

Variabilidad de la madera de *Nothofagus alpina* de la cuenca Lácar, Patagonia Argentina

Medina, Andrea^{1,3}; Lorena Laffitte¹; Ismael Andía¹; Stella Rivera²; Milagros Razquin¹; Ayelén Cuevas¹

¹Asentamiento Universitario San Martín de los Andes, Universidad Nacional del Comahue, Pasaje de la Paz 235, San Martín de los Andes, 8370, Provincia del Neuquén, Argentina; ²LIMAD (Laboratorio de Investigación en Maderas) Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Avenida 60 y 119, La Plata, 1900, Provincia de Buenos Aires; ³andrepampa@yahoo.com.ar

Medina, Andrea; Lorena Laffitte; Ismael Andía; Stella Rivera; Milagros Razquin; Ayelén Cuevas (2015) Variabilidad de la madera de *Nothofagus alpina* de la cuenca Lácar, Patagonia Argentina. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (1): 1-7.

Conocer las fuentes de variación de la madera de raulí, *Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst. resulta de vital utilidad para desarrollar programas de mejoramiento y uso racional de ésta valiosa especie forestal. Los objetivos de este trabajo fueron conocer las fuentes y patrones de variación de la densidad y caracteres anatómicos de su madera. Se trabajó con árboles de la cuenca Lácar, Patagonia Argentina, de los cuales se extrajeron muestras de barreno a 1,3 m de altura del suelo y se realizaron preparados microscópicos y macerados cada diez años de edad desde médula a corteza (60 años). Las variables analizadas fueron: densidad básica, número de poros/mm², diámetro tangencial de poros, longitud de elementos de vaso, longitud de fibras, espesor de pared de las fibras, diámetro de fibras y altura de radios leñosos. Se realizó un análisis de la varianza tomando como fuentes de variación el sitio, el árbol y la edad de los mismos. La mayor fuente de variación de las características anatómicas del leño fue la edad de los árboles, evidenciándose un proceso de maduración del cambium vascular. La fuente de variación principal de la densidad de la madera fue el árbol, resultando valioso parámetro en procesos de selección de ejemplares para proyectos de mejoramiento y domesticación de la especie.

Palabras clave: anatomía y densidad de madera, leño juvenil, patrones de variación, sitio

Medina, Andrea; Lorena Laffitte; Ismael Andía; Stella Rivera; Milagros Razquin; Ayelén Cuevas (2015) Wood variability in *Nothofagus alpina* from Lacar basin, Patagonia, Argentina. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (1): 1-7.

Recognizing the sources of variation in the wood of raulí, *Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst. is of vital usefulness to develop forest improvement programs and the rational use of this valuable tree species. The objectives of this study were to determine the sources and patterns of variation in the density and the anatomical characteristics of its wood. We worked with trees from Lácar basin, Patagonia Argentina, from which bore samples were taken at 1.3 m above the ground. Microscopic preparations were made from every ten year sections from pith to bark (60 years) that were macerated. The variables studied were: basic density, pore number/mm², tangential pore diameter, vessel element length, fiber length, fiber wall thickness, fiber diameter and wood ray length. Variance analysis was performed using the site, the tree and the age as variation sources. The major variation source in anatomical characteristics of the wood was the age of the trees, evidencing a maturation process of the vascular cambium. The main variation source of wood density was the tree, resulting a valuable parameter in specimen selection processes, for projects involving the improvement and domestication of this species.

Key words: wood density, wood anatomy, juvenile wood, patterns of variation, site

