

Variabilidad en la anatomía y densidad de la madera de *Eucalyptus globulus*: análisis preliminar del efecto de la procedencia, suelo y edad

Moreno, Karen G.^{1,4}; Elena M. Spavento²; Silvia E. Monteoliva³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, CC 276 (7620) Balcarce, Provincia de Buenos, Argentina; ² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, LIMAD, (1900) La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina; ³ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, INFI-VE-CONICET, CC 31 (1900) La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina; ⁴ Karenmoreno_2@hotmail.com

Moreno, Karen G.; Elena M. Spavento; Silvia E. Monteoliva (2018) Variabilidad en la anatomía y densidad de la madera de *Eucalyptus globulus*: análisis preliminar del efecto de la procedencia, suelo y edad. Rev. Fac. Agron. Vol 117 (1): 163-170.

El objetivo del trabajo fue analizar la variabilidad que establecen las procedencias, suelo y edades de cosecha en la anatomía y densidad de la madera de *Eucalyptus globulus* Labil. implantados comercialmente en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Se seleccionaron 23 árboles de 3 procedencias (Valdivia, Angol y Portuguesa), 4 categorías de suelos (de muy apto a no apto) y 2 rangos de edades de cosecha (10-11 y 14-15 años). Los árboles de la procedencia Portuguesa registraron los mayores valores de altura y diámetro, mientras que los suelos y edad no tuvieron influencia. La calidad de la madera producida en términos de biometría de fibras y vasos, tiende a ser diferente según estos tres factores, mientras que las diferencias en densidad básica de la madera no fueron importantes desde el punto de vista tecnológico en el rango de edad de 14-15 años. La procedencia Portuguesa presentó las fibras más largas ($908 \pm 230 \mu\text{m}$) y el menor espesor de pared ($2,05 \pm 0,6 \mu\text{m}$), los vasos fueron intermedios en número y diámetro ($11 \pm 4 / \text{mm}^2$ y $81 \pm 30 \mu\text{m}$). El suelo poco apto fue el que registró la mejor combinación de valores de fibras y vasos (mayor longitud de fibras y espesor de pared, con bajo número de vasos de diámetro intermedio). Los árboles muestreados a mayor edad produjeron madera con mayor longitud de fibras, espesor de pared y diámetro de vasos. Tomando la densidad como índice de calidad tecnológica para diferentes industrias (aserrado-papel), la madera producida puede considerarse un material relativamente homogéneo ($0,547 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$).

Palabras clave: calidad de madera; fibras; vasos; eucalipto; Sudeste Bonaerense.

Moreno, Karen G.; Elena M. Spavento; Silvia E. Monteoliva (2018) Variability in the anatomy and density of *Eucalyptus globulus* wood: preliminary analysis of the effect of provenance, soil and age. Rev. Fac. Agron. Vol 117 (1): 163-170.

The aim of the work was to analyze the variability established by provenances, soil and harvest ages in the anatomy and density of *Eucalyptus globulus* Labil. commercially implanted in the southeast of the province of Buenos Aires, Argentina. We selected 23 trees from 3 provenances (Valdivia, Angol and Portuguesa), 4 soil categories (from very suitable to unsuitable) and 2 ranges of harvest ages (10-11 and 14-15 years). The trees of the Portuguese provenance recorded the highest values of height and diameter, while the soils and age had no influence. The quality of the wood produced in terms of fiber and vessel biometrics tends to be different according to these three factors, while the differences in the basic density of the wood were not important from the technological point of view in the age range of 14 -15 years. The Portuguese provenance presented the longest fibers ($908 \pm 230 \mu\text{m}$) and the lowest wall thickness ($2.05 \pm 0.6 \mu\text{m}$), the vessels were intermediate in number and diameter ($11 \pm 4 / \text{mm}^2$ and $81 \pm 30 \mu\text{m}$). The least suitable soil was the one that recorded the best combination of fiber and vessel values (greater fiber length and wall thickness, with fewer intermediate diameter vessels). The trees sampled at a older age produced wood with greater fiber length, wall thickness and vessel diameter. The growth of trees (height and diameter) did not correlate with the quality of wood produced. Taking density as an index of technological quality for different industries (sawing-paper), the wood produced can be considered a relatively homogeneous material ($0.557 \pm 0.05 \text{ g / cm}^3$).

Keywords: wood quality; fibers; vessels; eucalyptus; Southeast Buenos Aires.

Recibido: 19/12/2017

Aceptado: 19/04/2018

Disponible on line: 10/09/2018

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCIÓN

La especie *Eucalyptus globulus* Labill. es utilizada mayoritariamente para la industria papelera en varios países (Australia, Tasmania, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Portugal, España, Uruguay, Chile, Argentina) fundamentalmente por sus características de rápido crecimiento y buen porte/rectitud que se combinan con óptimas propiedades de la madera para la fabricación de papel de impresión y tissue (Foelkel, 1998; Raymond, 2002; Wimmer et al., 2008; Ramirez et al., 2009). En la última década, sin embargo, se constató un interés creciente a nivel mundial, en manejar las plantaciones para producción de madera sólida con atributos de calidad para fines de aserrado, mueblería y fabricación de productos laminados (Bermúdez Alvite et al., 2002; Raymond, 2002; Nutto & Touza Vázquez, 2006, Sanchez Acosta et al. 2008; Franke & Marto 2014, Belleville et al. 2016).

