

Densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R. Br en relación con la altura de muestreo, el árbol y el sitio

D.V. Igartúa Dora^{1*} y S. Monteoliva²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Ruta 226, Km. 73,5, C.C 276 (7620) Balcarce, Argentina. TE: +54-02266-439100 – FAX: +54-02266-431856.

² Cátedra de Xilotecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, CC.31 (1900) La Plata, Argentina. TE: +54-0221-4236616 – Fax: +54-0221-4252346.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue analizar las variaciones en la densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R.Br, según las alturas de muestreo en el fuste, los árboles y el sitio. Se seleccionaron 20 árboles en cuatro sitios de muestreo en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Se determinó la densidad de la madera sobre dos rodajas en cada una de cuatro alturas en el fuste (base, altura de pecho, 30% y 50% de la altura total). De acuerdo a la edad determinada, parte del material se reunió en dos grupos (26-32 años y 9-12 años) para los análisis de la varianza bajo modelos mixtos donde el árbol fue considerado como aleatorio. Asimismo, el árbol fue responsable del 74 % de la variación aleatoria total. Dentro del fuste se describió un descenso significativo de la densidad entre la base y la altura del pecho, región a partir de la cual la densidad mantuvo su valor hacia el extremo superior del fuste. Esta tendencia se manifestó en todos los sitios y agrupamientos por edades. El recurso implantado en la estación serrana Los Tuelches presentó las mayores densidades de la madera.

Palabras clave: propiedades de la madera, variabilidad axial, calidad de madera, tecnología de maderas.

Abstract

Basic wood density of *Acacia melanoxylon* R.Br related to sample tree height, tree and site

The aim of the work was to assess basic wood density variations of *Acacia melanoxylon* R.Br according to sample tree height, tree, and site. Twenty trees were selected from four sites in Buenos Aires Province, Argentine. Wood density was determined over two disc samples at four tree height (base, breast height, 30% and 50% of total tree height). According to determined ages, some trees were divided into two groups according to age (26-32 years and 9-12 years) and data were analyzed with an analysis of variance according to mixed model where tree was the random effect. Trees represent 74 % of total random variance. Within tree, axial tendency of wood density was to decrease from the base toward breast height and then its value was stable to the top. This was consistent across all sites and age groups. Forest resource growing at Los Tuelches site presented the highest basic wood density.

Key words: Wood properties, axial variability, wood quality, wood technology.

1. Introduction

El sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, involucra 3.331.800ha y comprende nueve jurisdicciones (Tandil, Balcarce, General Pueyrredón, General Alvarado, Lobería, Necochea, San Cayetano, Tres Arroyos, Mar Chiquita). Es considerada una zona de producción mixta, agrícola-ganadera, pero no es menor su

desarrollo urbano, turístico e industrial. El mercado regional demanda madera de calidad para diversos usos relacionados con la industria de la construcción y del mueble, y la oferta se compone de aquellas provenientes del norte del país. Desde hace unos años, se ha registrado cierto desabastecimiento y elevación de los precios debido a que las mencionadas maderas del norte se dirigen al mercado externo.

* Corresponding author: digartua@balcarce.inta.gov.ar

Received: 28-11-07. Accepted: 04-03-09.

La región cuenta con un recurso forestal de *Acacia melanoxylon* R. Br que no ha sido inventariado ni caracterizado en términos de su crecimiento, de su origen/procedencia, ni de la calidad de su madera. La especie encuentra en la región condiciones muy favorables a su regeneración por vías naturales en sitios serranos (Martínez Crovetto, 1947).

A. melanoxylon podría aportar y diversificar la oferta del mercado regional de madera de calidad para usos relacionados con la industria de la construcción y del mueble, generando oportunidades para el desarrollo local, sea desde el recurso ya implantado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, sea desde nuevos plantos comerciales bajo Ordenación Forestal. Sin embargo, han estado ausentes hasta el momento los estudios sobre este recurso, tanto los relativos a su Ordenación como a sus propiedades xilotecnológicas.

La especie es originaria de los bosques templados del sudeste de Australia y Tasmania, pero con una adaptabilidad natural para reproducirse en variados ecosistemas (Searle, 2000). Se distribuyó en todo el mundo por su valor ornamental y su madera de calidad. Su madera es considerada de mediana densidad y fácil de procesar como madera sólida, láminas y chapas para elaboración de muebles, de paneles, de piezas que se someterán a choques y vibraciones, de revestimientos interiores, y en tonelería (Nájera Angulo y López Fraile, 1969; Searle, 2000; Campos *et al.*, 1990).

Es aceptado que, entre las propiedades físicas, la densidad es el atributo universalmente utilizado como índice de calidad de madera en relación a sus usos. Resulta de las dimensiones celulares, de la composición química y de las proporciones relativas de los tejidos constitutivos y está correlacionada con la mayoría de las propiedades físico-mecánicas. (Barnett y Jeronimidis, 2003; Panshin y De Zeeuw, 1980). Ésta y otras propiedades de la madera pueden variar ampliamente dentro de un árbol, desde la médula hacia el exterior (en las diferentes edades) o axialmente desde la base del tronco hacia el ápice (Zobel y Talbert, 1988). Conocer estas variaciones permite realizar muestreos de madera que sean representativos del valor del árbol completo y reconocer diferencias de calidad en relación a los usos.

