

# Variabilidad de la madera de *Swietenia macrophylla* King proveniente de plantaciones de 10 años de edad (Caparo, estado Barinas, Venezuela)

*Wood variability in Swietenia macrophylla King from 10 years*

*Caparo plantations, Barinas, Venezuela*

WILLIAMS J. LEÓN H.

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,  
Laboratorio de Anatomía de Maderas, Mérida, Venezuela,  
E-mail: wleon@ula.ve

Recibido: 15-04-10 / Aceptado: 28-10-10

## Resumen

Los estudios de variabilidad de la madera son de gran importancia para conocer mejor su comportamiento y garantizar un adecuado aprovechamiento de la misma. La especie *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae) está considerada como una de las maderas tropicales de mayor importancia desde el punto de vista comercial y es muy poco lo que se conoce acerca de cómo varían sus características anatómicas en sentido radial y longitudinal. A pesar de ser una especie que en la actualidad se encuentra bajo la figura de protección en muchos países, es necesario conocer la variabilidad de la misma, especialmente en material procedente de plantaciones. El objetivo del presente trabajo es determinar el patrón de variación de algunas características anatómicas (diámetro de poros, longitud de elementos de los vasos, diámetro de punteaduras, longitud de fibras, frecuencia, ancho y altura de radios) a través de la sección transversal y en dos niveles de altura en individuos de *Swietenia macrophylla* King procedentes de plantaciones de 10 años de edad establecidas en la Reserva Forestal Caparo (Estado Barinas, Venezuela). En sentido radial se encontraron patrones definidos de variación en el diámetro de poros, longitud de fibras, frecuencia, ancho y altura de radios. En sentido longitudinal, los caracteres que manifestaron un comportamiento definido de variación fueron diámetro de poros, longitud de elementos de los vasos, ancho y altura de radios. En todos los individuos estudiados y en cada nivel de altura se encontró madera adulta.

**Palabras clave:** variabilidad transversal, variabilidad longitudinal, anatomía de la madera, madera juvenil, madera adulta.

## Abstract

*Swietenia macrophylla* King (Meliaceae) is considered one of the most important tropical woods from a commercial point of view and its knowledge of anatomical wood variability in radial and axial direction is very scarce. In many countries, this species is protected and its exploitation was forbidden, however is necessary to know some aspects about its wood variability, specially in plantations material. The aim of the present research is to study the variation pattern of some wood anatomical features (pores diameter, vessels elements length, pits diameter, fibres length, rays frequency, width and height) in radial direction and two levels height in trees of *Swietenia macrophylla* King from ten years old plantations in Caparo Forest Reserve (Barinas, Venezuela). In radial direction were found definite patterns of variation in pore diameter, fibre length, rays frequency, width and height. In axial direction, features with a well definite variation were pores diameter, vessel elements length, rays width and height. Adult wood was present in all trees and each level height studied.

**Key words:** radial variation, axial variation, wood anatomy, juvenile wood, mature wood.

## 1. Introducción

La madera de *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae), conocida con el nombre vulgar de caoba, es una de las de mayor valor comercial dentro de los bosques de América tropical. Cárdenas y Salinas (2007), la señalan como la madera de mayor valor

comercial y con mayor intensidad de explotación en el trópico americano. Su área de distribución abarca desde el norte de Puebla y Veracruz, en México, Centroamérica, Panamá, Colombia, Venezuela, Perú y Ecuador hasta Brasil y Bolivia (Betancourt, 2000). En Venezuela ha sido reportada en los estados Barinas, Cojedes, Mérida, Portuguesa y Zulia;

creciendo en selvas de galería y bosques tropófilos en suelos bien drenados, entre 20 y 500 msnm (Llamozas *et al.*, 2003). Su madera se utiliza para ebanistería de lujo, carpintería fina, decorado interior, objetos torneados, esculturas, tallas, chapas y contraenchapados, instrumentos musicales, instrumentos científicos de precisión (Betancourt, 2000). En Venezuela fue una de las especies de mayor importancia comercial en las décadas de los años 50 y 60; sin embargo, su inadecuado aprovechamiento trajo como consecuencia una disminución considerable de la misma. Llamozas *et al.* (2003), la incluyen como una especie en peligro crítico y señalan que la principal amenaza que enfrenta se relaciona con la explotación de su madera y la destrucción del hábitat para el desarrollo de actividades urbanísticas y agropecuarias. La situación en la que se encuentra la especie llevó a la necesidad de dictar una medida de protección mediante la resolución emanada por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables bajo el N° 100 del 18/09/2001 (G.D. 37.287) donde se limitaba la explotación de cinco especies forestales, entre las cuales se incluía *S. macrophylla*. Posteriormente, la resolución ministerial N° 217 del 23/05/2006 establece la veda total e indefinida de las especies *S. macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Anacardium excelsum*, *Cordia thaisiana*, *Tabebuia serratifolia* y *Pachira quinata* tanto en terrenos de dominio público como en terrenos privados. Es importante señalar que la situación de conservación de la especie no se remite sólo a Venezuela y en países como Colombia, Cárdenas y Salinas (2007) la incluyen como una especie en peligro crítico. Sin embargo, a pesar de la existencia de veda en el aprovechamiento de esta especie, se siguen realizando estudios relacionadas con aspectos de propiedades y utilización de la madera siendo uno de los más recientes el presentado por Arévalo y Hernández (2008), sobre la influencia de los extractivos y la estructura anatómica de la madera sobre sus propiedades mecánicas. A esto se unen estudios realizados previamente sobre anatomía xilemática (Kribs, 1968; Vales y Carreras, 1986; Mainieri y Peres, 1989; Nardi y Edlmann, 1992; León y Espinoza de P., 2001), propiedades físico-mecánicas (Wangaard *et al.*, 1954; Corpoandes, 1970; Chudnoff, 1984) y relación entre anatomía y tecnología de la madera (León, 2004; Bárcenas-Pazo *et al.*, 2005; Arévalo y Hernández, 2008). Un aspecto de gran importancia en el com-

portamiento de la madera es el relacionado con la variabilidad de sus características anatómicas y el efecto que ésta puede tener sobre propiedades físico-mecánicas, procesamiento y utilización. A nivel de la familia Meliaceae son pocos los estudios que se han realizado sobre este tema y se tiene información para especies como *Carapa guianensis* (Bauch y Dünisch, 2000; Toro *et al.*, 2008). En el caso de *S. macrophylla*, la única información disponible es la presentada por Rulliaty y America (1995) quienes estudiaron el patrón de variación radial y axial de algunas características anatómicas (diámetro y frecuencia de poros, longitud de elementos vasculares, grosor de paredes y longitud de fibras) en plantaciones de 12, 21 y 30 años establecidas en Indonesia. Tomando en consideración la importancia de *S. macrophylla* como especie forestal y los pocos estudios de variabilidad que se han realizado en la misma, el objetivo del presente trabajo es determinar cómo varían algunas características anatómicas a través de la sección transversal y a dos niveles de altura en árboles provenientes de una plantación de diez años de edad establecida en la Reserva Forestal Caparo (Barinas, Venezuela).

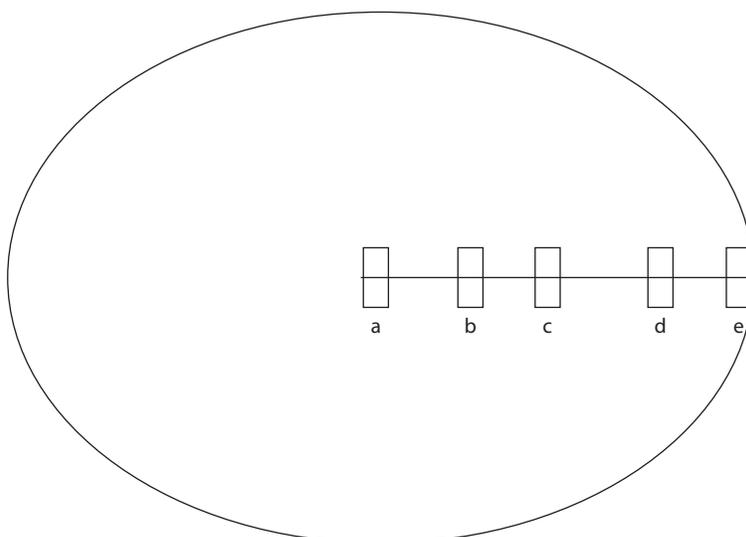
## 2. Materiales y métodos

El material de estudio corresponde a secciones transversales de cuatro árboles de *S. macrophylla* King (Meliaceae) procedentes de plantaciones establecidas en la Reserva Forestal Caparo (Barinas, Venezuela) en 1992 y las cuales fueron extraídas en el año 2002 (10 años de edad). Por cada individuo se tomaron dos secciones transversales: una a nivel de la base del árbol y otra a 1,30 m de altura. En cada sección transversal se tomaron cinco (5) puntos de medición siguiendo el esquema propuesto por León y Espinoza de P. (1998): adyacencias de médula,  $\frac{1}{4}$  del radio,  $\frac{1}{2}$  del radio,  $\frac{3}{4}$  del radio y adyacencias de la zona cambial (Cuadro 1, Figura 1). En cada muestra se determinaron las siguientes características: diámetro de vasos, diámetro de punteaduras intervasculares, frecuencia de vasos, proporción de vasos con goma, longitud de elementos de los vasos, longitud de fibras, altura y ancho de radios. El número de mediciones realizadas para cada característica es el indicado por IAWA Committee (1989). Se realizó un análisis de varianza y se aplicó la prueba de Tukey (diferencia de me-

**Cuadro 1.** Características y ubicación de muestras en el material de estudio.

Ubicación de muestras. Distancia desde médula (cm)						
Muestra	Radio mayor (cm)	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>
X6588-A*	14,7	0	3,67	7,34	11,02	14,7
X6588-B**	12,5	0	3,125	6,25	9,375	12,5
X6589-A*	14,0	0	3,5	7,0	10,5	14,0
X6589-B**	11,5	0	2,875	5,75	8,625	11,5
X6590-A*	8,4	0	2,1	4,2	6,3	8,4
X6590-B**	8,0	0	2,0	4,0	6,0	8,0
X6591-A*	10,5	0	2,625	5,25	7,875	10,5
X6591-B**	10,0	0	2,5	5,0	7,5	10,0

\*Muestra ubicada en la base del árbol. \*\*Muestra a 1,3 m de altura sobre el nivel del suelo.