Recibido: 01/04/2014

Aceptado: 26/03/2015

Disponible on line: 15/06/2015

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

INTRODUCCIÓN

En forma creciente el mercado de la madera demanda uniformidad en su materia prima, con el fin de poder catalogarla, tipificarla, predecir su comportamiento (Zobel & Jett, 1995) y elaborar productos de calidad. La madera constituye un material heterogéneo ya que es un producto biológico complejo, resultado de factores intrínsecos (genéticos) y extrínsecos (ambientales), generado por el cambium vascular del árbol durante toda su vida. Sus características varían tanto entre árboles como dentro del árbol (Zobel & Van Buijtenen, 1989), en este último caso principalmente asociado a la maduración del cambium vascular. Si bien en Dicotiledoneas las variaciones entre la madera joven y madura son moderadas (Dadswell, 1960; Sluder, 1972), el leño maduro se presenta más homogéneo, con menor variación en sus características y sus propiedades relativamente constantes en comparación con el leño juvenil. En general la mayor variabilidad de características anatómicas se presenta dentro del árbol (Larson, 1994), relacionada con las diferentes edades formativas del leño, mientras que la mayor proporción de variación de la densidad de la madera se debe a la diferencia entre los árboles (Zobel & Van Buijtenen, 1989). Esta característica física de la madera identifica su aptitud y permite estimar muchas de sus propiedades por lo que se la emplea como criterio de evaluación, permitiendo predecir posibilidades de uso y calidad de productos a obtener (Mogliola & López, 2001). Reconocer y cuantificar las fuentes de variación de la madera resulta de vital utilidad para la planificación de usos racionales del recurso así como para el desarrollo de programas de mejoramiento forestal, particularmente en especies de bosque nativo, donde la mayor variación genética aumenta la heterogeneidad del material.

El raulí, *Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst., es un árbol de primera magnitud del distrito caducifolio de la Provincia Subantártica (Cabrera, 1976). El área de su distribución en Argentina es reducida, cubriendo unas 55.000 ha de bosques puros y mixtos, en una estrecha franja de 120 km de largo y 40 km como máximo de ancho, siguiendo los valles de los numerosos lagos orientados de Oeste a Este en el Sur de la provincia de Neuquén (Sabatier *et al.*, 2011). Es una importante especie forestal que ha sido históricamente utilizada debido a las excelentes características estéticas y de trabajabilidad de su madera, utilizada tanto a nivel regional como nacional, para construcciones y carpintería en general (Tortorelli, 2009). Actualmente se encuentra incluida en programa de domesticación de especies forestales nativas (Gallo, 2006), que tiene entre sus objetivos conocer la variación de las características de su madera en árboles de segunda generación o renovales.

El principal objetivo de este trabajo es conocer las fuentes de variabilidad de la densidad y caracteres anatómicos de la madera de *N. alpina* en árboles de segunda generación (60 años de edad). Se determinan los patrones de variación radial de la densidad y de caracteres anatómicos analizados y la incidencia del sitio y de los árboles sobre la variabilidad de la madera.

METODOLOGÍA

Se seleccionaron árboles de segunda generación con diámetros a la altura del pecho (dap) de 40-60 cm, sin defectos en los fustes, con copa simétrica y buen estado sanitario, del estrato sociológico dominante de *N. alpina* en dos sitios denominados Quilánlahue y Nonthué, en la ladera Norte de la cuenca del lago Lacar, a 900 msm, dentro del Parque Nacional Lanín, provincia de Neuquén, Argentina. Debido a que los sitios están dentro de un Parque Nacional se trabajó sólo con cuatro ejemplares de cada sitio aprovechados en forma conjunta con otro grupo de investigación de la misma institución. El área pertenece al Distrito Fitogeográfico Caducifolio de la Provincia Subantártica (Dominio Subantártico; Región Antártica) (Cabrera, 1976), presenta relieve de montaña, clima templado y húmedo con régimen de precipitaciones de tipo mediterráneo. Los veranos son secos, con elevadas temperaturas y alta evapotranspiración. Los inviernos son fríos, húmedos, con permanentes heladas e intensas nevadas. Las temperaturas medias máximas y mínimas son 15,9°C y 2,8°C respectivamente y los suelos son hapludandos típicos. Los sitios de muestreo corresponden a bosque nativo mixto de *N. alpina*, *N. obliqua* y *N. dombeyi* con evidencias de extracciones forestales históricas principalmente de *N. alpina*, con una precipitación media anual de 2000 mm en Quilánlahue y de 2500 mm en Nonthue (Figura 1).

De los ejemplares apeados se extrajo una rodaja a la altura de 1,30 m, previamente señalizada con el árbol en pie. Las mismas fueron pulidas hasta obtener una clara visibilidad de los anillos de crecimiento para lograr su correcto fechado. Se trabajó en cada rodaja con el radio de orientación Norte, sobre el cual se extrajeron muestras de 2 x 2 cm, una cada diez anillos de crecimiento, desde la médula hasta los 60 años de edad. De cada muestra se obtuvo el material para los análisis de densidad básica y la realización de macerados y preparados microscópicos permanentes (Figura 2).

