	5	7.6	6.9	-0.7
	10	12.8	12.6	-0.2
	15	18.4	18.0	-0.3
	20	22.9	19.5	-3.4
	35	23.4	23.5	0.1
			85.1	80.6
Lr	5	9.7	4.8	-4.9
	10	15.4	14.5	-1.0
	15	19.0	19.1	0.1
	20	19.1	19.0	-0.2
	25	18.6	20.3	1.6
	30	22.2	21.5	-0.7
	35	0.0	24.2	24.2
		104.1	123.3	19.2
Ag	5	7.4	7.0	-0.4
	10	12.1	12.1	0.0
	15	17.8	17.7	-0.1
	20	21.2	20.7	-0.5
	25	26.0	26.3	0.3
	30	20.8	20.9	0.1
	35	22.1	22.2	0.1
		127.4	126.9	-0.5
Total		316.6	330.8	14.2

¹Ep = especie; ²CD = categoría diamétrica; ³Ao = inicial, Af = final; Rm = *Rhizophora mangle*; Lr = *Laguncularia racemosa*; Ag = *Avicennia germinans*.

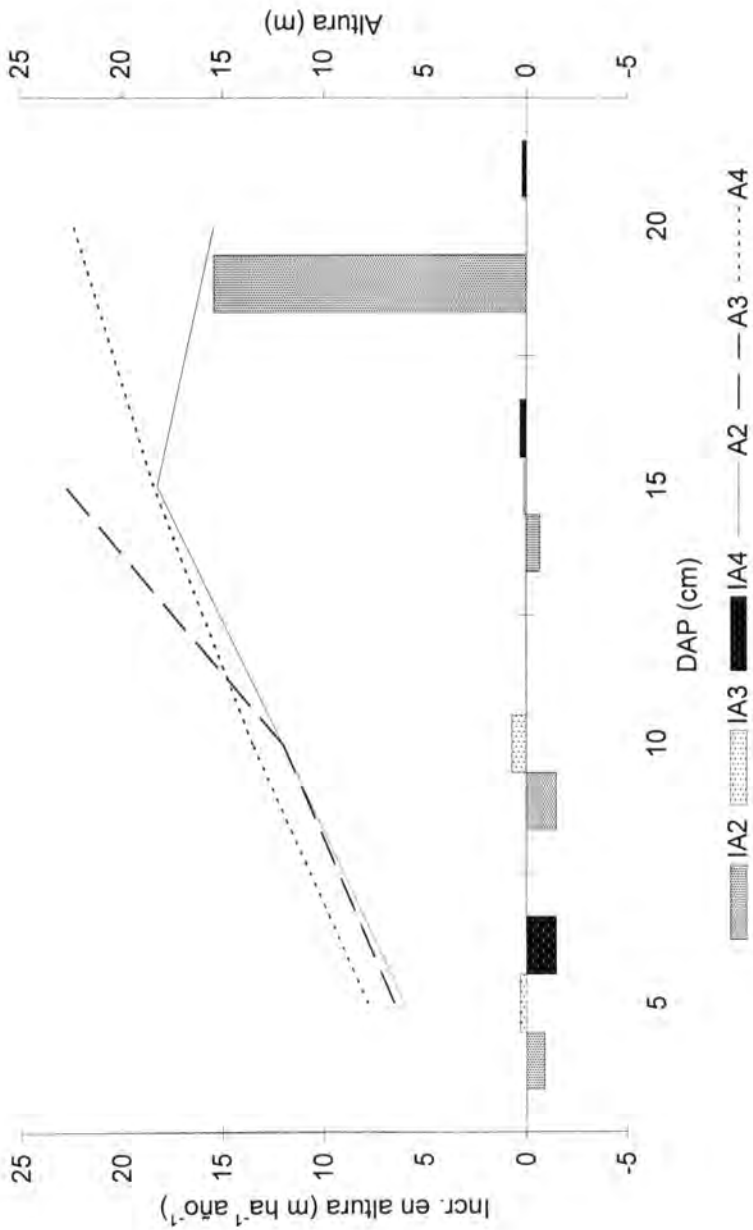


Figura 5a. Distribución de la altura (A) y su incremento (IA) en *R. mangle* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1-4).

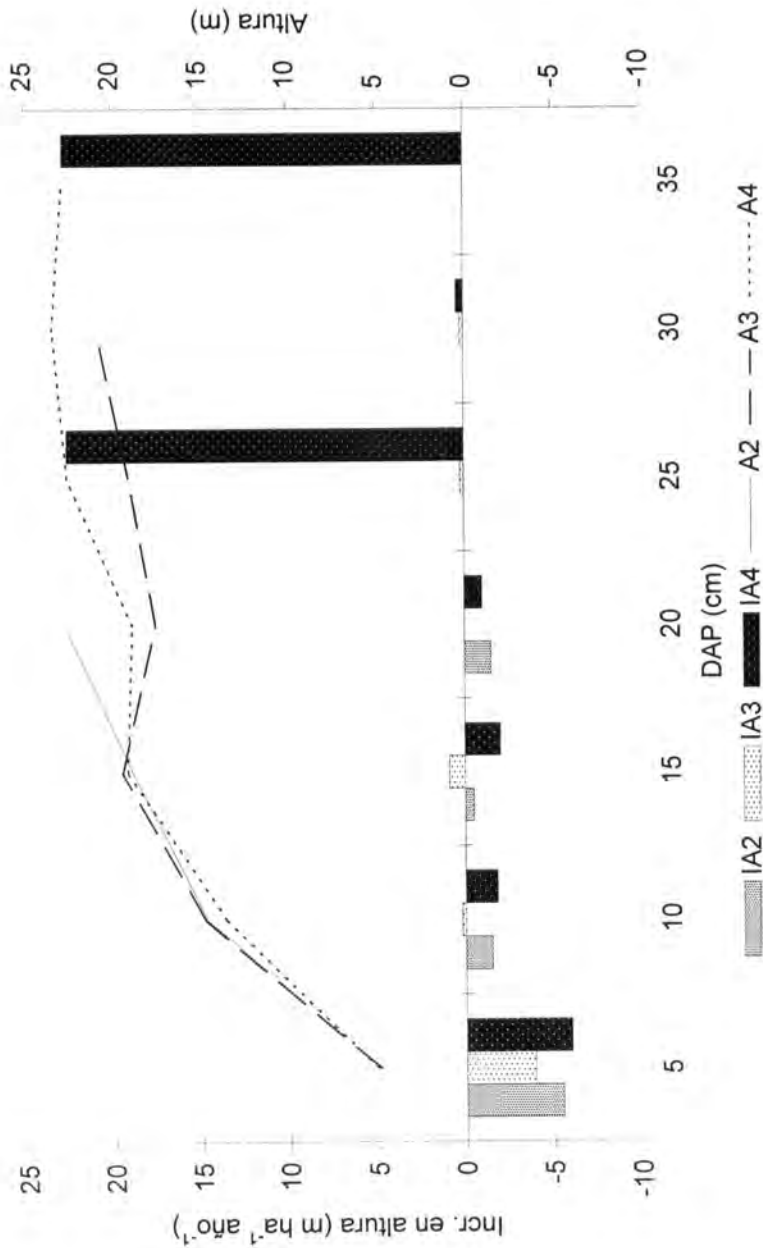


Figura 5b. Distribución de la altura (A) y su incremento (IA) en *L. racemosa* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1-4).

