

Anatomía, peso específico aparente de la madera y porcentaje de corteza en orígenes de dos especies de *Eucalyptus* cultivadas en Uruguay (*Eucalyptus dunnii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch)

Mantero, C.¹; Fernández, V. y Ros, A.

¹Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera. Garzón 780 Montevideo 12900. Uruguay.
Correo electrónico: cmantero@fagro.edu.uy

Recibido: 6/8/07 Aceptado: 26/9/08

Resumen

Se estudiaron las características anatómicas de la madera de dos orígenes de *Eucalyptus dunnii* y dos orígenes de *Eucalyptus badjensis*, se determinó además porcentaje de corteza y peso específico aparente básico (PEAb). Los árboles, de 5 años de edad, provinieron de un ensayo de introducción de especies y orígenes de INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) ubicado a 31° 42' 5'' S, 55° 49' 5'' W y a 140 m sobre el nivel del mar, en el departamento de Tacuarembó, Uruguay. Se estudiaron los elementos celulares: vasos, radios y fibras en forma cuantitativa y cualitativa. Para el cálculo de PEAb se aplicó el método de máximo tenor de humedad. Ambas son especies de baja densidad, con medias de 0,4 g cm⁻³ para *E. dunnii* y 0,39 g cm⁻³ para *E. badjensis*. *E. dunnii* posee mayor porcentaje de corteza (14 %) que *E. badjensis* (11 %). Se determinaron las principales relaciones entre dimensiones fundamentales de las fibras para producción de pulpa celulósica.

Palabras clave: latifoliadas, largo de fibra, Peso específico aparente básico, porcentaje de corteza

Summary

Wood anatomy, wood density and bark percentage of two *Eucalyptus* species provenances grown in Uruguay (*Eucalyptus dunnii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch)

Wood anatomical characteristics of two provenances of *Eucalyptus dunnii* and two provenances of *Eucalyptus badjensis* were studied. Bark percentage and basic density were also determined. The 5 year-old trees came from an INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) research trial, located at 31° 42' 5'' S, 55° 49' 5'' W and 140 m over sea level, at Tacuarembó, Uruguay. Cellular elements; vessels, rays and fibres were quantitatively and qualitatively analysed. Maximum moisture content method was employed for basic density calculations. Both species presented low density with basic density means of 0,4 g cm⁻³ for *E. dunnii* and 0,39 g cm⁻³ for *E. badjensis*. *E. dunnii* presented higher bark percentage (14 %) than *E. badjensis* (11 %). Fundamental fiber dimension relationships for pulp production were determined.

Key words: hardwoods, wood anatomy, fiber length, basic density, bark percentage

Introducción

El presente trabajo apunta a aumentar el conocimiento de la madera de *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus badjensis*, especies aún poco difundidas en nuestro país, que han mostrado ser promisorias para su cultivo industrial.

En Uruguay *E. dunnii* se encuentra cultivado en plantaciones comerciales, debido a su buena adaptación y tolerancia al frío, totalizando en 2001 un área de 19.977 ha, (MGAP, 2001); se ha seguido plantando hasta llegar en 2008 a 29.525 ha, (MGAP, 2008); *E. badjensis* se encuentra sólo en ensayos de introducción de especies. Ambas especies han mostrado buena adaptación a nuestras condiciones, rápido crecimiento, buena forma y buenas propiedades del papel producido (Balmelli y Resquín, 2000; De Mello y Fernández, 2000; Hicks and Clark, 2001).

Balmelli y Resquín (2006) reportan en una evaluación del ensayo a los 11 años que *E. dunnii* parece no haber alcanzado su máxima productividad, mientras que *E. badjensis* a pesar de ser la especie con mayor crecimiento individual sufrió una drástica disminución del porcentaje de sobrevivencia, con su máximo incremento medio anual en volumen por ha al año 6 y disminución posterior. De confirmarse esta tendencia en otros ensayos, con otros orígenes y en otros sitios es probable que el futuro de la especie se limite a su uso en la obtención de híbridos interespecíficos.

El objetivo principal de este trabajo es iniciar a través de un estudio convencional con microscopio óptico la caracterización anatómica de *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus badjensis* cultivados en Uruguay, analizando los elementos celulares: vasos, radios y fibras, de modo cualitativo y cuantitativo.

Paralelamente se estudiaron el porcentaje de corteza y el peso específico aparente básico (PEAb) de ambas especies y se calcularon las relaciones fundamentales entre dimensiones de la fibra para la inferencia de características de la pulpa de celulosa a producir con estas especies.

Materiales y métodos

Los árboles provinieron de un ensayo de especies, orígenes y procedencias perteneciente al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) ubicado en el departamento de Tacuarembó, a 31° 42' 5'' S de latitud, 55° 49' 5'' W de longitud y a 140 m sobre el nivel del mar.

De los dos orígenes de mejor comportamiento para cada especie, por sobrevivencia, características morfológicas y rendimiento volumétrico (Balmelli y Resquín, 2000) se seleccionaron al azar 2 árboles por origen que coincidieran con la clase diamétrica promedio (15 a 17 cm de DAP) de las especies en el ensayo.

De cada árbol apeado se obtuvieron 6 discos transversales de 3 cm de espesor a diferentes alturas del fuste en su porción comercial, considerada hasta los 8 cm de diámetro sin corteza. El disco 1 se cortó en la base del fuste comercial, el disco 2, a 70 cm por encima del disco 1; el disco 3 se sacó al 50 % de la altura comercial, el disco 4 a 70 cm por encima del anterior; el disco 6 se extrajo al 75 % de la altura comercial y el disco 5 a 70 cm por debajo del anterior. Las trozas intermedias fueron utilizadas para estudiar las propiedades de la pulpa para papel en otro trabajo (De Mello y Fernández, 2000). Se consideró que los discos 1 y 2 representaban la parte basal de la porción comercial del fuste, los discos 3 y 4 la porción media y los discos 5 y 6 la porción apical.

