

ANATOMÍA Y DENSIDAD DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE PINO ROMERÓN [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] DE OCHO AÑOS DE EDAD

DENSITY AND WOOD ANATOMY OF ROMERON PINE [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] TREES
EIGHT YEARS OLD

Ángela María Vásquez Correa¹ y Esteban Alcántara Vara²

Resumen. Se estudió la variación de la densidad y dimensiones de las traqueidas en madera de dos procedencias de pino romerón de ocho años y tres clases de diámetro. En secciones transversales de seis árboles por procedencia, en la base, altura del pecho (AP) y 25, 50 y 75% de la altura total, se extrajeron secciones diametrales para determinar la densidad en su primera mitad, en submuestras a 25, 50, 75 y 100% de la longitud del radio. En la segunda mitad se seleccionaron las maderas temprana y tardía en los anillos de crecimiento pares, para medir las dimensiones de las traqueidas. Los resultados mostraron: (a) disminución radial de la densidad desde el 25% del radio hacia la corteza. Mayor densidad en la base, disminución hasta la altura del pecho (AP), valores intermedios hasta el 50%, y disminución hacia el 75% final; (b) densidad media sin diferencia significativa entre las procedencias Jericó ($0,37 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) y Mesitas del Colegio ($0,36 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$); (c) incremento radial de las dimensiones de las traqueidas, diferencia significativa entre las procedencias sólo para la longitud, mayores valores en la madera tardía e incremento axial hasta el 75%; (d) formación de dos tipos de madera, una desde la médula hasta el octavo anillo de crecimiento, asociada con madera juvenil o juvenil interna; y otra cerca a la corteza, asociada con madera de transición hacia madera madura o juvenil externa; (e) el análisis de la variación de las características, no permitió observar diferencia marcada entre las procedencias.

Palabras claves: Densidad básica, pino romerón, traqueidas, variación radial y axial.

Abstract. Variation of density and dimensions of tracheids in wood of pine romeron from two provenances of eight year-old and three diameter classes were studied. In transverse sections of six trees per provenance, in the base, height breast (HB) and 25, 50 and 75% of total height, diametrical sections were taken to determine the density in the first half, in subsamples, to 25, 50, 75 and 100% of radial length. In the second half were selected early and late woods in the pair growth rings to measure tracheid dimensions. The results showed: (a) radial decrease of density from the 25% of the radio toward bark. Higher density at the base, decline until the breast high (AP), intermediate values of 50 %, and decreased to final 75%; (b) average density with no significant differences between provenances Jericó ($0.37 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) and Mesitas del Colegio ($0.36 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), (c) radial increment of tracheids dimensions, significant difference between the provenances only for the length, higher values in late wood and final axial increment to 75%, (d) formation of two wooden types, one from pith until the eighth growth ring, associated with juvenile or internal juvenile wood, and another near the bark, associated with transition wood toward the mature or external juvenile wood, (e) analysis of the variation of characteristics, showed no marked difference among provenances.

Key words: Basic density, pine romeron, tracheids, radial and axial variation.

Colombia, un país con clima tropical modificado por la presencia de la cordillera de los Andes, presenta una alta diversidad florística, con las Podocarpaceae como la única familia de coníferas nativa, además, incluida en los listados nacionales de especies amenazadas (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2000). Entre las especies y variedades, el pino romerón, es la más importante para la producción de madera fina para ebanistería y construcción, dado su gran porte con tallo recto y poco ramificado. También es una posible fuente de pulpa para papel, taninos, revestimientos, chapas decorativas, tableros aglomerados, contrachapados de uso general y molduras (JUNAC, 1981; Torres, 1988; Arévalo y Londoño, 2005).

Por tal razón, se han empezado a adelantar algunos esfuerzos en el establecimiento de plantaciones y en el enriquecimiento de bosques naturales donde esta especie ha sido común, con el objeto de proveer material que permita conocer y evaluar su comportamiento. El estudio del patrón de variación de las características de la madera, reviste especial importancia, ya que constituye una base científica para varias áreas de la investigación aplicada, como la silvicultura, la mejora genética y el procesamiento y uso de este material (Zobel y Talbert, 1992; Marín, 1998).

La madera de un árbol presenta una amplia variación de sus características, que cambian individualmente de acuerdo con el género, la especie, la edad, la

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Departamento de Ciencias Forestales. A.A. 1027. Medellín, Colombia. <amvasque@unalmed.edu.co>

² Profesor Titular. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales. Departamento de Agronomía. Córdoba, España. <ag1alvae@uco.es>

Recibido: Abril 24 de 2008; Aceptado: Abril 1 de 2009.

procedencia, y las condiciones de crecimiento, entre otras. Por esto, existe la necesidad de categorizarla, ya que la dimensión y disposición de sus elementos anatómicos tienen una gran influencia en sus propiedades (Burdon *et al.*, 2004).

La variabilidad de la madera en y entre los árboles ha sido intensamente estudiada para muchas especies alrededor del mundo. La variación es frecuentemente mayor dentro de un mismo árbol que entre los individuos de la misma especie que crecen en condiciones similares, y se presenta entre los anillos de crecimiento y en las direcciones radial y longitudinal (Zobel y van Buijtenen, 1989; Burdon *et al.*, 2004; Honjo *et al.*, 2005; Veenin *et al.*, 2005; Ishiguri *et al.*, 2005; Fan *et al.*, 2009; Tsuchiya y Furukawa, 2009).

Estos patrones de variación permiten identificar una región central a lo largo del tronco, sobre cuya denominación existe amplia controversia. Dicha región ha sido referida como madera juvenil debido al patrón de cambios en sus características, asociados con la actividad del cambium vascular durante ese período; se reconoce también como madera de copa, dado que su formación se encuentra asociada al tamaño de la misma, y a la cercanía de los procesos fisiológicos que tienen lugar en la copa viva del árbol; y como madera interna, pues se la encuentra en el cono central del tronco (Megraw, 1985; de Almeida, 1989; Zobel y Van Buijtenen, 1989; Burdon *et al.*, 2004).