En este sentido, entre las características tecnológicas de la madera, la densidad es la comúnmente utilizada como índice de calidad ya que se asocia positivamente con las propiedades de resistencias mecánicas de la madera maciza, principalmente con sus valores de dureza (Panshin & De Zeeuw, 1980; Raymond, 2002) y con el mayor rendimiento en el contexto de la industria papelera (Foelkel, 1998). La densidad puede considerarse también como una variable integradora de la anatomía de la especie, ya que refleja en parte la relación de tamaño y cantidad de vasos con la cantidad de fibras y sus dimensiones (Sette Jr. et al., 2012; Lima et al., 2014). Asimismo, existen muchos factores que pueden modificar la anatomía y propiedades emergentes de la madera. Algunos factores son genéticos (orígenes o procedencias de las semillas, clones), silvícolas (edad de cosecha, diferentes tratamientos de fertilización, riego, etc.) o ambientales (suelo, precipitaciones, temperaturas) (Miranda et al., 2001; Touza Vázquez, 2001; Wimmer et al., 2008). Según Wilkes (1988) y Carrillo et al. (2015), es de esperar encontrar diferencias entre procedencias y entre árboles, aun en casos donde éstos se desarrollen sobre el mismo sitio y sean contemporáneos. De acuerdo a Wimmer et al., (2008) las diferencias genéticas que existen entre procedencias en las especies de *Eucalyptus* pueden generar grandes diferencias en crecimiento en los diferentes sitios como así también gran variabilidad en las propiedades emergentes como material para celulosa (biometría de fibras, composición química) o para madera sólida (densidad). Existen estudios que relacionan la densidad básica y la edad en plantaciones maduras (23-35 años) de procedencia española, en los que se citan que las plantaciones más jóvenes presentan los valores más reducidos y dispersos en casi todas las propiedades estudiadas, incluyendo la densidad básica (Bermúdez Alvite et al., 2002). En concordancia con lo mencionado, estudios en el sudeste bonaerense han reportado valores promedios de densidad básica menores en plantaciones de 7-14 años respecto a plantaciones de 30-35 años (Igartúa & Monteoliva, 2006; Moreno e Igartúa 2015), mientras que otros estudios locales, en un rango de edad más acotado (10-16 años) no encontraron diferencias importantes desde el punto de vista tecnológico de esta propiedad (Moreno e Igartúa, 2013).

En Argentina, la especie se planta comercialmente en la región sudeste de la provincia de Buenos Aires, donde exhibe un crecimiento medio anual de 30 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (MAYGP, 2015). De acuerdo al primer inventario de macizos forestales de *E. globulus*, esta especie es considerada la segunda en importancia por su superficie, para la Provincia de Buenos Aires, luego de las Salicáceas en el Delta del Paraná, siendo esta, la única cuenca de *E. globulus* de la Argentina. La superficie implantada asciende a 5622 ha, 71,8% corresponde a plantaciones (monte alto o fustal) y el 28,2% restante a rebrotes (monte bajo o fustal) y los volúmenes totales de madera con corteza rondan los 1872 millones de metros cúbicos, los cuales se pueden discriminar de acuerdo a su aptitud potencial (57% para triturado, 15% para aserrado y un 7% para parquet, 8 % leña) (MAA-BA, 2011). A partir de la década de los '90 se introdujo semilla mejorada de procedencias Chilena y Portuguesa que aumentó notablemente la calidad de las masas, aunque no fueron evaluadas las propiedades de la madera a escala regional. Estas masas fueron implantadas con un destino celulósico-papelerero. Las que se han aprovechado se encuentran actualmente en un segundo turno o ciclo de crecimiento, con una mínima o nula intervención silvícola. Las plantaciones que aún se encuentran en su primer ciclo (fustar) han superado el turno clásico para el cual fueron implantadas, no han sido manejadas, ni se aplicaron sobre ellas podas y/o raleos. Estas existencias, sumado a un renovado interés en la especie por parte de productores, como así también de empresas, han abierto nuevos nichos tanto en el mercado interno, como el externo, lo cual impone continuar con los estudios no solo inventariables, sino también en términos de la calidad de su madera para triturado y para usos sólidos.

En este contexto regional, el objetivo del trabajo fue analizar la variabilidad que establecen las procedencias, suelo y edades de cosecha en la anatomía y densidad de la madera de *E. globulus* implantados comercialmente en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), en vistas de su uso en diferentes industrias (papelera y aserrado).

METODOLOGÍA

La recolección de material de la presente investigación siguió el diseño del muestreo geográfico impuesto por primer inventario de macizos forestales en la región del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (MAA-BA 2011). Dicha región involucra 3.331.800 ha y es considerada una zona de producción mixta, agrícola-ganadera, con la mitad de la superficie bajo cultivos anuales, pasturas y campo natural, en tanto que la actividad forestal ha tenido un desarrollo menos destacado y ha sido asignada a suelos de menor aptitud (MAA-BA, 2011). Sin embargo esta zona, representa una condición de sitio óptima para el desarrollo de *E. globulus*; investigaciones sobre sus crecimientos medios en volumen, estudios de zonificación ecológica basados en analogías climo-edáficas con su región de origen (Moschini et al., 2000) y caracterizaciones regionales basadas en indicadores climáticos y edáficos reconocidos como aptos para su apropiado desarrollo, avalan dicha situación (Culot & Dillon, 1998). En este

sentido, en dicho inventario se evaluó el recurso forestal constituido por los macizos en pie (excluyendo cortinas forestales), en una región aproximada de 1587 km² de superficie, comprendida en un radio de 100 km desde el Puerto de la Ciudad de Quequén (38° 32' S – 58° 42' O). Los principales Partidos incluidos fueron: San Cayetano, Necochea, Lobería y General Alvarado, que son los que concentran la mayor superficie forestada con esta especie.

