

ARTICULOS

Variabilidad radial de algunos caracteres anatómicos de *Aspidosperma quebracho blanco*

Radial wood variation in some anatomical features in *Aspidosperma quebracho blanco*

JUANA GRACIELA MOGLIA, CARLOS RAUL LOPEZ

Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales,
Universidad Nacional de Santiago del Estero,
Avda. Belgrano 1912 (S), Cp. 4200 Santiago del Estero, Argentina.
Email: vimog@unse.edu.ar

SUMMARY

Radial wood variation patterns of *Aspidosperma quebracho blanco*, one of the most important species of the Dry Chaco Region, and their influence on wood quality are reported in this study.

Pattern variations of wood density, frequency and diameter of pore vessels and fiber length were examined using sites, trees and radial distances as sources of variation.

Univariate analysis was performed using a nested design, with random effects on sites and trees and fixed distances to the pith. Variance Components were estimated by Restricted Maximum Likelihood.

The results indicated that distance to the pith was the most important source of variation for the traits studied.

With the exception of fiber length, the wood anatomical features measured were not affected by site. Fiber length increased rapidly from pith to bark and defined the juvenile wood zone. Wood density was not found to be a good indicator of wood quality due to the great variability between trees.

Key words: Wood, variation, radial, quebracho blanco.

RESUMEN

Este estudio determina el patrón de variación de los caracteres anatómicos estructurales del leño en *Aspidosperma quebracho blanco*, una de las especies de mayor importancia comercial del Parque Chaqueño Seco, Argentina.

Se determinó la incidencia de la fuente de variación sitio, árbol, y distancias radiales sobre la variabilidad de los caracteres estructurales densidad básica, número y diámetro de poros, largo de vasos y fibras.

El diseño consistió en un muestreo multietápico con submuestras de orden jerárquico. Para el análisis estadístico se utilizó un modelo anidado con efecto aleatorio en sitio y árboles y fijo en distancias radiales a la médula.

La estimación de los componentes de varianza fue realizada por el método de Máxima Verosimilitud Restringida. Los resultados mostraron que la distancia a la médula es la fuente de variación más importante en los caracteres estudiados. El sitio no tiene influencia excepto en la longitud de las fibras. La longitud de fibras aumenta rápidamente en dirección a la corteza, evidenciando la presencia de leño juvenil. La densidad básica no mostró ser un índice eficiente para valorar la calidad de la madera.

Palabras claves: xilema, variación, radial, quebracho blanco.

INTRODUCCION

La industria de la madera requiere materia prima uniforme para la elaboración de productos de calidad. Su aptitud como materia prima está asociada con el grado de variabilidad de los caracteres anatómicos estructurales. En consecuencia, es necesario conocer los patrones de variación anatómicos estructurales y su relación con las fuentes de variación ambientales.

La identificación de la variabilidad y su adecuación a los estándares de calidad de los usuarios es de fundamental importancia para poder optimizar el uso de la madera de acuerdo a las necesidades industriales. Este logro mejora la eficiencia de la materia prima y el control de calidad del producto (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

En general, las propiedades y características de uso de una madera pueden definirse de manera satisfactoria mediante pruebas directas, pero debido a que son costosas y en muchos casos destructivas, solo pueden ser aplicadas en escala reducida. Sin embargo, hay ciertos rasgos de la madera que son buenos indicadores de sus propiedades y usos, y que permiten ser utilizados como índices de calidad (Burley y Wood, 1979).

La densidad básica identifica la calidad de una madera y permite estimar su dureza, porosidad, comportamiento de los esfuerzos mecánicos, extensión de los cambios dimensionales, calidad del acabado y rendimiento. Por esta razón se la emplea como criterio de evaluación, permitiendo predecir las posibilidades de uso y la calidad de los productos a obtener (Burley y Wood, 1979).

La densidad básica está influida por el espesor y estructura de los anillos, tamaño de las células, espesor de la pared y proporción de los diferentes tejidos que conforman la estructura de la madera (Zobel y Talbert, 1984). Debido a esto, son también rasgos claves cuya medición y evaluación de su variabilidad pueden servir como índices de la calidad de la madera (Burley y Wood, 1979).

La estructura de la madera varía entre especies, dentro de cada especie, entre árboles, y aun dentro de cada ejemplar, además de las fuentes geográficas (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Por lo que la estructura de la madera es notablemente heterogénea como resultado de la influencia de factores intrínsecos (genéticos) y extrínsecos (ambientales). La naturaleza e intensidad de la influencia de estos factores sobre los elementos anatómicos pueden diferir según la especie o el género.

En zonas áridas y semiáridas, donde la humedad es la principal causante del crecimiento cíclico anual, la actividad cambial está influida más por el régimen de las lluvias que por la temperatura (Fhan 1964).

En Argentina *Aspidosperma* quebracho blanco (Schlecht) Apocinaceae es una de las especies de mayor importancia comercial en el Parque Chaqueño Seco. Es la especie más difundida de la Región del Chaco, y ocupa el 38% de un total de 8 millones de has de bosque nativo, extendiéndose también a la zona de transición con el Monte y a la Mesopotamia (Dimitri *et al.*, 1997). Se encuentra entre las especies nativas que aportan el mayor volumen de material aserrado.

Aunque el quebracho blanco ha sido utilizado predominantemente para la elaboración de los productos tradicionales (carbón, leña y durmientes), el color y veteado de su madera junto al acabado óptimo en las piezas trabajadas la colocan entre las más interesantes para uso en carpintería, parkués y tornería.

OBJETIVOS. Determinar el patrón de variación de los caracteres estructurales del leño en sentido radial.

- Determinar la incidencia de los árboles y el sitio sobre la variabilidad de los caracteres estructurales del leño.
- Estudiar la adecuación de la densidad básica como probable indicador de la calidad de la madera.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron 10 ejemplares adultos de *Aspidosperma* quebracho blanco, con diámetros superiores a los 30 cm, extraídos de dos sitios de la Región Chaqueña Seca, Santiago del Estero, Argentina.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO El área de estudio se inscribe en la Región Chaqueña. Según Hueck (1978), el Chaco es una gigantesca región de 800.000 km² cubierta por el bosque seco ininterrumpido más grande del territorio sudamericano. El clima pertenece al tipo subtropical de estepas y montes esteparios de tipo continental con veranos muy calientes e inviernos fríos y con

períodos de lluvia y de sequía bien delimitados (Boletta *et al.*, 1989).