Los macerados se realizaron mediante la técnica de Franklin (Franklin, 1937) y los preparados microscópicos fueron realizados según las normas tradicionales de la anatomía de la madera y teñidas con coloración simple de safranina. Las mediciones anatómicas se efectuaron siguiendo las recomendaciones del comité de IAWA (International Association of Wood Anatomist (IAWA) 1989), con la medición de 25 elementos por variable y tratamiento. Las variables medidas y analizadas fueron: densidad básica (n: 60), número de poros/mm² (n: 4800), diámetro tangencial de poros (n: 12000), longitud de elementos de vaso (n: 12000), longitud de fibras (n: 12000), espesor de pared de las fibras (n: 12000), diámetro de fibras (n: 12000) y altura de radios leñosos (n: 12000). Para la determinación de la densidad básica (Pa/Ps) las muestras de madera se colocaron en agua hasta su saturación (peso saturado Ps). Para su secado se dejaron 24 horas a temperatura ambiente y se colocaron en una estufa de secado con temperaturas de 103 ± 2° C hasta obtener el peso anhidro (Pa); entre el momento en que se sacaron las muestras de la estufa y el momento de pesar cada muestra se colocaron en una campana de desecación conteniendo

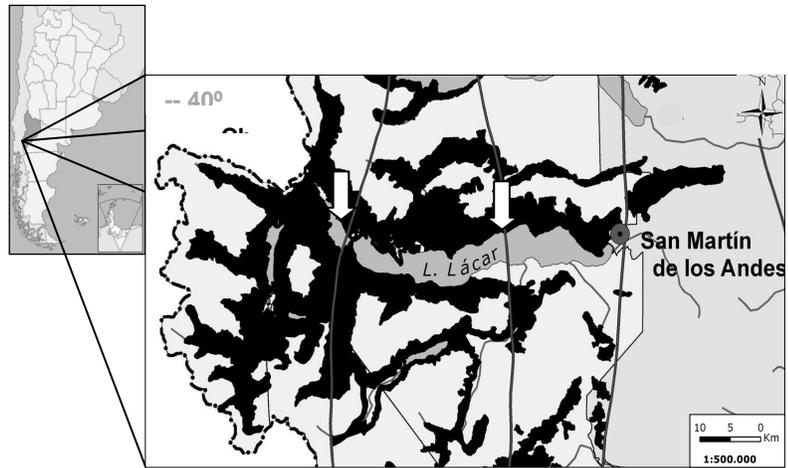


Figura 1. Ubicación (flechas) de los sitios de procedencia de los árboles. En negro la distribución de *N. alpina* en la cuenca Lácara e isoyetas de 2500, 2000 y 1500 mm.

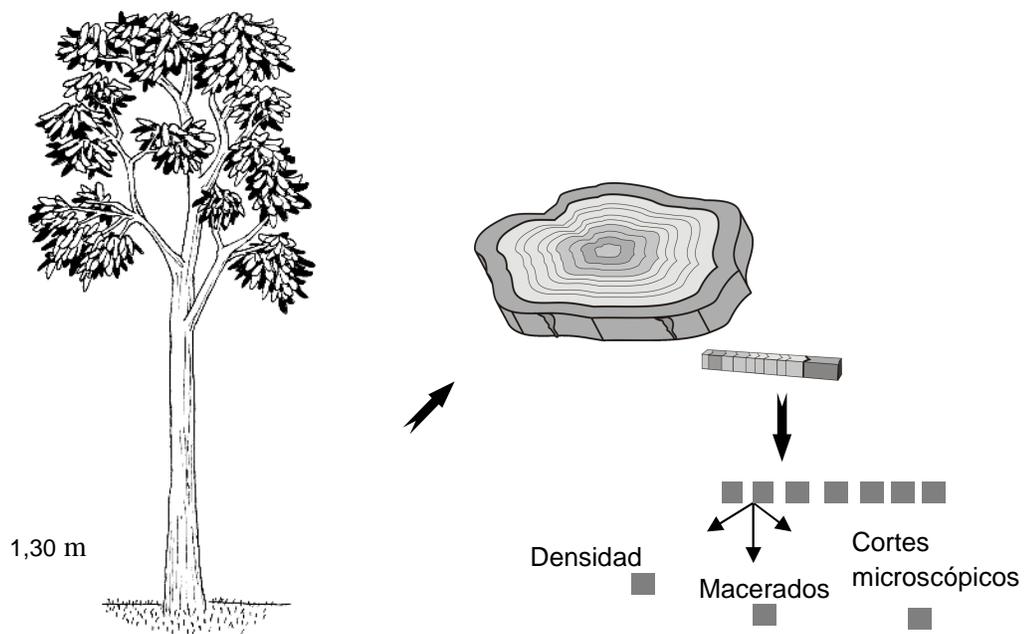


Figura 2. Esquema representando la de toma de muestras en cada uno de los árboles analizados.