Muchos autores consideran este último término como el más apropiado para referirse a la región central del tronco, donde la estructura y propiedades de la madera son variables y diferentes a aquellas de la madera externa y cuya extensión se define en función del cambio que presentan sus diferentes características, que se modifican de manera independiente dentro de un mismo individuo. Recomiendan en sus trabajos, restringir el término "madera juvenil", tan ampliamente usado en el pasado, para denominar sólo a la madera cercana a la médula en la parte inferior del tronco (Larson *et al.*, 2001; Amarasekara y Denne, 2002; Burdon *et al.*, 2004).

En el presente estudio, para tratar de hacer un uso adecuado de la terminología asociada, se hará referencia a la región central del tallo como madera juvenil o juvenil interna en la base, y como madera madura interna en la parte alta del mismo. La región

periférica del tallo será denominada como madera madura o juvenil externa en la base y como madera externa en la parte media y alta del árbol.

En este contexto, la investigación tuvo como objetivo, caracterizar la madera de árboles de pino romerón de dos procedencias y ocho años de edad, a través de la determinación, en las direcciones radial y axial, de su densidad básica y dimensiones de sus traqueidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras se obtuvieron en un ensayo de procedencias de la especie *Retrophyllum rospigliosii*, establecido por el Departamento de Investigación Forestal de la empresa Smurfit-Kappa Cartón de Colombia, en junio de 1998. Estaba localizado en el departamento del Cauca, municipio de Popayán, finca La Claridad (N 2°26'790", W 76°33'59") a 1.905 m de altitud, en bosque húmedo premontano (bh-P), precipitación promedia anual de 1,365 mm y temperatura media anual de 19,1 °C, dos temporadas lluviosas, entre marzo y mayo y entre septiembre y diciembre (Holdridge, 1987), suelos con textura franco arcillosa, profundidad efectiva del primer horizonte entre 0 y 35 cm y drenaje de lento a moderado.

Las plántulas se produjeron en vivero, a partir de semillas recolectadas de árboles crecidos en condiciones naturales y procedentes de siete sitios. La plantación se realizó con espaciamiento de 3,5 x 3,5 m, con previa aplicación de herbicida, 70 g de N,P,K. (10-30-10) y 15 g de Bórax al 48%, en el fondo de hoyos de 40 x 40 x 40 cm. El diseño fue en parcelas con 16 árboles por procedencia, sorteadas en cuatro bloques en una superficie de ocho hectáreas y pendiente del 25%.

Se seleccionaron individuos de dos procedencias con igual fecha de plantación: Mesitas del Colegio, en el departamento de Cundinamarca (bloques I, II, III y IV) y Jericó, en el departamento de Antioquia (bloques I, II y III). Con base en la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) se clasificaron en tres tamaños diametrales, con altura total y DAP promedios de 7,33 m y 17,83 cm para los dominados o suprimidos; 7,40 m y 21,03 cm para los intermedios y 7,64 m y 23,58 cm para los dominantes.

En cada procedencia se seleccionaron seis árboles al azar, dos por clase diamétrica, y en lo posible, con tronco cilíndrico, recto, sin bifurcaciones u otros

defectos, aunque fue casi imposible evitar la presencia de abundantes nudos y concavidades en el tronco de los individuos. Después de su apeo, se midió su altura total y se cortaron cinco secciones transversales de 3 cm de espesor: en la base, a la altura del pecho (AP), y a 25, 50 y 75% de la altura total.

Variación de la densidad básica de la madera.

En cada sección transversal se seleccionó una muestra diametral para colectar, en su primera mitad, cuatro submuestras de médula a corteza: a 25, 50, 75 y 100% de la longitud del radio. La densidad básica de la madera se determinó por el Método del Máximo Contenido de Humedad (Ecuación 1) (Foelkel *et al.*, 1983).

$$Db = \frac{I}{\frac{Mt}{Ms} - 0,346}$$

Donde:

Db = densidad básica de la madera.

Mt = masa de las muestras completamente saturadas.

Ms = masa de las muestras absolutamente secas, a 105 ± 3 °C hasta masa constante.

Variación de las dimensiones de las traqueidas.

De la segunda mitad de la muestra diametral se tomó material de la madera temprana y tardía en los anillos de crecimiento pares. Cuando no había madera tardía claramente formada, se tomó material de la parte final del anillo. Siguiendo la metodología de Franklin (1946), con este material se realizaron preparaciones temporales de macerados, que se utilizaron para la medición de la longitud, ancho, diámetro del lumen y espesor de la pared de 25 traqueidas en cada

muestra. Se usó un microscopio binocular Nikon, con lente ocular de escala graduada y preparación con escala micrométrica.

Análisis estadístico. La evaluación de los resultados se fundamentó en un diseño completamente al azar en arreglo factorial y seis factores principales: dimensión de las traqueidas, densidad básica, distancia radial, porcentaje de altura total, procedencia, y clases de diámetro, procesado en Statgrafics Plus versión 5.1. Debido a que los datos no siguieron una distribución normal, se utilizó el test de Kruskal-Wallis, además de la prueba de medias a partir del estadístico de Duncan a un nivel de confianza del 95%, estándar general utilizado en éste tipo de mediciones (Zobel y Talbert, 1992).

Se realizó un análisis de componentes principales, buscando reducir la información contenida en las P variables (dimensiones) originales, a un número menor, con nuevas dimensiones y un mínimo de pérdida de información, e identificar los caracteres que explican el mayor porcentaje de variación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación de la densidad básica de la madera.

La variación radial de la densidad básica en las cinco alturas consideradas (Figura 1) de los árboles, fue poco acentuada, con tendencia a disminuir desde el 25% del radio hacia la corteza.