La vegetación dominante es bosque subtropical de xerófilos. El quebrachal prevalece como comunidad climática, con *Schinopsis* quebracho colorado (quebracho colorado santiagueño) y *Aspidosperma* quebracho blanco (quebracho blanco). En la actualidad estos bosques se encuentran aprovechados en diferentes intensidades, existen áreas

muy afectados por el fuego y ya no existen rodales vírgenes (Hueck, 1978).

Los sitios de extracción de las muestras corresponden a La María y El Desierto, en la provincia de Santiago del Estero, Argentina (figura 1). Según la clasificación de Thornwaite (1957), estos sitios pertenecen al tipo climático correspondiente al semiárido mesotermal, con nulo o pequeño exceso de agua.

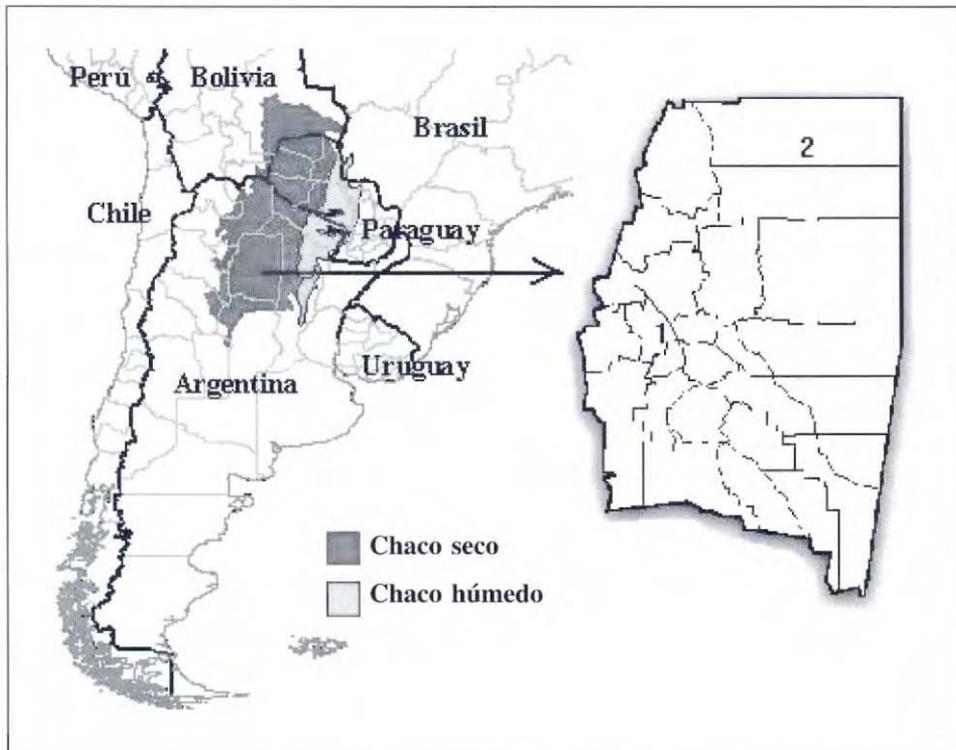


Figura 1. Localización de los sitios de estudio.
Site localization

a) *Campo experimental La María (Sitio 1)*. Este sitio se encuentra ubicado a 27 km de la ciudad de Santiago del Estero. Las precipitaciones se concentran en diciembre, enero y febrero y el balance hídrico es negativo en todos los meses del año (Juárez, 1998). Las precipitaciones tienen una distribución más uniforme que en el Sitio 2, con máximas en diciembre y en marzo. Los suelos se clasifican como *Regosols* (FAO-UNESCO, 1988) citado por Lorenz (1995). La altitud promedio es de 190 m, con una leve pendiente hacia el Oeste. La textura del suelo corresponde a las clases franco limoso y franco arenoso (Lorenz, 1995).

b) *El Desierto (Sitio 2)*. Se encuentra en el Departamento Copo a 400 km al NE de la ciudad de Santiago del Estero. Las precipitaciones se encuentran concentradas en el primer trimestre y el balance hídrico es negativo en todos los meses del año (Juárez, 1998). La precipitación tiene dos máximas correspondientes a diciembre (más acentuado) y marzo.

Los suelos se ubican en la Paleo-Planicie Aluvial del Río Salado, y se clasifican como Mollisoles. El estrato arbustivo contiene mayor número de especies que en el La María.

Las características climáticas del Sitio 1 y 2 se detallan en el cuadro 1:

CUADRO 1

Datos climáticos La María, a 28° 03' LS y 64° 15' LO, 169 m s.n.m. (Sitio 1) y de Los Pirpintos, a 20° 75' LS y 62° 04' LO (Sitio 2).

Climatic data of La María, a 28° 03' LS y 64° 15' LO, 169 m s.n.m. (Site 1) and Los Pirpintos a 20° 75' LS y 62° 04' LO (Site 2).

	Temperatura media del mes más cálido (Enero)	Temperatura media del mes más frío (Julio)	Precipitación anual	Evapotranspiración anual	Déficit anual aproximado
Sitio 1	26,1° C	10,6° C	579 ram	1011	432 mm
Sitio 2	28,0° C	15,6° C	614 mm	1174	560 mm

Fuente: E.E.A.-INTA. La María Santiago del Estero y Dirección de Recursos Hídricos de Santiago del Estero.

Para la obtención de las muestras se escogieron 10 individuos adultos y sanos, sin daños visibles y de fuste recto, según las recomendaciones de Burley y Wood (1979). Los ejemplares seleccionados corresponden a los árboles dominantes debido a su sensibilidad a los factores del ambiente.

En cada individuo se midió altura total y altura de fuste, considerada hasta la primera ramificación, y el diámetro a 1,30 m.

Se extrajeron dos probetas de 2 cm de arista, sobre el radio Norte de la sección transversal, a 1,30 m de altura. Una de ellas se destinó para la determinación de la densidad básica y la otra para los preparados microscópicos. Se tomaron cinco probetas a partir de 2 cm desde la médula Butterfield *et al.* (1993), y dejando un cm entre cada una de las muestras.

La densidad básica, se determinó según la Norma IRAM 9544 (1977), a 12% de humedad.