El clima del área de forestación puede definirse como subhúmedo-húmedo, con pequeña deficiencia hídrica que no demarca una estación seca, con precipitaciones medias anuales de 900 mm, distribuidas uniformemente en el año. Las temperaturas del mes más cálido alcanzan valores promedios de 20°C y las del más frío, de 8°C. Las heladas invierno/primaverales son frecuentes, aunque de baja intensidad ya que es casi nula la probabilidad de ocurrencia de heladas de rigores mayores a -7°C. Las fechas medias de primeras y últimas heladas corresponden a los meses de mayo (del 10 al 15) y octubre (del 15 al 30). En el marco de los parámetros enunciados, se reconoce una homogeneidad climática en el área, o un área de "aptitud climática" para el cultivo de esta especie de eucalipto (Moschini et al., 2000). Sin embargo, desde el punto de vista edáfico se indicó que 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 Tandilia con eje NO-SE; al sur, la llanura interserrana entre Tandilia y Ventania (Culot & Dillon, 1998). A partir de dicho trabajo y otros que analizaron y valoraron en la región diferentes factores edáficos limitantes para el desarrollo del *E. globulus* (profundidad de los horizontes, sodicidad, pH, profundidad efectiva del perfil, profundidad hasta el manto de tosca) se han logrado reconocer diferencias en la aptitud física de las tierras regionales para el desarrollo de la especie (Culot & Dillon, 1998; Culot, 2000).

Para orientar su muestro, el inventario mencionado utilizó la zonificación edáfica de la región para el cultivo de *E. globulus* publicada por Culot & Dillon (1998). La clasificación mencionada se basa en un índice de producción cartográfica y propone 4 rangos de aptitud. El material experimental del presente trabajo correspondió a 10 parcelas permanentes de muestreo, compuestas por 30 árboles cada una. Dentro de ellas se eligieron al azar entre 1-6 árboles para desarrollar estudios de calidad de la madera, totalizando 23 árboles (Tabla S1, Datos suplementarios). Los árboles seleccionados resultaron pertenecientes a 3 procedencias, 4 categorías de suelos y 2 rangos ó categorías de edades de cosecha, aunque el diseño final de muestreo resultó incompleto. Las procedencias fueron: Valdivia, Angol, y Portuguesa. Las categorías de aptitud de suelo empleadas fueron: muy apto (1), apto (2), poco apto (3) y no apto (4) para el crecimiento de la especie, de acuerdo a la zonificación edáfica de Culot & Dillon (1998). El material resultó con edades comprendidas entre los 10 y 15 años y a los efectos del presente análisis, se las agrupó en dos categorías designadas como: 10 a 11 años y 14 a 15 años.

Los 23 árboles seleccionados fueron apeados, medidos (diámetro a la altura de pecho: DAP y Altura total, ver Tabla S1) y trozados. Se recolectaron tres rodajas basales (30 cm del suelo), una para el análisis anatómi-

co y dos para la determinación de densidad básica. Sobre la rodaja destinada a análisis anatómicos, se cortaron probetas de 1cm de lado en 4 posiciones radiales, sobre el radio norte, según un porcentaje de la distancia a la médula (posición 1 a 10% de la longitud del radio norte, posición 2 a 35%, posición 3 a 75% y posición 4 a 100% es decir contiguo a la corteza). Cada probeta de anatomía fue cortada con micrótopo obteniendo cortes transversales de 25µm espesor, teñidos con safranina y montados en Entellán para su posterior análisis. Se obtuvieron además, macerados según técnica de Franklin (1945) con ácido acético y agua oxigenada 100% en partes iguales. Los cortes y macerados se observaron con microscopio óptico (Olympus CX31, Japón), y se tomaron imágenes digitales con cámara Infinity (Lumenera, Canadá) que fueron medidos con el software Image Pro (Media Cybernetics, USA). Se midieron las siguientes variables sobre macerados: longitud de fibras (n=50 por posición radial), sobre cortes transversales: espesor de pared de fibras (n=70 por posición radial), diámetro tangencial de vasos (n=50 por posición radial) y número de vasos por mm² (n=10 imágenes por posición radial). Se utilizó el promedio aritmético de todas las posiciones radiales para definir las variables por árbol.

Las rodajas para determinar densidad se descortezaron y fueron seccionadas en dos mitades, lo que otorgó cuatro repeticiones por árbol a nivel de la base. El volumen saturado se determinó previamente por desplazamiento de fluidos. Se determinó el peso anhidro luego de colocar las mitades de las rodajas en estufa a 103°C hasta peso constante. La densidad básica se calculó como el cociente entre peso anhidro y volumen verde. Se utilizó el promedio aritmético de todas las repeticiones para definir la densidad del árbol.

Se realizaron análisis descriptivos calculando las medidas de tendencia central y su variabilidad, teniendo en cuenta procedencia, suelos y edad como factores individuales debido al diseño de muestreo incompleto. Se evaluaron las tendencias de la interacción doble de factores a través de gráficos de cajas.

RESULTADOS

Efecto de la procedencia, suelos y edad

El tamaño de los árboles (sólo en términos de altura total) varió con la procedencia, pero no con los suelos y la edad. Las variables anatómicas presentaron una gran variación con la procedencia, suelo y edad, no así la densidad básica de la madera, la cual no se modificó con estas variables (Tabla 1, Figuras 1, 2 y 3).

La procedencia Portuguesa registró los mayores valores de altura y DAP, de longitud de fibras (> 900 µm) y el menor espesor de pared frente a las otras dos procedencias (Tabla 1). Los vasos fueron intermedios en número y diámetro, y su densidad no presentó variaciones de consideración. La procedencia Angol presentó los menores valores de altura y DAP, los valores más altos de espesor de pared de fibras, aunque con las menores longitudes y con vasos de mayores diámetros y menor frecuencia (Tabla 1). La procedencia Valdivia se destacó por sus vasos pequeños, pero presentó baja longitud de fibras y espesores de pared con valores intermedios (Tabla 1).