Los árboles cortados tenían 5 años de edad y un DAP (1,3 m) promedio de 16,8 cm, los mismos fueron evaluados para peso específico y porcentaje de corteza a tres alturas del fuste: basal, media y apical.

De cada altura (0 %, 50 % y 75 %) se extrajeron probetas de incremento radial para el cálculo de PEAb. Se midieron las secciones del fuste en los 6 discos cortados para calcular el porcentaje de corteza. De los discos 1, 3 y 5 se extrajeron 2 probetas cúbicas de 20 mm de lado con el centro en la mitad de la distancia entre médula y corteza ubicadas al azar en los discos para el estudio anatómico.

El cuadro 1 resume la información geográfica de origen de los árboles incluidos en la muestra. El cuadro 2 resume las características dendrométricas de los árboles muestreados. Mayor información sobre el ensayo y el sitio se puede encontrar en Balmelli y Resquín (2000) y en Balmelli y Resquín (2006).

Estudio anatómico

Para el estudio anatómico, se realizaron preparados y macerados. Utilizando micrótopo de Reichert, se obtuvieron los tres planos de corte: transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial (tr, rd y tg respectivamente). Los preparados histológicos se hicieron sometiendo los cortes a un proceso de blanqueo, deshidratación, teñido (zafranina alcohólica) y montaje. Los macerados se realizaron a partir de astillas de 2 a 3 mm de ancho, luego llevadas a estufa con licor Jeffrey.

Cuadro 1. Resumen de la información geográfica de origen de los árboles incluidos en la muestra.

Especie y código de origen	Localidad de procedencia	Latitud	Longitud	Altitud m
<i>E. dunnii</i> 18264	Yabra Plains RD NSW	28° 37' S	152° 29'	500
<i>E. dunnii</i> 17916	Koreelah SF NSW	28° 19' S	152° 3'	710
<i>E. badjensis</i> 17018	4 km Cathcart NSW	E 36° 5' S SF	149° 31'	900
<i>E. badjensis</i> 16308	Brown Mtn. Nimmitabel NSW	36° 55' S	149° 26'	700

Cuadro 2. Características dendrométricas de los árboles incluidos en la muestra.

Especie	Código y n° de árbol	Altura total (m)	Altura comercial (m)	DAP (cm)
<i>E. dunnii</i>	17916 (1)	17,5	8,9	15,2
	17916 (2)	17,4	10,10	16,7
	18264 (1)	17,1	8,9	15,8
	18264 (2)	16,7	8,4	16,8
<i>E. badjensis</i>	16308 (1)	17,1	7,5	16,5
	16308 (2)	16,1	7,34	16,7
	17018 (1)	17,3	8,25	16,2
	17018 (2)	16,7	8,4	16,8

Sobre corte transversal se midieron las siguientes características: espesor de la pared de la fibra, diámetro del lumen de la fibra, diámetro tangencial de los vasos, número de poros por mm². Sobre corte longitudinal radial se midió la característica longitud de los elementos del vaso. Sobre corte longitudinal tangencial se midieron las características: altura de radios y altura de radios en número de células. Sobre macerados se midió largo de fibra.

Para la medición de las características anatómicas se utilizó un microproyector para proyectar los preparados y macerados. Sobre la imagen proyectada se midieron con regla milimetrada las distintas características. De todas las características se estimó: media, varianza, desvío, coeficiente de variación y rango de variación.

Peso específico aparente (PEAb)

El peso específico aparente básico (PEAb) fue determinado por el método del máximo tenor de humedad (Smith, 1954).

Espesor de corteza

El espesor de corteza se calculó midiendo diámetros con y sin corteza en cada una de las secciones circulares de cada árbol. Con esos datos se calculó el porcentaje de corteza siguiendo el método descrito por Sorrentino (1997).

Relaciones entre dimensiones fundamentales de las fibras

Fueron calculadas las siguientes relaciones entre medias de las medidas de las fibras que se consideran importantes para la producción de celulosa para papel: Índice de entrelazamiento (IE): relación entre el largo y el ancho de la fibra: $IE = LF/AF$. Coeficiente de flexibilidad (CFL), relación entre el diámetro del lumen y el ancho de la fibra, expresado en porcentaje: $CFL = (DL/AF) \times 100$. Fracción pared (FP), relación entre el espesor de la pared celular y el radio de la fibra, expresada en porcentaje: $FP = EPC / (AF/2) \times 100$. Relación entre largo de fibra y espesor de la pared celular: $(L/E): L/E = LF/ EPC$. Factor de Runkel (FR), relación entre dos veces el espesor de la pared celular y el diámetro del lumen: $FR = 2 EPC / DL$.