Los modelos de variación radial y axial de la densidad ya han sido estudiados en otros géneros de latifoliadas de porosidad difusa (*Eucalyptus*, *Populus* y *Salix*). Los resultados indicaron que la variación axial de la densidad es de menor magnitud que la variación radial (Wilkes, 1988). En estos géneros, se menciona

como característica general la manifestación de un aumento de la densidad desde la base al ápice (Downes *et al.*, 1997; Igartúa *et al.*, 2000; Igartúa *et al.*, 2002; Igartúa *et al.*, 2003). Asimismo, algunos autores han podido describir un descenso inicial hasta el 10-25% de la altura comercial y su aumento posterior (Yanchuk *et al.*, 1983; Bhat *et al.*, 1990; Raymond y Muneri, 2001; Quilhó y Pereira, 2001; Monteoliva *et al.*, 2002a; Monteoliva *et al.*, 2002b). Las variaciones de la densidad entre árboles también han sido estudiadas y con resultados contradictorios. Para *Eucalyptus globulus* Labill. implantado en Portugal y Australia el árbol no fue una fuente significativa de variación sobre este atributo. (Miranda *et al.*, 2001; Quilhó y Pereira, 2001; Raymond y Muneri, 2001). En cambio, para esta especie, en Argentina, en sitios del sudeste de la Provincia de Buenos Aires coincidentes con la zona de implantación de *A. melanoxylon*, Igartúa *et al.*, (2000, 2002) encontraron variaciones de escasa relevancia entre árboles de plantaciones maduras. Aunque, en plantaciones comerciales de 7 años, reportaron que los árboles influyeron significativamente sobre la densidad básica de la madera. (Monteoliva *et al.*, 2002a; Igartúa *et al.*, 2004).

Es conocida la influencia del sitio en los parámetros de crecimiento, pero es menos conocida su influencia en la calidad de la madera (Barnet y Jeronimidis, 2003). Para los géneros *Salix*, *Populus* y *Eucalyptus* existen numerosos trabajos, nacionales e internacionales, que estudiaron la densidad de la madera en diferentes sitios con resultados dispares (Bhat *et al.*, 1990; Peszlen, 1998; Koubaa *et al.*, 1998; Miranda *et al.*, 2001; Monteoliva *et al.*, 2005; Pliura *et al.*, 2005, 2007; Igartúa y Monteoliva, 2006; Monteoliva, 2007).

En referencia a las propiedades de la madera de *A. melanoxylon* y sus fuentes de variación, Harris y Young (1988), en Nueva Zelanda, analizando árboles entre 30 a 75 años, indicaron a la edad del cambium como el mayor determinante de la variación de la densidad básica dentro del fuste, en tanto que, para una misma edad del cambium, la variación axial fue descrita como no significativa. Asimismo destacaron una alta variabilidad individual y en relación a la edad de los árboles para dicha característica. Igualmente, Haslett (1986) en su descripción de maderas de exóticas implantadas en Nueva Zelanda, coincidió en la poca destacada variación axial de la densidad en la especie y su incremento desde la médula hacia la corteza, aunque indicó que en la albura de árboles maduros (70 años), los valores decrecieron.

En su revisión, Searle (2000) indagó sobre la variación en las características que pueden ser afectadas por selección genética en plantaciones de *A. melanoxylon*, e indicó que se ha reconocido una significativa variación genética entre procedencias geográficas y entre individuos para la densidad básica y el contenido de humedad, no así para la proporción de duramen y su color, que parecieron estar más influenciadas por las condiciones medioambientales. Más tarde, Searle y Owen (2005) evaluaron 18 especies y varias procedencias de Acacias de 8 años, entre ellas cinco procedencias de *A. melanoxylon*, que encontraron diferentes en cuanto a su densidad básica. Asimismo, las cinco procedencias mostraron una tendencia levemente decreciente a nula en cuanto a la variación longitudinal de la densidad hacia el ápice.

En especies australianas del género *Acacia*, una de ellas *A. melanoxylon*, Clark (2001) evaluó la variación longitudinal de la densidad en plantaciones de 6 años de Australia del Sur. Reportó este descenso general de la densidad básica en la especie. Aunque dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas, se evidenció un más rápido descenso en la región basal.

Nicholas y Brown (2002), en referencia a *A. melanoxylon* implantada Nueva Zelanda, coincidió en señalar las mismas tendencias de variación dentro del fuste y la destacada variación entre árboles de igual edad (10 años) pero de diferente origen genético.

El presente trabajo se desarrolló como una investigación descriptiva e inicial de la madera del recurso de *Acacia melanoxylon* implantado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Su objetivo fue analizar las variaciones en la densidad básica de su madera, según las alturas de muestreo en el fuste, los árboles y los sitios.

Materiales y métodos

Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo que representaron situaciones en las que la especie se desarrolla con una estructura de masa potencialmente proveedora de material comercial. Dos de los sitios representaron a estaciones serranas que son aquellas donde parece estar más frecuentemente implantada en la región: los establecimientos Cinco Cerros (CC) y Los Tuelches (LT) en el Partido de Balcarce. Los dos restantes representan situaciones de llanura, con proximidad al mar: Las Cortaderas (LC), Partido de Gral. Alvarado y Mar Chiquita (Mch), Partido de Mar Chiquita.