**Figura 1.** Esquema para la extracción de muestras en cada nivel de altura estudiado: (a) adyacencias de médula, (b) ¼ del radio, (c) ½ del radio, (d) ¾ del radio, (e) adyacencias de zona cambial (León y Espinoza de P., 1998).

días) con  $\alpha = 0,05$  para determinar la existencia de diferencias significativas de las variables estudiadas de acuerdo a su posición en la sección transversal. Para el estudio de variabilidad en sentido longitudinal, se establecieron comparaciones entre los dos niveles de altura estudiados (base y 1,30 m) agrupando las mediciones tomadas en los cinco puntos mencionados para cada sección transversal y se realizó el respectivo análisis de varianza ( $\alpha = 0,05$ ). Los resultados fueron comparados con los obtenidos en otras latifoliadas tropicales realizados en años recientes (Wilkens, 1988; Bhat *et al.*, 1989; Butterfield *et al.*, 1993; Rulliaty y America,

1995; León y Espinoza de P., 1998, 1999; Urbinati *et al.*, 2003, Bhat *et al.*, 2001; Giménez y López, 2002; León y Quintero, 2007; Toro *et al.*, 2008).

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Variabilidad en sentido transversal

En los cuadros 2, 3 y 4 se presentan los resultados de las mediciones realizadas en los cinco puntos de muestreo a través de cada sección transversal analizada y la correspondiente prueba de diferencia de medias.

**Cuadro 2.** Diámetro de poros, longitud de elementos de los vasos y diámetro de punteaduras por sección en cada nivel de altura (valor mínimo, promedio, desviación, valor máximo, coeficiente de variación). Resultados de la prueba de diferencia de medias.

Diámetro de poros ( $\mu\text{m}$ )					
Muestra	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
X6588-A	(55) 70 <sup>a</sup> ± 10,20 (90), CV = 14,49 %	(75) 103 <sup>b</sup> ± 17,42 (140), CV = 16,85 %	(85) 105 <sup>b</sup> ± 12,15 (125), CV = 11,53 %	(90) 112 <sup>b</sup> ± 12,26 (140), CV = 10,95 %	(70) 112 <sup>b</sup> ± 17,38 (145), CV = 15,49 %
X6588-B	(50) 79 <sup>a</sup> ± 12,83 (115), CV = 16,24 %	(90) 122 <sup>b,c</sup> ± 16,44 (150), CV = 13,52 %	(105) 134 <sup>d</sup> ± 16,65 (160), CV = 12,42 %	(100) 132 <sup>c,d</sup> ± 14,72 (155), CV = 11,15 %	(95) 120 <sup>b</sup> ± 14,93 (150), CV = 12,44 %
X6589-A	(55) 73 <sup>a</sup> ± 10,81 (95), CV = 14,89 %	(70) 95 <sup>b,c</sup> ± 9,12 (110), CV = 9,64 %	(80) 99 <sup>b,c</sup> ± 10,99 (120), CV = 11,10 %	(70) 93 <sup>b</sup> ± 11,26 (110), CV = 12,08 %	(80) 103 <sup>c</sup> ± 16,58 (145), CV = 16,06 %
X6589-B	(65) 85 <sup>a</sup> ± 11,45 (110), CV = 13,53 %	(80) 103 <sup>b</sup> ± 10,91 (120), CV = 10,63 %	(75) 102 <sup>b</sup> ± 13,06 (130), CV = 12,83 %	(80) 103 <sup>b</sup> ± 14,86 (125), CV = 17,47 %	(80) 109 <sup>b</sup> ± 11,52 (130), CV = 16,05 %
X6590-A	(40) 63 <sup>a</sup> ± 10,32 (80), CV = 16,38 %	(45) 63 <sup>a</sup> ± 11,54 (85), CV = 18,32 %	(60) 79 <sup>b</sup> ± 10,68 (100), CV = 13,52 %	(60) 86 <sup>b,c</sup> ± 14,90 (125), CV = 17,33 %	(70) 95 <sup>c</sup> ± 12,87 (115), CV = 13,55 %
X6590-B	(50) 71 <sup>a</sup> ± 11,73 (100), CV = 16,52 %	(70) 93 <sup>b,c</sup> ± 13,32 (130), CV = 14,32 %	(70) 90 <sup>b</sup> ± 12,99 (130), CV = 14,43 %	(80) 101 <sup>c</sup> ± 13,39 (125), CV = 13,26 %	(90) 112 <sup>d</sup> ± 14,14 (145), CV = 12,62 %
X6591-A	(40) 59 <sup>a</sup> ± 9,01 (80), CV = 15,28 %	(55) 70 <sup>b</sup> ± 10 (90), CV = 14,29 %	(65) 77 <sup>b</sup> ± 9,14 (100), CV = 19,26 %	(70) 100 <sup>c</sup> ± 17,94 (140), CV = 17,90 %	(75) 97 <sup>c</sup> ± 11,58 (120), CV = 11,87 %
X6591-B	(60) 77 <sup>a</sup> ± 7,46 (90), CV = 9,74 %	(80) 101 <sup>b</sup> ± 11,02 (120), CV = 10,89 %	(70) 95 <sup>b</sup> ± 10,79 (115), CV = 11,41 %	(90) 115 <sup>c</sup> ± 13,88 (140), CV = 12,05 %	(90) 117 <sup>c</sup> ± 19,95 (160), CV = 17,00 %
Longitud de elementos de los vasos ( $\mu\text{m}$ )					
Muestra	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
X6588-A	(180) 269 <sup>a</sup> ± 57,06 (360), CV = 21,21 %	(220) 312 <sup>a</sup> ± 51,37 (425), CV = 16,48 %	(190) 298 <sup>a</sup> ± 58,56 (400), CV = 19,65 %	(225) 302 <sup>a</sup> ± 52,76 (390), CV = 17,47 %	(145) 296 <sup>a</sup> ± 67,84 (420), CV = 22,90 %
X6588-B	(155) 270 <sup>a</sup> ± 57,77 (365), CV = 21,43 %	(215) 325 <sup>b</sup> ± 58,5 (425), CV = 18,01 %	(180) 329 <sup>b</sup> ± 69,87 (450), CV = 21,25 %	(260) 323 <sup>b</sup> ± 49,36 (415), CV = 15,26 %	(275) 359 <sup>b</sup> ± 48,65 (475), CV = 13,55 %
X6589-A	(165) 276 <sup>a,b</sup> ± 59,06 (390), CV = 21,43 %	(200) 293 <sup>a,b</sup> ± 49,50 (380), CV = 16,91 %	(180) 259 <sup>a</sup> ± 40,73 (335), CV = 22,14 %	(175) 310 <sup>b</sup> ± 59,05 (450), CV = 17,47 %	(230) 303 <sup>b</sup> ± 51,86 (400), CV = 16,05 %
X6589-B	(190) 309 <sup>a</sup> ± 52,20 (410), CV = 16,89 %	(225) 329 <sup>a</sup> ± 58,02 (470), CV = 17,64 %	(180) 311 <sup>a</sup> ± 68,91 (415), CV = 15,72 %	(220) 313 <sup>a</sup> ± 54,68 (410), CV = 19,03 %	(220) 313 <sup>a</sup> ± 50,17 (430), CV = 17,14 %
X6590-A	(160) 270 <sup>a</sup> ± 61,47 (380), CV = 22,77 %	(190) 274 <sup>a</sup> ± 52,60 (390), CV = 19,20 %	(150) 273 <sup>a</sup> ± 59,80 (380), CV = 21,90 %	(170) 263 <sup>a</sup> ± 52,12 (345), CV = 19,82 %	(125) 241 <sup>a</sup> ± 43,84 (315), CV = 18,19 %
X6590-B	(200) 301 <sup>a</sup> ± 63,29 (430), CV = 16,52 %	(200) 289 <sup>a</sup> ± 47,36 (400), CV = 14,38 %	(235) 333 <sup>a</sup> ± 60,75 (435), CV = 14,43 %	(170) 304 <sup>a</sup> ± 61,99 (400), CV = 13,25 %	(200) 309 <sup>a</sup> ± 51,61 (400), CV = 12,63 %
X6591-A	(200) 272 <sup>a</sup> ± 49,24 (360), CV = 18,12 %	(140) 255 <sup>a</sup> ± 63,48 (410), CV = 24,89 %	(180) 279 <sup>a</sup> ± 53,82 (380), CV = 19,26 %	(130) 268 <sup>a</sup> ± 62,47 (420), CV = 23,31 %	(165) 269 <sup>a</sup> ± 61,83 (400), CV = 22,95 %
X6591-B	(135) 228 <sup>a</sup> ± 53,14 (330), CV = 23,27 %	(210) 296 <sup>b</sup> ± 66,76 (425), CV = 22,58 %	(150) 277 <sup>b</sup> ± 72,60 (400), CV = 26,25 %	(220) 303 <sup>b</sup> ± 43,46 (410), CV = 14,33 %	(150) 260 <sup>a,b</sup> ± 56,75 (355), CV = 21,81 %
Diámetro de punteaduras ( $\mu\text{m}$ )					
Muestra	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
X6588-A	(2,5) 2,625 <sup>b</sup> ± 0,39 (3,75), CV = 15,06 %	(2,5) 2,5 <sup>b</sup> ± 0,00 (2,5), CV = 0,00 %	(2,5) 2,75 <sup>b</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 19,17 %	(2,5) 3,5 <sup>a</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 15,06 %	(2,5) 3,625 <sup>a,b</sup> ± 0,71 (5,0), CV = 19,57 %
X6588-B	(2,5) 3,25 <sup>b</sup> ± 0,65 (3,75), CV = 19,86 %	(2,5) 3 <sup>b</sup> ± 0,65 (3,75), CV = 21,52 %	(2,5) 3 <sup>b</sup> ± 0,65 (3,75), CV = 21,52 %	(1,25) 2,25 <sup>a</sup> ± 0,53 (2,5), CV = 23,42 %	(2,5-) 2,63 <sup>a,b</sup> ± 0,39 (-3,75), CV = 15,06 %
X6589-A	(2,5) 3,125 <sup>a,b,c</sup> ± 0,66 (3,75), CV = 21,08 %	(2,5) 2,5 <sup>a</sup> ± 0,00 (2,5), CV = 0,00 %	(2,5) 3,37 <sup>b,c</sup> ± 0,6 (3,75), CV = 17,89 %	(2,5) 3 <sup>a,b</sup> ± 0,65 (3,75), CV = 21,52 %	(3,75) 3,75 <sup>c</sup> ± 0,00 (3,75), CV = 0,00 %
X6589-B	(2,5) 3,0 <sup>a</sup> ± 0,65 (3,75), CV = 21,52 %	(2,5) 2,625 <sup>a</sup> ± 0,39 (3,75), CV = 15,06 %	(2,5) 2,625 <sup>a</sup> ± 0,39 (3,75), CV = 15,06 %	(2,5) 2,625 <sup>a</sup> ± 0,39 (3,75), CV = 15,06 %	(2,5) 2,5 <sup>a</sup> ± 0,00 (2,5), CV = 0,00 %
X6590-A	(2,5) 3,25 <sup>a</sup> ± 0,65 (3,75), CV = 20 %	(2,5) 2,75 <sup>a</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 19,27 %	(2,5) 2,625 <sup>a</sup> ± 0,39 (3,75), CV = 14,86 %	(2,5) 3 <sup>a</sup> ± 0,65 (3,75), CV = 21,67 %	(2,5) 3,5 <sup>b</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 15,14 %
X6590-B	(2,5) 2,5 <sup>a</sup> ± 0,00 (2,5), CV = 0,00 %	(2,5) 3,5 <sup>c</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 15,06 %	(2,5) 2,75 <sup>a,b</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 19,17 %	(2,5) 3,125 <sup>b,c</sup> ± 0,66 (3,75), CV = 21,08 %	(2,5) 2,625 <sup>a,b</sup> ± 0,39 (3,75), CV = 15,06 %
X6591-A	(2,5) 3,375 <sup>a</sup> ± 0,84 (5), CV = 25 %	(2,5) 2,75 <sup>a</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 19,17 %	(2,5) 2,625 <sup>a</sup> ± 0,39 (3,75), CV = 15,06 %	(2,5) 3,125 <sup>a</sup> ± 0,66 (3,75), CV = 21,08 %	(2,5) 2,75 <sup>a</sup> ± 0,53 (3,75), CV = 19,17 %
X6591-B	(2,5) 3,125 <sup>a,b</sup> ± 0,66 (3,75), CV = 21,08 %	(2,5) 2,5 <sup>a</sup> ± 0,00 (2,5), CV = 0,00 %	(2,5) 3,0 <sup>a</sup> ± 0,64 (3,75), CV = 21,52 %	(2,5) 3,0 <sup>a</sup> ± 0,64 (3,75), CV = 21,52 %	(3,75) 3,75 <sup>b</sup> ± 0,00 (3,75), CV = 0,00 %

Letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Cuadro 3.** Frecuencia, ancho y altura de radios por sección en cada nivel de altura (valor mínimo, promedio, desviación, valor máximo, coeficiente de variación). Resultados de la prueba de diferencia de medias.

Frecuencia de radios (número de radios/mm)					
Muestra	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>
X6588-A	(5) 8,5 <sup>b</sup> ± 2,22 (13), CV = 26,16 %	(4) 5,6 <sup>a</sup> ± 0,84 (7), CV = 15,06 %	(4,5) 5,5 <sup>a</sup> ± 0,58 (6), CV = 10,50 %	(5) 5,85 <sup>a</sup> ± 0,58 (7), CV = 9,91 %	(4) 5,8 <sup>a</sup> ± 0,92 (7), CV = 15,84 %
X6588-B	(7) 8,6 <sup>b</sup> ± 1,58 (11), CV = 18,34 %	(5) 6,8 <sup>a</sup> ± 1,4 (9), CV = 20,56 %	(4) 5,6 <sup>a</sup> ± 0,84 (7), CV = 15,06 %	(5) 5,7 <sup>a</sup> ± 0,82 (7), CV = 14,44 %	(4) 6 <sup>a</sup> ± 1,33 (8), CV = 22,22 %
X6589-A	(5) 7 <sup>a</sup> ± 1,33 (10), CV = 19,05 %	(6) 6,8 <sup>a</sup> ± 0,63 (8), CV = 9,30 %	(5) 6,6 <sup>a</sup> ± 1,15 (9), CV = 17,42 %	(5) 6,1 <sup>a</sup> ± 0,99 (8), CV = 16,30 %	(4) 6,1 <sup>a</sup> ± 1,37 (9), CV = 22,46 %
X6589-B	(5) 6,8 <sup>a</sup> ± 1,23 (9), CV = 18,08 %	(6) 6,9 <sup>a</sup> ± 0,74 (8), CV = 10,69 %	(5) 6,5 <sup>a</sup> ± 1,18 (8), CV = 18,13 %	(5) 6,2 <sup>a</sup> ± 1,03 (8), CV = 16,67 %	(5) 6,65 <sup>a</sup> ± 0,94 (8), CV = 14,20 %
X6590-A	(5) 7,3 <sup>b</sup> ± 1,34 (9), CV = 18,36 %	(6) 6,9 <sup>ab</sup> ± 0,99 (9), CV = 14,35 %	(5) 6,5 <sup>ab</sup> ± 0,85 (8), CV = 13,08 %	(5) 6 <sup>a</sup> ± 0,82 (7), CV = 13,67 %	(5) 6,3 <sup>ab</sup> ± 0,82 (7), CV = 13,02 %
X6590-B	(5) 6,65 <sup>b</sup> ± 1,29 (9), CV = 19,43 %	(5) 6,5 <sup>ab</sup> ± 1,08 (9), CV = 16,62 %	(5) 6,2 <sup>ab</sup> ± 0,59 (7), CV = 9,47 %	(4) 6,0 <sup>ab</sup> ± 1,03 (8), CV = 17,12 %	(4) 5,3 <sup>a</sup> ± 0,67 (6), CV = 12,73 %
X6591-A	(8) 9,3 <sup>c</sup> ± 1,25 (11), CV = 13,46 %	(5) 6,0 <sup>a</sup> ± 1,05 (8), CV = 17,57 %	(6) 7,25 <sup>ab</sup> ± 0,72 (8), CV = 9,89 %	(6) 7,5 <sup>b</sup> ± 1,27 (10), CV = 16,92 %	(9) 9,5 <sup>c</sup> ± 0,71 (11), CV = 7,44 %
X6591-B	(7) 8,6 <sup>b</sup> ± 0,70 (9), CV = 8,13 %	(5) 6,5 <sup>a</sup> ± 0,85 (8), CV = 13,07 %	(6) 7,2 <sup>a</sup> ± 1,03 (9), CV = 14,34 %	(6) 6,85 <sup>a</sup> ± 0,82 (8), CV = 11,94 %	(5) 6,7 <sup>a</sup> ± 1,34 (9), CV = 19,96 %
Ancho de radios (µm)					
Muestra	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>
X6588-A	(25) 37,0 <sup>a</sup> ± 6,45 (45), CV = 17,45 %	(40) 62,2 <sup>c</sup> ± 9,69 (80), CV = 15,58 %	(45) 65,6 <sup>c</sup> ± 10,44 (80), CV = 15,92 %	(40) 54,0 <sup>b</sup> ± 8,66 (70), CV = 16,04 %	(30) 63,0 <sup>c</sup> ± 9,89 (75), CV = 15,49 %
X6588-B	(25) 39,4 <sup>a</sup> ± 6,66 (50), CV = 16,92 %	(35) 49,4 <sup>b</sup> ± 8,58 (70), CV = 17,36 %	(30) 41,4 <sup>a</sup> ± 6,04 (55), CV = 14,59 %	(45) 53,4 <sup>bc</sup> ± 6,73 (70), CV = 12,60 %	(40) 56,4 <sup>c</sup> ± 7,97 (70), CV = 14,14 %
X6589-A	(25) 44 <sup>a</sup> ± 9,35 (65), CV = 21,26 %	(30) 44,4 <sup>a</sup> ± 8,08 (65), CV = 18,19 %	(40) 58,6 <sup>b</sup> ± 8,84 (75), CV = 15,09 %	(40) 56,4 <sup>b</sup> ± 9,41 (75), CV = 16,69 %	(30) 41,6 <sup>a</sup> ± 6,08 (50), CV = 14,61 %
X6589-B	(20) 28,8 <sup>a</sup> ± 5,06 (40), CV = 17,56 %	(40) 50,2 <sup>b</sup> ± 6,69 (60), CV = 13,33 %	(35) 54,4 <sup>bc</sup> ± 8,33 (70), CV = 15,32 %	(40) 50 <sup>b</sup> ± 5,40 (60), CV = 10,80 %	(45) 57,2 <sup>c</sup> ± 8,05 (80), CV = 14,07 %
X6590-A	(35) 47 <sup>a</sup> ± 9,35 (65), CV = 19,89 %	(45) 70 <sup>c</sup> ± 14,58 (100), CV = 20,83 %	(45) 66 <sup>bc</sup> ± 9,35 (80), CV = 14,17 %	(40) 60 <sup>b</sup> ± 10,46 (80), CV = 17,43 %	(45) 66 <sup>bc</sup> ± 8,48 (80), CV = 12,85 %
X6590-B	(35) 51 <sup>a</sup> ± 7,72 (70), CV = 15,24 %	(40) 56,4 <sup>ab</sup> ± 8,96 (80), CV = 15,86 %	(45) 61 <sup>bc</sup> ± 8,78 (75), CV = 14,39 %	(50) 65,6 <sup>cd</sup> ± 9,05 (80), CV = 13,80 %	(55) 71,8 <sup>d</sup> ± 9,88 (90), CV = 13,76 %
X6591-A	(30) 39,2 <sup>a</sup> ± 6,72 (50), CV = 17,14 %	(45) 68,8 <sup>c</sup> ± 9,82 (85), CV = 14,27 %	(35) 57,8 <sup>b</sup> ± 11,28 (75), CV = 19,52 %	(35) 54,2 <sup>b</sup> ± 8,62 (70), CV = 15,91 %	(40) 59,0 <sup>b</sup> ± 10,51 (80), CV = 17,81 %
X6591-B	(30) 44,0 <sup>a</sup> ± 7,90 (60), CV = 17,97 %	(40) 54,2 <sup>b</sup> ± 7,99 (70), CV = 14,75 %	(40) 52,6 <sup>b</sup> ± 9,48 (80), CV = 18,02 %	(30) 50,8 <sup>ab</sup> ± 11,96 (75), CV = 23,55 %	(40) 53,8 <sup>b</sup> ± 8,07 (70), CV = 15,00 %
Altura de radios (µm)					
Muestra	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>