OBTENCION DE PREPARADOS MICROSCOPICOS. Las probetas fueron hervidas cuatro horas por día, durante cinco días, para su ablandamiento. Las secciones obtenidas se tiñeron con coloración triple de acridina-crisoidina y azul de astra. Luego de deshidratarlas, en una secuencia creciente de alcoholes, se montaron en entellán.

Los macerados se prepararon colocando astillas de madera en una parte de ácido acético glacial y dos partes de peróxido de hidrógeno, según la técnica de Berlyn y Mishke (1976). Posteriormente fueron teñidos con safranina y montados en entellán. Las descripciones microscópicas se realizaron de acuerdo a las recomendaciones del Co-

mité de IAWA (International Association of Wood Anatomists, 1989).

Las variables utilizadas fueron:

1. Densidad básica.
2. Frecuencia de poros (número de poros por mm²).
3. Diámetro tangencial de poros.
4. Longitud de vasos.
5. Longitud de fibras.

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS

Análisis descriptivo. Fueron estimadas las medidas de dispersión, tendencia central y el análisis exploratorio de datos para comprobar los supuestos de análisis paramétricos y aumentar la eficiencia de la prueba de "F".

Análisis de la varianza. Se realizó mediante un modelo mixto, con efecto aleatorio de sitios y árboles, y fijo de distancias a la médula.

El muestreo fue multietápico con submuestras de orden jerárquico, Van Lar (1991). El proceso de muestreo comprende las variables clasificatorias "sitios", "árboles" y "distancias radiales" anidadas en forma sucesiva.

El modelo lineal aditivo correspondiente es:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + A_{ij} + D_{jk}$$

Donde:

Y_{ijk} = media de la variable Y evaluada en el tratamiento i y en el sitio j.

μ = promedio general.

s_i = efecto del i ésimo sitio.

A_{ij} = efecto del j ésimo árbol dentro del i ésimo sitio.

D_{ijk} = efecto del k ésima distancia, dentro del j ésimo árbol dentro del i ésimo sitio.

La participación porcentual de las variables clasificatorias sobre la variabilidad de los caracteres estudiados fue calculada en base a los componentes de varianza estimados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (SAS. V.G.12).

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis descriptivo. En el cuadro 2 se muestran las medidas de posición y dispersión de las variables analizadas por tratamiento y sitio.

Las variables Número de poros y Diámetro de poros fueron procesadas utilizando su transformación logarítmica.

Los Coeficientes de Variación (CV) resultaron bajos especialmente en el largo de fibras y la densidad básica y son similares a los encontrados por Helinska Rackzkowska y Fabisiak (1991) y Manwiller (1974) en *Quercus*.

Análisis de la Varianza (ANOVA). En el cuadro 3 se muestran los resultados de los análisis de varianza de los caracteres estudiados. Sólo existen diferencias significativas entre sitios para la longitud de fibras, lo que denota la poca influencia de esta fuente de variación en las respuestas de las variables analizadas.

CUADRO 2

Promedios y coeficientes de variación (C.V.) por distancias a la médula de las variables analizadas.

Means and variation coefficient (C.V.) of the analized variables by distance to the pith

Variables		D1	D2	D3	D4	D5
Densidad básica	Media	0,809	0,813	0,813	0,792	0,784
	C.V.	5,40	6,65	5,58	6,03	5,86
Número de poros	Media	15,04	9,67	8,27	7,80	7,41
	C.V.	25,44	23,63	16,88	5,98	16,68
Diámetro de poros	Media	78,74	82,39	87,18	87,89	99,39
	C.V.	30,48	16,46	15,19	12,28	11,96
Largo de vasos	Media	286,28	298,48	319,32	341,51	348,23
	C.V.	5,77	9,55	10,60	8,61	10,29
Largo de fibras	Media	1.221,36	1.376,38	1.485,36	1.447,82	1.534,49
	C.V.	5,90	9,87	8,25	5,41	5,23

CUADRO 3

Resultados del ANOVA aplicados a las características estudiadas.
ANOVA results of studied characteristics.

Variables	Fuente de variación	
	Sitio	Arboles
Densidad	n.s.	**
Número de poros	n.s.	n.s.
Diámetro de poros	n.s.	*
Longitud de vasos	n.s.	*
Longitud de fibras	*	n.s.

n.s. = no significativo

* = significativo al 95% de probabilidades

** = significativo al 99% de probabilidad.

La densidad básica no muestra diferencias significativas entre sitios. Esto no concuerda con los estudios de Zhanner (1968), citado por Zobel y Van Buijtenen (1989), que establecen que el sitio tiene influencia sobre la densidad en las especies de porosidad difusa de alta densidad como quebracho blanco. Según este autor, en los sitios con mayor humedad se forma mayor cantidad de vasos sobre una matriz con fibras de paredes más delgadas, lo que produce densidad básica más baja.

La longitud de fibras fue la única variable que mostró diferencias significativas entre sitios, siendo un 8% más largas en el sitio que tiene menor disponibilidad de agua de acuerdo a su balance hídrico. Esta aparente contradicción puede deberse a la forma de crecimiento en longitud de las fibras. La menor velocidad de crecimiento permite la elongación de las células antes de volver a multiplicarse. Si la velocidad de crecimiento es rápida, la célula madre producida por la célula cambial inicial recibe el estímulo para dividirse antes de agrandarse (Larson, 1994). En este sentido, Helinska-Rackzkowska y Fabisiak (1991) encontraron en *Quercus* que los árboles dominantes, cuyo crecimiento es mayor que los suprimidos, tienen fibras significativamente más cortas. Sin embargo Baas (1986) encontró en *Quercus* que el crecimiento muy lento produce reducción de los elementos.

Si bien no hay diferencias significativas en los elementos de conducción, el diámetro de poros es un 12%, menor en el Sitio 2, que tiene menor

disponibilidad de agua. Esto concuerda con Tyree *et al.* (1984) y Tyree y Sperry (1989), que sostienen que a nivel intraespecífico existe correlación negativa entre el diámetro de poros y la pérdida de conductividad hidráulica por efecto de la fuerte tensión hídrica que provoca la aridez.

La disminución del diámetro de poros con el déficit hídrico ha sido descrita por Carlquist (1977), Barajas-Morales (1985), Woodcock e Ignas (1994). La respuesta insignificante de las variables anatómicas del quebracho blanco con el sitio puede deberse a la presencia de un sistema subsidiario de conducción (traqueidas vasicéntricas), que hacen innecesario una modificación acentuada del sistema vascular.