Esta variación es similar a la descrita para otras especies de los géneros *Abies*, *Pseudotsuga*, *Tsuga*, *Picea*, *Cupressus*, *Thuja* y *Taxodium* (Zobel y van Buijtenen, 1989; Jozsa y Middleton, 1994).

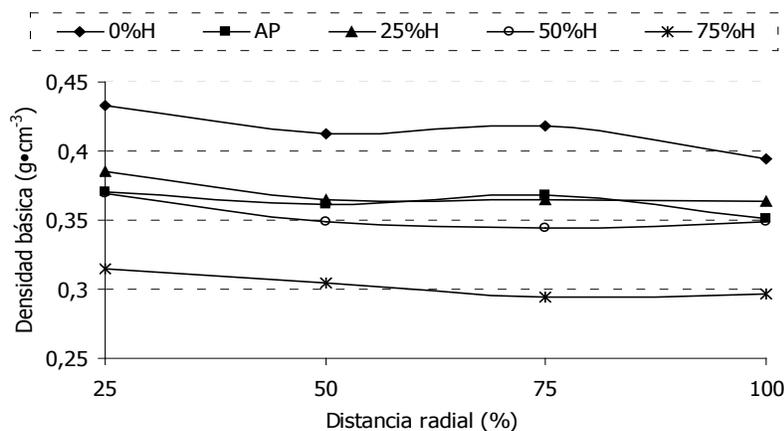


Figura 1. Variación radial de la densidad básica de la madera de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] a diferentes alturas. AP, altura a nivel del pecho; %H, porcentaje de la altura total.

La variación axial de la densidad básica para la población (Figura 2), muestra mayores valores en la base de los árboles que disminuyen hasta la altura del pecho (AP). Esta variación coincide con la encontrada en varios géneros de Pinaceae (Panshin y de Zeeuw,

1980; Megraw, 1985; de Almeida, 1989; Zobel y van Buijtenen, 1989; Klock, 1989; Burdon *et al.*, 2004). Posteriormente se observa poca variación hasta el 50% de la altura total, y una nueva disminución hacia el 75% de la misma.

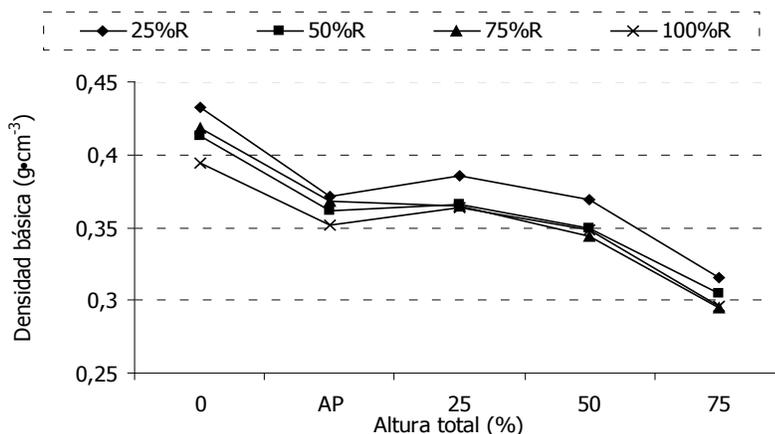


Figura 2. Variación axial de la densidad básica de la madera de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] a diferentes distancias de la médula. %R, porcentaje del radio desde la médula hacia la corteza; AP, altura a nivel del pecho.

El valor promedio de la densidad básica fue superior en los árboles de la clase de diámetro dominada (0,37 g·cm⁻³), seguida por la intermedia (0,36 g·cm⁻³), y finalmente por la dominante (0,35 g·cm⁻³), con diferencia significativa entre dominados y dominantes (Tabla 1). Amarasekara y Denne (2002), al trabajar con pino de Córsega (*Pinus nigra* var. *maritima*

(Ait.) Melville) de tres clases de diámetro y 23 años, también encontraron valores de densidad mayores en los árboles dominados, aunque otros investigadores como Megraw (1985) y Zobel y van Buijtenen (1989), aseguran que las menores densidades se observan en los árboles de las clases de diámetro dominada e intermedia.

Tabla 1. Variación radial y axial de la densidad básica promedio (g·cm⁻³) en madera de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de tres clases de diámetro y dos procedencias.

Distancia radial (%)	25	50	75	100	
	0,37 a	0,36 a	0,36 a	0,35 a	
Altura total (%)	0	dap	25	50	75
	0,41 a	0,36 b	0,37 b	0,35 b	0,30 c
Clase diametral	dominados		intermedios		dominantes
	0,37 a		0,36 ab		0,35 b
Procedencia	Jericó		Mesitas del Colegio		
	0,37 a		0,36 a		

Valores promedio en una misma fila, seguidos de letras diferentes, presentan diferencia significativa comparadas por la prueba de Duncan al 95% de confianza.

Los valores de densidad básica promedio, 0,37 g·cm⁻³ para la procedencia Jericó, y 0,36 g·cm⁻³ para la procedencia Mesitas del Colegio (Tabla 1), son realmente bajos si se los compara con 0,57 g·cm⁻³, densidad básica encontrada por JUNAC (1981) en

Ecuador, y con 0,41 g·cm⁻³, obtenida por Aróstegui y Sato (1970) y Acevedo y Kikata (1994), para madera de la misma especie en el Perú. Esto probablemente se debe a la corta edad de los árboles utilizados en este estudio, con un alto porcentaje de madera

juvenil interna, y también a que, si no se especifica otra cosa, los valores de densidad mencionados en la literatura, se refieren generalmente a madera madura proveniente de bosque natural (IAWA Committee, 2004).

Variación de las dimensiones de las traqueidas.