X6588-A	(220) 317 <sup>a</sup> ± 72,47 (470), CV = 22,86 %	(260) 403 <sup>b</sup> ± 79,84 (605), CV = 19,81 %	(310) 449 <sup>b</sup> ± 95,83 (655), CV = 21,32 %	(230) 413 <sup>b</sup> ± 102,87 (610), CV = 24,90 %	(270) 397 <sup>b</sup> ± 64,62 (550), CV = 16,26 %
X6588-B	(200) 299 <sup>a</sup> ± 53,92 (420), CV = 18,04 %	(280) 363 <sup>bc</sup> ± 52,68 (505), CV = 14,50 %	(260) 348 <sup>b</sup> ± 43,09 (480), CV = 12,39 %	(280) 380 <sup>bc</sup> ± 47,12 (530), CV = 12,40 %	(300) 395 <sup>c</sup> ± 72,95 (570), CV = 18,48 %
X6589-A	(200) 339 <sup>a</sup> ± 96,04 (590), CV = 28,31 %	(260) 375 <sup>a</sup> ± 88 (590), CV = 23,46 %	(290) 350 <sup>a</sup> ± 38,48 (440), CV = 11,01 %	(270) 390 <sup>a</sup> ± 77,03 (535), CV = 19,77 %	(245) 400 <sup>a</sup> ± 110,58 (610), CV = 27,65 %
X6589-B	(230) 329 <sup>ab</sup> ± 78,17 (555), CV = 23,78 %	(250) 338 <sup>ab</sup> ± 37,88 (415), CV = 11,19 %	(270) 369 <sup>a</sup> ± 51,91 (480), CV = 14,08 %	(225) 323 <sup>a</sup> ± 55,62 (480), CV = 17,23 %	(285) 345 <sup>ab</sup> ± 41,97 (440), CV = 12,17 %
X6590-A	(200) 302 <sup>a</sup> ± 71,09 (450), CV = 23,54 %	(280) 382 <sup>b</sup> ± 71,36 (530), CV = 18,68 %	(260) 325 <sup>c</sup> ± 39,51 (430), CV = 12,16 %	(235) 304 <sup>c</sup> ± 41,06 (410), CV = 13,51 %	(200) 391 <sup>b</sup> ± 49,05 (530), CV = 12,54 %
X6590-B	(220) 293 <sup>a</sup> ± 43,61 (390), CV = 14,88 %	(290) 336 <sup>b</sup> ± 51,22 (500), CV = 15,26 %	(290) 383 <sup>c</sup> ± 61,91 (500), CV = 16,16 %	(300) 388 <sup>c</sup> ± 58,79 (530), CV = 15,16 %	(300) 389 <sup>b</sup> ± 59,80 (510), CV = 15,38 %
X6591-A	(220) 305 <sup>a</sup> ± 56,47 (405), CV = 18,54 %	(315) 448 <sup>b</sup> ± 114,01 (870), CV = 25,47 %	(210) 348 <sup>b</sup> ± 74,55 (540), CV = 21,42 %	(260) 316 <sup>a</sup> ± 38,49 (445), CV = 12,20 %	(250) 345 <sup>a</sup> ± 93,96 (620), CV = 27,24 %
X6591-B	(175) 303 <sup>ab</sup> ± 75,58 (460), CV = 24,96 %	(215) 334 <sup>b</sup> ± 72,97 (620), CV = 21,85 %	(215) 283 <sup>a</sup> ± 48,46 (380), CV = 17,13 %	(250) 331 <sup>ab</sup> ± 46,67 (430), CV = 14,12 %	(290) 384 <sup>c</sup> ± 60,33 (530), CV = 15,71 %

Letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (α = 0,05).

**Cuadro 4.** Longitud de fibras (mm) por sección en cada nivel de altura (valor mínimo, promedio, desviación, valor máximo, coeficiente de variación). Resultados de la prueba de diferencia de medias.

Muestra	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>
X6588-A	(730) 953 <sup>a</sup> ± 118,94 (1260), CV = 12,48 %	(915) 1085 <sup>b</sup> ± 135,65 (1470), CV = 12,50 %	(970) 1187 <sup>c</sup> ± 142,37 (1395), CV = 13,00 %	(1115) 1318 <sup>d</sup> ± 148,76 (1750), CV = 11,28 %	(1020) 1139 <sup>b,c</sup> ± 92,15 (1380), CV = 8,04 %
X6588-B	(815) 1007 <sup>a</sup> ± 103,10 (1280), CV = 10,24 %	(970) 1181 <sup>b</sup> ± 136,11 (1450), CV = 11,52 %	(945) 1191 <sup>b,c</sup> ± 138,25 (1450), CV = 11,60 %	(1030) 1295 <sup>c</sup> ± 169,38 (1580), CV = 13,08 %	(1040) 1194 <sup>b,c</sup> ± 116,86 (1460), CV = 9,79 %
X6589-A	(760) 984 <sup>a</sup> ± 104,03 (1236), CV = 10,57 %	(930) 1117 <sup>b</sup> ± 134,45 (1380), CV = 12,04 %	(980) 1206 <sup>b</sup> ± 166,22 (1680), CV = 13,79 %	(1000) 1182 <sup>b</sup> ± 118,46 (1390), CV = 10,02 %	(1015) 1184 <sup>b</sup> ± 96,64 (1355), CV = 8,16 %
X6589-B	(810) 992 <sup>a</sup> ± 93,84 (1190), CV = 9,46 %	(1140) 1271 <sup>a</sup> ± 90,28 (1495), CV = 7,10 %	(935) 1242 <sup>b</sup> ± 146,05 (1570), CV = 11,76 %	(1030) 1241 <sup>b</sup> ± 129,02 (1500), CV = 10,40 %	(945) 1106 <sup>b</sup> ± 130,83 (1520), CV = 11,83 %
X6590-A	(810) 1010 <sup>a</sup> ± 136,71 (1270), CV = 13,54 %	(900) 1036 <sup>a</sup> ± 118,31 (1355), CV = 11,42 %	(950) 1160 <sup>b</sup> ± 161,03 (1540), CV = 13,88 %	(940) 1153 <sup>b</sup> ± 109,24 (1350), CV = 9,47 %	(930) 1199 <sup>b</sup> ± 119,46 (1490), CV = 9,96 %
X6590-B	(695) 1063 <sup>a</sup> ± 125,46 (1280), CV = 11,80 %	(970) 1158 <sup>a,b</sup> ± 126,31 (1480), CV = 10,90 %	(1025) 1261 <sup>b,c</sup> ± 128,06 (1500), CV = 10,16 %	(930) 1164 <sup>a,b</sup> ± 166,21 (1530), CV = 14,28 %	(1085) 1359 <sup>c</sup> ± 149,03 (1630), CV = 10,97 %
X6591-A	(700) 925 <sup>a</sup> ± 93,15 (1100), CV = 10,07 %	(780) 952 <sup>a</sup> ± 111,38 (1165), CV = 11,70 %	(890) 1057 <sup>b</sup> ± 109,15 (1300), CV = 10,32 %	(960) 1185 <sup>c</sup> ± 113,05 (1415), CV = 9,54 %	(920) 1075 <sup>b</sup> ± 85,25 (1280), CV = 7,93 %
X6591-B	(725) 870 <sup>a</sup> ± 89,96 (1065), CV = 10,34 %	(980) 1126 <sup>b</sup> ± 121,26 (1450), CV = 10,77 %	(910) 1113 <sup>b</sup> ± 92,94 (1250), CV = 8,35 %	(920) 1097 <sup>b</sup> ± 63,83 (1200), CV = 5,82 %	(930) 1095 <sup>b</sup> ± 107,04 (1285), CV = 9,78 %

Letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ )

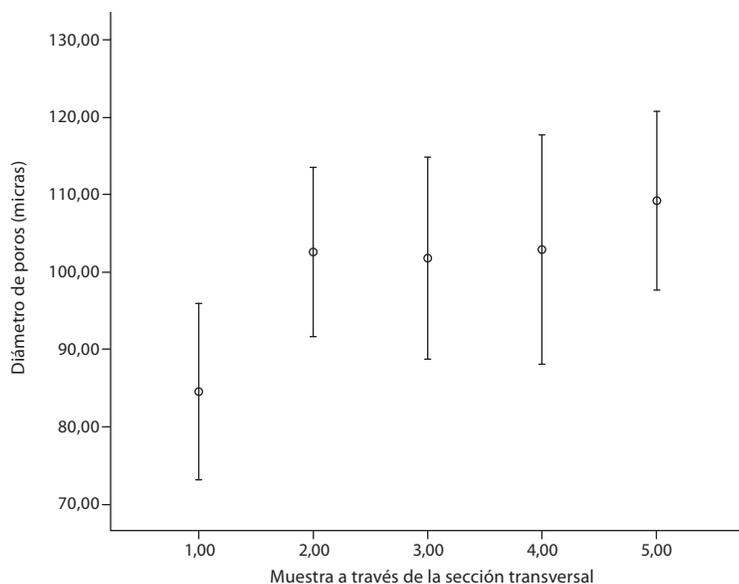
### 3.1.1 Diámetro de poros

En los cuatro árboles estudiados y en los dos niveles de altura se encontró que el menor valor promedio en diámetro de poros corresponde a la muestra ubicada en las adyacencias de la médula. Estadísticamente, las diferencias de tamaño de poros desde las adyacencias de la médula hacia  $\frac{1}{4}$  del radio de la sección transversal muestra diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). En general la tendencia es hacia un incremento del diámetro de los poros desde las adyacencias de la médula hasta un punto a partir del cual tienden a mantenerse constantes (Figura 2). Este punto es  $\frac{1}{4}$  del radio en el 37,5% de los casos,  $\frac{3}{4}$  del radio en otro 37,5%; en 12,5% de los casos se observó la tendencia hacia la disminución del tamaño de los poros desde  $\frac{3}{4}$  del radio hacia las adyacencias de la zona cambial y en el 12,5% restante se encontró una tendencia de aumento a través de toda la sección transversal. Es importante indicar que la muestra donde se manifestó un aumento a través de toda la sección transversal fue la de menor diámetro. La tasa de aumento del tamaño de los poros desde las adyacencias de la médula hasta el punto donde se presentó el valor máximo osciló entre 28,23% y 69,49% (53,55% en promedio). En general, lo encontrado coincide con lo reportado para *S. macrophylla* (Rulliaty y America, 1995) y otras especies tropicales como *Tectona grandis* (Bhat *et al.*, 2001),

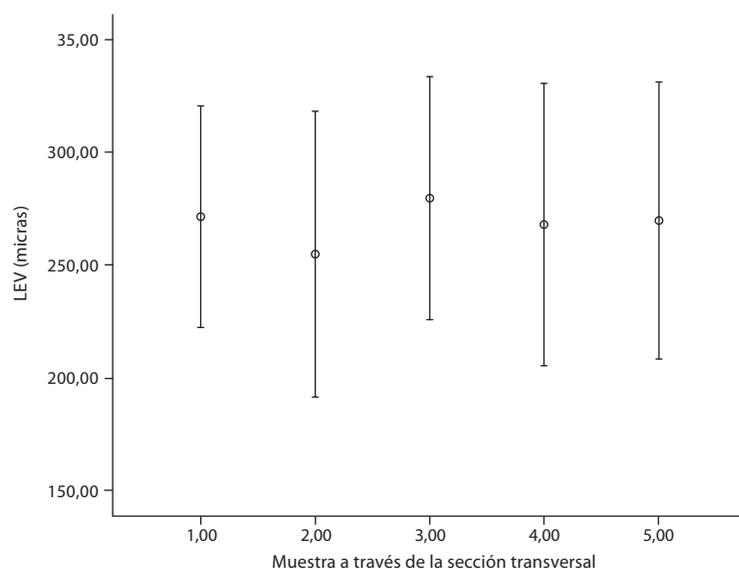
*Terminalia ivorensis* (Urbinati *et al.*, 2003), *Gmelina arborea* (León y Quintero, 2007) y *C. thaisiana* (León y Espinoza de P., 1998).

### 3.1.2 Longitud de elementos de los vasos

El comportamiento más común fue una ligera variación en los valores promedios a través de toda la sección transversal (Figura 3). Desde el punto de vista estadístico, en el 75 % de las secciones estudiadas se puede considerar que la longitud de los elementos de los vasos se mantiene constante a través de toda la sección transversal al no encontrarse diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Sólo en una sección (25% del material estudiado) se observó un incremento significativo desde las adyacencias de la médula hacia  $\frac{1}{4}$  del radio para luego mantenerse constante. Este comportamiento difiere del observado en *S. macrophylla* (Rulliaty y America, 1995) y *T. ivorensis* (Urbinati *et al.*, 2003) donde los elementos vasculares mantuvieron un comportamiento donde existen diferencias significativas entre la longitud de los adyacentes a la médula y los que se ubican cerca de la zona cambial en todos los individuos estudiados. Para *G. arborea* (León y Quintero, 2007) y *C. thaisiana* (León y Espinoza de P., 1998) se encontraron comportamientos similares al observado en el presente estudio en el sentido que algunos individuos mostraron elementos vasculares de longi-



**Figura 2.** Variación de diámetro de poros desde la médula hacia las adyacencias de la zona cambial (X6589, altura de pecho).



**Figura 3.** Longitud de elementos de los vasos (LEV) desde la médula hacia las adyacencias de la zona cambial (X6591, sección basal).

tud uniforme a través de toda la sección transversal y otros experimentaron un incremento desde la médula hacia las cercanías de la zona cambial.

### 3.1.3 Diámetro de punteaduras

No se observó un patrón definido de comportamiento en cuanto a la variación del tamaño de las punteaduras a través de la sección transversal. En algunos casos, de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), se mantuvo constante a través de la sección transversal (25% del material estudiado); en el 25%

del material estudiado se mantuvo constante desde las adyacencias de la médula hasta  $\frac{3}{4}$  de la sección transversal para luego experimentar un aumento significativo hacia las adyacencias de la zona cambial. En otro 25% se observó un comportamiento inverso, es decir, el diámetro de punteaduras se mantiene constante desde las adyacencias de médula hasta  $\frac{3}{4}$  de la sección transversal para luego disminuir hacia las adyacencias de la zona cambial. En el 25% de los casos restantes se observó un comportamiento irregular a través de la sección trans-

versal. Son pocos los reportes donde se indican patrón de variación del tamaño de punteaduras. En *G. arborea* se encontró que el tamaño de punteaduras entre las adyacencias de médula y adyacencias del cambium presenta incremento significativo en la mayoría de los casos y ocasionalmente se mantiene constante a través de toda la sección transversal (León y Quintero, 2007). En *C. thaisiana*, predominantemente se mantienen constantes a través de la sección transversal aunque en algunos casos pueden experimentar aumentos hasta  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{3}{4}$  del radio para luego estabilizarse.

### 3.1.4 Frecuencia de radios

El número de radios por mm se caracterizó por presentar los mayores valores en las cercanías de la médula, tanto en términos absolutos como en función de lo indicado por la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). De acuerdo a esta última, el 62,5% de las muestras mostraron una frecuencia de radios que disminuyó desde las adyacencias de la médula hacia  $\frac{1}{4}$  del radio de la sección transversal para luego mantenerse constante (Figura 4). En dos muestras, ambas pertenecientes al mismo individuo, la frecuencia de los radios se mantuvo constante, desde el punto de vista estadístico, a través de la sección transversal. Finalmente, en un caso, la frecuencia de radios disminuyó desde las adyacencias de médula hacia  $\frac{1}{4}$  del radio para luego aumentar hacia las adyacencias de la corteza y alcanzar un valor similar al inicial. En general, lo observado man-

tiene algunas similitudes con lo reportado para *T. ivorensis* (Urbinati *et al.*, 2003). En *C. thaisiana*, el comportamiento más común fue la tendencia a mantenerse constante el número de radios por mm a través de toda la sección transversal, aunque en algunos casos se observó una disminución desde adyacencias de la médula hacia  $\frac{1}{4}$  ó  $\frac{1}{2}$  del radio (León y Espinoza de P., 1998).

### 3.1.5 Ancho de radios

Se observó un comportamiento bastante irregular y el único patrón que se mantuvo uniforme en todas las secciones fue que el menor valor siempre se observó en las adyacencias de la médula. La tasa de incremento entre el valor mínimo y máximo a través de la sección transversal varió desde 23,18% hasta un máximo de 98,61%.