Tabla 1. Biometría de los árboles, anatomía y densidad de la madera discriminados por procedencia, suelo y edad en *E. globulus*. Media (\pm desvío estándar). Procedencias: A: Angol, V: Valdivia, P: Portuguesa. Suelos: 1: muy apto, 2: apto, 3: poco apto, 4: no apto. Edad: 1: 10-11 años, 2: 14-15 años. DAP: diámetro a la altura de pecho.

Factor		Altura total (m)	DAP (cm)	Longitud fibras (μm)	Espesor pared (μm)	Número vasos (mm^{-2})	Diámetro vasos (μm)	Densidad básica (g/cm^3)
Proce-Dencia	A	23,5 ($\pm 2,23$)	25,5 ($\pm 1,88$)	776,4 (± 221)	2,30 ($\pm 0,7$)	10 (± 5)	85,64 ($\pm 32,3$)	0,549 ($\pm 0,05$)
	V	25,4 ($\pm 4,12$)	25,9 ($\pm 4,59$)	788,9 (± 223)	2,22 ($\pm 0,8$)	13 (± 6)	72,33 ($\pm 27,9$)	0,550 ($\pm 0,04$)
	P	29,8 ($\pm 3,14$)	27,8 ($\pm 4,61$)	908,7 (± 230)	2,05 ($\pm 0,6$)	11 (± 4)	80,97 ($\pm 29,9$)	0,539 ($\pm 0,06$)
Suelo	1	23,6 ($\pm 2,57$)	25,8 ($\pm 2,04$)	732,5 (± 207)	2,22 ($\pm 0,7$)	11 (± 5)	86,91 ($\pm 33,2$)	0,542 ($\pm 0,05$)
	2	26,5 ($\pm 3,59$)	25,5 ($\pm 4,66$)	743,9 (± 206)	1,98 ($\pm 0,6$)	12 (± 6)	70,28 ($\pm 28,6$)	0,554 ($\pm 0,04$)
	3	22,2 ($\pm 1,55$)	22,6 ($\pm 2,40$)	872,3 (± 199)	3,21 ($\pm 1,3$)	11 (± 6)	80,52 ($\pm 29,2$)	0,585 ($\pm 0,01$)
	4	27,4 ($\pm 4,99$)	28,1 ($\pm 4,05$)	902,9 (± 234)	2,13 ($\pm 0,6$)	12 (± 6)	78,44 ($\pm 28,5$)	0,534 ($\pm 0,05$)
Edad	1	24,8 ($\pm 3,67$)	24,7 ($\pm 3,67$)	778,2 (± 211)	1,96 ($\pm 0,6$)	12 (± 5)	72,52 ($\pm 29,0$)	0,559 ($\pm 0,05$)
	2	26,7 ($\pm 4,31$)	27,1 ($\pm 4,21$)	827,9 (± 237)	2,35 ($\pm 0,8$)	11 (± 6)	79,76 ($\pm 30,0$)	0,540 ($\pm 0,05$)

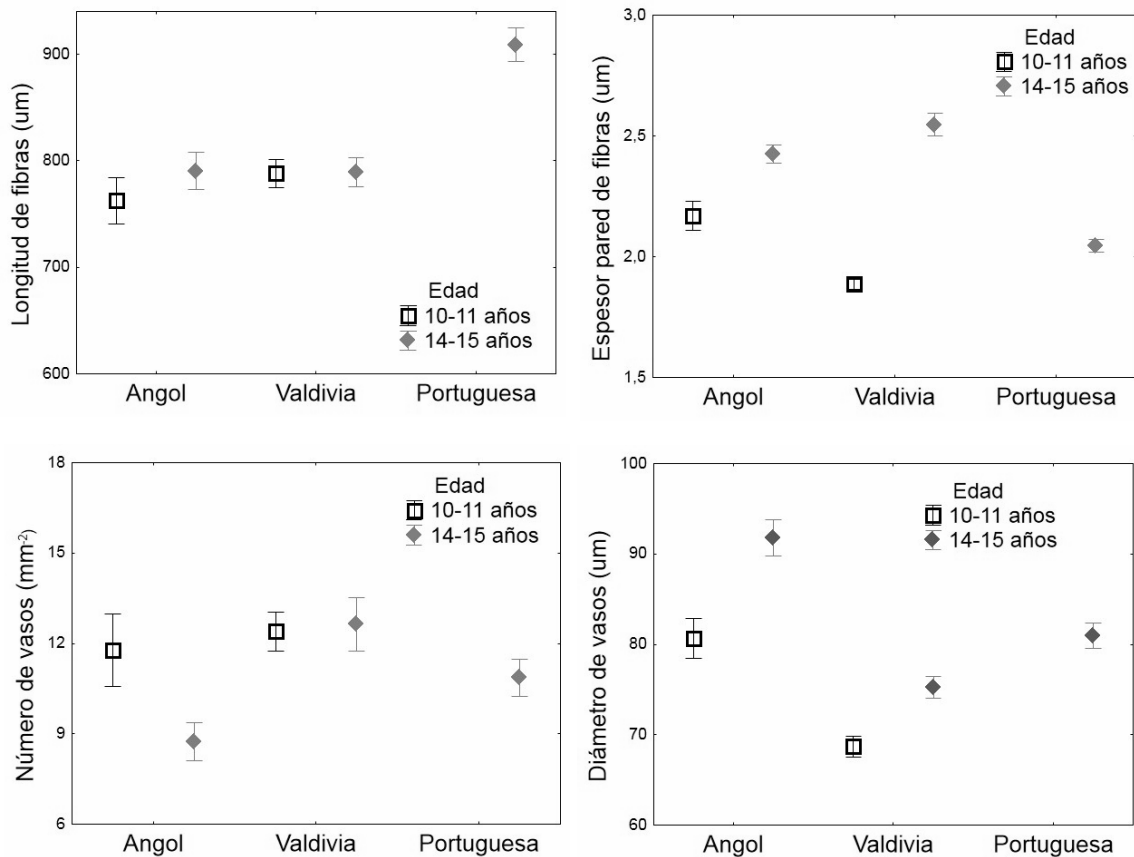


Figura 1. Anatomía de la madera de *E. globulus* discriminados por procedencia y edad. Las barras en los gráficos indican el desvío estándar de la media.