Las variables densidad, diámetro de poros y longitud de vasos, muestran diferencias significativas entre árboles dentro de cada sitio. Respecto a la densidad básica, estos resultados concuerdan con Panshin y De Zeew (1980), Zobel y Van Buijtenen (1989), Zhang y Zong (1990), quienes encontraron que la mayor proporción de variación de la densidad básica se debe a la diferencia entre árboles.

Lei *et al.* (1996) no encontraron diferencias significativas entre árboles en las variables longitud de fibras y diámetro de vasos. La mayor causa de variación para estas variables se encuentra dentro del árbol en función de la edad.

Componentes de varianza. Las varianzas de las variables clasificatorias estimadas para cada carácter se muestran en la Cuadro 4. La representación porcentual de la variación asociada a cada fuente permite catalogar la incidencia de las mismas a la variabilidad del carácter en estudio.

CUADRO 4

Varianza explicada por cada fuente de variación expresado en porcentaje.
Explained variance, in percentage, for each source of variation.

Variables	Sitio	Arboles	Distancia
Densidad	0,0	82,1	17,9
Número de poros	2,6	1,4	96,0
Diámetro de poros	7,6	26,0	66,4
Longitud de vasos	0,0	19,4	80,6
Longitud de fibras	20,7	3,0	76,3

Densidad básica. Este carácter no se ve afectado por el sitio y su variabilidad está más expresada por las diferencias entre árboles que por las distancias a la médula (figura 2). Aeckermann (1995) confirma que la causa de la variabilidad de la densidad básica en *Quercus*, a edades fijas en 7 sitios se debe a la diferencia entre árboles.

Ferreira y Kageyama (1994) encontraron en *Eucalyptus grandis* que el efecto de la edad (asimilable a distancias) es más importante que el efecto de sitios en la variación de la densidad básica.

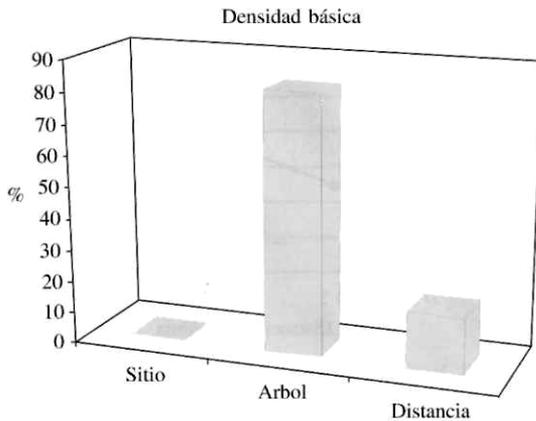


Figura 2. Porcentaje de variación explicada por los efectos del modelo

Variance percentage explained by the model

La tendencia decreciente en sentido radial de densidad básica de quebracho blanco se muestra en la figura 3. Esta tendencia es similar a la encontrada por Coronel (1984) en esta misma especie. Este decrecimiento radial puede deberse a que el duramen contiene extractivos y material incrustante que aumenta su densidad. De acuerdo a Besold *et al.* (1988), el contenido de extractivos del quebracho blanco es de 7.7%.

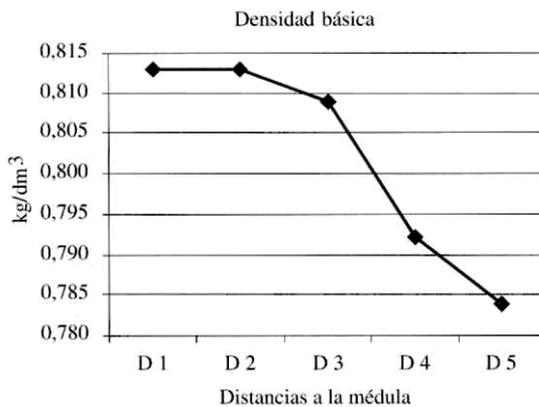


Figura 3. Variación radial de la densidad básica.
Radial variation of basic density

Coronel (1984) encontró diferencias significativas para la densidad básica en quebracho blanco entre la zona interna (0,905 kg/m³), y (0,867 kg/dm³) en la zona externa, basándose en las diferencias entre albura y duramen. Los valores calculados por este autor son mayores que los encontrados en el presente trabajo.

Los patrones de variación de la densidad básica, en sentido radial, han sido ampliamente estudiados en coníferas. En latifoliadas hay mayor variabilidad en los caracteres estructurales del leño, por lo que pueden encontrarse diversos patrones de variación de densidad. Según Kollman (1959), el valor máximo de densidad básica en latifoliadas se encuentra en el centro del tronco. Este autor señala que en maderas de porosidad difusa, especialmente de densidad básica baja como las del género *Populus*, existe una tendencia creciente de densidad en los primeros años y luego disminuye. Este mismo comportamiento se encontró en *Quercus* y en haya (Kollman, 1959).

La tendencia decreciente observada en *Aspidosperma* quebracho blanco también fue encontrada en *Populus* por Yanchuck *et al.* (1983), y en *Acer saccharium* por Saydak (1967), citados por Peszlen (1994), y en *Hyeronima* y *Vochysia* por Butterfield *et al.* (1993).

Número de poros. En este carácter hay gran incidencia de las diferencias entre distancias dentro del individuo sobre su variabilidad. La incidencia de las diferencias entre árboles y sitio es insignificante, según se observa en el figura 4.

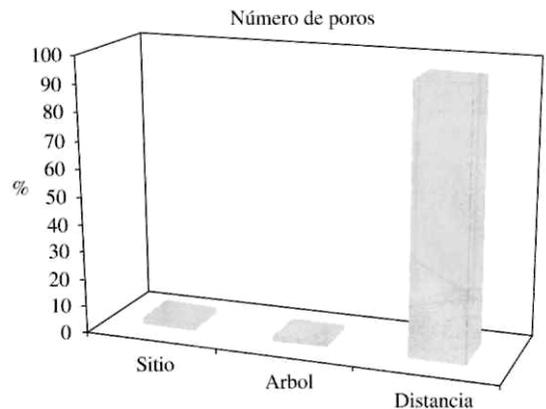


Figura 4. Porcentaje de variación explicada por los efectos del modelo.