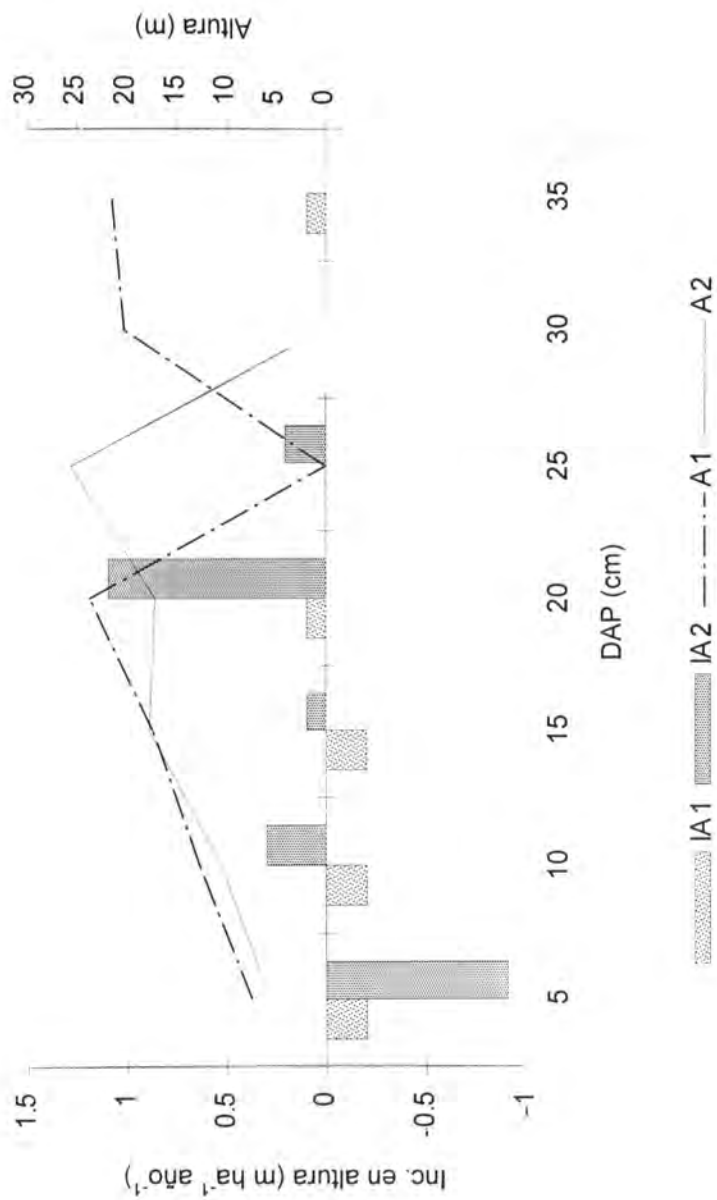


Figura 5c. Distribución de la altura (A) y su incremento (IA) en *A. germinans* por categoría diamétrica en los cuatro rodales estudiados (1-4).

Cuadro 4. Número de árboles y diámetro promedio a la altura del pecho en cada categoría diamétrica.

Ep ¹	CD ²	Cobertura ³ (% ha ⁻¹)		
		Co	Cf	Cf - Co (% ha ⁻¹ año ⁻¹)
Rm	5	61	58	-3
	10	60	61	1
	15	60	61	1
	20	60	65	5
	35	65	60	-5
			60	60
Lr	5	65	59	-6
	10	63	64	1
	15	65	65	0
	20	64	64	0
	25	67	65	-2
	30	69	69	0
	35	70	70	0
Ag		62	61	-1
	5	62	61	-1
	10	63	61	-2
	15	65	64	-1
	20	68	64	-4
	25	64	65	1
	30	70	70	0
	35	70	70	0
		66	65	-1
Total		63	62	-1

¹Ep = especie; ²CD = categoría diamétrica; ³Co = inicial, Cf = final; Rm = *Rhizophora mangle*; Lr = *Laguncularia racemosa*; Ag = *Avicennia germinans*.

De acuerdo con el Cuadro 5, la mayor densidad se registró en Agua Brava (7600 árboles ha⁻¹) y la menor en Boca Barranca (1100 árboles ha⁻¹); en tanto que Moin (1370 árboles ha⁻¹) y Centla (2601 árboles ha⁻¹) se obtuvieron valores intermedios.

El mayor DAP promedio se obtuvo en Moin (29.9 cm), y el menor en Florida, EUA (11.1 cm); mientras que en Centla, el valor fue intermedio (19.6 cm) (Cuadro 5). Asimismo, la mayor área basal se encontró en Moin (96.4 m² ha⁻¹) y la menor en Vacía Talega, Puerto Rico (20.9 m² ha⁻¹); mientras que en Centla el valor fue cercano a esta última localidad (24.4 m² ha⁻¹) (Cuadro 5).

La mayor altura del dosel se registró en Centla (23.5 m), y la menor en Florida (9 m) (Cuadro 5). Este desarrollo en altura de los árboles para el área de estudio

Cuadro 5. Características estructurales de manglares tipo ribereño en algunas áreas del continente Americano.