en su interior gel de sílice para evitar que adquieran humedad del ambiente. Con las variables de peso anhidro y peso saturado se calculó la densidad de la madera para cada muestra, utilizando la fórmula del método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954), cuyos resultados son comparables con los obtenidos por otros métodos de determinación (Rojas García & Villers Ruiz, 2005).

$$\left(DM = \frac{1}{\frac{P_s - P_a}{P_a} + \frac{1}{1,53}} \right)$$

donde:

DM: densidad de la madera (g/cm^3)

Ps: peso saturado (g)

Pa: peso anhidro (g)

1.53: constante (densidad real de la madera sólida en g/cm^3)

Para todas las variables se utilizó el análisis de varianza para comparar los datos de cada una de ellas, tomando como fuentes de variación el sitio, el árbol y la edad. El análisis de la varianza se desarrolló bajo un modelo lineal mixto donde cada árbol se consideró un efecto aleatorio y el resto de las fuentes de variación como efectos fijos. El valor de probabilidad alfa establecido para calificar como significativas a las diferencias encontradas entre las fuentes de variación fue de 0,05. El modelo estadístico empleado para todas las variables de respuesta fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_{k(i)} + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2 \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad k = 1, 2, \dots, 4$$

donde:

μ : media general,

Y_{ijkl} : valor de la variable correspondiente al k-ésimo árbol en la j-ésima edad en el i-ésimo sitio,

α_i : efecto fijo del i-ésimo sitio,

β_j : efecto fijo de la j-ésima edad o año,

$\delta_{k(i)}$: efecto aleatorio del k-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio,

$\alpha\beta_{ij}$: efecto fijo de interacción entre el i-ésimo sitio y la j-ésima edad,

ε_{ijk} : efecto aleatorio del k-ésimo árbol en la j-ésima edad en el i-ésimo sitio (error aleatorio).

Cuando se obtuvieron diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey (Kuhel, 2003) para hacer las comparaciones. Los análisis estadísticos se realizaron con el *software* R, de libre uso, versión 2.9.2 (R Development Core Team, 2009).

RESULTADOS

La fuente principal de variabilidad de las características anatómicas fue la edad de los árboles mientras que la densidad básica y la altura de radios parenquimáticos tuvieron como fuente principal de variación el árbol, no presentando variaciones significativas con la edad. La incidencia del sitio sobre la variabilidad de la madera solo fue significativa para el diámetro de fibras. Se observó interacción entre los factores sitio y edad en la variable longitud de fibras, lo que señala una influencia del sitio en la maduración del cambium vascular de los árboles analizados (Tabla 1).

La longitud de fibras, la longitud de elementos de vaso, el diámetro de poros, el número de poros/ mm^2 y el espesor de pared de fibras presentaron variaciones altamente significativas con la edad de los árboles (Figura 3), presentando todas estas variables una estabilización de sus magnitudes entre los 20 y los 30 años, evidenciándose un proceso de maduración del cambium vascular.

El diámetro de fibras, la densidad básica y la altura de radios parenquimáticos no presentaron variaciones significativas con la edad de los árboles (Figura 4).

La variación significativa de la densidad entre los árboles analizados (Tabla 1) indica la baja eficiencia de dicha característica física como calificador de la madera de la especie. Sin embargo se presenta como un valioso parámetro en procesos de selección de ejemplares para proyectos de mejoramiento y domesticación de la especie.

Tabla1. Significancia de los efectos de las fuentes de variación por variable analizada. NS: no significativo ($P > 0,05$), *: significativo $0,05 < P < 0,01$), **: altamente significativo ($P < 0,01$).