Resultados

Caracterización microscópica de *Eucalyptus badjensis*

Vasos

La porosidad en *E. badjensis* es difusa, con poros solitarios, numerosos y de sección oval. En general los poros se alinean en forma oblicua respecto a los radios (figura 1, tr). Los elementos vasculares son de trayecto rectilíneo, con placa de perforación oblicua y en algunos casos horizontal (figuras 2 y 3, rd). Las puntuacio-

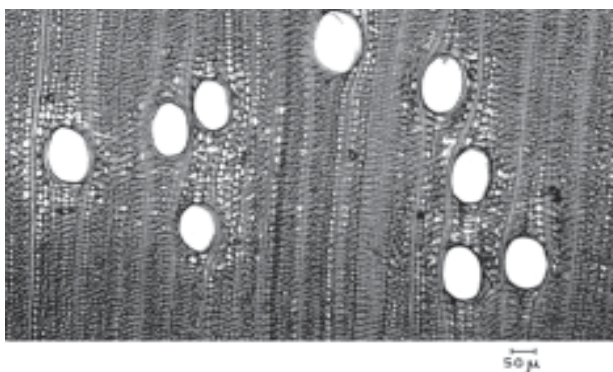
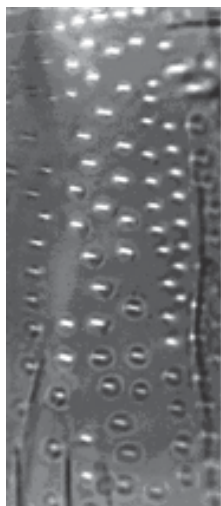
**Figura 1.** *Eucalyptus badjensis*. Corte transversal.

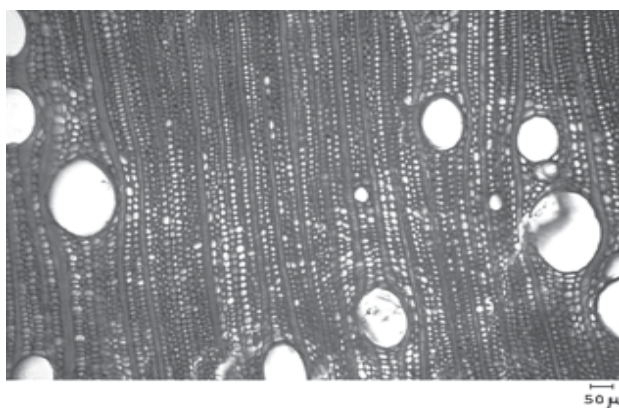


Figura 2. *Eucalyptus badjensis*. Corte radial.



10 μm

Figura 3. *Eucalyptus badjensis*. Corte radial. Punteaduras en vaso.



50 μm

Figura 4. *Eucalyptus badjensis*. Corte transversal.

nes son areoladas, de contorno circular y abertura interna elíptica. Se encuentran dispuestas en forma alterna, no coalescente (figura 4, rd). En el interior de algunos vasos se observan tílides.

Radios leñosos

Los radios leñosos son homogéneos, uniseriados. Los extremos de los radios están constituidos por células fusiformes a lineales (figura 5, tg). Según la clasificación de Kribs los radios pueden definirse como homogéneos Tipo III (Kribs, 1959). El cuadro 3 presenta las medias y medidas de variabilidad de las características medidas en *E. badjensis*.



50 μm

Figura 5. *Eucalyptus badjensis*. Corte tangencial.

Cuadro 3. Medias y variabilidad de las características anatómicas en *E. badjensis*.

Característica	N	media	rango	desvío	CV (%)
Diámetro de vasos (μm)	267	88,5	33,2-133	18,7	21
Nº de vasos.mm ²	281	9	3-18	2,67	27
Long.del elemento del vaso (μm)	429	199,8	57,2-400	61,8	31
Altura del radio en Nº de células	580	11	3-34	4,9	43
Altura del radio (μm)	321	232,7	53,2-611,8	70,4	30

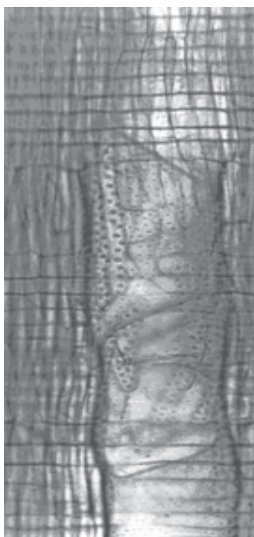
Parénquima

El parénquima axial es paratraqueal, predomina el parénquima axial vasicéntrico y en algunos casos vasicéntrico incompleto o escaso.

Fibras

Las fibras son libriformes con extremos ahusados y contorno poligonal (figura 6, tr).

En el cuadro 4 se presentan los datos promedio de largo, espesor de la pared, diámetro del lumen y ancho total en fibras de *E. badjensis*.



20 μ m

Figura 6. *Eucalyptus badjensis*. Corte radial.

Peso específico

En el cuadro 5 se presenta el promedio y la variación del PEAb para *E. badjensis*. En la figura 7 se muestra la variación en altura de esta variable.

Cuadro 5. media y variabilidad del Peso específico en *E. badjensis*.

Especie	PEAb media (g.cm ⁻³)	rango	desvío	CV (%)
<i>E.badjensis</i>	0,39	0,35 – 0,45	0,03	7,82

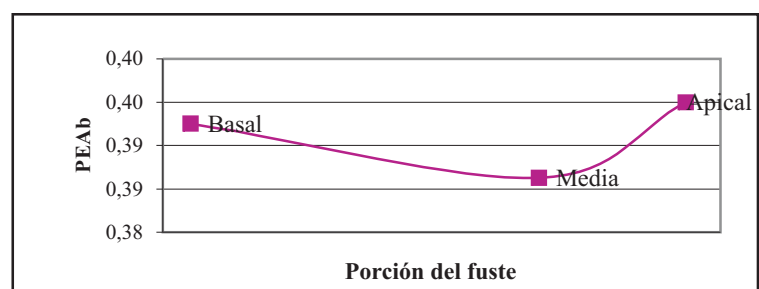


Figura 7. Variación del PEAb en altura del fuste para *E. badjensis*.

Cuadro 4. Medias y variabilidad de las características de las fibras de *E. badjensis*.