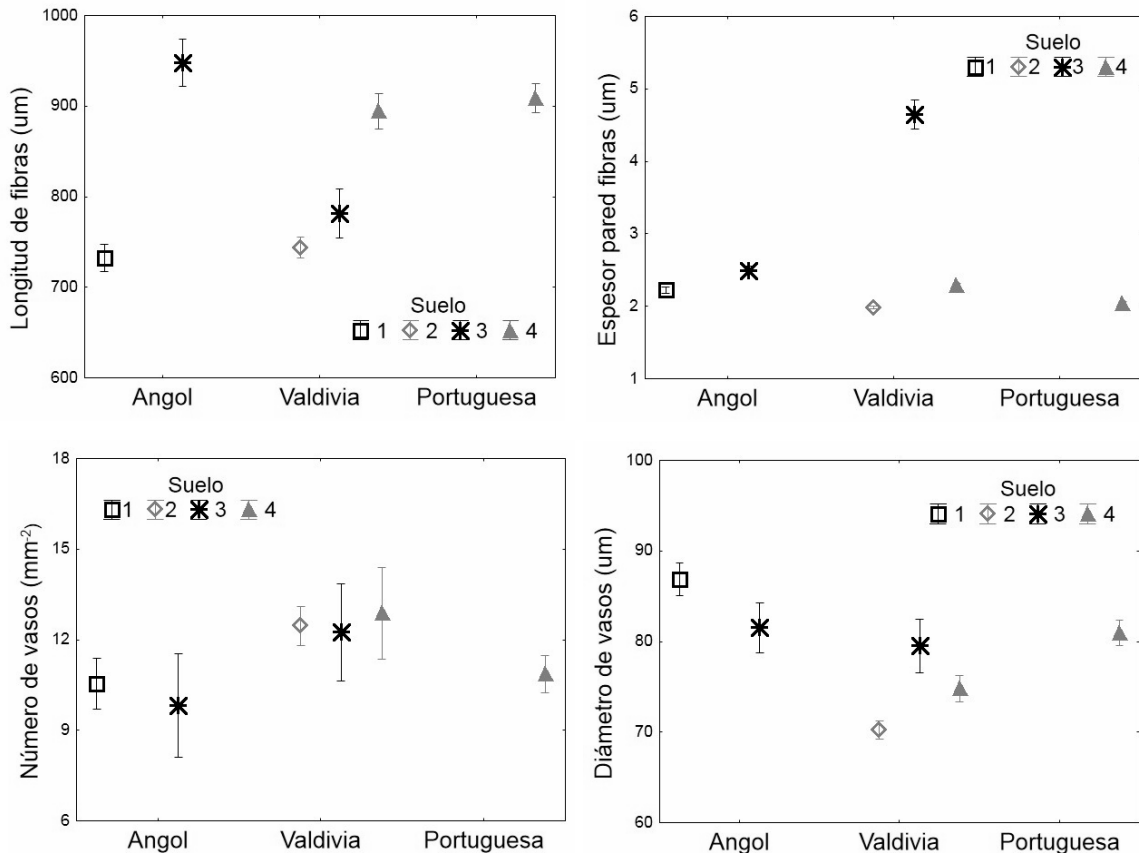


Figura 2. Anatomía de la madera de *E. globulus* discriminados por procedencia y suelo. Las barras en los gráficos indican el desvío estándar de la media.

No se registró una gran variación del tamaño de los árboles (altura y DAP) con los suelos, aunque se evidencia una tendencia de mayores valores de crecimiento en los suelos 2 (apto) y 4 (no apto). Se observó que el tipo de suelo 3 (poco apto) fue el que registró la mejor combinación de valores de morfometría de fibras y vasos (mayor longitud de fibras y espesor de pared, con bajo número de vasos, cuyo de diámetro promedio es de un valor intermedio) y mayor densidad básica (Tabla 1).

Los valores biométricos de altura y DAP no variaron con la edad. La edad impacta en la mayoría de las variables anatómicas medidas en la madera excepto en número de vasos y densidad. Los árboles muestreados a mayor edad (14-15 años) produjeron madera con mayor longitud de fibras, espesor de pared y diámetro de vasos (Tabla 1).

Tendencia en la interacción de los factores

Para establecer posibles tendencias en las combinaciones, se graficaron las interacciones edad x procedencia, suelo x procedencia y suelo x edad. Se observa en la Fig. 1 que las variables anatómicas modificaron sus valores dependiendo de la procedencia y edad pero en distinta combinación. Para la variable longitud de fibras, la procedencia Portuguesa fue la única que presentó valores más altos, aunque solo fue muestreada a una

única edad (14-15 años). Para espesor de pared de fibra hay una tendencia de aumento de esta variable con la edad (sin tener en cuenta la procedencia Portuguesa que solo está presente en el mayor rango de edad). La procedencia Valdivia registra los valores más altos de espesor de la pared en el mayor rango de edad (14-15 años) seguida de las dos categorías de edades de Angol (10-11 y 14-15 años). El menor número de vasos pero con mayor diámetro lo presentó la procedencia Angol de mayor edad (14-15 años). Los menores valores de diámetro de vasos se registraron en la procedencia Valdivia en ambas edades. La densidad de la madera, la altura del árbol y su DAP no modificaron sus valores (datos no mostrados).