La variación radial de las características morfológicas de las traqueidas en la madera de árboles de pino

romerón, a diferentes alturas, muestra como regla general, incremento en dirección médula-corteza, en las diferentes clases de diámetro de ambas procedencias (Figura 3). Esta variación coincide con la mencionada por Larson *et al.* (2001), para pino de incienso (*Pinus taeda* L.) y por Jozsa y Middleton (1994) para un árbol de pino de Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) de 50 años, a la altura del pecho (AP), 20, 40, 60 y 80% de la altura total.

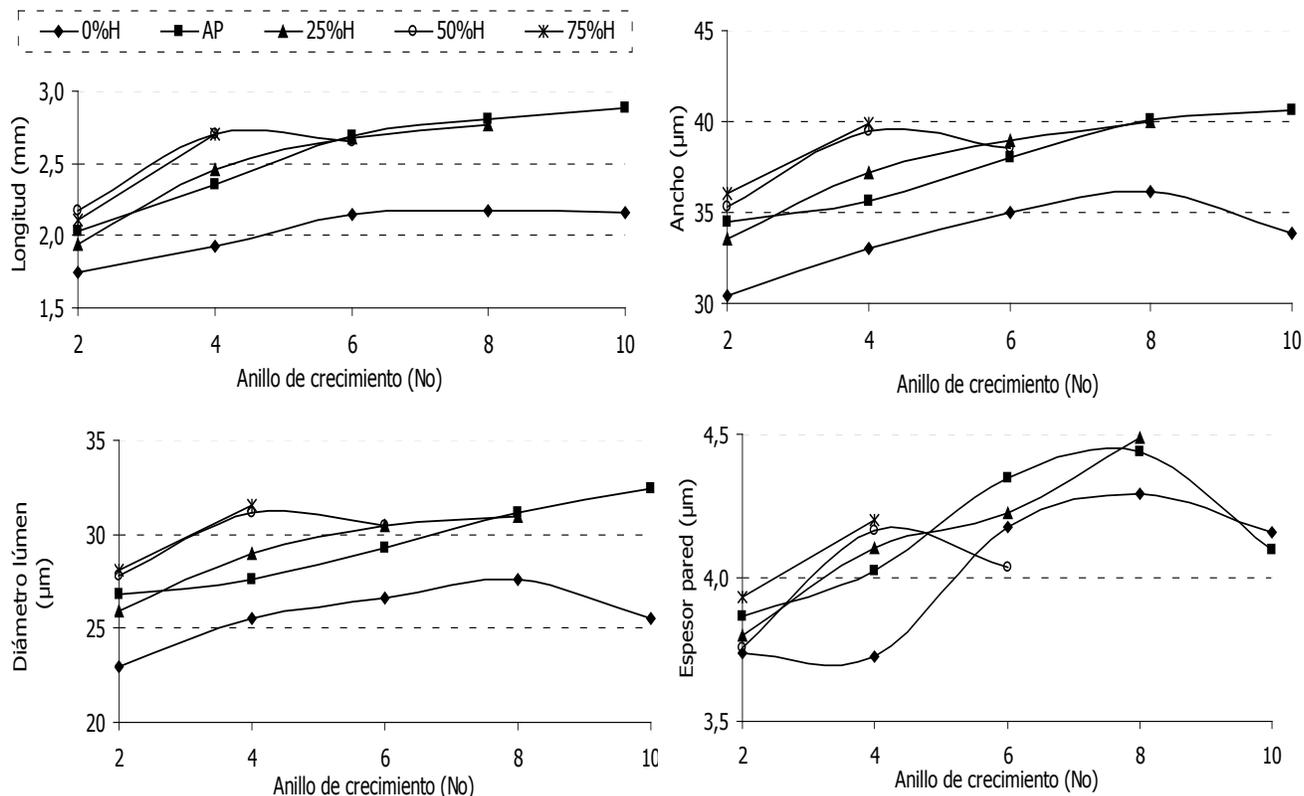


Figura 3. Variación radial de las dimensiones de las traqueidas en madera de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] a diferentes alturas. AP, altura a nivel del pecho; %H, porcentaje de la altura total.

Este modelo de variación radial muestra, de manera general, la formación de dos tipos de madera; la primera desde la médula hasta el octavo anillo de crecimiento, caracterizada por aumentos progresivos y asociada con madera juvenil o juvenil interna. Luego, cerca a la corteza, la madera presenta variaciones más graduales, lo que permite asociarla con madera de transición hacia la madera madura o juvenil externa (Zobel y Van Buijtenen, 1989; Larson *et al.*, 2001; Burdon *et al.*, 2004). La delimitación de las maderas interna y externa, en los árboles de pino romerón de ocho años de edad, no está perfectamente definida, y posiblemente sea más clara en árboles de mayor edad.

La variación axial de la longitud, ancho y diámetro del lúmen de las traqueidas, en las tres clases de diámetro de ambas procedencias, mostró una tendencia a aumentar con la altura, sobre todo desde la base hasta la altura del pecho (AP). El espesor de la pared de las traqueidas mostró también un aumento inicial hasta la altura del pecho (AP), con posteriores aumentos y disminuciones que no permiten visualizar una tendencia clara (Figura 4).

La longitud promedio de las traqueidas para la población fue de 2,34 mm (Tabla 2). La clase de diámetro intermedia presentó la mayor longitud

(2,37 mm) y diferencia significativa con las clases dominadas (2,33 mm) y dominante (2,32 mm). Las dos procedencias presentaron diferencia significativa, con el mayor valor para la procedencia Mesitas del

Colegio (2,37 mm) y el menor para la procedencia Jericó (2,31 mm). De acuerdo con (IAWA Committee, 2004), estos valores permiten clasificar las traqueidas como cortas (menos de 3 mm de longitud).