Variance percentage explained by the model

El número de poros decrece radialmente desde la médula a la corteza según se muestra en la figura 5. La disminución total alcanza un 50%. Esta tendencia es similar a las encontradas por otros autores¹. Los resultados de Bosman *et al.* (1994) en *Shorea* son similares a los resultados encontrados en esta especie, con una disminución rápida los primeros 10 cm desde la médula. La disminución del número de poros está asociada al aumento de diámetro de los mismos.

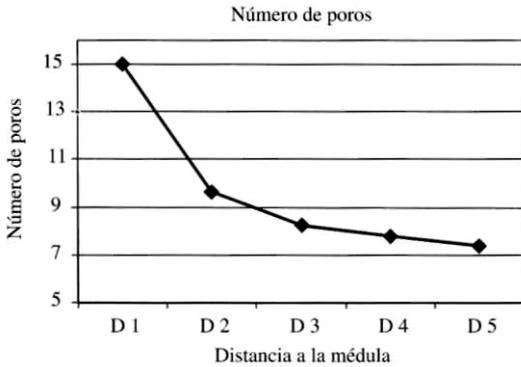


Figura 5. Variación radial del número de poros.
Radial variation of pores number

Diámetro de poros. La mayor incidencia de la variabilidad mostrada en este carácter se debe a la diferencia entre distancias a la médula. La variabilidad entre árboles tiene menor influencia que la distancia. La participación de las diferencias entre sitios es escasa.

Peszlen (1994) encontró que en *Populus* la edad, asimilable a la distancia, explica el 80% de la variación, en el quebracho blanco la distancia explica el 66,4% (figura 6).

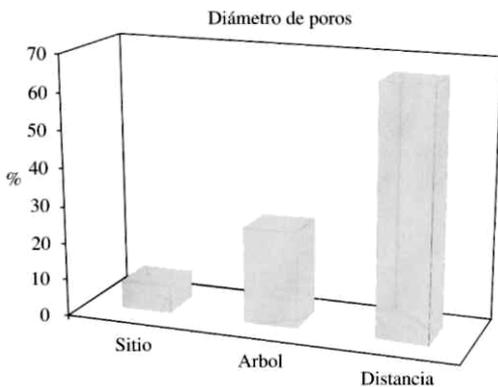


Figura 6. Porcentaje de variación explicada por los efectos del modelo
Variance percentage explained by the model

El diámetro de poros tiene una tendencia radial creciente y evidencia un aumento total de un 26%, desde la médula a la corteza (figura 7). Esto concuerda con las tendencias encontradas por diversos autores². Este aumento se debe, según Carlquist (1988), a una adaptación al incremento de volumen del fuste mientras el árbol forma su copa. Butterfield *et al.* (1993) encontraron patrones similares en *Hyeronima* y *Vochysia*.

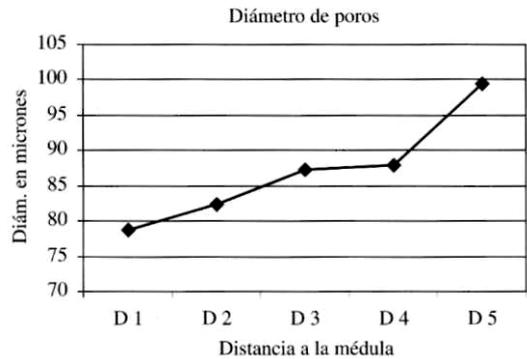


Figura 7. Variación del diámetro de poros
Radial variation of pore diameter

Carlquist (1988) y Sidiyasa y Baas (1998) encontraron correlación lineal inversa entre la disminución del número de poros y el aumento del diámetro de los mismos. En esta especie el aumento de diámetros de poros no es proporcional a la disminución de su número como se desprende del bajo coeficiente de correlación lineal de Pearson $R = -0,287$. La relación correspondiente entre ambas variables se muestra en la figura 8.

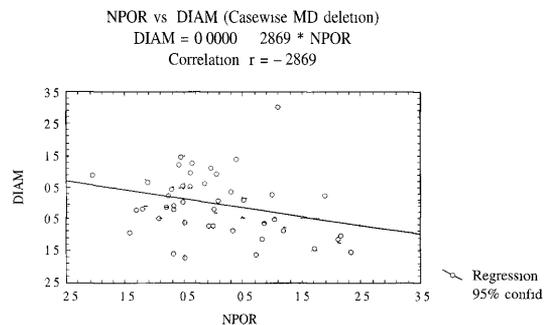


Figura 8. Correlación lineal entre el número de poros y el diámetro de los mismos
Linear correlation of pore numbers and diameters

¹ (Butterfield *et al.*, 1993, Peszlen, 1994, Bosman *et al.*, 1996)

² (Fukazawa, 1984, Carlquist, 1985, Butterfield *et al.*, 1993, Peszlen, 1994)

Longitud de vasos. Existe gran participación de las distancias a la médula en la expresión de la variabilidad en este carácter. Hay escasa variación entre árboles y ninguna entre sitios, como se observa en la figura 9.

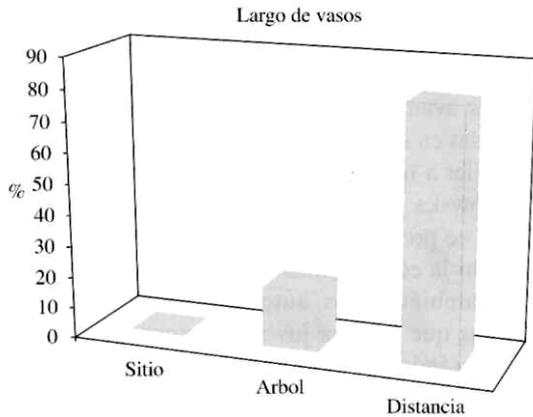


Figura 9. Porcentaje de variación explicada por los efectos del modelo.

Variance percentage explained by the model

La longitud de vasos tiene un patrón de variación creciente en sentido radial (figura 10) con ascenso total de 17%. Este aumento no es proporcional al evidenciado por el diámetro de los mismos y concuerda con lo observado por Fukazawa (1984) y Carlquist (1988).