El clima del área de estudio puede definirse como subhúmedo húmedo, con pequeña deficiencia hídrica que no demarca una estación seca. Las precipitaciones medias anuales alcanzan los 900 mm, repartidas uniformemente en el año. Las temperaturas medias del mes más cálido alcanzan valores alrededor de los 20 °C y las del más frío, 8 °C (Culot, 2000; INTA Balcarce, 2006; INTA Castelar, 2006). Se considera a la región homogénea climáticamente. Desde el punto de vista edáfico el área abarca tres grandes dominios geo-edáficos: al norte, el área de los derrames hacia la Pampa Deprimida; al centro, el área periserrana de la Tandilia con eje NO-SE; al sur, la llanura inter serrana entre Tandilia y Ventania. El concepto central para calificar a los suelos de todos los sitios estudiados es el del "argiudol típico" (Culot, 2000).

El sitio Mch se ubica al norte de la región de estudio, en el límite entre el área periserrana de la Tandilia y la zona de los derrames hacia la Pampa Deprimida. (37° 43' 58" S; 57° 27' 18" O; 1m s.n.m.) . Masa mixta, asociada a especies del género *Eucalyptus* y a *Robinia pseudo acacia* L., localizada a 3 km de la línea del mar.

El sitio CC se ubica al centro de la región, corresponde a una masa pura, localizada en el área periserrana, en ladera de exposición norte, a 70 km de la línea del mar. (37° 43' 59" S; 58° 14' 30" O; 163 m s.n.m.)

El sitio LT se ubica al centro de la región, corresponde a una masa pura, localizada en el área periserrana, en ladera de exposición sudoeste, a 50 km de la línea del mar. (37° 55' 67" S; 58° 06' 27" O; 155 m s.n.m.)

El sitio LC se localiza en la región sur del área de estudio, al inicio de la llanura interserrana entre Tandilia y Ventania. Se trata de una masa pura, en llanura, a 13 km de la línea del mar. (38° 17' 29" S; 58° 09' 09" O; 31 m s.n.m.)

La selección de árboles se realizó sobre la base de los inventarios desarrollados por investigaciones previas. Las clases diamétricas definidas fueron: clase I (0-5cm); clase II (5-10cm); clase III (10-15cm); clase IV (15-20cm); clase V (20-25cm); clase VI (25-30cm) y clase VII (+ de 30cm). Las clases I y II no representaban una provisión de materia prima para la industria de la construcción y el mueble y se desestimaron. Se eligieron al azar 20 árboles codominantes, 5 por sitio y se procedió a su muestreo destructivo, tomando 2 rodajas de 5cm de espesor en cada una de cuatro alturas en el fuste: base; altura de pecho (AP); 30% de la altura total (30%) y 50% de la altura total (50%). El 50 % de la altura total representó el extremo superior del fuste. (Tabla 1).

Tabla 1. Información dendrométrica: Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), Alturas total y comercial

	Árbol	DAP c/c* (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)
LC	1	16,5	13,6	6,8
	2	15,5	12,6	9,4
	3	16,1	13,5	8,0
	4	16,2	13,7	7,9
	5	17,0	12,9	7,0
LT	6	16,6	12,8	7,8
	7	20,9	14,3	8,0
	8	25,3	15,6	9,2
	9	23,0	14,3	9,2
	10	33,2	18,8	10,1
Mch	11	12,5	12,8	6,8
	12	17,2	13,2	6,8
	13	19,6	13,4	7,8
	14	22,4	15,9	10,9
	15	23,5	16,8	9,6
CC	16	13,4	12,6	8,1
	17	17,5	12,1	7,7
	18	17,4	13,4	7,2
	19	21,4	14,1	8,6
	20	23,8	13,3	6,9

* Con corteza

La densidad básica [peso seco en estufa/ volumen verde] se determinó según la norma TAPPI T 254-om-94 sobre las rodajas descortezadas y seccionadas en dos mitades lo que otorgó cuatro repeticiones a la observación por nivel de altura de muestreo. El volumen verde se determinó por desplazamiento de fluidos –inmersión en agua destilada a 4°C. El peso seco se determinó luego de la permanencia de las semi rodajas en estufa (105°C+/- 3°C) hasta lograr peso constante. Se emplearon balanzas con capacidades de 5kg y de 20kg (aproximación a 0,5gr), y de 3 kg, (con aproximación a 0,01gr).

La estimación de la edad de los árboles se realizó, luego del muestreo destructivo, a partir de una rodaja basal, por observación microscópica de cortes histológicos transversales que cubrieron la totalidad del radio para cada árbol. Se contaron los anillos bajo microscopio óptico (40x y 100x). La delimitación de los anillos de crecimiento se generó por el aumento de espesor de la pared de las fibras y el achatamiento radial de las mismas.