Característica	n	media	rango	desvío	CV (%)
Largo de fibra (mm)	1440	0,79	0,47- 1,22	0,116	14,6
Espesor de la pared (μ m)	249	1,82	1,03- 3,44	0,370	20,6
Diámetro del lumen (μ m)	287	7,40	2,77- 16,67	2,260	30,6
Ancho de la fibra (μ m)	250	9,20	4,49- 19,25	2,300	25,3

Corteza

E. badjensis presentó un porcentaje de corteza promedio de 11%. En el cuadro 6 se presentan el promedio y la variación para esta especie y en la figura 8 su variación en altura.

Cuadro 6. Media y variabilidad del porcentaje de corteza en *E. badjensis*.

Especie	Corteza en % media	rango	desvío	CV (%)
<i>E. badjensis</i>	11	7,6 - 19	2,5	23

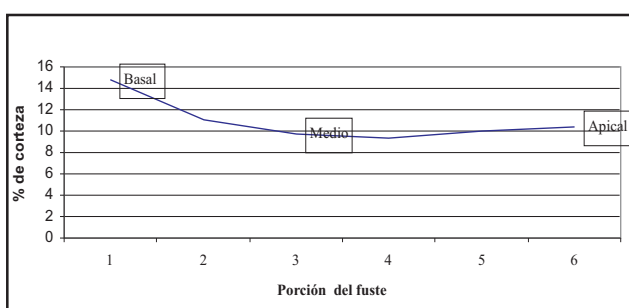


Figura 8. Variación del % de corteza en altura del fuste para *E. badjensis*.

Relaciones entre medidas fundamentales de las fibras

Las relaciones se calcularon utilizando las medias de las medidas de las fibras, con los siguientes resultados: IE = 85,87; CFL = 80,43; FP = 39,56; L/E = 434 y FR = 0,492.

Caracterización microscópica de *Eucalyptus dunnii*

Vasos

La porosidad en *E. dunnii* es difusa, presenta poros solitarios, numerosos, de sección circular u oval. Estos se alinean en forma oblicua en relación a los radios (tr). Los elementos vasculares son de trayecto rectilíneo a levemente sinuoso, con placas de perforación oblicuas (figura 9, rd). Las puntuaciones son areoladas, de contorno circular y abertura interna elíptica, las mismas se encuentran dispuestas en forma alterna, no coalescentes. Se observan tílides en algunos vasos.

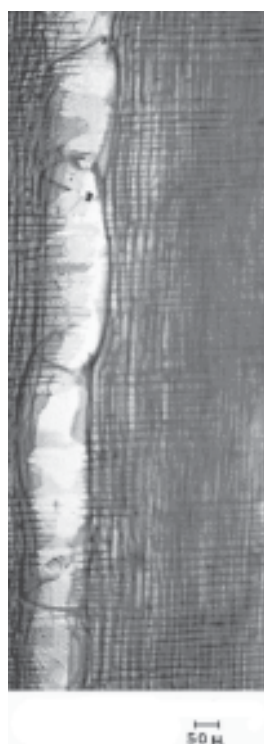


Figura 9. *Eucalyptus dunnii*. Corte radial.

Radios leñosos

Los radios leñosos son en su mayoría heterogéneos y biseriados, encontrándose también radios homogéneos y uniseriados. Es común encontrar radios uniseriados parcialmente biseriados. Según la clasificación de Kribs se denominarían como radios heterogéneos Tipo IIB (Kribs, 1959). En el cuadro 7 se presenta una descripción cuantitativa de las características medidas en *E. dunnii*.

Parénquima

El parénquima axial es paratraqueal escaso, raramente vasicéntrico.

Los extremos de los radios están constituidos por células fusiformes, de ápice redondeado o agudo (figura 10, tg).

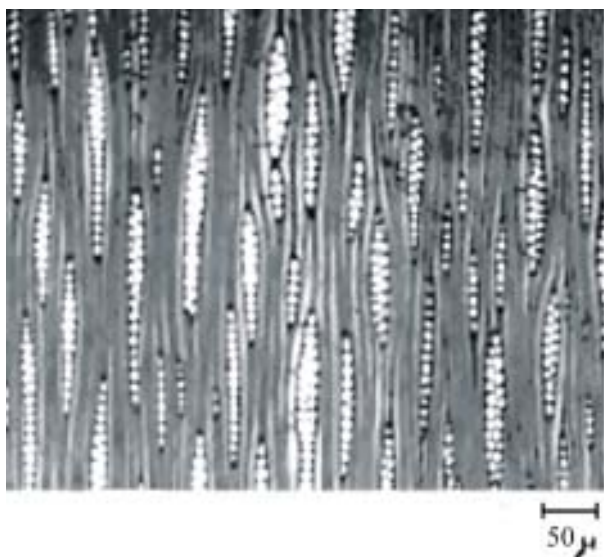
Fibras

Las fibras son libriformes con extremos ahusados terminados en forma de cuña muy marcada.

Las paredes son gruesas, lumen medianamente pequeño y contorno poligonal (tr). En el cuadro 8 se presentan los datos promedio del largo, espesor de la pared, diámetro del lumen y ancho total de las fibras en *E. dunnii*.

Cuadro 7. Medias y variabilidad de las características anatómicas en *E. dunnii*.