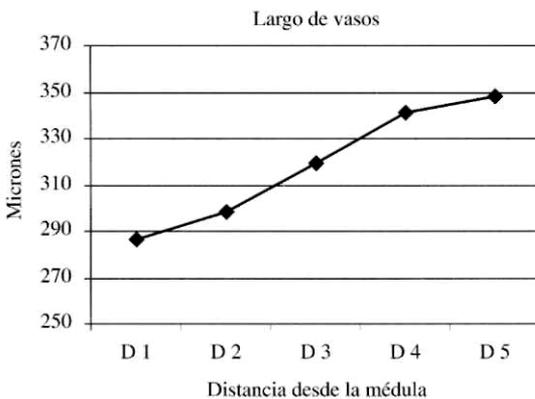


Figura 10. Variación radial de la longitud de vasos. Radial variation of vessels length.

La longitud de los vasos es similar a la longitud de las células cambiales fusiformes de las que derivan, sobre todo en especies de porosidad difusa como el quebracho blanco, similar a lo obser-

vado por Chalk y Chattaway (1934) citado por Larson (1994). A medida que el árbol crece sus células también lo hacen para conducir mayor volumen de agua (Larson, 1994). El patrón de variación radial de los elementos vasculares es menos acentuado que el de las fibras, y concuerda con lo observado por León y Espinoza de Pernía (1998) en *Cordia thaisiana*.

Longitud de fibras. En este carácter, la diferencia entre distancias dentro del individuo es la principal causa de variación, aunque también tienen incidencia las diferencias entre sitios (figura 11). Peszlen (1994) encontró en *Populus* que la edad explica el 76% de la variación para esta variable.

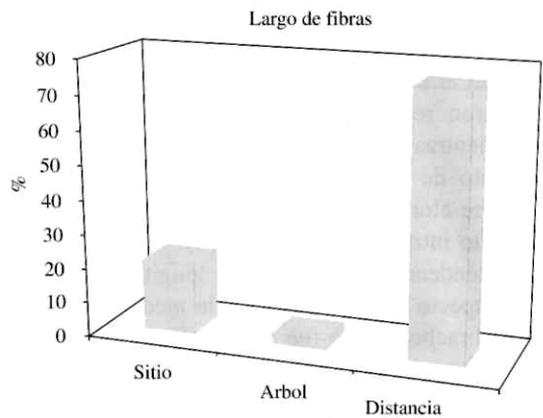


Figura 11. Porcentaje de variación explicada por los efectos del modelo.

Variance percentage explained by the model

En la figura 12 se observa la tendencia creciente en la longitud de fibras.

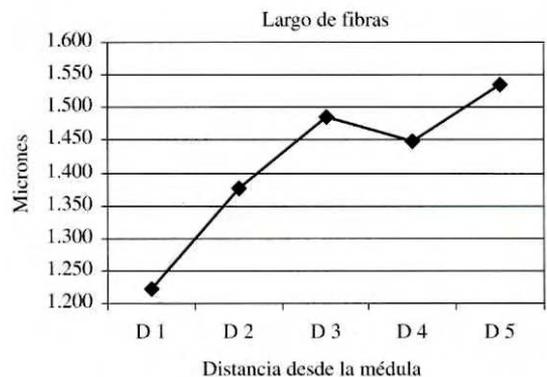


Figura 12. Variación radial de la longitud de fibras. Radial variation of fibre length.

El incremento total en la longitud de fibras en quebracho blanco es de 20,4%. Helinska-Rackzowska y Fabisiak (1991) encontraron resultados similares en *Quercus* donde la madera madura presenta longitudes de fibras y vasos, entre 10 a 20% mayores que las de la madera juvenil. En *Triplochiton scleroxylon*, Teng Amooko *et al.*, citados por Zobel y Van Buijtenen (1989), encontraron aumento de 30% para longitud de fibras mientras que Butterfield *et al.* (1993) observaron aumentos de 277% en *Hyeronima alchornoides*.

Entre los promedios D1 y D2 y D2 y D3 la longitud de las fibras incrementa 7% y 5,6% respectivamente. En géneros como *Quercus*, *Fagus*, *Fraxinus* se observaron patrones ascendentes continuos hasta los 100 años (Zobel *et al.*, 1989).

El aumento evidenciado por la longitud de fibras es más acentuado que el de longitud de vasos. Lei *et al.* (1996) y Bosman *et al.* (1994) encontraron resultados similares. Esto se debe a que mientras los vasos siguen la tendencia de crecimiento de las células iniciales fusiformes, las fibras se elongan posteriormente debido a su crecimiento intrusivo (Larson, 1994).

La tendencia creciente de la longitud de fibras con respecto a las distancias a la médula como la de quebracho blanco fue observada por diferentes autores³, y sigue un patrón similar al de la longitud de vasos. Según Zobel y Van Buijtenen (1989), las fibras tienen el patrón de variación más consistente entre los elementos anatómicos en la madera.

De las variables consideradas en este análisis, la mayoría tienen como fuente de variación principal un porcentaje superior al 70%, a la distancia a la médula. Esto reafirma lo encontrado por diversos autores como Panshin y De Zeew (1980); Zobel y Van Buijtenen (1989) que sostienen que la mayor fuente de variación se encuentra en el árbol mismo.

La fuente de variación árbol resultó ser importante en la densidad básica, lo que implica que este parámetro no es adecuado y no puede ser utilizado como un índice de calidad, debido a la alta variabilidad entre árboles y su escasa variabilidad en sentido radial.

Teniendo en consideración la diferencia de ascenso rápido, luego más lento en la tendencia de ascenso en la longitud de fibras, es posible distinguir la presencia de madera juvenil en el quebracho blanco. La fase de ascenso rápido se evidencia hasta la distancia D3, que corresponde a un rango de 9,5 a 10,5 cm de distancia de la médula, que corresponden a edades que varían entre 31 a 40 años, según el árbol considerado. Aunque esta edad es avanzada si se compara con aquellas encontradas en *Pinus* y otras especies (10 a 14 años), es similar a la encontrada en *Quercus* (Helinska - Rackzowska y Fabisiak, 1991), donde la madera juvenil se prolonga hasta los 30 años, y que coincide con la edad de madurez sexual de esta especie. También otros autores⁴ determinaron en *Quercus* que la zona juvenil comprende 30 a 40 años, basándose también en la variación en sentido radial de la longitud de fibras, resultado similar al encontrado en quebracho blanco. Lei *et al.* (1996) encontraron que el pasaje de madera juvenil a adulta (determinado por el cambio de pendiente de la curva) variaba entre 10 y 26 años en *Quercus garrayana*, dependiendo del elemento anatómico considerado.