La edad como fuente de variación para la densidad básica ha sido ampliamente estudiada en latifoliadas. Cuando se dispuso de la edad de los árboles seleccionados la misma se utilizó, en parte del material, como una condición de agrupamiento o control local para reducir el error experimental y mejorar la exactitud en la estimación de las medias en los análisis de la varianza (Kuhel, 2003). Así, un grupo de 8 árboles con edades comprendidas entre 26 a 32 años, y pertenecientes a tres de los sitios se seleccionó para analizar respuestas de la densidad en relación a los sitios y a las alturas de muestreo. Se empleó un modelo estadístico lineal mixto donde el árbol fue considerado como factor aleatorio, en tanto la altura de muestreo y el sitio como efectos fijos. El modelo empleado fue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_{i(k)} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \delta_{k(j)} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2, \dots, 8$$

donde:

y_{ijk} : densidad básica correspondiente al k -ésimo árbol en el j -ésimo sitio, a la i -ésima altura de muestreo

α : efecto de la altura de muestreo anidada en el árbol

β : efecto del sitio

$\alpha\beta$: efecto de la interacción entre altura de muestreo y sitio

δ : efecto aleatorio del árbol anidado en el sitio

ε_{ijk} : error experimental

Otro grupo, formado por los 4 árboles más jóvenes, con edades comprendidas entre 9 y 12 años, e implantados en el sitio Mch, permitió analizar respuestas de la densidad en relación con la altura de muestreo, bajo un modelo estadístico lineal mixto donde el árbol fue considerado efecto aleatorio, en tanto la altura de muestreo como efecto fijo. El modelo empleado fue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_{i(j)} + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, \dots, 16$$

donde:

y_{ijk} : densidad básica correspondiente a la i -ésima altura de muestreo del k -ésimo árbol

α : efecto de la altura de muestreo anidada en el árbol

β : efecto aleatorio del árbol

ε_{ijk} : error experimental

Los análisis estadísticos se realizaron con el software R, versión 2.5.1 - The R Foundation for Statistical Computing - ISBN 3-900051-07-0.

Resultados

La totalidad del material experimental estuvo compuesto por individuos que resultaron de diferentes edades, aún dentro de la misma clase diamétrica, sea esto dentro o entre los sitios. Del mismo modo, individuos de similar edad pertenecieron a diferentes clases diamétricas como fue el caso de los árboles LT 9 y LT 10, ó LT 8 y CC 17 (Tabla 2).

Considerando la totalidad del material experimental, la variación de la densidad básica entre árboles, expresada como promedio simple de los registros en el árbol, cubrió un rango entre 0,414 g/cm³ y 0,589g/cm³ y su variación dentro del árbol resultó poco destacada, por cuanto los coeficientes de variación no superaron el 10%. Claramente, los árboles más jóvenes, con edades entre los 9 y 15 años, presentaron las menores densidades (Tabla 2, Figura 1).

Cuando parte del material fue agrupado según edades, el análisis gráfico preliminar de la densidad para el grupo

de 8 árboles de 26-32 años de edad permitió apreciar, según alturas de muestreo, una tendencia levemente decreciente desde la base hacia la Altura del Pecho, región a partir de la cual se notaron menores diferencias (Figura 2).

El mismo análisis pero según los sitios y los árboles, mostró leves diferencias respecto a la tendencia antes descrita, si bien el máximo siempre correspondió a la base del fuste. Al sitio LT (Los Tuelches) correspondieron las mayores densidades (Figura 3; Figura 4).

El análisis de la varianza en este grupo de árboles indicó como fuente significativa de variación a la altura de muestreo en el fuste ($p=0,0018$), no así al sitio ($p=0,1628$). La interacción sitio*altura de muestreo no resultó significativa ($p=0,4260$), así, lo indicado en la Figura 3 deberían interpretarse como tendencias similares. El árbol fue el responsable del 74% de la variación aleatoria observada, resultando más destacada la componente de varianza debida a los árboles dentro de un mismo sitio respecto a la variación de los árboles a una misma altura y sitio (Tabla 3).

Tabla 2. Edad de los árboles, densidad básica promedio (DB) y crecimientos medios

Sitio	Árbol	Edad (años)	Clase Diamétrica	Crecimiento	Crecimiento	DB (g/cm ³)	DS*	CV** (%)
				medio en altura total (m/año)	medio en diámetro (cm/año)			
LC	1	27	IV	0,50	0,61	0,528	0,02	5
	2	26	IV	0,48	0,60	0,488	0,03	7
	3	32	IV	0,42	0,50	0,552	0,01	3
	4	25	IV	0,55	0,65	0,528	0,02	4
	5	19	IV	0,68	0,89	0,587	0,03	6
	6	22	IV	0,58	0,75	0,579	0,05	8
LT	7	17	V	0,84	1,23	0,589	0,02	2
	8	30	VI	0,52	0,84	0,555	0,01	2
	9	27	V	0,53	0,85	0,564	0,04	7
	10	27	VII	0,70	1,23	0,566	0,02	4
	11	10	III	1,28	1,26	0,466	0,02	5
Mch	12	11	IV	1,20	1,56	0,426	0,03	8
	13	12	IV	1,12	1,63	0,441	0,03	6
	14	9	V	1,77	2,49	0,414	0,04	9
	15	15	V	1,12	1,57	0,441	0,04	10
CC	16	20	III	0,63	0,67	0,520	0,03	6
	17	31	IV	0,39	0,56	0,486	0,03	7
	18	26	IV	0,52	0,67	0,537	0,04	7
	19	21	V	0,67	1,02	0,535	0,04	7
	20	21	V	0,63	1,13	0,532	0,01	3

*Desvío estándar de la densidad básica; ** Coeficiente de Variación de la densidad básica