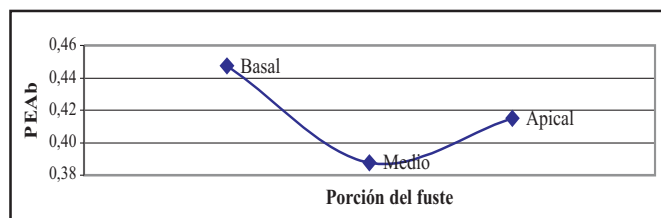
Característica	n	media	rango	desvío	CV (%)
Diámetro de vasos (μm)	200	103,5	53,2 – 172,9	21	20,3
Nº de vasos mm^{-2}	209	8	3 – 14	1,8	21,7
Long. del elemento del vaso (μm)	324	278,9	93,3 – 506,5	66,7	22,5
Altura del radio en Nº de células	545	14	3 – 43	6,5	46,4
Altura del radio (μm)	726	295,4	66,5 – 824,6	118,9	40,2

**Figura 10.** *Eucalyptus dunnii*. Corte tangencial.*Peso específico*

En el cuadro 9 se presenta el promedio y la variación de PEAb para esta especie, y en la figura 11 su variación en altura.

Cuadro 9. Promedio y variabilidad del PEAb en *E. dunnii*.

Especie	PEAb promedio ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	rango	desvío	CV (%)
<i>E. dunnii</i>	0,4	0,36 - 0,45	0,027	6,96

**Figura 11.** Variación del PEAb en altura para *E. dunnii*.**Cuadro 8.** Medias y variabilidad de las características de las fibras en *Eucalyptus dunnii*.

Característica	n	media	rango	desvío	CV (%)
Largo de fibra (mm)	1440	0,89	0,53 – 1,4	0,13	14,6
Espesor de la pared (μm)	175	2,12	1,37 – 3,44	0,47	22,2
Diámetro del lumen (μm)	239	8,9	4,16 – 13,88	2,49	27,9
Ancho de la fibra (μm)	175	11,02	7,28 – 16,46	2,34	21,3

Corteza

En el cuadro 10 se aprecia el promedio y la variación: de la corteza para esta especie y en la figura 12 su variación en altura.

Cuadro 10. Promedio y variabilidad del porcentaje de corteza.

Especie	Corteza en % media	rango	desvío	CV (%)
<i>E. dunnii</i>	14	7,5 - 23,6	4,1	28,1

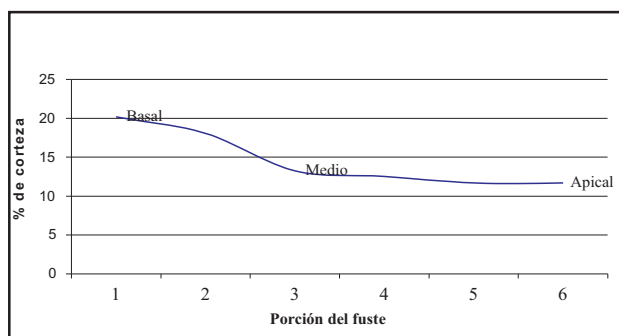


Figura 4. Variación del % de corteza en altura para *E.dunnii*.

Relaciones entre medidas fundamentales de las fibras

Las relaciones se calcularon utilizando las medias de las medidas de las fibras, con los siguientes resultados: IE = 85,87; CFL = 80,43; FP = 39,56; L/E = 434 y FR = 0,492

Discusión

El diámetro de vasos promedio en *E. dunnii* fue 103,52 μm y en *E. badjensis* fue de 88,53 μm . Según la clasificación de Metcalfe y Chalk (1957) *E. dunnii* se situaría como una especie que posee vasos de tamaño medio ya que se encuentra dentro del rango de 100 a 200 μm y *E. badjensis* en la categoría tamaño pequeño por poseer vasos menores a 100 μm de diámetro. Villegas y Rivera (2002) reportan para la especie, cultivada en Argentina, una media de 100 μm (17 – 192) con un rango de variación mayor que el encontrado en este trabajo y una media de los mayores diámetros, calculada a partir de los 10 mayores de 182 μm (142–192).

Perlas y Traversa (1993) trabajando con *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* de más de 20 años de edad cultivados en Uruguay, encontraron que el diámetro medio de poros era 140,61 μm (134,84 – 146,19).

En el presente trabajo el número promedio de vasos. mm^{-2} para *E. dunnii* fue 8 (3-14) y para *E. badjensis* el promedio fue 9 (3 - 18). Según lo expuesto por Metcalfe y Chalk (1954) el número de vasos. mm^{-2} presenta variación entre las especies, pero en general se sitúa entre 2 y 20. Para Dadswell (1972) el rango se ubica entre 5 y 11 pudiendo en algunos casos ser superior, esto es similar a lo expuesto por Hillis (1978) quien reporta un rango de 5 a 10 vasos. mm^{-2} . La media encontrada para *E. dunnii* por Villegas y Rivera (2002) fue 8 (5 – 11). Los valores promedio encontrados por Dighiero y Falcone (1993) en *E.globulus* ssp. *maidenii* y *E. viminalis* son de 11 y 9, respectivamente. Perlas y Traversa (1993) reportan para *E. globulus* ssp. *globulus* una media de 7,18 (6,98 – 7,38) vasos. mm^{-2} .

El dato de longitud promedio del elemento del vaso en el presente trabajo para *E. dunnii* fue 279 μm (146,63 - 506,5) superior al de *E. badjensis* cuyo promedio fue 200 μm (57,15 - 400,05). Estos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos por Dadswell (1972), Cozzo y Rodríguez (1959) y Dighiero y Falcone (1993) en otras especies del género *Eucalyptus*. La media de longitud del elemento del vaso de *E. dunnii* encontrada por Villegas y Rivera (2002) fue 352 μm (167 – 533).