### 3.1.6 Altura de radios

El menor valor promedio el cual se presentó en las adyacencias de la médula; sólo en dos casos se observaron en posiciones diferentes pero los valores encontrados, aunque son inferiores en cuanto a valor absoluto, no muestran diferencias estadísticamente significativas con respecto a la muestra ubicada en las cercanías de la médula (Figura 5). Las diferencias entre el mínimo y máximo observado mostraron incrementos que oscilaron 12,16% y 46,88%. En el 62,5% de los casos estudiados, la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) indicó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la

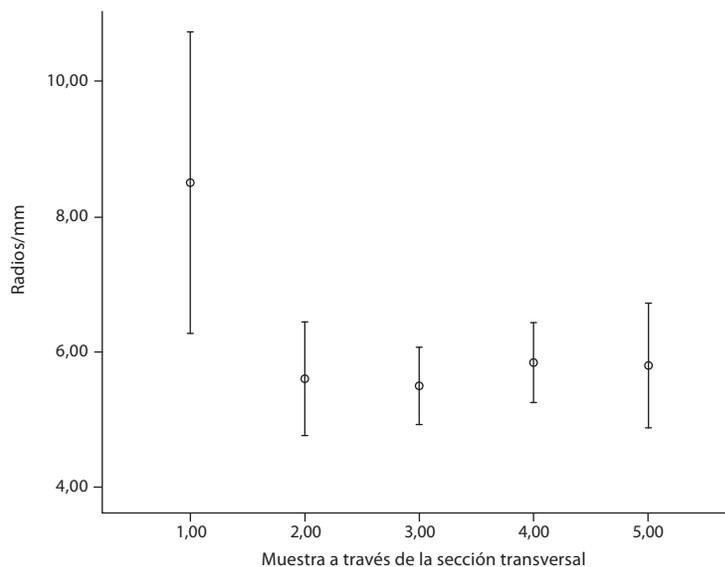
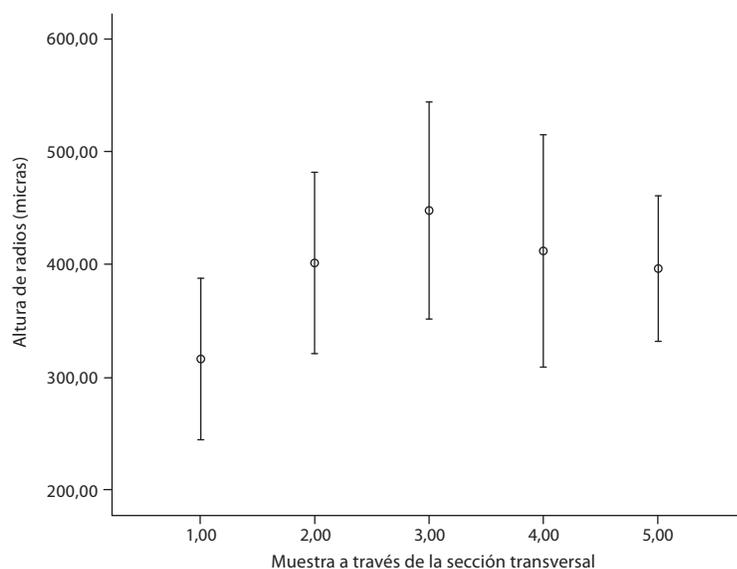


Figura 4. Variación de frecuencia de radios desde la médula hacia las adyacencias de la zona cambial (X6588, sección basal).



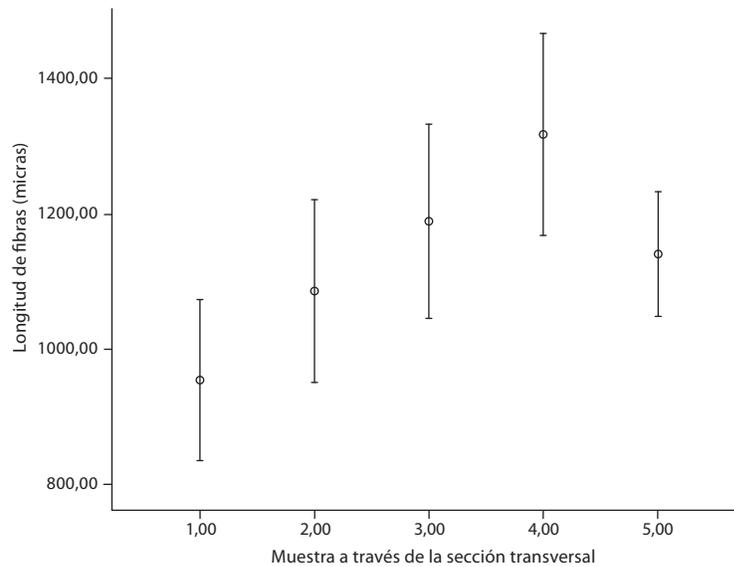
**Figura 5.** Variación de altura de radios desde la médula hacia las adyacencias de la zona cambial (X6588, sección basal).

altura de radios entre las posiciones de adyacencias de médula y  $\frac{1}{4}$  del radio de la sección transversal. Este comportamiento coincide con lo reportado en *C. thaisiana* (León y Espinoza de P., 1998) pero difiere de *T. ivorensis* donde los radios mantuvieron una altura aproximadamente constante a través de toda la sección transversal (Urbinati *et al.*, 2003).

### 3.1.7 Longitud de fibras

En todos los casos se observó un incremento de la longitud de las fibras desde las adyacencias de la médula hasta un punto a partir del cual el valor se mantiene constante o mostró tendencias a disminuir (Figura 6). El punto de inflexión varió desde  $\frac{1}{4}$  del radio (25% de las muestras), hasta  $\frac{1}{2}$  del radio (50%) ó  $\frac{3}{4}$  del radio (25%). En promedio, las diferencias porcentuales entre el menor promedio observado (adyacencias de médula) y el mayor valor encontrado en la sección transversal fue de 27,7%; con un mínimo de 18,71% y un máximo de 38,3%. Este comportamiento coincide con el reportado inicialmente por Sanio (1872) para *Pinus sylvestris* y que posteriormente ha sido encontrado en muchas angiospermas y gimnospermas (Pashin y de Zeeuw, 1980; Zobel y van Buijtenen, 1989). En comparación con otras latifoliadas tropicales, Bhat *et al.* (1989) encontraron un comportamiento similar estudiando once especies procedentes de la India. Malan (1985), citado por Wilkes (1988), señala que

en *Eucalyptus grandis*, la longitud de las fibras tiende a estabilizarse a partir de, aproximadamente, el 70% del radio de la sección transversal. En la familia Meliaceae, son pocos reportes sobre variación de longitud de fibras en sentido transversal: Rulliaty y America (1995) encontraron para *S. macrophylla* proveniente de plantaciones de 12, 21 y 30 años en Indonesia un incremento significativo de longitud de las fibras desde la médula hacia la corteza; mientras que Bauch y Dunisch (2000) indican que en *C. guianensis* procedente de bosque natural y plantaciones de 4 y 17 años establecidas en Brasil, la longitud de fibras tiende a estabilizarse aproximadamente a 4 cm del radio de la sección transversal en los individuos de plantación. Con respecto a los individuos de bosque natural, manifestaron un comportamiento similar. Para esta misma especie, Toro *et al.* (2008) estudiando individuos de bosque natural procedentes del estado Bolívar (Venezuela), observaron un incremento de longitud de fibras desde 1.171 mm en las adyacencias de la médula hasta 1.856 mm en las cercanías de la zona cambial. La tendencia a estabilización de longitud de fibras a través de la sección transversal indica que en plantaciones de 10 años de edad ya se manifiesta la presencia de madera adulta a los dos niveles de altura estudiados.



**Figura 6.** Variación de longitud de fibras desde la médula hacia las adyacencias de la zona cambial (X6588, sección basal).

### 3.2 Variabilidad en sentido longitudinal

En los cuadros 5 y 6 se presentan los valores encontrados, para cada característica estudiada, en los dos niveles de altura analizados: sección basal y a la altura de pecho (1,30 m).

#### 3.2.1 Diámetro de poros

En los cuatro árboles estudiados, el diámetro de los poros aumentó desde la base hacia 1,30 m, encontrándose diferencias estadísticamente significativas (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ) entre los dos niveles de altura (Figura 7). El incremento osciló entre 8,69 y 20,78% y, en promedio, se situó en 15,02%. Este comportamiento difiere del reportado para *S. macrophylla* (Rulliaty y America, 1995) y *Schipnopsis quebracho-blanco* (Giménez y López, 2002) donde no se encontraron diferencias significativas con la altura. En el caso de *C. thaisiana*, se observó similitudes a lo encontrado en el presente estudio presentándose un incremento del diámetro de los poros hasta 3-6 m de altura (León y Espinoza de P., 1998).

#### 3.2.2 Longitud de elementos de los vasos

Al igual que el diámetro de los poros; la longitud de los elementos de los vasos manifiesta una tendencia a aumentar desde la base hacia el nivel de altura de pecho. En los cuatro individuos, el valor promedio aumentó en proporciones que oscilaron entre 1,49 y 16,29% (en promedio 8,99%). El análisis

de varianza ( $\alpha = 0,05$ ) indica que en el 75% del material estudiado, las diferencias observadas fueron significativas desde el punto de vista estadístico. Rulliaty y America (1995) señalan que en individuos de *S. macrophylla* de tres edades de plantación en Indonesia, la tendencia es a disminuir la longitud de los elementos vasculares con el nivel de altura del tallo. Respecto a otras especies tropicales, lo encontrado coincide con lo reportado en *G. arborea* (León y Quintero, 2007) y difiere de *T. ivorensis* (Urbinati *et al.*, 2003) y *S. quebracho-blanco* (Giménez y López, 2002) donde no se encontraron diferencias significativas ante variaciones del nivel de altura. En *C. thaisiana* (León y Espinoza de P., 1999), la longitud de los elementos de los vasos tiende a mantenerse constante hasta 12-15 m de altura para luego experimentar ligeras reducciones.