Pais / Sitio	Lat. (N)	Long. (O)	Número de especies	DAP (cm)	Densidad (n)	Área Basal (m ² ha ⁻¹)	Altura (m)	IC
Florida, EUA Ten Thousand Islands ¹	25°50'	81°30'	2	11.1	4000	38.5	9.0	27.7
Puerto Rico Vacía Talega ¹	18°27'	65°57'	3	11.9	1890	20.9	13.0	15.4
Río Cocal ²	18°27'	65°52'	2	11.3	3230	32.5	16.5	34.6
México Isla La Palma ¹	22°35'	105°40'	3	18.1	2360	60.8	17.0	73.2
Río Las Cañas ¹	22°31'	105°40'	3	20.3	1790	57.8	16.0	49.7
Cañas ¹	22°08'	105°29'	2	11.5	7600	52.3	10.1	38.7
Agua Brava ³	21°34'	105°15'	3	-	1980	29.0	16.8	31.0
San Blas ⁴	18°35'	92°27'	3	19.6	2601	24.4	23.5	31.8
Centla ⁵								
Costa Rica Moin ¹	10°30'	83°05'	4	29.9	1370	96.4	16.0	84.5
Boca Barranca ¹	10°30'	84°45'	3	19.5	1100	32.9	9.5	10.3

¹Pool *et al.*, 1977; ²Martinez *et al.*, 1979; ³Valdez 1991, ⁴Valdez 1994; ⁵este estudio. DAP = diámetro a la altura del pecho; n = número de árboles > 2.5 cm DAP; IC = índice de complejidad.

se puede deber, por una parte, a la gran cantidad de sedimentos ricos en nutrientes aportados por el río San Pedro y San Pablo, lo cual se apoya en resultados obtenidos por Lugo y Cintrón (1975) y Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984) en otros manglares tipo ribereño; y por otra parte, a la influencia de la precipitación pluvial: 1573 mm para Centla (18° 35' N), en comparación con 1346 mm para Florida (25° 50' N), de acuerdo con lo sugerido por Lot-Helgueras *et al.* (1975) para manglares en un gradiente de precipitación y latitudinal.

Las relaciones entre altura y DAP fueron positivas en el área de estudio; es decir, a mayor altura, mayor diámetro a la altura del pecho (Figura 3b). Esta información coincide con estudios realizados en otros manglares de tipo ribereño de Puerto Rico y Costa Rica (Martínez *et al.*, 1979; Cintrón y Schaeffer-Novelli, 1984; Jiménez, 1994). Sin embargo, en rodales maduros de Puerto Rico, donde existe una baja densidad de árboles, la altura disminuyó con relación al aumento en diámetro (Cintrón y Schaeffer-Novelli, 1984; Odum, 1995). En otras palabras, conforme los rodales avanzaron en edad tuvieron menos árboles pero más gruesos, tal y como se aprecia en la Figura 2 para las tres especies en el presente estudio, tomando en cuenta condiciones naturales de mortalidad dependiente de la densidad (Hamilton y Snedaker, 1984; Odum, 1995).

El mayor valor del IC se registró en Moin (84.5) y el menor en Boca Barranca (10.3), ambos en Costa Rica; mientras que en Centla, Tabasco, fue intermedio (31.8) entre estos sitios. El elevado desarrollo estructural de los manglares en Moin puede atribuirse a su mayor número de especies, área basal y altura del dosel en comparación con el bajo desarrollo de aquellos en Boca Barranca, con menor densidad de árboles y altura del dosel. El desarrollo intermedio de los manglares en el presente estudio se atribuye a un valor también intermedio en su densidad de árboles pero bajo en área basal, a pesar de que su altura promedio es superior a la de otros sitios.

CONCLUSIONES

La especie más importante en dos de los cuatro rodales estudiados fue *Rhizophora mangle*, la cual mostró en promedio los valores más altos de densidad, mortalidad e incorporación de árboles mayores a 2.5 cm de DAP; sin embargo, *Laguncularia racemosa* presentó los mayores incrementos promedio en diámetro y altura, mientras que *Avicennia germinans* los mayores en área basal.

Los manglares en el presente estudio tuvieron un desarrollo estructural intermedio en comparación con otras áreas del Continente Americano, lo cual se atribuye a valores bajos de área basal e intermedios de densidad, a pesar de que la altura de su dosel fue superior a la de otros lugares.

AGRADECIMIENTOS

A la Organización de Estados Americanos (OEA) por la beca otorgada al primer autor para la realización de estudios de doctorado en el Colegio de Postgraduados, al Biol. Juan Carlos Romero por su apoyo durante la estancia en campo y a los revisores y a la editora de Ciencia Forestal en México sus observaciones y comentarios al documento.

REFERENCIAS

- Bolio, M. 2000. Estructura y productividad durante la época de lluvias en un manglar mixto en el estero El Sábalo del río San Pedro y San Pablo, municipio de Centla, Tabasco, México. Tesis Profesional. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 55 p.
- Cintrón, G. y Y. Schaeffer-Novelli. 1984. Introducción a la ecología del manglar, UNESCO. Montevideo, Uruguay. 109 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2000. Recopilación de datos meteorológicos del estado de Tabasco. Informe del gobierno estatal del año 2000. Villahermosa, Tabasco. 677 p.
- Curtis, J. T. and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- FAO. 1994. Directrices para la ordenación de los manglares. Subdirección de Desarrollo de Recursos Forestales. Dirección de Recursos Forestales. Departamento de Montes. FAO. Santiago, Chile. 345 p.
- Farnsworth, E. J. and A. M. Ellison. 1997. The global conservation status of mangroves. *Ambio* 26: 328-334.
- Hamilton, S. L. and S. C. Snedaker. 1984. Handbook for mangrove area management. Commission on Ecology. IUCN-UNESCO. Place de Fontenoy, Paris. 251 p.
- Hernández B., S. 1945. Proyecto de unidad industrial de explotación para las regiones mangleras de la barra del río Tonalá. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Edo. de México. 123 p.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 206 p.
- Holdridge, L. R., W. C. Grenke, W. H. Hatheway, T. Liang and A. Tosi, Jr. 1971. Forest environments in tropical life zones. Pergamon Press. New York. 747 p.
- Jiménez, J. A. 1994. Los manglares del Pacífico Centroamericano. Universidad Nacional. Instituto Nacional de Biología. Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 336 p.
- Jiménez, J. A. y R. Soto. 1985. Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 33(1): 25-37.