En la interacción procedencia x suelo las variables anatómicas modificaron sus valores también en distinta combinación (Fig. 2). Las mayores longitudes de fibras fueron halladas en la combinación Angol-suelo 3 y Portuguesa-suelo 4, con valores promedio superiores a 900 µm. Para espesor de pared de fibras, la combinación Valdivia-suelo 3 presentó valores superiores a 4 µm, luego sigue Angol-suelo 3 y Valdivia-suelo 4 con magnitudes cercanas a los 2,5 µm pero con diferencias entre ellos. En número de vasos la combinación Angol-suelo 1 y suelo 3, Portuguesa-suelo 4 presentaron los menores valores, mientras que la procedencia Valdivia en los 3 suelos muestreados (2, 3 y 4) registraron los

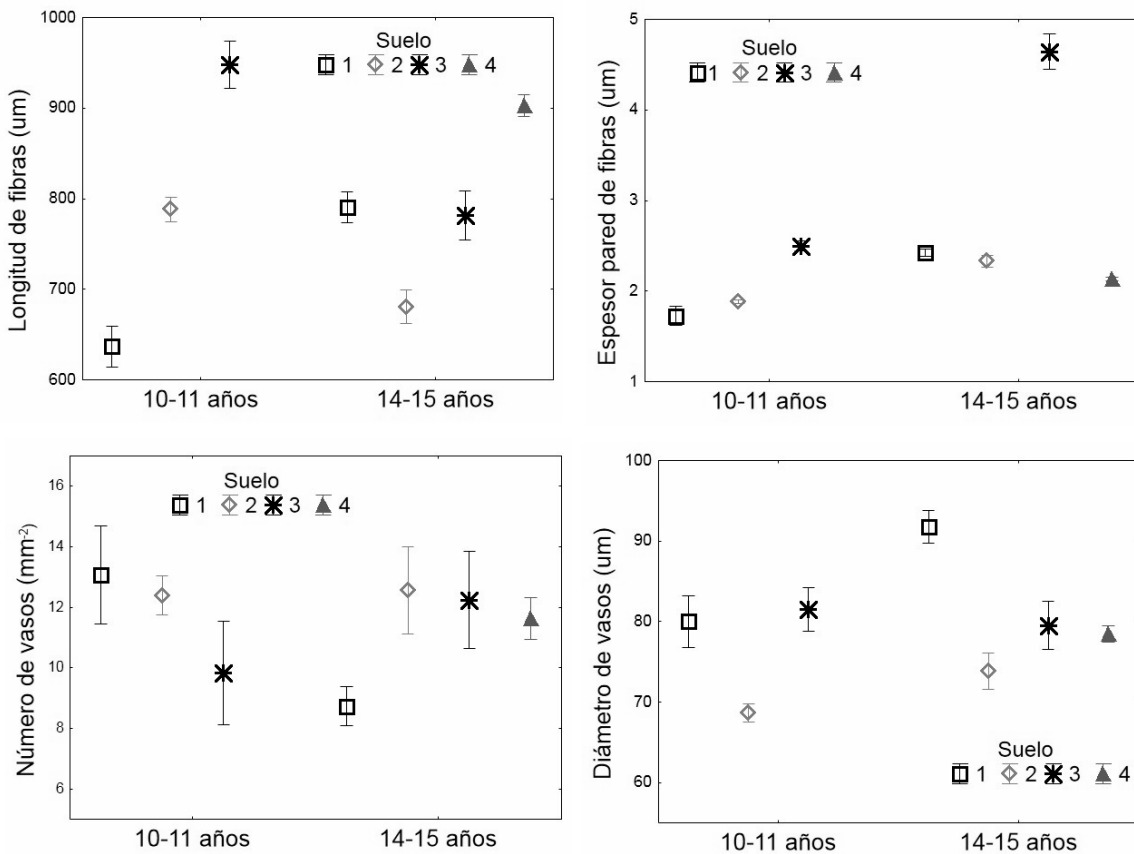


Figura 3. Anatomía de la madera de *E. globulus* discriminados por suelo y edad. Las barras en los gráficos indican el desvío estándar de la media.

mayores valores. El diámetro de vasos, en líneas generales, sigue el comportamiento inverso al presentado para el número de vasos. La densidad de la madera, la altura del árbol y su DAP no modificaron sus valores (datos no mostrados).

La interacción suelo x edad presentó la siguiente combinación sobre las variables anatómicas (Fig. 3). Los mayores valores de longitud de fibras en suelo 3-edad 1 y suelo 4-edad 2. Para espesor de pared, suelo 3-edad 2 presentó el mayor valor (> 4 µm), le siguen la combinación suelo 3-edad 1 y suelo 1-edad 2. Para vasos, suelo 1-edad 2 único valor diferente representando el menor número de vasos, mientras que en diámetro fue el valor más alto, seguido de suelo 3-edades 1 y 2 y suelo 1-edad 1.

DISCUSIÓN

Las variables anatómicas medidas en este trabajo presentaron una importante variación que puede asociarse a la procedencia, suelo y edad, no así la densidad básica de la madera y crecimiento en diámetro. La altura total de los árboles solo varió con la procedencia.