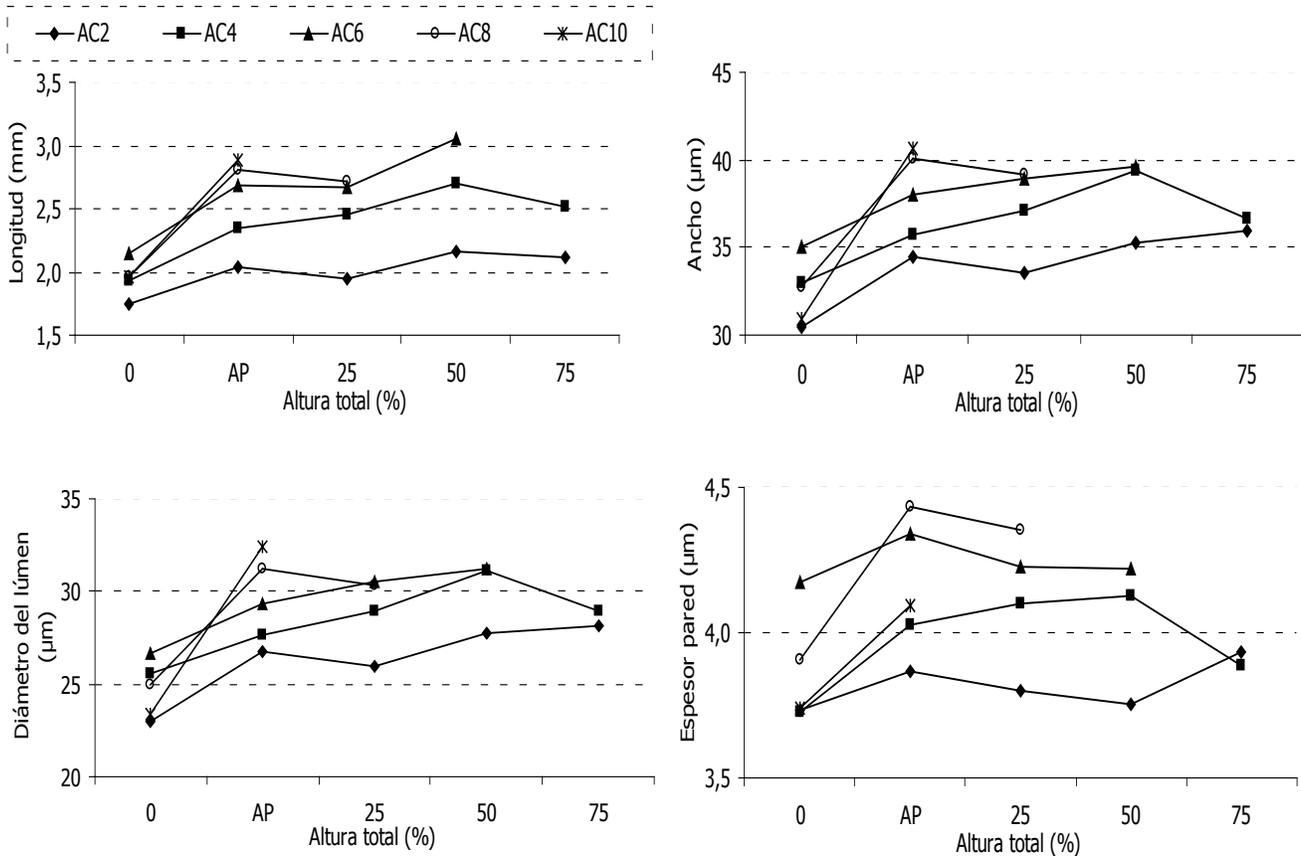


Figura 4. Variación axial de las dimensiones de las traqueidas en madera de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] en diferentes anillos de crecimiento de médula a corteza. AP, altura a nivel del pecho; AC, anillo de crecimiento.

El ancho promedio de las traqueidas para la población fue de 36,34 µm. La clase de diámetro intermedia presentó el menor valor (34,84 µm), seguido por la dominada (35,02 µm) y por la dominante (39,07 µm), sin diferencia significativa entre las clases dominada e intermedia. No se observó una diferencia significativa entre los promedios del ancho de las traqueidas para las procedencias Jericó (36,46 µm) y Mesitas del Colegio (36,21 µm) (Tabla 2).

El valor promedio del diámetro del lumen de las traqueidas para la población fue de 28,20 µm, con diferencia significativa entre las clases de diámetro dominada (27,44 µm), intermedia (27,01 µm) y dominante (30,10 µm). Las procedencias Jericó (28,19 µm) y Mesitas del Colegio (28,20 µm), no

presentaron diferencia significativa con respecto a esta característica (Tabla 2).

El valor promedio del espesor de la pared celular para la población fue de 4,08 µm, con el menor valor para los árboles en la clase dominada (3,79 µm), seguida por la intermedia (3,91 µm) y finalmente, por la dominante (4,49 µm), diferencia significativa entre las tres y entre las procedencias Jericó (4,14 µm) y Mesitas del Colegio (4,01 µm) (Tabla 2).

El diámetro del lumen obtenido en el presente estudio (28,20 µm) se encuentra entre 24 a 30 µm, intervalo establecido por García *et al.* (2002) para la especie *Retrophyllum minor* (Carrière) C.N. Page del sureste de Nueva Caledonia. Acevedo y Kikata (1994),

Tabla 2. Valores para la dimensión de las traqueidas en los anillos de crecimiento de médula a corteza, porcentajes de la altura total, tipo de madera, clases de diámetro y procedencias en madera de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page].