- López Portillo G., J. A. 1982. Ecología de manglares y de otras comunidades de halófitas en la costa de la laguna de Mecocacán, Tabasco. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 160 p.
- Lot-Helgueras, A., C. Vazquez-Yanes and F. Menéndez L. 1975. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the gulf coast of México. *In*: G. E. Walsh, S. C. Snedaker and H. J. Teas (Eds.). Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves. October 8-11, 1974. East West, Center, Honolulu, Hawaii. University of Florida, Gainesville, FL. Vol. 1. pp. 52-61.
- Lugo, A. E. and S. C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 39-64.
- Lugo, A. E. and G. Cintrón. 1975. The mangrove forests of Puerto Rico and their management. *In*: G. E. Walsh, S. C. Snedaker and H. J. Teas (Eds.). Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves. October 8-11, 1974. East West, Center, Honolulu, Hawaii. University of Florida, Gainesville, FL. Vol 2. pp. 825-846.
- Martínez, R., G. Cintrón and L. A. Encarnación. 1979. Mangrove in Puerto Rico: A structural inventory. Final Report to the Office of Coastal Zone Management, Natural Resources, Area of Scientific Research, Government of Puerto Rico. 149 p.
- Menéndez L., F. J. 1976. Los manglares de la laguna de Sontecomapan, Los Tuxtlas, Veracruz; estudio florístico-ecológico. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 115 p.
- Mitsch, W. J. and J. Gosselink. 1986. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York. 539 p.
- Odum, E. W. 1995. Ecología. Editorial Interamericana. 14a. edición. México, D. F. 648 p.
- Pool, D. J., S. C. Snedaker and A. E. Lugo. 1977. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, Mexico and Costa Rica. *Biotropica* 9(3): 195-212.
- Rico-Gray, V. y A. Lot-Helgueras. 1983. Producción de hojarasca del manglar de la Laguna de La Mancha, Veracruz, México. *Biotropica* 8(3): 295-301.
- Thom, B. G. 1967. Mangrove ecology and deltaic geomorphology: Tabasco, Mexico. *Journal of Ecology* 55: 301-343.
- Tomlinson, P. B. 1986. The botany of mangroves. Cambridge University Press, United Kingdom. 99 p.
- Tovilla, C. 1998. Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoaapa, Guerrero, México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, División de Estudios de Postgrado, UNAM. México, D. F. 363 p.
- Valdez H., J. I. 1991. Estructura fisonómica del bosque de mangles de la laguna de Agua Brava, Nayarit. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, UACH. Chapingo, Edo. de México. 263 p.

- Valdez H., J. I. 1994. The vegetation of a mangrove forest in the Pacific coast of Mexico. Master of Science Thesis. Department of Forestry. Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 42 p.
- Vannucci, M. 1990. Traditional uses of mangroves. College of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa, Japan. 28 p.
- Vazquez Yánes, C. 1971. La vegetación de la laguna de Mandinga, Veracruz. *Arcales del Instituto de Biología, UNAM. Serie Botánica* (1): 49-94.
- Walker, J. and M. S. Hopkins. 1990. Vegetation. *In*: R. C. McDonald, R. F. Isbell, J. G. Speight, J. Walker and M. S. Hopkins (Eds). *Australia Soil and Land Survey: Field Handbook*. 2nd ed. Inkata Press. Melbourne, Australia. pp. 58-86.

NOTA TÉCNICA

PROPAGACIÓN *IN VITRO* DEL NIM (*Azadirachta indica* A. Juss.) MEDIANTE BROTES AXILARES

Amelia Capote Rodríguez¹ y Jesús Estrada Ortiz¹

RESUMEN

El árbol del nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) es actualmente una especie de importancia económica debido a sus usos tanto en el área forestal, como para la obtención de bioinsecticidas. La propagación del nim vía cultivo de tejidos ha sido reportada por numerosos autores y en la mayoría de los casos, los protocolos están basados en la organogénesis. En este estudio se seleccionaron las zonas apicales de posturas jóvenes de aproximadamente 10 cm de longitud, crecidas en condiciones de vivero. Los explantes utilizados fueron yemas apicales y segmentos nodales, se desinfectaron aplicando diferentes tratamientos de alcohol al 70% y cloro al 2.5%, y se enjuagaron con una solución de cisteína (50 mg/L) para evitar su oxidación. El material vegetal fue cultivado en medio basal MS, suplementado con 6- bencil amino purina (BAP) ó 6- furfural amino purina (KIN), en concentraciones de 2 y 3 mg/L, solo o en combinación con 0.1 mg/L de ácido naftalén acético (ANA). La respuesta de los explantes fue mejor en los medios suplementados con BAP (3 mg/L), en comparación con los que tenían KIN. En subsecuentes cultivos se obtuvo una tasa de multiplicación de 3.2 nudos/brote, aunque el enraizamiento de los brotes fue obtenido en el medio MS sin hormonas. Las plantas enraizadas fueron transferidas a condiciones *ex vitro* para su aclimatización y mostraron las mismas características que la planta madre.

Palabras clave: *Azadirachta indica*, brotes axilares, nim, propagación *in vitro*, reguladores del crecimiento, segmentos nodales.

Fecha de recepción: 16 de octubre de 2001.

Fecha de aceptación: 28 de junio de 2004.

¹ Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT). Correo-e: acapote@inifat.co.cu

ABSTRACT

The neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss.) is an important species because of its uses in both forestry and as bioinsecticide source. Propagation of neem via tissue culture has been investigated by several authors. The majority of these studies showed that culture protocols were based on organogenesis. In this study were used apical parts around 10 centimeters long, from juvenile plantlets grown in nursery conditions. The explants that were used in this research were axillary buds and nodal segments, which were washed with destiled water and desinfected with 70% alcohol and 2.5% chloride at different time intervals. After desinfection the explants were washed using a solution of cistein (50 mg/L) to avoid their oxidation, and placed on a MS basal medium, supplemented with 30 g/L sucrose and 6- benzylanimopurine (BAP) or 6- furfurilaminopurine (KIN), at two different concentrations (2 and 3 mg/L). These supplements were used alone or combined with naphthaleneacetic acid (NAA). The best result (3.2 node/shoot) was showed in the treatment where the medium was supplemented with 3 mg/L of BAP. However the culture medium for root development in shoot explants was MS medium without hormones. Rooted plants were transferred to *ex vitro* condition and after the acclimatization period, showed the same characteristic than mother plants.

Key words: *Azadirachta indica*, axillary shoot, neem, *in vitro* propagation, growth regulators, nodal segments.

INTRODUCCIÓN

El nim (*Azadirachta indica* A. Juss.), se ubica en la familia Meliaceae y tiene una gran importancia económica por sus propiedades medicinales y su uso como insecticida natural, atribuidas fundamentalmente a la presencia de azadirachtina, sustancia que repele a los insectos. De hecho, se han reportado diversos biopreparados a base de nim, los cuales son efectivos contra un amplio espectro de plagas (Mordue (Luntz) y Blackwell, 1993; Estrada *et al.*, 1998; Schmutterer, 1999).