Variable	Efecto sitio	Efecto edad	Efecto interacción entre sitio y edad	Aporte % del factor árbol en la varianza aleatoria total
Longitud fibra	NS	**	**	18,0
Longitud elementos vaso	NS	**	NS	23,0
Diámetro tangencial poros	NS	**	NS	8,5
Número poros/ mm^2	NS	**	NS	16,0
Diámetro fibra	*	NS	NS	0
Espesor pared fibras	NS	**	NS	19,4
Altura radios	NS	NS	NS	53,0
Densidad	NS	NS	NS	64,1

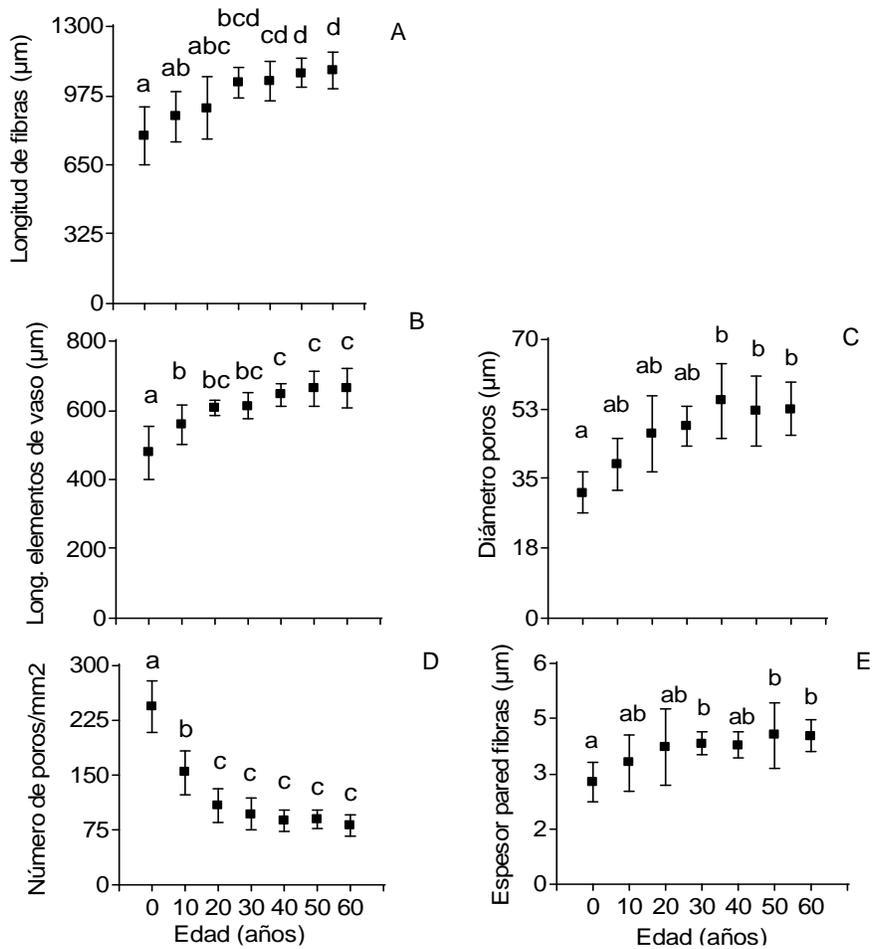


Figura 3. Variación en función de la edad de los árboles de A) longitud de fibras, B) longitud de elementos de vaso, C) diámetro de poros, D) número de poros/mm² y E) espesor de pared de fibras (promedios + desvío estándar). Valores promedio con letras distinta indican diferencias significativas entre edades (Tukey, P < 0,05).