Longitud (mm)					
Anillo de crec. (No.)	2	4	6	8	10
	2,02 a	2,43 b	2,55 c	2,55 c	2,39 b
Altura total (%)	0	ap	25	50	75
	2,03 a	2,47 bc	2,44 b	2,51 c	2,40 d
Tipo de madera	temprana 2,28 a			tardía 2,40 b	
Clase diametral	dominados 2,33 a		intermedios 2,37 b	dominantes 2,32 a	
Procedencia	Jericó 2,31 a			Mesitas del Colegio 2,37 b	
Ancho (µm)					
Anillo de crec. (No.)	2	4	6	8	10
	33,94 a	36,94 bc	37,50 c	38,38 d	36,46 b
Altura total (%)	0	ap	25	50	75
	33,84 a	36,99 b	37,17 bc	37,57 c	37,65 c
Tipo de madera	temprana 35,86 a			tardía 36,81b	
Clase diametral	dominados 35,02 a		intermedios 34,84 a	dominantes 39,07 b	
Procedencia	Jericó 36,46 a			Mesitas del Colegio 36,21 a	
Diámetro lumen (µm)					
Anillo de crec. (No.)	2	4	6	8	10
	26,31 a	28,88 b	29,01 b	29,62 c	27,76 d
Altura total (%)	0	ap	25	50	75
	25,80a	28,68b	28,95b	29,61c	29,59c
Tipo de madera	temprana 27,85 a			tardía 28,54 b	
Clase diametral	dominados 27,44 a		Intermedios 27,01 b	dominantes 30,10 c	
Procedencia	Jericó 28,19 a			Mesitas del Colegio 28,20 a	
Espesor pared (µm)					
Anillo de crec. (No.)	2	4	6	8	10
	3,82 a	4,03 b	4,24 c	4,38 d	4,35 d
Altura total (%)	0	ap	25	50	75
	4,02a	4,16b	4,11b	4,00a	4,03a
Tipo de madera	temprana 4,01 a			tardía 4,14 b	
Clase diametral	dominados 3,79 a		intermedios 3,91 b	dominantes 4,49 c	
Procedencia	Jericó 4,14 a			Mesitas del Colegio 4,01 b	

Valores promedios de una misma fila, seguidos de letras diferentes, presentan diferencia significativa comparadas por la prueba de Duncan al 95% de confianza.

trabajando con ulcumano (*Nageia rospiglosii* (Pilger) Laubenfels) en Perú, registraron valores superiores para el ancho (46 a 58 μm), e inferiores para el espesor de la pared de las células (3,7 μm), a los hallados en este estudio, de 36,34 μm y 4,08 μm , respectivamente

En gimnospermas, la densidad de la madera varía en función del diámetro del lumen y del espesor de las paredes celulares, así, mientras que en las traqueidas de la madera temprana el diámetro se incrementa y el espesor de la pared cambia poco o permanece casi constante, la cantidad de material leñoso por unidad de volumen decrece (Larson *et al.*, 2001; Cato *et al.*, 2006). En el presente trabajo, aunque se observan diferencias significativas entre las dimensiones de las

traqueidas de la madera temprana y tardía, con valores superiores para esta última (Tabla 2), el análisis macroscópico de la madera muestra una diferencia poco acentuada, que indica la presencia de una alta proporción de madera de transición, con características morfológicas que cambian de manera extremadamente gradual (Larson *et al.*, 2001; Burdon *et al.*, 2004).

Análisis de componentes principales. A partir del análisis de componentes principales con los valores promedios de las variables: altura de los árboles, densidad básica, distancia radial y longitud de traqueidas, se seleccionaron los componentes principales uno y dos, que presentan valores mayores a uno y explican 75% de la variabilidad de los resultados (Tabla 3).

Tabla 3. Valores y varianza para los componentes principales obtenidos en el análisis de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospiglosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad.

Componente (No)	Valor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	1,75	44	44
2	1,25	31	75
3	0,67	17	92
4	0,33	8	100

Tabla 4. Valores de las variables en cada componente principal obtenidos en el análisis de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospiglosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad.

Variable	Componente 1	Componente 2
Altura (m)	0,68	-0,11
Densidad básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	-0,56	-0,23
Distancia radial (mm)	-0,36	0,70
Longitud traqueidas (mm)	0,30	0,67

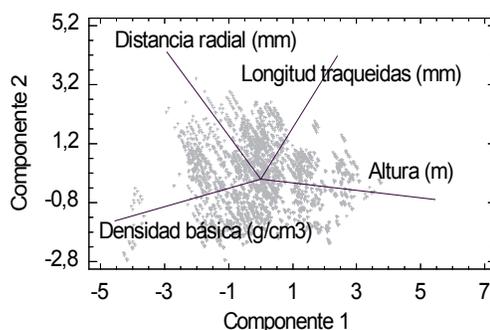


Figura 5. Representación gráfica de las variables en cada componente principal obtenidos en el análisis de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospiglosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad.

El componente principal 1 (Tabla 4, Figura 5), explica 44% de la variabilidad y contrasta la altura de los árboles (alto valor positivo) contra la densidad básica (alto valor negativo), y enfatiza la tendencia de variación axial encontrada para esta

propiedad física de la madera en esta investigación (mayores valores en la base de los árboles que disminuyen hasta la altura del pecho (AP), luego se estabilizan, y finalmente disminuyen hacia el 75% de la misma).

Tabla 5. Valores y varianza para los componentes principales obtenidos en el análisis de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad, de la procedencia Jericó.

Componente (No)	Valor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	1,66	41	41
2	1,39	35	76
3	0,61	15	91
4	0,35	9	100

Tabla 6. Valores de las variables en cada componente principal obtenidos en el análisis de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad, de la procedencia Jericó.