En los últimos doce años el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT) de Cuba, ha coordinado e impulsado un programa nacional en este país para la explotación agroindustrial del nim, y se han plantado más de 500 000 árboles a fin de garantizar un desarrollo sostenido en la producción de los bioinsecticidas y contribuir a la mejora del medio ambiente.

Convencionalmente el nim es propagado por semillas, las cuales requieren una inmediata siembra posterior a su cosecha, ya que son recalcitrantes. Esto limita su distribución y almacenamiento a la vez que también presentan desventajas de heterogeneidad, como resultado de una polinización cruzada (Murthy *et al.*, 1998).

La aplicación de la propagación clonal podría ayudar incuestionablemente en la multiplicación de individuos elites, por lo que se han desarrollado diferentes técnicas de cultivo de tejidos con este fin, tales como la producción de brotes adventicios a partir de discos de hojas (Ramesh y Padhya, 1990; Biswas y Gupta, 1999), el cultivo de anteras (Gautham *et al.*, 1993), la proliferación de brotes a partir de explantes nodales (Yasseen, 1994; Nalini *et al.*, 1999) y más recientemente la embriogénesis somática (Su *et al.*, 1997; Martínez-Ruiz *et al.*, 1999).

El objetivo del trabajo fue iniciar los estudios encaminados a establecer una técnica eficiente que permita la obtención y multiplicación *in vitro* de plantas de nim a partir de la utilización de yemas apicales y segmentos nodales.

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la División de Genética perteneciente al INIFAT. Se seleccionaron las zonas apicales de posturas jóvenes, de aproximadamente 10 cm de longitud, crecidas en condiciones de vivero, las cuales fueron lavadas con detergente comercial y enjuagadas con agua corriente varias veces.

Para la desinfección de las mismas se estudiaron cuatro tratamientos resultado de la combinación de alcohol al 70% durante uno y cinco minutos y posteriormente, una solución de cloro comercial (50 g/L de cloro activo) al 2.5% durante 15 y 20 minutos, para finalmente enjuagar con agua destilada estéril tres veces (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tiempo de permanencia (minutos) de los explantes en las sustancias utilizadas para su desinfección.

Tratamiento	Alcohol al 70%	Cloro al 2.5%
1	1	15
2	1	20
3	5	15
4	5	20

Una vez concluida la fase de desinfección, el material vegetal fue enjuagado con una solución de cisteína (50 mg/L) para evitar su oxidación y en condiciones asépticas fueron seleccionadas las yemas apicales y los segmentos nodales, para ser utilizados como explantes. Dicho material vegetal se cultivó en un medio

basal MS (Murashige y Skoog, 1962), suplementado con alguno de los siguientes compuestos: 6- bencil amino purina (BAP) ó 6- furfural amino purina (KIN), en concentraciones de 2 ó 3 mg/L. Un tratamiento adicional consistió en la aplicación de 0.1 mg/L de ácido naftalén acético (ANA) como auxina (Cuadro 2).

En todos los casos el pH de los medios fue ajustado a 5.7 antes de añadir el agar (7 g/L) y esterilizados en autoclave a 121°C y 1.2 atm de presión durante 20 min.

Los cultivos fueron mantenidos durante 45 días a una temperatura de 25 ± 2°C y un fotoperíodo de 14 horas luz. Cada tratamiento (medio de cultivo) estuvo representado por 20 repeticiones y se determinó al final del cultivo el porcentaje de contaminación, el porcentaje de explantes que produjeron brotes y el número de segmentos nodales por brote en sucesivos subcultivos.

Los resultados fueron evaluados por medio de un análisis de varianza de clasificación simple y las diferencias significativas determinadas mediante la prueba de Newman-Keuls al 5%, utilizando el paquete estadístico STATITCF versión 4.0.

Cuadro 2. Reguladores del crecimiento adicionados en el medio de cultivo.

Tratamiento	Auxina (mg/L)	Citoquinina (mg/L)
1	---	BAP (2)
2	ANA (0.1)	BAP (2)
3	---	BAP (3)
4	ANA (0.1)	BAP (3)
5	---	KIN (2)
6	ANA (0.1)	KIN (2)
7	---	KIN (3)
8	ANA (0.1)	KIN (3)

ANA = Ácido naftalén acético, BAP = Bencil amino purina, KIN = Furfural amino purina.

En todo proceso de propagación *in vitro* es imprescindible como etapa inicial, obtener los máximos porcentajes de desinfección de los explantes que son

utilizados. En este estudio se obtuvo un promedio de 96.8% de cultivos libres de microorganismos, como resultado de la efectividad del tratamiento de desinfección realizado. La mejor respuesta se registró en el tratamiento III (Alcohol 70% -1 min y cloro 2.5% -15 min), para ambos tipos de explantes estudiados (Cuadro 3). Este resultado es sumamente importante, si se tiene en cuenta que el grado de contaminación microbiana superficial en los materiales crecidos en campo, es mucho mayor que el que se encuentra cuando se trabaja con plantas provenientes de laboratorio o invernaderos con crecimiento controlado (George, 1993). Los explantes obtenidos de plantas crecidas en campo suelen ser difíciles o imposibles de desinfectar, debido a la presencia de microorganismos endófitos y epifíticos (Leifert *et al.*, 1994), los cuales pueden causar severas pérdidas de las plantas micropropagadas en diferentes etapas de su crecimiento.

Cuadro 3. Porcentaje de cultivos libres de microorganismos al utilizar diferentes tratamientos para la desinfección de los explantes.

Tratamiento	Explantes	
	Yemas apicales	Segmentos nodales
I. Alcohol 70% (1 min) y cloro 2.5% (15 min)	63% c	25% c
II. Alcohol 70% (1 min) y cloro 2.5% (20 min)	87% b	71.4% b
III. Alcohol 70% (5 min) y cloro 2.5% (15 min)	99% a	95 % a
IV. Alcohol 70% (5 min) y cloro 2.5% (20 min)	48% d	35% c

Los valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes en un nivel de $\alpha = 0.05$.

Martínez-Ruiz *et al.* (1999) plantean que el uso del hipoclorito de sodio para la desinfección del material vegetal, permite la obtención de buenos resultados (90% de material sin contaminación), pero a una concentración mayor (15%) y durante un tiempo menor (10 min) con relación al tratamiento empleado en este estudio.