En latifoliadas, la presencia de madera juvenil es difícil de determinar y depende de la especie. Las especies más longevas forman madera juvenil durante un tiempo más prolongado, y sus cambios no son tan severos como en aquellas especies de rápido crecimiento (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Así, Butterfield *et al.* (1993) no encontraron definición de clara de madera juvenil en *Hyeronima alchornoides* y *Vochysia guatemaltensis*. En álamos se encontró un rápido ascenso de la longitud de fibras en los primeros 10 a 20 años y luego una disminución que evidenciaba la presencia de madera juvenil⁵.

En los gráficos de tendencias de las figuras se observa que las tendencias de las variables, número y diámetro de poros, longitud de vasos, también cambian su pendiente en la distancia D3 (9 a 11 cm). Hasta las distancias (16 a 18 cm de radio), que corresponden a edades alrededor de los 72 años y según se observa en los gráficos, no pudo observarse la estabilización de los elementos, cita-

³ Ismail *et al.* (1995) en *Neolanckia cadamo Antrocephalus chinensis*; en *Cupressus sempervirens* Pareskevoupoulou (1991). En *Populus* (Jame *et al.*, 1943; Scaramuzzi, 1955; Inokuma *et al.*, 1956; Boce Kaiser, 1961; Marton *et al.*, 1968; Holt y Murphe, 1978; Murphe *et al.*, 1979; Yanchuk *et al.*, 1984), todos citados por Peszlen (1994).

⁴ Hamilton, 1961; Farmer, 1969; Taylor, 1979; Petric y Scukanec, 1980; Furukawa *et al.*, 1983, citados por Helinska-Rackzowska y Fabisiak (1991).

⁵ Scaramuzzi, 1955; Boyce y Kayser, 1961, citados por Peszlen (1994).

da por varios autores como característica de la madera madura.

Giménez (1998) encontró en *Schinopsis* quebracho colorado que los caracteres estructurales no se estabilizaban aun a los 70 años de edad.

Coincidentemente, los componentes de varianza más importantes de la densidad básica y del porcentaje de fibras (Moglia 2000) son las diferencias entre árboles.

La causa de la escasa variabilidad de la densidad básica, en esta especie, puede atribuirse justamente a que sigue la misma tendencia del porcentaje de fibras que no muestra tendencia definida en función de la distancia radial (Moglia, 2000).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos justifican las siguientes conclusiones:

- La distancia a la médula es la fuente de variación más importante en la mayoría de los caracteres anatómicos estudiados, lo que ratifica que la variabilidad dentro del árbol es más importante que la variabilidad entre árboles o sitios.
- La densidad básica no mostró ser un índice eficiente para valorar la calidad de la madera debido a la alta variabilidad entre árboles.
- Los caracteres anatómicos considerados no están afectados por el sitio, excepto la longitud de las fibras que es influida por su crecimiento intrusivo, produciendo fibras más largas en el sitio con menor disponibilidad de agua.
- La longitud de fibras incrementa rápidamente en dirección a la corteza hasta una edad aproximada de 35 años, debido a la presencia de leño juvenil. En edades superiores, el incremento es menor. Hasta las edades estudiadas los elementos no están estabilizados.
- La longitud de vasos aumenta en forma más acentuada hasta una edad aproximada de 35 años. Estas variables tienen edades de maduración similares a la longitud de fibras, corroborando la presencia de leño juvenil.
- La distancia a la médula resultó ser eficiente, debido a su correlación con la edad cambial, para evaluar la variabilidad en la madera en sentido radial cuando los anillos son poco visibles.

AGRADECIMIENTOS

A la Ms. Cs. Estela Pan, por la colaboración en la determinación de la densidad básica. A la Ing. María Luisa Juárez por la realización de los balances hídricos de los sitios. A Fabián Zubrinic, por la edición y la realización de las figuras. A Andrés González, por la participación en el apeo y preparación de muestras, y a Mirta Spossetti, por la realización de los preparados microscópicos.

BIBLIOGRAFIA

- AECKERMANN, F. 1995. "The relationship between forest site and intraring wood density factors for *Quercus robur*, n.s.w. france". In special ISSUE: site classification and evaluation. IUFRO subgroup S1.02.06. Meeting held 19-23. Oct. 1993. *Annales des Sciences Forestiers* 52 (6): 635-652.
- BAAS, P. 1986. Ecological patterns in xylem anatomy. In T.J. Givnish (ed.). *On the economy of plant form and function*: 327-352. Cambridge, University Press. Cambridge, New York.
- BARAJAS-MORALES, J. 1985 Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin*. New Series N° 8 355-364.
- BENDTSEN, B. A., J. R. SENFT. 1989. "Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine", *Wood and Fiber Sci.* 18: 23-38.
- BERLYN, B., J. MISHKE. 1976. *Botanical Microtechnique and Cytochemistry*. Iowa State University. Ames Iowa.
- BESOLD, G., M.E. CARRANZA, G. GIANNUZZI. 1988. Análisis químico de la madera y biomasa de especies del Noroeste argentino y su posible aprovechamiento industrial. Instituto de Tecnología de la Madera. UNSE. ITM-Serie de Publicaciones 8801.
- BOLETTA P. E., L. R. ACUÑA, M. L. JUAREZ. 1989. Análisis de las características climáticas de la provincia de Stgo. del Estero y comportamiento durante la sequía de la campaña agrícola 1988/89. 23 p.
- BOSMAN, M. T. M., I. DE KORT, M. K. GENDEREN, P. BAAS. 1994. "Radial variation in wood properties of naturally and plantation grown Light Red Meranti Shorea (Dipterocarpaceae)", *IAWA Journal* 15 (2): 111-120.
- BURLEY, J., P. J. WOOD. 1979. Manual Sobre Investigaciones de Especies y Procedencias con Referencia Especial a los Trópicos. Tropical Forestry Papers 10 E 10^o Department of Forestry Commonwealth Forestry Institute. University of Oxford.
- BUTTERFIELD, R. P., R. P. CROOK, R. ADAMS, R. MORRIS. 1993. Radial variation in wood specific gravity, fibre lengths and vessel area for two Central American hardwoods: *Hyeronima alchomoides* and *Vochysia guatemaltensis* natural and plantation-grown trees. *IAWA Journal*. Vol. 14 (2) 153-162.
- CARLQUIST, S. 1977. "Ecological factors in wood evolution. A floristic approach", *Am. J. Bot.* 64: 887-896.
- CARLQUIST, S. 1988. *Comparative wood anatomy*. Springer Series of wood Science. Springer Verlag.
- CORONEL, E. 1984. La determinación de algunas propiedades tecnológicas de *Aspidosperma* quebracho blanco Schelkt y su valoración a través de comparaciones experimentales