El parénquima en *E. dunnii* y *E. badjensis* es paratraqueal escaso, vasicéntrico o vasicéntrico incompleto. Dicha descripción cualitativa es concordante con lo expresado por Metcalfe y Chalk (1957), Cozzo y Rodríguez (1959), Dadswell (1972), Hillis (1978) para otras especies del género *Eucalyptus*.

La altura promedio de los radios en número de células fue mayor en *E. dunnii* que en *E. badjensis* con 14 y 11 células respectivamente. Los valores mínimos y máximos encontrados en *E. dunnii* fueron de 3 y 43 respectivamente y en *E. badjensis* fueron de 3 a 34 células de altura de radio. La media encontrada en Argentina por Villegas y Rivera (2002) para *E. dunnii* fue 11,5 (8 – 15).

La altura promedio de los radios en *E. dunnii* fue de 295 μm (66,5 - 826) y en *E. badjensis* el promedio fue 233 μm (53 - 611). Estos valores son similares a los reportados en otras especies del género *Eucalyptus* estudiadas por Cozzo y Rodríguez (1959), Dadswell (1972) y Dighiero y Falcone (1993).

E. dunnii y *E. badjensis* presentan fibras libriiformes con extremos ahusados, característica común en las es-

pecies del género *Eucalyptus* descritas por otros autores.

El largo promedio de fibras de *E. dunnii* fue de 0,89 mm, con un largo máximo de 1,40 mm y un mínimo de 0,53 mm; y en *E. badjensis* el largo promedio fue de 0,79 mm, con un largo máximo de 1,22 mm y un mínimo de 0,47 mm. Estos valores son similares a los reportados en estudios de otras especies del género *Eucalyptus* presentados por Metcalfe y Chalk (1957), Cozzo y Rodríguez (1959), Dadswell (1972), Hillis (1978). El valor de largo de fibra para *E. dunnii* encontrado por Villegas y Rivera (2002) fue de 1154 μm (1117 – 1217) para fibras con puntuaciones simples y de 1050,5 μm (533 – 1375) en las fibras con puntuaciones areoladas (esta diferenciación no se realizó en el presente trabajo), la longitud de fibras encontrada en Argentina es mayor. Es probable que los árboles incluidos en la muestra argentina sean de edades mayores que los incluidos en este estudio.

El largo de fibra promedio en *E. dunnii* y *E. badjensis*, se sitúa entre *E. globulus* ssp. *maidenii* de entre 6 y 14 años (0,95 mm) y *E. viminalis* de entre 6 y 40 años (0,63 mm), valores encontrados por Dighiero y Falcone (1993).

La media de largo de fibra de ambas especies es menor que la encontrada por Perlas y Traversa (1993) para *E. globulus* de más de diez años de edad, con una media de 1123,67 μm . Sin embargo los extremos superiores del rango de variación son mayores en las dos especies estudiadas en este trabajo. Es posible que a edades mayores la diferencia entre las medias cambie.

El valor de largo de fibra en *E. badjensis* calculado en este estudio fue cercano al obtenido por Soria (1979) en *E. grandis* de tres años de edad (0,75 mm). El valor de largo de fibra obtenido por Hicks y Clark (2001) en pulpa refinada de *E. badjensis* de 14 años cultivados en Urriera y Kowen (NSW), en Australia fue de 0,64mm, mientras que para *E. dunnii* de 9 años cultivados en Coff Harbour (NSW) encontraron una media de largo de fibras de 0,73 mm y una media de 0,86 mm para *E. dunnii* de 12 años plantados en Gympie (QLD).

El largo de fibra promedio, observado por García De León (1994) en *E. dunnii* de 5 años de edad plantados en el litoral oeste de Uruguay fue 0,73 mm, este valor es menor al encontrado en el presente trabajo, pero se sitúa dentro del rango de variación obtenido.

El PEAb promedio calculado para *E. dunnii* fue de 0,4 gcm^{-3} (0,36 – 0,45) y para *E. badjensis* 0,39 gcm^{-3} (0,35 – 0,45). Backman y García De León (2003) reportan medias de 0,543 gcm^{-3} y de 0,489 gcm^{-3} para *E. dunnii* de 9 y 4 años, respectivamente, cultivados en el

litoral oeste de Uruguay. Por su parte, Hicks y Clark (2001) encontraron en Australia valores de 0,499 gcm^{-3} y 0,503 gcm^{-3} para *E. badjensis* de 14 años cultivados en Urriera y Kowen, respectivamente. Estos mismos autores reportan valores de 0,513 gcm^{-3} para *E. dunnii* de 9 años de edad, plantados en Coff Harbour y de 0,534 gcm^{-3} en plantaciones de 12 años en Gympie. En Brasil, Higa *et al.* (2002) citan valores de 0,482 gcm^{-3} para *E. badjensis* de 5 años.

El porcentaje de corteza encontrado en este trabajo fue de 14 % para *E. dunnii* y de 11 % para *E. badjensis*. En Argentina, Maradei *et al.* (1989) reportan un porcentaje de corteza para *E. dunnii* de 7,21 % en árboles de 7 años de edad y Marcó y López 1994 calcularon porcentajes de corteza para la misma especie de 8,8 % y 7,8 % en árboles de 9 y 14 años respectivamente. Las diferencias pueden explicarse por la edad de los árboles o por diferencias en el método empleado para calcularlo.

La variación del porcentaje de corteza en la altura sigue el comportamiento descrito por Sorrentino (1997), es más elevado en la base, disminuye y se hace constante en la mayor parte del fuste útil y tiende a aumentar en el tramo final.