El uso de la solución de cisteína evitó la oxidación de los explantes, aspecto de suma importancia en cultivos de plantas leñosas, debido a su tendencia a

segregar fenoles lo cual provoca la oxidación y pérdida de los cultivos. La utilización de sustancias como antioxidantes se ha planteado con anterioridad, como es el caso de polivinil pirrolidona (PVP), el cual fue necesario para evitar el ennegrecimiento de los cultivos de anteras de nim, debido a la acumulación de compuestos fenólicos (Gautham *et al.*, 1993); así como el empleo de una solución antioxidante (ácido ascórbico 100 mg/L y ácido cítrico 150 mg/L) para los ápices y segmentos del tallo (Martínez-Ruiz *et al.*, 1999).

La respuesta de los explantes a los reguladores del crecimiento adicionados a los medios de cultivo y su combinación, fue notoriamente distinta. En la Figura 1 se observa que la respuesta de éstos fue mayor en los medios suplementados con BAP que aquellos en los que se utilizó KIN; no obstante, en ambos explantes se obtuvo la formación de abundantes callos de color pardo oscuro y compactos. El mayor porcentaje de respuesta fue obtenido en el medio al que se añadió 3 mg/L de BAP para ambos explantes (76% en segmentos nodales y 86% en yemas apicales), no siendo imprescindible la presencia de las auxinas en los medios de cultivo para inducir el desarrollo de los brotes.

Los resultados después de cinco subcultivos indican que la tasa de multiplicación osciló en un promedio de 3.2 nudos/brote (Figura 2) y bajo estas condiciones se induce siempre la formación de callos en la base del explante, los cuales deben eliminarse al realizar cada subcultivo (Figura 3).

Está reportado que el uso del BAP en concentraciones que fluctúan desde 0.1 hasta 3.0 mg/L, permiten obtener entre 2.2 y 2.9 nudos/brote; sin embargo, no se han encontrado diferencias significativas entre estas concentraciones; asimismo, con el empleo del 2iP a iguales concentraciones, la tasa de multiplicación se presenta entre 2.3 y 3.2 nudos/brote (Martínez-Ruiz *et al.*, 1999).

La utilización de BAP es muy frecuente en el cultivo de tejidos de nim con el fin de inducir el desarrollo de brotes a partir de diferentes explantes (Niskanen *et al.*, 1999; Biswas y Gupta, 1999) y la regeneración de plantas vía embriogénesis somática (Su *et al.*, 1997; Murthy y Saxena, 1998), lo cual demuestra la efectividad de esta citoquinina en la morfogénesis *in vitro* de esta especie.

Los brotes regenerados, previa eliminación del callo formado en la base, fueron transferidos a medio de enraizamiento (MS sin suplemento hormonal), donde desarrollaron un óptimo sistema radical, pasando a la fase *ex vitro* para su adaptación a las condiciones ambientales naturales, donde se observó un alto porcentaje de supervivencia (87.5%), manteniendo las plantas en vivero las características fenotípicas de sus progenitores.

La micropropagación del nim mediante la inducción y proliferación de brotes axilares ha sido reportada con anterioridad por diversos autores (Yasseen, 1994; Joshi y Thengane, 1996; Nalini *et al.*, 1999) y se ha demostrado mediante estudios