#### 3.2.3 Diámetro de punteaduras

La tendencia general observada indica que hay una disminución del tamaño de las punteaduras con respecto al nivel de altura; sin embargo esa tendencia se manifiesta sólo en cuanto al valor promedio observado. El análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas y eso señala que el diámetro de punteaduras se mantiene constante a medida que se pasa del nivel basal a 1,3 m de altura. Sólo en un caso se observó que las diferencias eran significativas y representó una disminución

**Cuadro 5.** Diámetro de poros, longitud de elementos de los vasos, diámetro de punteaduras y longitud de fibras en sección basal (A) y a altura de pecho (B) (valor mínimo, promedio, desviación, valor máximo, coeficiente de variación). Resultados de la prueba de diferencia de medias.

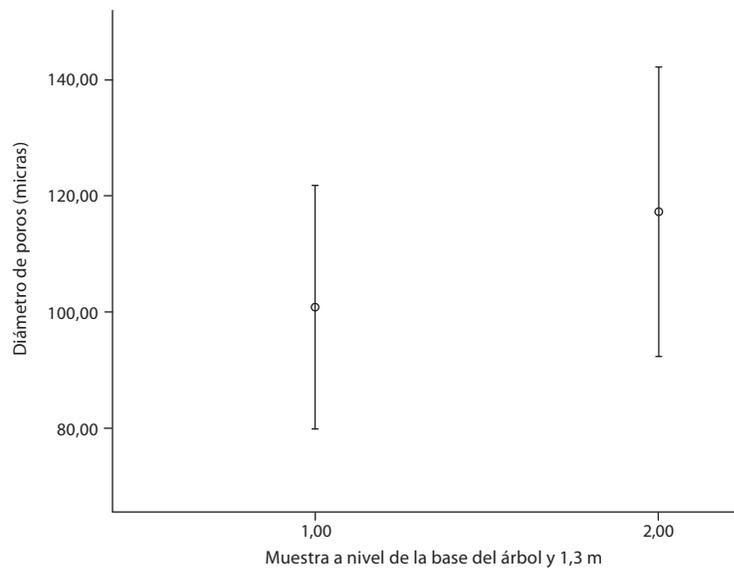
Muestra	Diámetro de poros (µm)	Long. Elem. de vasos (µm)	Diámetro de punteaduras (µm)	Longitud de fibras (µm)
X6588-A	(55) 101** ± 20,98 (145), CV = 20,77 %	(145) 295** ± 58,65 (425), CV = 19,88 %	(2,5) 3* ± 0,668 (5), CV = 22,27 %	(730) 1136* ± 175 (1750), CV = 15,4 %
X6588-B	(50) 117 ± 24,97 (160), CV = 21,34 %	(155) 321 ± 63,43 (470), CV = 19,76 %	(1,25) 2,825 ± 0,659 (3,75), CV = 23,33 %	(815) 1174 ± 161,99 (1580), CV = 13,8 %
X6589-A	(55) 92** ± 15,88 (145), CV = 17,26 %	(165) 288** ± 54,89 (450), CV = 19,06 %	(2,5) 3,15** ± 0,631 (3,75), CV = 20,03 %	(760) 1134* ± 148,56 (1680), CV = 13,10 %
X6589-B	(65) 100 ± 14,78 (130), CV = 14,78 %	(180) 315 ± 56,71 (470), CV = 18,00 %	(2,5) 2,675 ± 0,438 (3,75), CV = 16,37 %	(810) 1170 ± 159,06 (1570), CV = 13,59 %
X6590-A	(40) 77** ± 17,5 (125), CV = 22,73 %	(125) 264** ± 54,92 (390), CV = 20,80 %	(2,5) 3,025* ± 0,623 (3,75), CV = 20,59 %	(810) 1112** ± 148,27 (1540), CV = 13,33 %
X6590-B	(50) 93 ± 18,76 (145), CV = 20,17 %	(170) 307 ± 58,33 (435), CV = 19,00 %	(2,5) 2,9 ± 0,589 (3,75), CV = 20,31 %	(695) 1201 ± 170,87 (1630), CV = 14,23 %
X6591-A	(40) 81** ± 19,81 (140), CV = 24,46 %	(130) 269* ± 58,03 (450), CV = 21,57 %	(2,5) 2,925* ± 0,649 (5), CV = 22,19 %	(700) 1039* ± 138,14 (1415), CV = 13,29 %
X6591-B	(60) 101 ± 19,86 (160), CV = 19,66 %	(135) 273 ± 64,4 (425), CV = 23,59 %	(2,5) 3,047 ± 0,627 (3,75), CV = 20,58 %	(725) 1060 ± 135,51 (1450), CV = 12,78 %

\* Diferencias estadísticamente no significativas entre A y B (ANOVA, α = 0,05); \*\* Diferencias estadísticamente significativas entre A y B (ANOVA, α = 0,05).

**Cuadro 6.** Frecuencia, ancho y altura de radios en sección basal (A) y a altura de pecho (B) (valor mínimo, promedio, desviación, valor máximo, coeficiente de variación). Resultados de la prueba de diferencia de medias.

Muestra	Frecuencia de radios (radios/mm)	Ancho de radios (µm)	Altura de radios (µm)
X6588-A	(4) 6,25* ± 1,62 (13), CV = 25,92 %	(25) 53,6** ± 13,80 (80), CV = 25,75 %	(220) 396** ± 93,74 (655), CV = 23,67 %
X6588-B	(4) 6,54 ± 1,63 (11), CV = 24,92 %	(25) 48,00 ± 9,75 (70), CV = 20,31 %	(200) 357 ± 63,41 (570), CV = 17,76 %
X6589-A	(4) 6,52* ± 1,14 (10), CV = 17,48 %	(25) 49* ± 10,91 (75), CV = 22,26 %	(200) 371** ± 87,31 (610), CV = 23,53 %
X6589-B	(5) 6,61 ± 1,03 (9), CV = 15,58 %	(20) 48,12 ± 12,11 (80), CV = 25,17 %	(225) 341 ± 56,36 (555), CV = 16,52 %
X6590-A	(5) 6,60* ± 1,05 (9), CV = 15,91 %	(35) 61,8* ± 13,36 (100), CV = 21,67 %	(200) 341** ± 67,34 (530), CV = 19,75 %
X6590-B	(4) 6,13 ± 1,04 (9), CV = 16,96 %	(35) 61,16 ± 11,36 (90), CV = 18,57 %	(200) 358 ± 66,57 (530), CV = 18,59 %
X6591-A	(5) 7,9** ± 1,66 (11), CV = 20,99 %	(30) 55,8** ± 13,45 (85), CV = 24,10 %	(210) 352** ± 93,70 (870), CV = 26,62 %
X6591-B	(5) 7,17 ± 1,20 (9), CV = 16,74 %	(30) 51,08 ± 9,81 (80), CV = 19,20 %	(175) 327 ± 69,97 (620), CV = 21,40 %

\*Diferencias estadísticamente no significativas entre A y B (ANOVA, α = 0,05); \*\*Diferencias estadísticamente significativas entre A y B (ANOVA, α = 0,05).



**Figura 7.** Variación del diámetro de poros desde la base del árbol hasta la altura de pecho (1,3 m) (X6588).

del tamaño de las punteaduras de 15,08%. Uno de los pocos reportes relacionados con variación del tamaño de punteaduras con el nivel de altura es el presentado por León y Espinoza de P. (1999) para *C. thaisiana* donde no encontraron una relación definida entre el nivel de altura del tallo y el valor máximo y mínimo del diámetro promedio de las punteaduras.

### 3.2.4 Frecuencia de radios

En cuanto a valor promedio, el número de radios por mm manifestó un comportamiento irregular en el sentido que en dos individuos aumentó desde la base hacia la altura de pecho y dos individuos presentaron un comportamiento inverso al mencionado. Sin embargo, el análisis estadístico (análisis de varianza,  $\alpha = 0,05$ ) indica que la tendencia es a mostrarse como constante de un nivel de altura a otro y sólo en unos de los individuos se encontró una disminución de 9,24% la cual fue significativa estadísticamente. Uno de los pocos reportes en cuanto a variación de frecuencia de radios en sentido axial, es el presentado por León y Espinoza de P. (1999) para *C. thaisiana* y señalan que este carácter tiende a mantenerse constante ante variaciones del nivel de altura.