Las relaciones entre medidas fundamentales de las fibras son utilizadas para inferir las propiedades de la pulpa para papel y pueden también ayudar a la identificación de las maderas. Las fibras de latifoliadas que presentan altos factores de Runkel y de proporción de pared y bajos coeficientes de flexibilidad, se presentan poco flexibles en la formación del papel, perjudicando las propiedades que dependen de la unión de las fibras (resistencia a la tracción y al reventamiento) y mejorando la resistencia al rasgado, al igual que aquellas que presentan altos índices de entrelazado.

Los valores obtenidos en este trabajo, permiten suponer que los papeles a producir con estas especies a estas edades tendrán calidades aceptables en referencia a su resistencia a la tracción, reventamiento y rasgado, con una buena unión de las fibras y baja aspereza (*coarseness*). De Mello y Fernández (2000), trabajando con madera de los mismos árboles, obtuvieron los siguientes resultados medios: índice de rasgado *E. badjensis* 7,88 $\text{mNm}^2\text{g}^{-1}$ (31°SR) y 6,84 $\text{mNm}^2\text{g}^{-1}$ (36°SR); *E. dunnii* 6,70 $\text{mNm}^2\text{g}^{-1}$ (31°SR) y 6,31 $\text{mNm}^2\text{g}^{-1}$ (41°SR); índice de estallido *E. badjensis* 6,74 $\text{kPam}^2\text{g}^{-1}$ (31°SR) y 7,96 $\text{kPam}^2\text{g}^{-1}$ (36°SR); *E. dunnii* 6,04 $\text{kPam}^2\text{g}^{-1}$ (31°SR) y 6,52 $\text{kPam}^2\text{g}^{-1}$ (41°SR), largo de ruptura *E. badjensis* 7781m (31°SR) y 9531m (36°SR); *E. dunnii* 7678m (31°SR) y 8461 (41°SR). Por su parte, Bakman y García De León (1998) reportaron para *E. dunnii*

cultivados en el litoral oeste de Uruguay un índice de tracción de $63,1 \text{ Nm} \cdot \text{kg}^{-1}$ e índice de rasgado $8,7 \text{ Nm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ todo a 25° SR , utilizando los métodos de ensayo SCAN (Scandinavian Pulp, paper and board testing committee).

Los dos tipos de papel en cuya fabricación se usan más las pulpas de eucalipto son los papeles *tissue* y los papeles para impresión, los requerimientos de cada uno de estos tipos de papel son diferentes, en especial en lo que tiene que ver con aspectos que dependen de la unión de las fibras y la aspereza. Entre otras características, los papeles *tissue* deben tener alta aspereza, baja unión entre fibras y bajas resistencias mecánicas, solo las necesarias para que el papel no se deshaga durante el uso. Los papeles de impresión, a su vez requieren buena formación de la hoja, alta unión entre fibras, altas resistencias mecánicas y buenas condiciones ópticas, en especial opacidad.

Algunas propiedades de la celulosa dependen de la madera utilizada, otras de los procesos a los que se la somete y la mayoría a la combinación de ambas. Las propiedades que dependen totalmente de la madera son aquellas que se vinculan directamente a largo y ancho de las fibras, espesor de la pared celular, dimensiones de los elementos del vaso y composición química (Foelkel, 2007 a). Las distintas combinaciones de fi-

bras y procesos consiguen las características requeridas para cada papel y condiciones de producción.

Las características anatómicas encontradas en estas especies, permiten suponer que los papeles producidos tendrán buena unión entre fibras, buena formación de la hoja, altas resistencias a la tracción y reventamiento. Los tamaños de los elementos anatómicos permiten además predecir una buena opacidad y las dimensiones de los elementos de los vasos, entre pequeños y medianos, una disminución del defecto de levantamiento de los vasos que se da durante la impresión gráfica. Los vasos de *E. dunnii* son mayores que los de *E. badjensis* y las pastas elaboradas pueden necesitar formas de refino especiales u otras formas de disminuir el problema de los vasos cuando los papeles a producir así lo requieran (Foelkel, 2007 b).

En el cuadro 11 se presentan los datos de este trabajo comparándolos con los de otros autores para los eucaliptos más utilizados en silvicultura de plantaciones en Uruguay.

Agradecimientos

Los autores agradecen a INIA (Tacuarembó) por el apoyo brindado en el presente estudio.

Cuadro 11. Comparación de relaciones entre medidas fundamentales de las fibras con los de otros autores y otras especies.

Especie	IE	CFL	FP	L/E	FR
<i>E. dunnii</i> ¹	81	81	38	420	0,48
<i>E. badjensis</i> ¹	86	80	40	434	0,49
<i>E. globulus</i> ²	55	55	44	s/d	0,80
<i>E. camaldulensis</i> ²	51	50	54	s/d	1,08
<i>E. grandis</i> ²	46	77	25	s/d	0,33
<i>E. saligna</i> ²	49	65	35	s/d	0,55
<i>E. globulus</i> ssp. <i>maidenii</i> ³	s/d	s/d	s/d	233	1,68
<i>E. viminalis</i> ³	s/d	s/d	s/d	146	1,59
<i>E. grandis</i> ⁴	66	s/d	s/d	s/d	0,45
<i>E. grandis</i> ⁵	57	66	34	s/d	0,525
<i>E. saligna</i> ⁵	53	68	32	s/d	0,481
<i>E. globulus</i> ⁵	59	61	39	s/d	0,641
<i>E. viminalis</i> ⁵	67	60	40	s/d	0,673
<i>E. globulus</i> ⁶	s/d	s/d	s/d	s/d	0,79

Fuente: el cuadro 11 fue elaborado a partir de los siguientes trabajos:

¹resultados de este trabajo; ²Bermúdez et al. (2002); ³Dighiero y Falcone (1993); ⁴Soria (1979); ⁵ Barrichelo y Foelkel (1976); ⁶Traversa y Perlas (1991). s/d; sin datos.