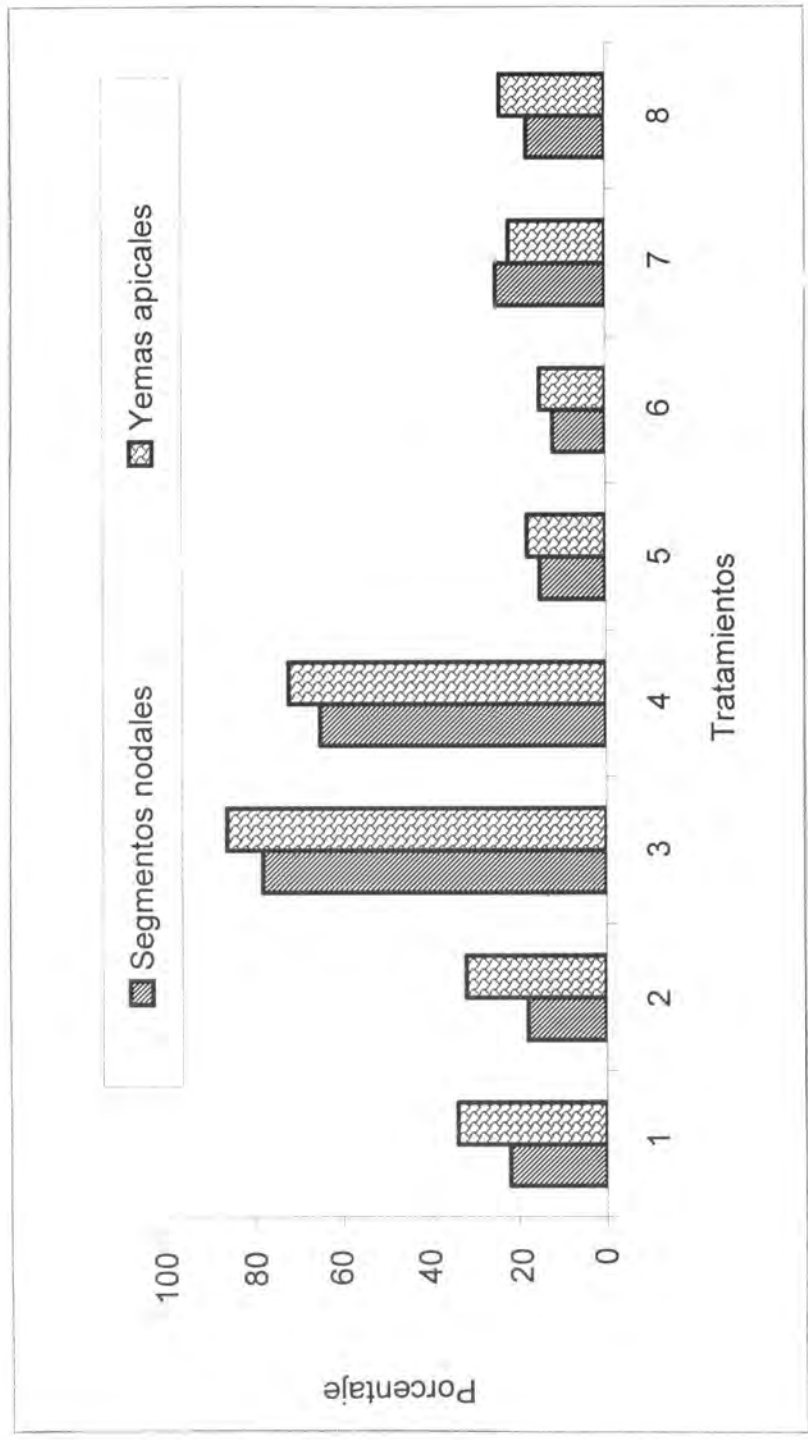
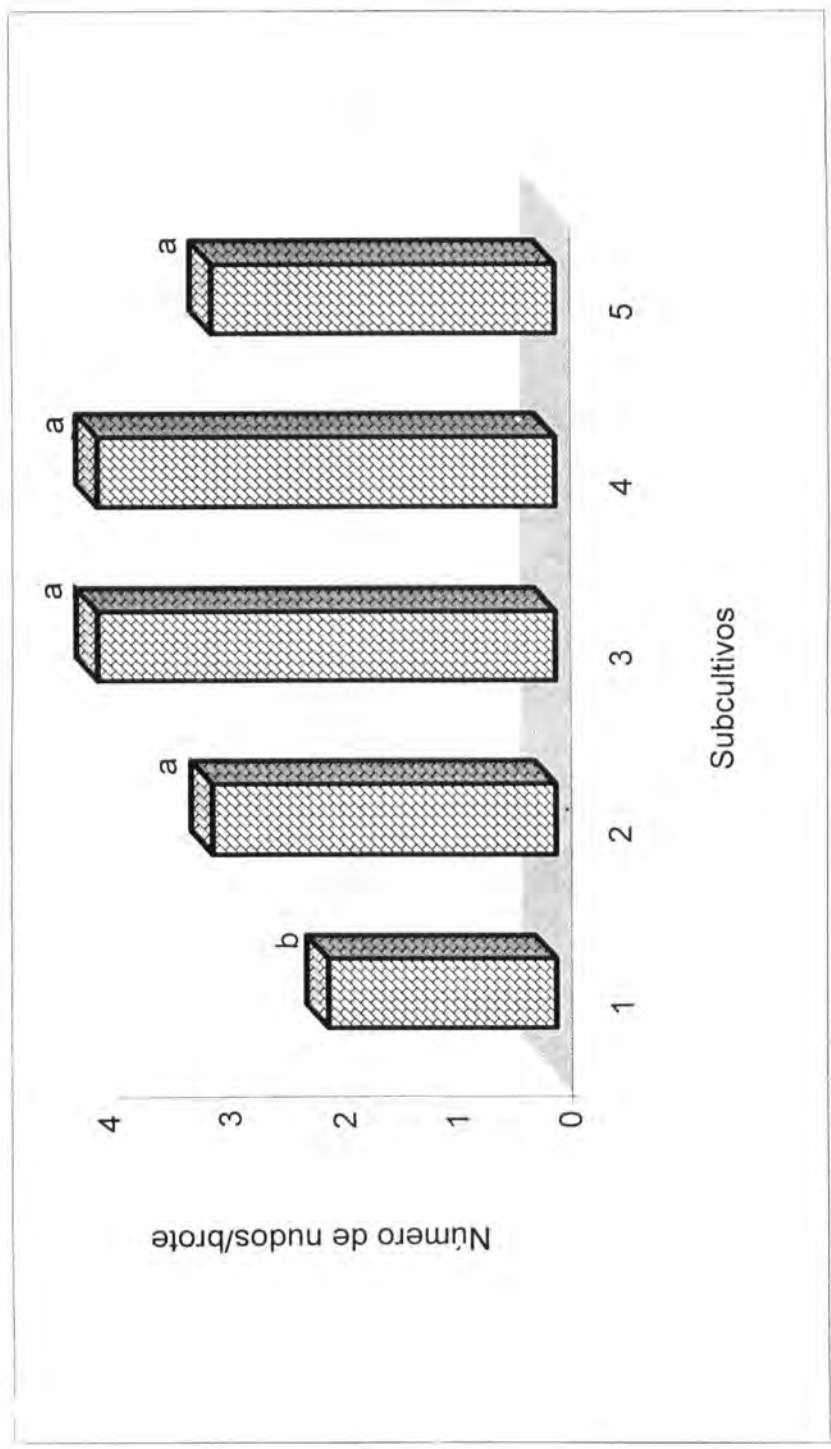


Figura 1. Porcentaje de explantes que desarrollaron brotes a los 30 días en cada medio de cultivo estudiado.



Los valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes en un nivel de $\alpha = 0.05$.

Figura 2. Resultados obtenidos en sucesivos subcultivos de los explantes en el medio MS suplementado con 3 mg/L de BAP.