### 3.2.5 Ancho de radios

La tendencia respecto al ancho de radio es a disminuir desde el nivel basal hacia la altura de pecho;

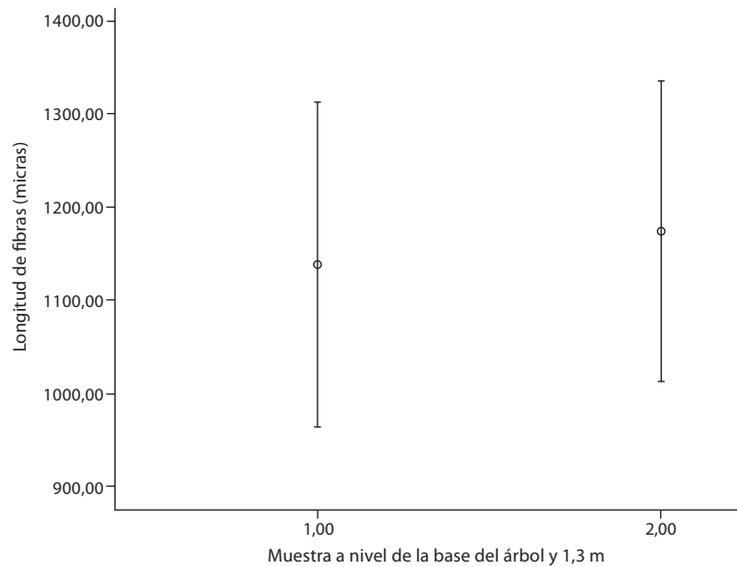
sin embargo sólo en dos individuos esas diferencias fueron estadísticamente significativas. En los casos donde se encontraron diferencias, la disminución se presentó en proporciones que oscilaron entre 8,46 y 10,48%.

### 3.2.6 Altura de radios

El comportamiento más común en cuanto a la altura de los radios fue su disminución desde la base hacia la altura de pecho; sólo en uno de los individuos se encontró un comportamiento inverso. Las diferencias encontradas entre los dos niveles de altura estudiados, en todos los casos fueron significativas desde el punto de vista estadístico. Esto difiere de lo reportado para *S. quebracho-blanco* (Anacardiaceae) donde existe una tendencia a mantenerse constante la altura de los radios a diferentes niveles de altura del tallo (Giménez y López, 2002).

### 3.2.7 Longitud de fibras

El valor promedio de longitud de las fibras mostró incrementos desde la base hacia la altura de pecho en todos los individuos estudiados. La tasa de aumento osciló entre 2,02 y 16,29% y en el 75% de los casos, las diferencias no mostraron significancia estadística (Figura 8). Este aumento es contrario a lo reportado por Rulliaty y America (1995) para la misma especie donde señalan que hay una disminución de la longitud de las fibras a diferentes nive-



**Figura 8.** Variación de longitud de fibras desde la base del árbol hasta la altura de pecho (1,3 m) (X6588).

les de altura del tallo; al igual que en especies como *S. quebracho-blanco* (Giménez y López, 2002). Sin embargo, otras especies tropicales han manifestado un comportamiento similar al encontrado en el presente estudio (Wilkins, 1988; León y Espinoza de P., 1999). Bhat *et al.* (1989), estudiando once especies, encontraron que tanto en tallo principal como en ramas la tendencia es a disminuir la longitud de las fibras con el nivel de altura, excepto en *Hevea brasiliensis* donde se observó una tendencia contraria.

#### 4. Conclusiones

En sentido transversal se encontraron patrones de variación bien definidos en diámetro de poros, longitud de fibras, frecuencia y altura de radios. En el caso del diámetro de punteaduras y longitud de elementos vasculares, se observó un comportamiento constante en sentido médula-cambium, mientras que el ancho de radios presentó una variación irregular aunque el menor valor siempre correspondió a la posición cercana a las adyacencias de la médula.

En sentido longitudinal, se apreció un aumento del diámetro de poros y longitud de elementos vasculares desde la base hasta 1,30 m de altura. Por otra parte, el diámetro de punteaduras, frecuencia de radios y longitud de fibras no mostraron dife-

rencias estadísticamente significativas entre los dos niveles de altura estudiados. La altura y ancho de radios manifestó una disminución desde la base hacia 1,30 m, aún cuando este comportamiento varió en uno de los individuos estudiados. Es importante mencionar que es necesario hacer estudios adicionales en donde se incluyan mayores niveles de altura para conocer si las características antes mencionadas mantienen ese mismo comportamiento.

Tomando en consideración que los límites entre madera juvenil y madera adulta están definidos por la tendencia a estabilizarse la longitud de fibras en dirección médula-corteza, se puede indicar que en todos los individuos y niveles de altura estudiados, ya se presenta madera adulta. En el 25% de las muestras, la madera adulta comienza a partir de  $\frac{1}{4}$  del radio, en 50% a partir de  $\frac{1}{2}$  del radio y en el 25% restante, el límite entre madera juvenil y adulta corresponde a  $\frac{3}{4}$  del radio.

#### 5. Referencias bibliográficas

- ARÉVALO, R. y R. HERNÁNDEZ. 2008. Efectos de los extractivos y la estructura anatómica en las propiedades mecánicas de la madera de caoba, *Swietenia macrophylla* King. *Colombia Forestal* 11: 113-135.
- BÁRCENAS-PAZO, G., F. ORTEGA, G. ÁNGELES y P. RONZÓN. 2005. Relación estructura-propiedades de

- la madera de angiospermas mexicanas. *Universidad y Ciencia* 21: 45-55.
- BAUCH, J. y O. DÜNISCH. 2000. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation-grown and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia. *IAWA J.* 21: 321-333.
- BETANCOURT, A. 2000. *Árboles maderables exóticos en Cuba*. Editorial Científico Técnica. La Habana. Cuba. 352 p.
- BHAT, K.M., K.V. BHAT y T. DHAMODARAN. 1989. Fibre length variation in stem and branches of eleven tropical hardwoods. *IAWA Bull. n.s.* 10: 63-70.
- BHAT, K.M., P. PRIYA y P. RUGMINI. 2001. Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Sc. Tech.* 34: 517-532.
- BUTTERFIELD, R., R. CROOK, R. ADAMS y R. MORRIS. 1993. Radial variation in wood specific gravity, fibre length and vessel area for two Central American hardwoods: *Hieronyma alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation grown trees. *IAWA J.* 14: 153-161.
- CÁRDENAS, D. y N. SALINAS. 2007. *Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4: Especies maderables amenazadas. Primera parte*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. Bogotá, Colombia. 232 p.
- CHUDNOFF, M. 1984. *Tropical timbers of the world*. United States Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook 607. Madison. USA. 464 p.
- CORPOANDES. 1970. *Estudio tecnológico de las maderas de los llanos occidentales (Estudio expeditivo, primera parte)*. Universidad de Los Andes. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Mérida, Venezuela. 94 p.
- GIMÉNEZ, A. y C. LÓPEZ. 2002. Variación longitudinal de los elementos del leño de *Schipnopsis quebrachocolorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer Anacardiaceae. *Madera y Bosques* 8: 27-38.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull. n.s.* 10: 219-332.
- KRIBS, D. 1968. *Commercial foreign Woods on the american market*. Dover Publications Inc. New York. USA. 241 p.
- LEÓN H., W. 2004. Anatomía de la Madera de ocho especies útiles en carpintería y ebanistería. *Revista Forestal Venezolana* 48: 51-61.
- LEÓN H., W. y M. QUINTERO. 2007. Variabilidad de los vasos en *Gmelina arborea*. *Revista Forestal Venezolana* 51: 97-113.
- LEÓN H., W. y N. ESPINOZA DE P. 1998. Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana* (Boraginaceae) en sentido transversal. *Revista Forestal Venezolana* 42: 15-23.
- LEÓN H., W. y N. ESPINOZA DE P. 1999. Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana* (Boraginaceae) en sentido longitudinal. *Revista Forestal Venezolana* 43: 33-41.
- LEÓN H., W. y N. ESPINOZA DE P. 2001. *Anatomía de la madera*. Universidad de Los Andes. Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida, Venezuela. 397 p.
- LLAMOZAS, S., R. DUNO DI STEFANO, W. MEIER, R. RIINA, F. STAUFFER, G. AYMARD, O. HUBER y R. ORTIZ. 2003. *Libro rojo de la flora venezolana*. Provita, Fundación Polar, Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela. 555 p.
- MAINIERI, C. y J. PERES. 1989. *Fichas de características das madeiras brasileiras*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Sao Paulo. Brasil. 418 p.
- NARDI, R. y M. ELDMANN. 1992. *Legnami tropicali importante in Italia: Anatomia e identificazione. Vol. II: America Latina*. Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale. Università di Firenze. Firenze. Italia. 406 p.
- PASHIN, A. y C. DE ZEEUW. 1980. *Textbook of wood technology*. McGraw Hill. 4<sup>th</sup> Ed. New York. USA. 722 p.
- RULLIATY, S. y W. AMERICA. 1995. Poster 266: Natural variations in Wood quality indicators of Indonesian big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King). En línea: <http://www.metla.fi/conf/iufro95abs/d5pos9.htm> [Consultado: 20/02/2010].
- SANIO, K. 1872. Uber die grosse holzellen bei der germeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*). *Jahrb. Wiss. Bot.* 8: 401-420.
- TORO, W., W. LEÓN H. y J. VELÁSQUEZ. 2008. Variabilidad de la fibra en el sentido radial de la especie *Carapa guianensis*. Memorias IV Congreso Forestal Latinoamericano. 02 al 05 de abril de 2008. Mérida, Venezuela.
- URBINATI, C., A. AZEVEDO, E. MONTEIRO DA SILVA y P. LISBOA. 2003. Variacao estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. *Act. Bot. Bras.* 17: 421-437.
- VALES, M. y R. CARRERAS. 1986. Anatomía de maderas de Cuba I. *Act. Bot. Hungarica* 32: 231-245.
- WANGAARD, F., A. KOEHLER y A. MUSCHLER. 1954. Properties and uses of tropical woods IV. *Tropical Woods* 99: 1-187.
- WILKENS, J. 1988. Variation in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. *IAWA Bull. n.s.* 9: 13-23.
- ZOBEL, B. y J. VAN BUIJTENEN. 1989. *Wood variation: It's causes and control*. Springer-Verlag. New York. 363 p.