Según la Dasonomía clásica la valoración de “calidad de sitio forestal” debe realizarse con la variable altura del árbol (Pita Carpenter, 1971). Según este criterio, los cuatro suelos muestreados no presentan diferencias en calidad de sitio. Las diferencias halladas en la procedencia Portuguesa deben tomarse con precaución ya que pertenecen a un solo tipo de suelo (suelo no apto o tipo 4). Moreno & Igartúa (2013) publicaron un análisis global sobre 97 árboles de *E. globulus* implantados en la misma área de estudio que el presente trabajo y con un diseño más completo de procedencias, suelos y edades. Las autoras registraron que la altura de los árboles fue mayor en los suelos no aptos (tipo 4). El Inventario Forestal (MAA-BA, 2011) también indicó el mayor incremento medio anual en volumen total de madera en los suelos de menor aptitud (suelo tipo 3 y 4). Se deberá continuar el análisis de esta asociación entre aptitud de suelos (Culot & Dillon, 1998) y crecimiento, ya que no resultó la esperada según indica la literatura dasonómica (Pita Carpenter, 1971).

En cuanto a la calidad de la madera producida, el presente trabajo demostró que tiene importancia la procedencia, suelo y edad del material. Así se observó que se puede obtener una mayor longitud de fibras, carácter importante para la calidad de papel resultante (Ray-

mond, 2002; Ramirez et al., 2009) con madera de la procedencia Angol implantada en suelos tipo 3 (poco apto) y cosechada a la edad de 10- 11 años o con la combinación procedencia Portuguesa -suelo 4- edad 15 años. El espesor de pared de fibras y las características de los vasos comúnmente impactan en la densidad de la madera resultante (Lima et al., 2014), por lo tanto para una mejor calidad de madera aserrada se prefiere mayor espesor de pared, con pocos vasos de menor diámetro. En este sentido, no hay coincidencias en cuanto a poder seleccionar, con estos datos, una única procedencia, suelo y edad que mejore todas estas variables en conjunto. Puede que exista alguna combinación, aquí no analizada, que sí lo permita. De todos modos, la variable densidad de la madera *per se*, considerada como índice de calidad por su estrecha relación con las propiedades mecánicas de resistencia y dureza (Panshin & De Zeeuw, 1980; Raymond, 2002; Sette Jr et al., 2012), no registró cambios con estos factores de variación, siendo su promedio general de $0,547 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$. Según Moreno e Igartúa (2013) en un análisis global de *E. globulus* de la región (97 árboles), demostraron, en concordancia con nuestros resultados, que las diferencias en densidad de la madera en este rango de edad (10-15 años) no parecieron importantes desde el punto de vista tecnológico. El promedio general de densidad básica para los 97 árboles fue de $0,516 \text{ g/cm}^3$ (Moreno e Igartúa 2013), valor similar al hallado en los 23 árboles analizados en este trabajo. Contrariamente, Miranda et al., (2001) publicaron diferencias en densidad de la madera para esta especie implantada en Portugal, según la procedencia y la edad. Sin embargo, el sitio y la interacción sitio x procedencia no fue una fuente significativa de variación (Miranda et al., 2001). Estos autores no encontraron relación entre densidad de la madera y crecimiento en diámetro. Por lo tanto, tal como lo reconoce la literatura en especies de porosidad difusa y en coincidencia con los resultados del presente trabajo, mayores tasas de crecimiento pueden no estar asociadas con la densidad básica (Miranda et al., 2001; Igartúa & Monteoliva, 2010).

De acuerdo a Wimmer et al., (2008) las diferencias genéticas que existen entre procedencias en las especies de *Eucalyptus* pueden generar grandes diferencias en crecimiento en los diferentes sitios como así también gran variabilidad en las propiedades emergentes como material para celulosa o para madera sólida. En un análisis de dos clones de *E. globulus* implantados en Tasmania, los autores hallaron que a la edad de 8 años la madera producida en el mejor sitio (calificado como muy bueno según un índice clima-edáfico) presentó la mejor longitud de fibras (+24%) y la peor densidad (-11%) entre otras propiedades medidas tanto en la madera como en la pulpa Kraft producida.

CONCLUSIONES

El presente trabajo mostró que existe variabilidad en la calidad de la madera producida en términos de biometría de fibras y vasos a la edad de turno, dada en mayor o menor medida por la procedencia, suelo y edad del material. Contrariamente, la variabilidad de la densidad con estos tres factores no fue importante desde el pun-

to de vista tecnológico. El diseño de muestreo incompleto no permitió evaluar todas las combinaciones de procedencia-suelo-edad, por lo tanto es necesario continuar la exploración con otros muestreos que permitan completar el diseño.

Considerando a la densidad como índice de calidad tecnológica para diferentes usos finales industriales (madera aserrada, papel, tableros) la madera producida en la región del sudeste bonaerense (Argentina), con las procedencias comerciales actualmente utilizadas y a la edad de cosecha habitual (10-15 años), puede considerarse un material de densidad homogénea.