- de las Normas IRAM y DIN para la clasificación de la madera aserrada bajo las principales consideraciones de aprovechamiento y aplicaciones argentinas. Tesis doctoral, Fac. Cias. Ftaleas Albert Ludwig de Freiburg. Alemania.
- DIMITRI, M. J., F. ROSARIO, J. LEONARDIS, J. S. BILONI. 1997. *El nuevo libro del árbol*. Tomo I. Editorial. El Ateneo.
- FERREIRA, M., P. Y. KAGEYAMA. 1994. Melhoramento Genético da Densidade da Madeira de Eucalipto. Anais do 3^a Congresso Florestal Brasileiro. Vol. II 148-152.
- FAHN, A. 1964. "Some anatomical adaptations of desert plants", Phymorphology. Vol 14: 93-101.
- FUKAZAWA, K. 1984. Juvenile wood of hardwoods judged by density variation. IAWA Bulletin New Series N° 5. 65-73.
- GIMENEZ, A. M. 1998. Influencia de la edad sobre los caracteres anatómicos y el crecimiento de *Schinopsis* quebracho colorado (Schlecht.) Barkl. Et Meyer, Anacardiaceae, Tesis presentada como parte de los requisitos para optar por el grado de Doctor. Universidad Nacional de Tucumán.
- HELINSKA-RACZKOWSKA, L., E. FABISIAK. 1991. Radial variation and growth rate in the length of the axial elements of the sessile oak wood. *IAWA Bulletin New Series* Vol. 12 (3): 257-262.
- HUECK, K., 1978. Los Bosques de Sudamérica. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica G.T.Z. Trad. de Brun R. Eschborn, Alemania.
- IAWA COMMITTEE. 1989. "IAWA List of Microscopic features for hardwood identification". *IAWA Bulletin* n.s. 10 (3): 219-332. In: *Wood Structure in Biological and technological research* (eds.) P. Baas, A.J. Bolton y D.M. Catling. 157-181. Leiden Botanical Series N°3. Leiden Univ. Press, The Hague.
- IRAM INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES. 1977. Madera definiciones Norma N° 9502. CDU: 674:168.1. Norma N° 9544. Determinación de la densidad básica.
- ISMAIL, J., M. H. JUSOH, M. H. SAHARI. 1995. Anatomical variation in planted Kelampayan *Neolamarckia cadamo*, (Rubiaceae). *IAWA Journal*. Vol 16 (3): 277-288.
- JUAREZ, M. L. 1998 Informe sobre balances hídricos de las localidades La María y Los Pirpintos. (Inédito).
- KOLLMAN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicios de la Madera. Madrid, España.
- LARSON, P. 1994. *The vascular Cambium. Development and Structure. Springer Series in wood Science.* 720 p.
- LEI, H., M. R. MILOTA, B. GARTNER. 1996. "Between and within-tree variation in the anatomy and specific gravity of wood in Oregon white oak (*Quercus garryana*)", *IAWA Journal* Vol. 17 (4): 445-461.
- LEON, H., ESPINOZA DE PERNIA. 1998. "Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana* Borraginácea) en sentido transversal". *Revista Forestal Venezolana* 42 (1): 15-23.
- LORENZ, G. 1995. "Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo bosque en el Chaco Semiárido Argentina". *Revista Quebracho* 3: 13-23.
- MANWILLER, F.G. 1974. "Fibre length in stem and branches of small hardwoods on southern pine sites". *Wood Sci.* 7: 130-132.
- MOGLIA, J. G. 2000. Variabilidad radial de los caracteres anatómicos de *Aspidosperma* quebracho blanco. Tesis para la obtención del grado de Doctor Universidad Nacional de Tucumán. 95 p.
- PANSHIN, A. J., C. DE ZEEW. 1980. *Textbook of wood technology.* 4th Ed. Mc. Graw-Hill Book Co. New York. 705 p.
- PARASKEVOPOULOU, A. H. 1991. "Variation of wood structure and properties of *Cupressus sempervirens* var. horizontalis in natural populations in Greece". *IAWA Bulletin New Series* Vol. 12 (2): 195-206.
- PESZLEN, I. 1994. "Influence of age on selected anatomical properties of *Populus* clones". *IAWA Journal* 15: 311-321.
- SIDIYASA, K.; P. BAAS. 1998. Ecological and systematic Wood anatomy of *Alstonia* (Apocynaceae). *IAWA Journal*. Vol. 19 (2): 207-229.
- THORNWAITE, C. W. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, Volumen X, Number 3. Pp. 185-311. Centeron New Jersey, USA.
- TYREE, M. T.; S. D. DAVIS, H. COCHARD. 1994. "Biophysical perspectives of xylem evolution: is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dysfunction?". *IAWA Journal* 15: 335-360.
- TYREE, M. T; J. S. SPERRY. 1989. "Vulnerability of xylem to cavitation and embolism". *Ann. Rev. Plant Phys. Mol. Bio.* 40: 19-38.
- VAN LAAR, A. 1991. *Forest Biometry.* Publication sponsored by Sappi Forests. 590 p.
- WOODCOCK, D. W., C. M. IGNAS. 1994. Prevalence of wood characters in Eastern North America: What characters are most promising for interpreting climates and fossil wood?, *Amer. J. Bot.*
- YANCHUK, A. D., B. P. DANCIK, M. M. MICKO. 1983. "Intraclonal variation in wood density of trembling Aspen in Alberta". *Wood and Fiber Sci.* 15 (3): 387-394.
- ZHANG, S. Y.; Y. ZONG. 1990. "Effect of growth rate in specific gravity of East-Lianing oak *Quercus liaotungensis* wood", *Can. J. For. Res.* 21: 255-260.
- ZOBEL, B. J., J. TALBERT. 1984. *Applied forest tree improvement.* John Wiley y Sons. New York.
- ZOBEL, B., J. VAN BUIJTENEN. 1989. *Wood variation: Its causes and control.* Springer-Verlag. Berlín.