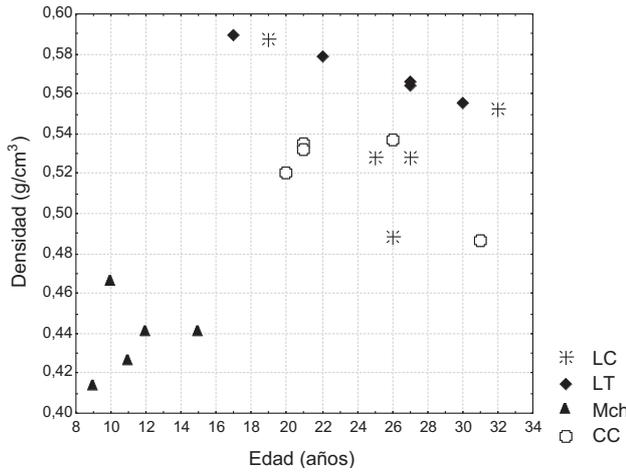


Figura 1. Densidad básica de los 20 árboles según la edad.

La región del fuste que entregó densidades significativamente diferentes a las restantes fue la basal (Tabla 4).

El análisis de la varianza dentro del grupo de 4 árboles de 9-12 años, implantados en el sitio Mch, también indicó como fuente significativa de variación a la altura de muestreo en el fuste ($p=0,0031$), si bien el número de árboles puede considerarse reducido. Como sucedió en el grupo de los 8 árboles de mayor edad, el análisis de comparación de medias identificó a la región basal del fuste como la que entregó densidades significativamente diferentes a las restantes, que no difirieron entre sí (Figura 5; Tabla 5). En este grupo, la participación del árbol en la variación aleatoria total fue del 74% (Tabla 6).

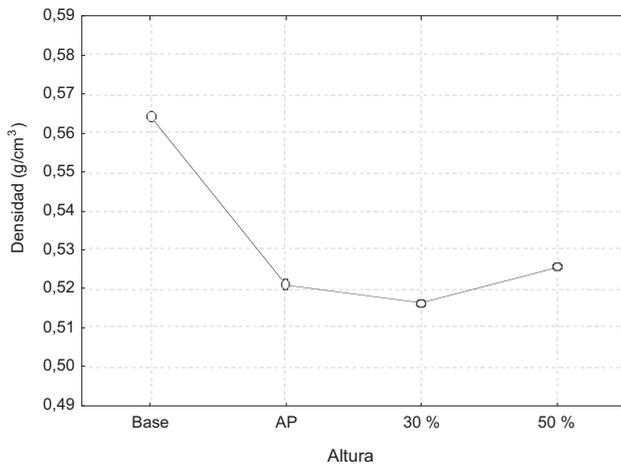


Figura 2. Densidad básica promedio por altura de muestreo (Edad: 26-32 años).

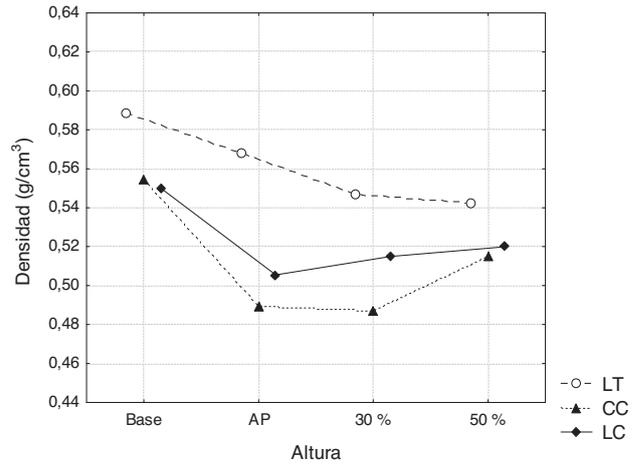


Figura 3. Densidad básica por altura de muestreo y por sitio (Grupo de edad: 26-32 años).

Discusión

Los árboles estudiados pertenecieron a masas que fueron implantadas con materiales de procedencias desconocidas y sin ningún tipo de intervención silvicultural posterior. La capacidad de regeneración que la especie manifestó en la región confirió a las masas una estructura intermedia entre las de edad uniforme y edad no uniforme (Daniel *et al.*, 1982) y el material experimental manifestó, en términos de la edad, dicha desuniformidad. Individuos de la misma clase diamétrica resultaron de diferentes edades, tanto dentro como entre los sitios (Tabla 2).

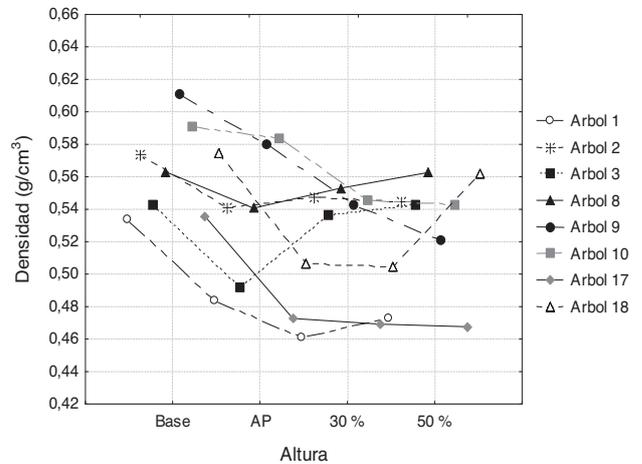


Figura 4. Densidad básica por altura de muestreo y por árboles (Edad: 26-32 años).