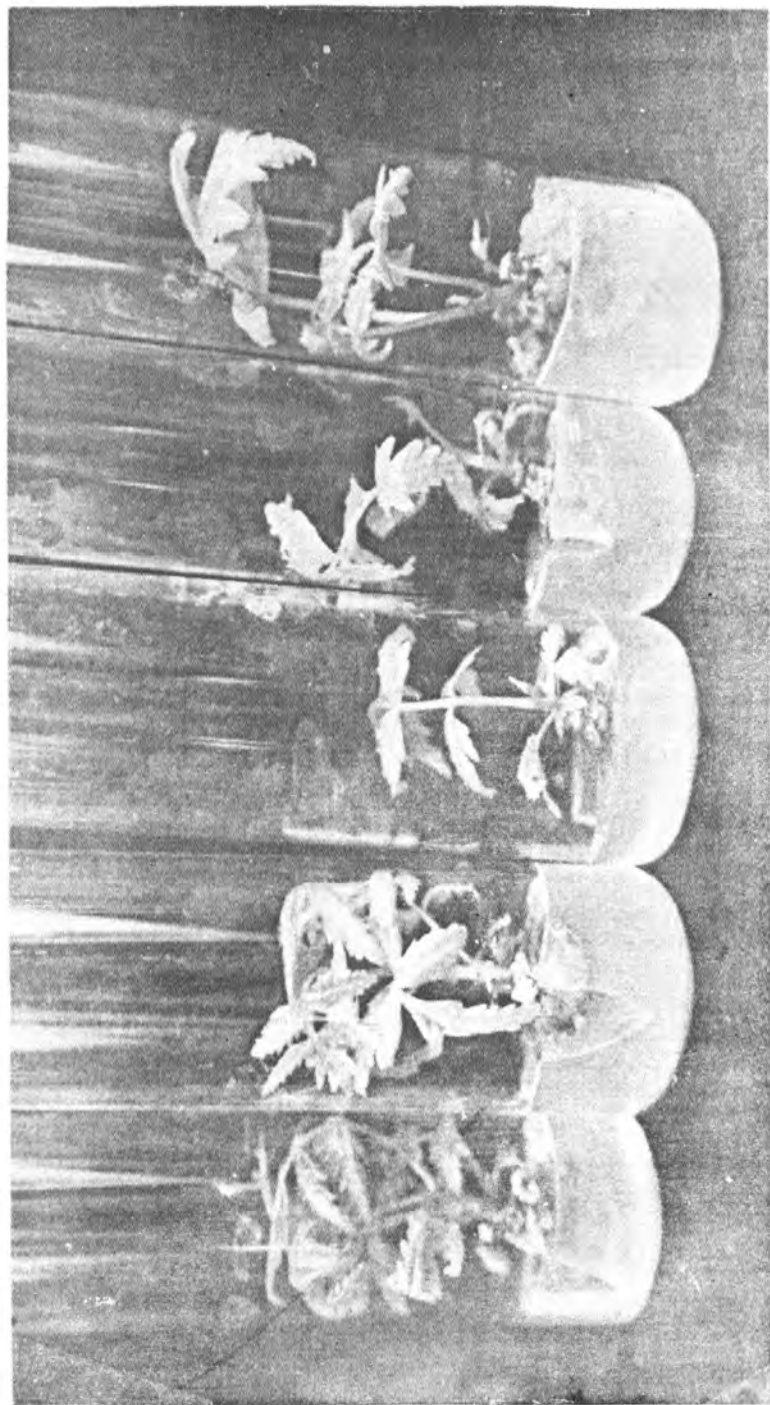


Figura 3. Brotes obtenidos al cultivar segmentos nodales de plántulas de nim sobre medio MS con la adición de 3mg/L de BAP.

moleculares en los que se ha utilizado la técnica de RAPD, que la progenie obtenida conserva las características genotípicas de las plantas madre, así como un contenido de azaridachtina similar (Venkateshwarlu, 1999).

Estos resultados indican la posibilidad del empleo de estas técnicas en la micropropagación de esta especie en el INIFAT, las que serán de gran utilidad en posteriores programas de siembra generalizadas de nim en Cuba y otros países con condiciones agroclimáticas semejantes.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un elevado porcentaje de explantes libre de contaminaciones (96.8%), de acuerdo a la metodología de desinfección empleada.

Es posible la obtención de brotes del nim a partir de yemas apicales y segmentos nodales de plantas juveniles utilizando el medio MS con la adición de 3 mg/L de 6 bencil amino purina (BAP).

La tasa de multiplicación que se obtiene es de 3.2 segmentos nodales/brote, lo que permite la realización de sucesivos subcultivos y la multiplicación *in vitro* de esta especie.

El porcentaje de supervivencia de las plantas obtenidas bajo cultivo *in vitro* fue alto (87.5%) cuando crecieron en condiciones ambientales naturales.

REFERENCIAS

- Biswas, B. K. and S. C. Gupta. 1999. Clonal propagation of a neem with high azadirachtin content in seed kernels. *In: NEEM'99. Abstracts World Neem Conference, 19-21 May, University of British Columbia, Vancouver, Canada.* pp. C. 3-3.
- Estrada, J., M. T. López y P. Barrios. 1998. El Nim y sus bioinsecticidas. Una alternativa agroecológica. INIFAT, Ministerio de la Agricultura, Cuba. pp. 3-24.
- Gautham, V. K., K. Nanda and S. C. Gupta. 1993. Development of shoots and roots in anther-derived callus of *Azadirachta indica* A. Juss – a medicinal tree. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 34:13-18.
- George, E. F. 1993. Plant propagation by tissue culture. Part 1. The technology. Exegetics Ltd., 574 p.
- Joshi, M. S. and S. R. Thengane. 1996. *In vitro* propagation of *Azadirachta indica* A. Juss (neem) by shoot proliferation. *Ind. J. Exp. Biol.* 34:480-485.
- Leifert, C., C. E. Morris and W. M. Waites. 1994. Ecology of microbial saprophytes and pathogens in tissue culture and field-growth plants: Reasons for contamination problems *in vitro*. *Critical Reviews in Plant Science* 13:139-183.

- Martínez-Ruiz, R., J. L. Rodríguez, J. J. Vargas-Hernández y B. Bermejo-Velázquez. 1999. Organogénesis y embriogénesis somática *in vitro* en NIM, *Azadirachta indica* A. Juss. (Un árbol de uso múltiple). Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 5(2):155-166.
- Mordue (Luntz), A. J. and A. Blackwell. 1993. Azadirachtina: an update. J. Insect Physiol. 39:903-924.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15:473-497.
- Murthy, B. N. S. and P. K. Saxena. 1998. Somatic embryogenesis and plant regeneration of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.). Plant Cell Rep. 17:469-475.
- Nalini, K., S. Lakshmisubramanian, C. Muthuraman, R. Sakthivel and P. M. Murali. 1999. Multiple shoot regeneration from nodal segments of *Azadirachta indica* (A. Juss). In: NEEM'99. Abstracts World Neem Conference, 19-21 May, University of British Columbia, Vancouver, Canada. pp. C. 5-6.
- Niskanen, A. M., S. K. Kundu and P. M. A. Tigerstedt. 1999. *In vitro* propagation of the neem tree (*Azadirachta indica*). In: NEEM'99. Abstracts World Neem Conference, 19-21 May, University of British Columbia, Vancouver, Canada. pp. P-9.
- Ramesh, K. and M. A. Padhya. 1990. *In vitro* propagation of neem, *Azadirachta indica* (A. Juss), from leaf discs. Ind. J. Exp. Biol. 28:932-935.
- Schmutterer, H. 1999. Neem and chinaberry research during the 20th century. In NEEM'99. Abstracts World Neem Conference, 19-21 May, University of British Columbia, Vancouver, Canada. pp. S. 1-1.
- Su, W., W-I. Hwang, S. Y. Kim and Y. Sagawa. 1997. Induction of somatic embryogenesis in *Azadirachta indica*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 50:91-95.
- Yasseen, Y. M. 1994. Shoot proliferation and plant formation from neem with thidiazuron. Hortscience 29:515.
- Venkateshwarlu, B. 1999. Micropropagation of plus neem tree and evaluation of the tissue-cultured progeny for azadirachtin content. In: NEEM'99. Abstracts World Neem Conference, 19-21 May, University of British Columbia, Vancouver, Canada. pp. C. 3-4.