BIBLIOGRAFÍA

- Bermúdez Alvite, J.D., M. Touza Vázquez & F. Sanz Infante.** 2002. Manual de la Madera de Eucalipto Blanco. Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia. Ourense, España. 145 pp. Disponible en: http://www.cismadeira.es/Galego/downloads/l.eucalipto_blanco.pdf Último acceso: diciembre 2017.
- Belleville B., P. Ashley & B. Ozarska** 2016. Wood machining properties of australian plantation-grown eucalypts. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 18(4): 677 – 688.
- Carrillo I, M.G. Aguayo, S. Valenzuela, R.T. Mendonça & J.P. Elissetche.** 2015. Variations in wood anatomy and fiber biometry of *Eucalyptus globulus* genotypes with different wood density. *Wood research* 60 (1): 1-10.
- Culot, J.** 2000. Caracterización edafo-climática de la región del sudeste de la provincia de Buenos Aires para *Eucalyptus globulus*. En actas: Primer seminario Internacional de *Eucalyptus globulus* en la Argentina. Mar del Plata. pp. 2-9.
- Culot, J. & G. Dillon.** 1998. Mapa de aptitud de suelos para *Eucalyptus globulus*. Universidad Nacional de Mar del Plata SOPORCEL.
- Franke, S. & J. Marto.** 2014. Investigation of *Eucalyptus globulus* wood for the use as an engineered material. Proceedings of World Conference of Timber Engineering, Quebec, Canadá, 8pp.
- Franklin, G.L.** 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature* 155 (3924): 51.
- Foelkel, C.** 1998. Eucalypts wood and pulp quality requirements oriented to the manufacture of tissue and printing & writing papers. In: Annual General Conference, Brisbane, Australia. Anais APPITA, 6 pp. Disponible en: www.celso-foelkel.com.br/artigos/34%20final.doc Último acceso: diciembre 2017.
- Igartúa, D.V. & S. Monteoliva.** 2006. El *Eucalyptus globulus* en Argentina: potencialidad del sudeste de la provincia de Buenos Aires para la producción de materia prima fibrosa. In IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. Santiago y Valdivia-Chile. 23 al 27 de octubre de 2006. 8 p
- Igartúa, D.V & S. Monteoliva.** 2010. Densidad Básica, longitud de fibras y crecimiento de dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. *Revista Bosque* 31 (2): 150 156. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002010000200008 Último acceso: diciembre 2017.

- Lima, I.L., E.L Longui, M.L. Menezes Freitas, A.C. Scatena Zanatto, M. Zanata, S. Monteiro Borges Florsheim & G. Bortoletto JR. 2014. Physical-Mechanical and Anatomical Characterization in 26-Year-Old *Eucalyptus resinifera* Wood. Journal of Floresta e Ambiente 21(1): 91-98. Disponible en: http://www.scielo.br/pdf/floram/v21n1/aop_floram_0555_13.pdf Último acceso: diciembre 2017.
- MAA-BA. 2011. Ministerio de Asuntos Agrarios. Buenos Aires. Inventario de macizos forestales de *Eucalyptus globulus* Labill. En el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. 30 pp. Disponible en: <http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/final%20inventario.pdf> Último acceso: diciembre 2017.
- MAGyP. 2015. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca., Unidad para el Cambio Rural. UCAR. Argentina: Plantaciones Forestales y Gestión sostenible 128 pp. Disponible en: http://forestindustria.magyp.gov.ar/archivos/gestion-forestal-sostenible/publi_ambiental.pdf
- Miranda, I., M.H. Almeida & H. Pereira. 2001a. Influence of provenance, subspecies and site on wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. Journal of Wood and Fiber Science 33 (1): 9-15. Disponible en: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/viewFile/66/66> Último acceso: diciembre 2017.
- Miranda I., M.H. Almeida & H. Pereira. 2001b. Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. Forest Ecology and Management 149: 235-240.
- Moreno, K. & D.V. Igartúa. 2013. La madera de *Eucalyptus globulus* en la región forestal del sudeste de la provincia de Buenos Aires: densidad básica. En Actas: 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Puerto Iguazú, Argentina. 12 pp.
- Moreno K. & D. Igartúa. 2015. *Eucalyptus glóbulos* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires: edades, procedencias y densidad de la madera. RIA. Trabajos en prensa. Publicado online 13 de mayo 2015. Disponible en: <http://ria.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2015/05/Moreno-Castellano-1.pdf> (consultada en abril 2016)
- Moschini, R.C, H.A. Conti, M. Alonso, J. Rodríguez Traverso, V. Nakama & A. Alfieri. 2000. Delimitaciones de áreas de aptitud climática para el cultivo de eucaliptos en la región pampeana. Argentina. Revista SAGPyA Forestal 15: 2-11.
- Nutto, L. & M. Touza Vázquez. 2006. Modelos de producción de madera sólida en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de Galicia. Boletín de CIDEU 2: 37-50.
- Disp. en: <file:///C:/Users/Julietta/Downloads/Dialnet-ModelosDeProduccionDeMaderaSolidaEnPlantacionesDeE-2258296.pdf> Último acceso: diciembre 2017.
- Panshin, A. & C. De Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology, 4th ed., McGraw-Hill Book Company. New York, 722 pp.
- Pita Carpenter, P.A. 1971. Apuntes de Ordenación y Valoración de Montes. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. 149 pp.
- Ramírez, M., J. Rodríguez, M. Peredo., S. Valenzuela & R. Mendonça. 2009. Wood anatomy and biometric parameters variation of *Eucalyptus globulus* clones. Journal of Wood Science and Technology 43: 131-141. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/225315744_Wood_anatomy_and_biometric_parameters_variation_of_Eucalyptus_globulusclones Último acceso: diciembre 2017.
- Raymond, C.A. 2002. Genetics of *Eucalyptus* wood properties. Journal of Annals of Forest Science 59 (5-6): 525-531.
- Sánchez Acosta M., C, Mastandrea & J.T. Lima. 2008. Wood technologies and uses of eucalyptus wood from fast grown plantations for solid products. Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology, November 10-12, 2008 Concepción, CHILE. Paper WS-45,12pp
- Sette J.R., C.R. I. Rosada de Oliveira, M. Tomazello Filho, F. Minoru Yamaji & J.P. Laclau. 2012. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatómicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore 36 (6): 1183-1190. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622012000600019 Último acceso: diciembre 2017.
- Touza Vázquez, M. 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. Revista Maderas. Ciencia y Tecnología 3 (1-2): 68-89. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2001000100008 Último acceso: diciembre 2017.
- Wilkes, J. 1988. Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. IAWA Bulletin n.s. 9 (1), 13-23
- Wimmer R., G. Downes, R. Evans & J. French. 2008. Effects of site on fibre, kraft pulp and handsheet properties of *Eucalyptus globulus*. Journal of Annals of Forest Science 65: 602. Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00883404/document> Último acceso: diciembre 2017.