Tabla 3. Componentes de la varianza aleatoria. (Edad: 26-32 años)

Fuente de variación aleatoria	Varianza aleatoria	Componente %
Árbol (dentro de sitio)	0,0005791	46
Árbol (dentro de altura y sitio)	0,0003490	28
Residual	0,0003195	26

La densidad básica, expresada como promedio simple por árbol, presentó, en el conjunto completo del material experimental, valores entre 0,414 g/cm³ y 0,589g/cm³, y los árboles tuvieron edades comprendidas entre los 9 y 32 años.

El aumento de la densidad con la edad fue comunicado para *Acacia melanoxylon* tanto como para otras latifoliadas de porosidad difusa (Harris y Young 1988; Wilkes, 1988; Downes *et al.*, 1997; Matyas y Peszlen, 1997; Igartúa *et al.*, 2000; Barnet y Jeronimidis, 2003; Igartúa *et al.*, 2004; Monteoliva y Marlats, 2007; Monteoliva 2007). En este sentido, desde estadísticos simples y el análisis gráfico del conjunto del material experimental solo se apreció claramente que los árboles más jóvenes - 9 a 15 años- presentaron las menores densidades en relación al conjunto restante, dentro del que no se apreció asociación entre la edad y la densidad. (Tabla 2, Figura 1).

Estos valores de densidad básica se encontraron en el rango indicado por otras investigaciones para la especie, aunque las comparaciones suelen dificultarse dado que la información comunicada es variada en cuanto a la edad, a las procedencias geográficas y a los métodos de muestreo y de estimación, a veces no suficientemente explicitados.

Searle y Owen (2005) reportaron una densidad promedio simple de 8 alturas en el fuste de entre 0,530 y 0,576 g/cm³, para ejemplares de 8 años en Australia. En un ensayo de 6 años, con diferentes tratamientos de irrigación, Clark (2001) determinó una densidad básica de

Tabla 4. Densidad básica promedio por altura de muestreo (Edad: 26-32 años)

Altura de muestreo			
Base	AP	30%	50%
0,565 (a)	0,525 (b)	0,520 (b)	0,527 (b)

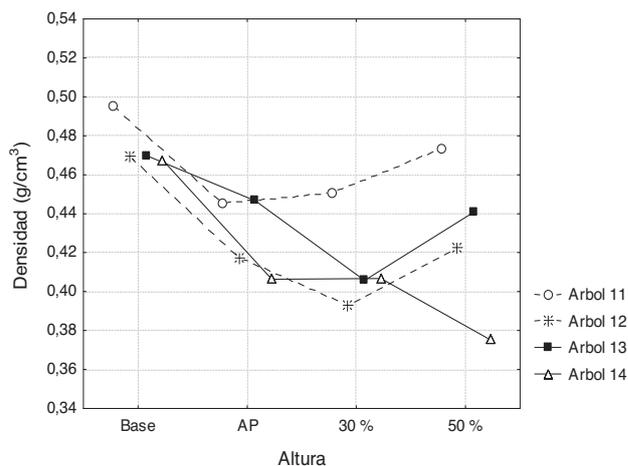


Figura 5. Densidad básica por altura de muestreo y por árboles. (Edad: 9-12 años).

0,420 g/cm³ como valor promedio simple de 8 alturas de muestreo dentro del árbol. Éstos resultan valores superiores respecto a lo encontrado en el presente estudio para los individuos más jóvenes (Tabla 2).

A la edad de 22 años, a partir de chips de madera, Santos *et al.*, (2006), en Portugal, informaron valores de 0,460 y 0,387 g/cm³ para la zona basal y superior del fuste, respectivamente. Para árboles de 21-30 años en Nueva Zelanda, Harris y Young (1988) indicaron una densidad de 0,470 g/cm³ expresada como promedio ponderado por volumen. En Chile, se informó, para un conjunto de árboles de 25 a 62 años, una densidad -promedio simple por árbol- de 0,582 g/cm³ (Campos *et al.*, 1990). Pelen *et al.*, (1998), en árboles de 15 años determinaron una densidad promedio simple de 0,539 g/cm³ también en Chile.

Cuando parte del material fue agrupado según edades, hubo diferencias en la densidad básica dentro del fuste. Tanto en el grupo de árboles de 26-32 años como en el de 9-12 años, se describió siempre el máximo en la base, y su descenso entre la base y la altura del pecho, lo que en los análisis de la varianza y de comparación de medias respectivos resultó una variación sig-

Tabla 5. Densidad básica promedio por altura de muestreo. (Edad: 9-12 años)

Altura de muestreo			
Base	AP	30%	50%
0,475 (a)	0,429 (b)	0,414 (b)	0,428 (b)

* Las letras se leen horizontalmente. Letras iguales no difieren significativamente (p < 0,05). Test Tukey

Tabla 6. Componentes de la varianza aleatoria. (Edad: 9-12 años)

Fuente de variación aleatoria	Varianza aleatoria	Componente %
Árbol en el sitio	0,0004364	49
Árbol (dentro de altura)	0,0002295	25
Residual	0,0002319	26

nificativa. A partir de la altura del pecho, el fuste presentó diferencias en densidad menos relevantes, lo que podría corresponder a una situación de constancia en los valores (Figuras 2, 3, 4, 5; Tablas 4 y 5). Este comportamiento se manifestó igualmente en cada sitio. Coincidentemente, la literatura citada informó acerca de la poco destacada y hasta nula variación axial de la densidad en la especie. Asimismo, se ha mencionado su descenso entre la base y la Altura del Pecho, aunque, contrariamente a lo aquí informado, con ausencia de significancia estadística (Haslett, 1986; Harris y Young, 1988; Clark, 2001; Nicholas y Brown, 2002; Searle y Owen, 2005).