Bibliografía

- Balmelli, G. y Resquín, F.** 2000. Evaluación de especies de *Eucalyptus* al quinto año. Serie Técnica N° 114 INIA Tacuarembó. 23p.
- Balmelli, G. y Resquín, F.** 2006. Productividad de diferentes especies de *Eucalyptus* sobre areniscas de Tacuarembó – Rivera In 30 años de investigación en suelos de areniscas. Bemhaja, M. y Pittaluga, O. Eds. INIA Tacuarembó, pp. 305 – 312.
- Backman, M. y García De León, J.** 1998. Pulp and paper properties of four year old Eucalyptus trees for early species selection. 52nd Appita Annual General Conference (Vol. 1): 7 – 13.
- Barrichelo, L. E. G. y Foelkel, C. E. B.** 1976. Estudos para produção de celulose sulfato de seis especies de eucalipto. Instituto de pesquisas e estudos florestais ESALQ/USP, Piracicaba (12), pp. 77- 95.
- Bermúdez, J. D.; Tosa, M. C. y Sanz, F.** 2002. Manual de la madera de eucalipto blanco, Ourense, España. Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnológico de Galicia. 143 p.
- Cozzo, D. y Rodríguez, E.** 1959. Anatomía comparada de la madera de 14 especies de *Eucalyptus* cultivadas en la Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, pp 1-29.
- Dadswell, H.** 1972. The Anatomy of Eucalypt Woods. Forest Products Laboratory. Division of applied chemistry technological paper. Melbourne, Australia, CSIRO, 28 p.
- De Mello, J. y Fernández, R.** 2000. Aptitud papelera en 4 especies de *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. dunnii*, *E. viminalis* y *E. badjensis*) Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía, 71 p.
- Foelkel, C.** 2007 a. As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose Kraft para a fabricação de papel In Eucalyptus on line book and newsletter. (en línea) Consultado 13 de setiembre 2008. Disponible en http://www.eucalyptus.com.br/capítulos/PT03_fibras.pdf
- Foelkel, C.** 2007 b. Elementos do vaso e celluloses de eucalipto In Eucalyptus on line book and newsletter. (en línea) Consultado 13 de setiembre 2008. Disponible en http://www.eucalyptus.com.br/capítulos/PT03_vasos.pdf
- Dighiero, A. y Falcone, A.** 1993. Caracterización anatómica de 2 especies de *Eucalyptus*. (*E. globulus* ssp. *maidenii* y *E. viminalis*). Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 173 p.
- García De León, J.** 1994. Nota técnica sobre *Eucalyptus dunnii*. Compañía Forestal Oriental. Departamento de Servicios Técnicos. Uruguay.
- Hicks, C. C. and Clark, N. B.** 2001. Pulpwood quality of 13 Eucalypt species with potencial for farm forestry. A Report for the RIRDC/Land and water Australia. Joint venture Agroforestry Program. RIRDC publication N° 00/164. Victoria, Australia 38 p.
- Higa, R. C. V.; Higa, A. R. y Alves E. C.** 2002. *Eucalyptus badjensis* Beuzev&Welch. Espécie potencial para produção de madeira e óleos essenciais no Sul do Brasil. Embrapa, Informe técnico 75. Colombo, PR. Brasil.
- Hillis, W. E.** (ed), 1978. Eucalyptus for wood production. Melbourne, CSIRO. Academic press. pp 260-271.
- Kribs, D. A.** 1959. Commercial Foreign Woods on the American market; Buckhout Laboratory, Department of Botany. Pennsylvania State University, U.S.A. 203 p.
- Maradei, D.; Repetti, R. y Zilli, N.** 1989. *Eucalyptus dunnii*. In 24° Congreso técnico sobre celulosa y papel. Buenos Aires. Asociación de Técnicos de la Industria Papelera y Celulósica Argentina. pp 95-108.
- Marcó, M. A. y López, J. A.** 1994. Performance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in the Mesopotamia region, Argentina. In *Eucalyptus* plantations: improving fibre yield and quality. IUFRO, Hobart. pp. 40 - 44.
- Metcalfe, C. and Chalk, L.** 1957. Anatomy of the Dicotyledons. Oxford University Press. 724 p.
- MGAP.** Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección Forestal. 2001. Sinopsis Forestal 2001. Uruguay Forestal N°28: 18-19. Montevideo.
- MGAP.** Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal 2008. Estadísticas. Plantaciones registradas en DGF (en línea) Montevideo. Consultado 4 de setiembre 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/forestal/dgf.htm>
- Perlas, H. y Traversa, I.** 1993. Estudio anatómico y propiedades químicas de la madera de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (Labill.) Kirkp. en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 140 p.
- Smith, D.** 1954. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. Forest Products Laboratory. Forest Service U. S. Department of Agriculture. Madison. U.S.A.
- Soria, L. A.** 1979. Aptitud papelera del *Eucalyptus grandis* como materia prima para la obtención de pastas celulósicas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 71 p.
- Sorrentino, A.** 1997. Manual para Diseño y Ejecución de Inventarios Forestales. Montevideo. Uruguay. Hemisferio Sur. 350 p.
- Taylor, F.** 1973. Anatomical wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. South African Forestry Journal. N° 84. pp 1-5.
- Villegas, M. S. y Rivera, S. M.** 2002. Revisión Xilológica de las principales especies del género *Eucalyptus* L'Herit. cultivadas en Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía 105 (1) pp 9-28. La Plata, Argentina.