Variable	Componente 1	Componente 2
Altura (m)	0,68	0,16
Densidad básica (g•cm ⁻³)	-0,49	-0,47
Distancia radial (mm)	-0,53	0,49
Longitud traqueidas (mm)	-0,11	0,72

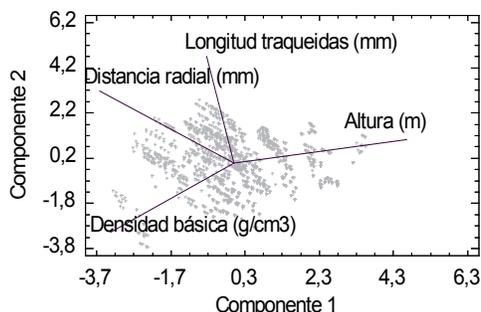


Figura 6. Representación gráfica de las variables en cada componente principal, evaluado en la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad, de la procedencia Jericó.

El componente principal 2 (Tabla 4, Figura 5) explica 31% de la variabilidad y contrasta la distancia radial (médula-corteza) y la longitud de las traqueidas,

ambas con altos valores positivos que confirman el incremento rápido encontrado para esta dimensión de las células en dirección a la corteza.

Tabla 7. Valores y varianza para los componentes principales obtenidos en el análisis de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad de la procedencia Mesitas del Colegio.

Componente (No.)	Valor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
1	2,08	52	52
2	1,13	28	80
3	0,54	13	94
4	0,25	7	100

Tabla 8. Valores de las variables en cada componente principal obtenidos en el análisis de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad de la procedencia Mesitas del Colegio.

Variable	Componente 1	Componente 2
Altura (m)	0,63	-0,15
Densidad básica (g•cm ³)	-0,58	-0,17
Distancia radial (mm)	-0,33	0,75
Longitud traqueidas (mm)	0,39	0,62

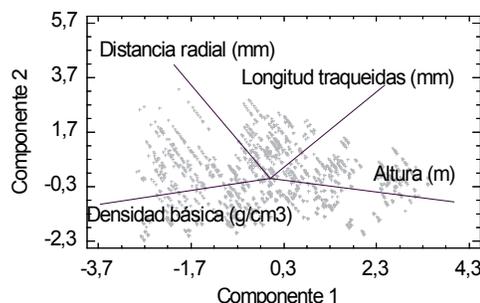


Figura 7. Representación gráfica de las variables en cada componente principal evaluado en la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad, en la procedencia Mesitas del Colegio.

Al elegir para su análisis los árboles de la procedencia Jericó (Tabla 5) y de la procedencia Mesitas del Colegio (Tabla 7) con los valores promedio de las mismas variables analizadas para la población, fueron seleccionados los componentes principales uno y dos, con valores mayores a uno que explican 76 y 80% de la variabilidad de los resultados, respectivamente.

Se observa, en el análisis de los resultados de cada procedencia (Tablas 6 y 8 – Figuras 6 y 7), igual comportamiento que en la población. El componente principal uno, que explica 41% de la variabilidad en la procedencia Jericó y 52% en la procedencia Mesitas del Colegio, contrasta la altura de los árboles (altos valores positivos) y la densidad básica de la madera (altos valores negativos).

De igual forma, el componente principal dos, que explica 35% de la variabilidad en la procedencia Jericó y el 28% en la procedencia Mesitas del Colegio, contrasta la distancia radial (médula - corteza) y la longitud de las traqueidas (ambos con altos valores positivos).

Estas relaciones no permiten observar una diferencia marcada entre las características de la madera en los árboles de pino romerón de las procedencias Jericó y Mesitas del Colegio.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió conocer la variación de la densidad y la morfología de las traqueidas en árboles de pino romerón y confirmar, que tanto en sentido radial como axial, coincide con la variación observada en otras coníferas de las familias Pinaceae, Cupressaceae y Taxodiaceae.

La densidad básica promedio obtenida (0,37 g•cm⁻³), fue similar a la observada por Droppelmann (2007) en madera juvenil de *Pinus radiata* D. Don y permite recomendar la madera de los árboles estudiados para la elaboración de lápices, pulpa, papel, tableros aglomerados, palillos mondadientes, fósforos, cucharillas de helado, depresores linguales, juguetería infantiles y similares.

Aun cuando la longitud promedio de las traqueidas en los árboles de pino romerón (2,34 mm), permite clasificarlas como cortas (IAWA Committee, 2004), este valor es ligeramente superior al observado para *Podocarpus brasiliensis* D.J., entre 2,15 y 2,29 mm, con base en el cual de Paula *et al.* (2000), recomiendan la madera de pequeñas dimensiones de esta última especie para la producción de celulosa.

En Colombia, sugerir este uso para la madera de las podocarpáceas, pondría a estas especies en franca desventaja con respecto a otras coníferas tropicales y subtropicales que ofrecen mejores rendimientos y crecimientos (Marín, 1998). Por tal razón, resultaría conveniente e interesante desarrollar sistemas silviculturales apropiados para rotaciones largas que permitan, en primer lugar, que el pino romerón conserve su lugar en el mercado de las maderas preciosas con la producción de volúmenes adecuados, y en segundo lugar, que se aprovechen las valiosas experiencias tenidas en algunas zonas del país, que consideran el uso de sombrero inicial y podas tempranas para mejorar, de manera importante, el desarrollo de los árboles, la forma del tallo y la calidad de la madera.