La variabilidad total debida al árbol, también analizada en los grupos de árboles de similar edad, fue destacada. La literatura citada ha informado sobre lo destacado de esta variabilidad, aunque, a diferencia del presente trabajo, lo ha hecho identificando orígenes y procedencias del material experimental.

La densidad básica, analizada en parte del material experimental (26-32 años), fue superior en el sitio serrano LT, respecto al sitio serrano CC y al sitio de llanura interserrana LC. Si bien estas diferencias no alcanzaron significancia en el análisis estadístico, podrían tenerla desde el aspecto tecnológico. Estas diferencias pueden estar evidenciando la influencia de la calidad de dichas estaciones en la expresión de la densidad básica, tanto como la de los orígenes o procedencias del material, desconocidos para esta investigación. Por otra parte, el crecimiento medio en altura total y en diámetro, en tanto indicadores dasométricos de calidad de sitio, calificarían como superior al sitio LT.

Se abren nuevos interrogantes de investigación dirigidos a indagar los parámetros del sitio que puedan estar condicionando en la especie la expresión de la densidad y la naturaleza de las relaciones entre ésta y las tasas de crecimiento, así como entre la densidad y la edad. Todo ello a partir de material experimental donde la edad opere con mayor precisión como condición clasificatoria.

Conclusiones

El material experimental estudiado, con edades comprendidas entre los 9 y 32 años y escogido para representar a las poblaciones regionales de *Accacia melanoxylon*, permitió observar valores de densidad básica similares a los indicados por otras investigaciones en la especie. La variación de la densidad entre individuos, analizada en parte del material experimental, esto es, en grupos más homogéneos en edad, aunque de orígenes/procedencias desconocidas, fue muy destacada.

La región del fuste que entregó densidades significativamente diferentes a las restantes fue la basal. El máximo se describió siempre en la base y, a partir de la altura del pecho, no se presentaron diferencias relevantes en la densidad básica.

Puede esperarse que la región ofrezca diferentes calidades de sitio condicionantes de la expresión de la densidad y del crecimiento en volumen.

Se considera necesario continuar las investigaciones que otorguen nuevos aportes en el sentido de la presente y de los nuevos interrogantes surgidos.

Bibliografía

- BHAT K.M., BHAT K.V., DHAMORADAN T.K. 1990. Wood density and fibre length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. Wood Fiber Sci. 22 (1), 54-61.
- BARNET J.R., JERONIMIDIS G. 2003. Wood Quality and its biological basis. CRC Press, 226pp.
- CAMPOS B. A., CUBILLOS C. G., MORALES V. F., PASTENE S. A. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. INFOR. Informe Técnico n° 122. Chile, 114pp.
- CLARK N. 2001. Longitudinal density variation in irrigated hardwoods. Appita Journal 54 (1), 49-53.
- CULOT J. P. 2000. Caracterización edafo-climática de la región sudeste de la provincia de Buenos Aires para *Eucalyptus globulus*. Primer seminario Internacional del *Eucalyptus globulus* en la Argentina, Mar del Plata, Argentina, pp. 2-9.
- DANIEL P.W., HELMS U.E., BAKER F.S. 1982. Principios de Silvicultura. MacGRAW-HILL, México, 492pp.
- DOWNES G. M., HUDSON I., RAYMOND C., DEAN A., MICHELI A., SCHIMLEK L., EVANS R., MUNERI A. 1997. Sampling *Eucalyptus* for wood and fibre properties. CSIRO Publishing, Australia, 132 pp.
- HARRIS J.M., YOUNG G.D. 1988. Wood properties of *Eucalypts* and *Blackwood* grown in New Zealand. The Interna-

- tional Forestry Conference for the Australian Bicentenary, 8pp.
- HASLETT A.N. 1986. Properties and utilisation of exotic speciality timbers grown in New Zealand. Part II: Australian blackwood *Acacia melanoxylon* R.Br. Forest Research Institute, New Zealand. FRI Bulletin 119, 11pp.
- IGARTÚA D.V., MONTEOLIVA S.E. 2006. El *Eucalyptus globulus* en Argentina: potencialidad del sudeste de la provincia de Buenos Aires para la producción de materia prima fibrosa. IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, Santiago y Valdivia, Chile, 8pp.
- IGARTÚA D.V., MONTEOLIVA S.E., MONTERRUBIANESI M.G., VILLEGAS M.S. 2002. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. Variación de la densidad básica y la longitud de fibras en Lobería, provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. Fac. Agr. 105 (1), 35-45.
- IGARTÚA D.V., MONTEOLIVA S.E., MONTERRUBIANESI M.G., VILLEGAS M.S. 2003. Basic density and fibre length at breast height of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* for parameter prediction of the whole tree. IAWA Journal 24 (2), 173-184.
- IGARTÚA D.V., MONTEOLIVA S.E., NÚÑEZ C. 2004. Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de *Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. III Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, Córdoba, España, 8pp.
- IGARTÚA D., RIVERA S.M., MONTERRUBIANESI M.G., MONTEOLIVA S., FARINA S., CARRANZA S., VILLEGAS M.S. 2000. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. I-Variación de la densidad básica y el largo de fibras en una estación del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. I Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, Misiones, Argentina, 8pp.
- INTA Balcarce. 2006. Argentina. Instituto de Tecnología Agropecuaria- Información agrometeorológica [Bases en línea] <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/meteor.htm>. [consulta: julio de 2006]
- INTA Castelar. 2006. Argentina. Instituto de Tecnología Agropecuaria- Información agrometeorológica [Bases en línea]. <http://www.intacya.org/>. [consulta: julio de 2006]
- KOUBAA A., HERNÁNDEZ R.E., BEAUDOIN M., POLIQUIN J. 1998. Interclonal, intraclonal, and within tree variation in fiber length of poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science 30 (1), 40-47.
- KUHEL R. O. 2003. Diseño de experimentos. Ed Thomson-Learning, 666p.
- MARTÍNEZ CROVETTO R. 1947. La naturalización de "*Acacia melanoxylon*" en Balcarce (Provincia de Buenos Aires). Revista de Investigaciones Agrícolas No. 2, Tomo I.
- MATYAS C., PESZLEN I. 1997. Effect of age on selected wood quality traits of Poplars clones. Silvae Genetica 46 (2-3), 64-72.
- MIRANDA I., ALMEIDA M.H., PEREIRA H. 2001. Influence of provenance, subspecies and site on Wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. Wood and Fiber Science 33 (1), 9-15.
- MONTEOLIVA S. 2007. Salicáceas: variación de la calidad de madera para papel de diario. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales Madereros y no Madereros (Iberomadera), Buenos Aires, Argentina, 8pp.
- MONTEOLIVA S., MARLATS R. 2007. Efecto del sitio, clon y edad sobre el crecimiento y la calidad de madera en sauces de corta rotación. Revista Investigación Agraria, Sistema y Recursos Forestales 16 (1), 15-24.
- MONTEOLIVA S., NÚÑEZ C., IGARTÚA D. 2002a. Densidad básica, longitud de fibras y composición química de una plantación de *Eucalyptus globulus* de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. II Congreso Iberoamericano de Celulosa y Papel, San Pablo, Brasil, 8pp.
- MONTEOLIVA S., SENISTERRA G., MARLATS R. 2005. Variation of wood density and fibre length in six willow clones (*Salix* ssp). IAWA Journal 26 (2), 197-202.
- MONTEOLIVA S., SENISTERRA M.G., MARQUINA J., MARLATS R., VILLEGAS M.S. 2002b. Estudio de la variación de la densidad básica en siete clones de *Salix*. Revista Facultad Agronomía La Plata 105 (1), 29-34.
- NÁJERA Y ANGULO F., LÓPEZ FRAILE V. 1969. Estudio de las principales maderas comerciales de frondosas peninsulares. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, España, 189pp.
- NICHOLAS I., BROWN I. 2002. Blackwood: a hardwood for growers and users. Forest Research Institute Ltd., Rotorua, New Zealand, Forest Research Bulletin N°255, 95pp.
- PANSHIN A., DE ZEEUW C. 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Company, 722pp.
- PELEN P., H. POBLETE, L., INZUNZA. 1998. Duramen y albura de *Acacia melanoxylon* como materia prima para tableros de partículas. Bosque 19 (2), 29-36.
- PESZLEN I. 1998. Variation in specific gravity and mechanical properties of poplar clones. Drevársky Výskum 43 (2), 1-17.
- PLIURA A., YU Q., ZHANG S.Y., MACKAY J., PERINET P., BOUSQUET J. 2005. Variation in wood density and shrinkage and their relationship to growth of selected young poplar hybrid crosses. Forest Science 51 (5), 472-482.
- PLIURA A., ZHANG S.Y., MACKAY J., BOUSQUET J. 2007. Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. Forest. Ecol. Manage. 238, 92-106.

- QUILHÓ T., PEREIRA H. 2001. Within and between-tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. IAWA Journal 22 (3), 255-265.
- RAYMOND C.A., MUNERI A. 2001. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. Wood Sci. Tech. 35, 27-39.
- SANTOS A.J.A., ANJOS O.M.S., SIMOES R. M. S. 2006. Papermaking potential of *Acacia dealbata* and *Acacia melanoxylon*. Appita Journal, 59 (1), 58-64.
- SEARLE S. 2000. *Acacia melanoxylon*. A review of variation among planted trees. Australian Forestry 63 (2), 79-85.
- SEARLE S.D., OWEN J.V. 2005. Variation in basis wood density and percentage heartwood in temperate Australian *Acacia* species. Australian Forestry 68, 126-136.
- YANCHUK A.D., DANKIK B.P., MICKO M.M. 1983. Intraclonal variation in wood density of trembling aspen in Alberta. Wood and Fiber Science 15 (4), 387-394.
- WILKES J. 1988. Variation in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. IAWA Bull. n.s. 9 (1), 13-23.
- ZOBEL B., TALBERT J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa, 545pp.