Finalmente, el hecho de que esta especie sea apreciada como elemento del paisaje y se la encuentre aisladamente, en cercos vivos y en algunas pequeñas plantaciones, y que su madera sea altamente apreciada para construcción, ebanistería, instrumentos musicales, traviesas, puentes y talla, entre otros, permite considerar la posibilidad de incorporarla, en pequeños volúmenes, al ingreso de los pequeños y medianos agricultores. Esto también permitiría obtener con mayor facilidad, en un futuro cercano, material de árboles de mayor edad, con el objeto de evaluar otras características de la madera como formación de duramen, durabilidad natural, trabajabilidad, propiedades mecánicas, etc.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Investigación de la División Forestal de Smurfit Kappa-Cartón de Colombia y al ingeniero John Byron Urrego, por su invaluable contribución con el material para la realización de la investigación y por su interés y esfuerzo en profundizar en el conocimiento de esta especie. A la Facultad de Ciencias Agropecuarias y al Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Colombia, por el apoyo constante, y también a los profesores, laboratoristas, técnicos y personal de apoyo del Laboratorio de Productos Forestales por su extraordinaria amistad, paciencia y colaboración. Al profesor Álvaro Lema Tapias, por su constante estímulo y colaboración en la corrección del manuscrito. A las estudiantes Natalia Londoño, Ana María Moreno, Paola Andrea Ortiz y Diana Cristina Carvajal, por su participación en el desarrollo de este estudio, y a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible este logro.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, M.M. y Y. Kikata. 1994. Atlas de maderas del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina Perú – Universidad de Nagoya Japón. 202 p.
- Amarasekara, H. and M.P. Denne. 2002. Effects of crown size on wood characteristics of Corcican pine in relation to definitions of juvenile wood, crown formed wood and core wood. *Forestry* 75(1): 51-61.
- Arévalo, F.R.L. y A.A. Londoño. 2005. Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. Corporación Autónoma Regional del Tolima. Impresiones Conde, Ibagué. 146 p.
- Aróstegui, V.A. y A. Sato. 1970. Propiedades físico-mecánicas y usos de dos especies de *Podocarpus* (*P. rospigliosii* Pilger; *P. montanus* var. *meridensis* Buchholz y Gray). *Revista Forestal del Perú* 4(1-2): 3-11.
- Burdon, R.D., R.P. Kibblewhite, J.C.F. Walker, R.A. Megraw, R. Evans and D.J. Cown. 2004. Juvenile versus mature wood: a new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to *Pinus radiata* and *P. taeda*. *Forest Science*. 50(4): 399-415.
- Cato, S., L. McMillan, L. Donaldson, T. Richardson, C. Echt and R. Gardner. 2006. Wood formation from the base to the crown in *Pinus radiata*: gradients of tracheid wall thickness, wood density, radial growth rate and gene expression. *Plant Molecular Biology* 60(4): 565-581.
- de Almeida, F.F.M. 1989. Variação na madeira de *Pinus pinaster* Ait. Doutorado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. 245 p.
- de Paula, J.E., F. Gomes, A. Peixoto. 2000. Caracterização anatômica de madeiras nativas de matas ciliares do centro-oeste brasileiro. *Scientia Forestalis* 58: 73-89.
- Droppelmann, F.F. 2007. Variación genética de la densidad de la madera en *Pinus radiata* D. Don. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. 92 p.
- Fan Z-X., K-F. Cao and P. Becker. 2009. Axial and radial variations in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. *IAWA Journal* 30(1): 1-13.

- Foelkel, C.E.B., A.F. Milanez e C.A. Busnardo. 1983. Método do máximo teor de umidade aplicado à determinação de densidade básica da madeira do eucalipto. *Silvicultura* 8(28): 792-796.
- Franklin, G.L. 1946. A rapid method of softening wood for microtome sectioning. *Tropical Woods* 88: 35-36.
- García, E.L., P. de Palacios, A. Guindeo, L. García, I. Lázaro, L. González, Y. Rodríguez, G. Fernández, I. Bobadilla y A. Camacho. 2002. Anatomía e identificación de maderas de coníferas a nivel de especie. Fundación Conde del Valle de Salazar-Mundi-Prensa, Madrid. 412 p.
- Honjo K., I. Furukawa and M.H. Sahri. 2005. Radial variation of fiber length increment in *Acacia mangium*. *IAWA Journal* 26(3): 339-352.
- Holdridge, L.R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano para la Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216 p.
- IAWA Committee. 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Journal* 25: 1-70.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 2000. Colombia megadiversa: cinco años explorando la riqueza de un país biodiverso. Instituto Humboldt, Santafé de Bogotá. 295 p.
- Ishiguri, F., S. Kasai, S. Yokota, K. Iizuka and N. Yoshizawa. 2005. Wood quality of sugi (*Cryptomeria japonica*) grown at four initial spacings. *IAWA Journal* 26(3): 375-386.
- Jozsa, L.A. and G.R. Middleton. 1994. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Forest Resource Development Agreement. Canadian Forestry Service British Columbia Ministry of Forests. FRDA II Special Publication No. SP-34. Forintek Canada Corp. Vancouver.
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). 1981. Estudio integral de la madera para la construcción. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de 104 especies del grupo andino. Lima Perú.
- Klock, U. 1989. Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf. Dissertação Mestrado em Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná. 143 p.
- Larson, P.R., D.E. Kretschmann, A. Clark and J.G. Isebrands. 2001. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. Gen. Tech.rep. FPL-GTR-129. Forest Products Laboratory. Forest Service. Department of Agriculture. Madison, WI: U.S. 42 p.
- Marín, A. 1998. Ecología y silvicultura de las Podocarpaceas andinas de Colombia. Departamento de Investigación Forestal. Smurfit Cartón de Colombia. 143 p.
- Megraw, R.A. 1985. Wood quality factors in loblolly pine. Tappi Press, Atlanta. 88 p.
- Panshin, A.J. and C. De Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. McGraw-Hill, New York. 404 p.
- Torres, J.H. 1988. Monografía N°5: Podocarpaceae. Flora de Colombia. Imprenta Nacional. Bogotá. 75 p.
- Tsuchiya, R. and I. Furukawa. 2009. Radial variation in the size of axial elements in relation to stem increment in *Quercus serrata*. *IAWA Journal* 30(1): 15-26.
- Veenin, T., M. Fujita, T. Nobuchi and S. Siripatanadilok. 2005. Radial variations of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. *IAWA Journal* 26(3): 353-361.
- Zobel, B.J. and J.P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation. Its causes and control. Springer-Verlag, Berlin. 216 p.
- Zobel, B.J. and J. Talbert. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa, Colombia. 545 p.