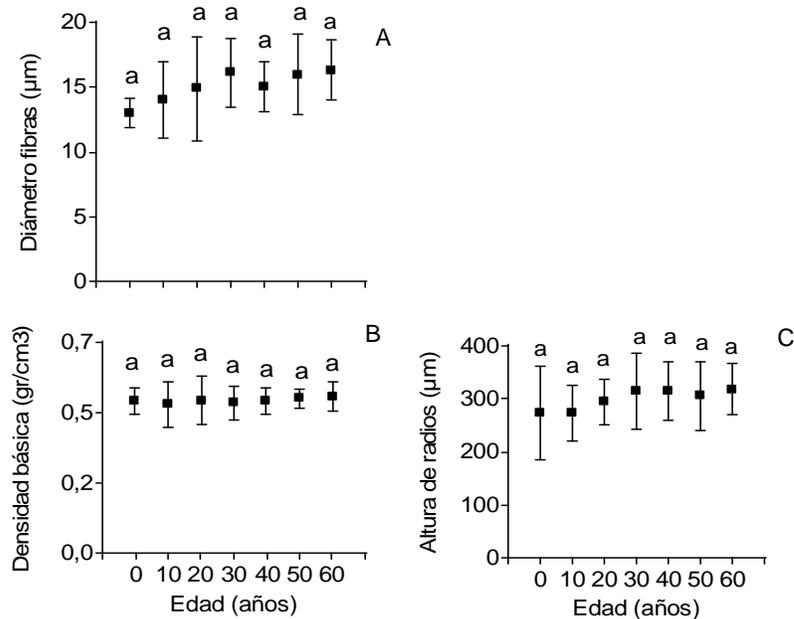


Figura 4. Variación en función de la edad de los árboles de A) diámetro de fibras, B) densidad básica y C) altura de radios parenquimáticos (promedios + desvío estándar). Valores promedio con letras distinta indican diferencias significativas entre edades (Tukey, P < 0,05).

DISCUSIÓN

La fuente de variación principal de las características anatómicas analizadas fue similar a la descrita para especies latifoliadas por Larson (1994) y Zobel & Van Buijtenen (1989), observándose una mayor variabilidad de la madera dentro del árbol en relación con un proceso de maduración del cambium vascular, que entre los árboles o entre sitios. En concordancia con los mismos autores, la fuente de variación de la densidad de la madera fue el árbol, existiendo mucha más variación de ésta característica entre los árboles que dentro del árbol. La altura de radios parenquimáticos presentó un patrón de variabilidad similar, señalando, como sostienen De la Paz Pérez *et al.* (2005), una estrecha relación entre ambas variables. Estos autores afirman que las características de los radios parenquimáticos ejercen gran influencia en las propiedades físicas de la madera de varias especies del género *Quercus*.

Zobel & Van Buijtenen (1989) sostienen que el sitio puede tener influencia sobre la densidad de la madera en especies con porosidad difusa (*N. alpina* posee éste tipo de porosidad); en sitios con mayor humedad se formarían poros mayores sobre una matriz con fibras de paredes más delgadas, lo que resultaría en densidades más bajas. En nuestro trabajo el factor sitio tuvo baja incidencia sobre la densidad y la mayoría de los caracteres anatómicos analizados probablemente debido a que los sitios de procedencia de los árboles se diferencian principalmente solo en su precipitación media anual (Quilánlahue 2000 mm y Nonthue 2500 mm), siendo muy homogéneos en el resto de sus características. Cabe destacar que la especie se desarrolla en Argentina en un amplio rango de precipitaciones (1000-4000 mm aproximadamente). La interacción del sitio en la variación de la longitud de fibras con la edad estaría señalando una influencia del sitio sobre la maduración del cambium vascular. Éstos resultados señalan la importancia de realizar futuros estudios en sitios más contrastantes tendientes a dilucidar la influencia de éste factor en la variación de la madera.

Las variables del tejido de conducción (diámetro de poros, longitud de elementos de vaso, número de poros/mm²) muestran un marcado gradiente radial. El patrón de aumento de la longitud de elementos vasculares con la edad observado en nuestro trabajo es similar al citado por León & Espinoza de Pernía (1998) y Moglia & López (2001) en especies latifoliadas de porosidad difusa, en el que se evidencia un proceso de maduración del leño con la edad de los árboles. Por otro lado el aumento del diámetro de poros y la disminución de su abundancia con la edad indica una ganancia en la eficiencia conductiva del xilema. Escasos poros de diámetros grandes contribuyen en mayor medida a la conductividad total del xilema que muchos de pequeño diámetro, ya que la capacidad conductiva se incrementa con la cuarta potencia del diámetro del poro (Zimmermann, 1983).

Las variables del tejido de resistencia mecánica (longitud y espesor de pared de fibras) variaron significativamente en forma radial, indicando también un proceso de maduración del cambium vascular con la edad de los árboles. En concordancia con Zobel &

Van Buijtenen (1989) la madera juvenil presentó fibras más cortas y con paredes más delgadas que la madera madura. El patrón de incremento radial de la longitud de fibras desde médula a corteza encontrado en éstos árboles fue similar al descrito por Zobel & Jett (1995), Moglia & López (2001) y Giménez & López (2000) en latifoliadas de porosidad difusa. En el mismo se observa también una maduración del leño entre los 20 y 30 años de edad, coincidiendo con la edad de maduración sexual citada para la especie (Donoso Zegers, 2006). En especies del género *Quercus*, Helinska-Raczowska & Fabisiak (1991) encontraron que la formación de madera juvenil se prolonga hasta la edad de madurez sexual de las mismas. El aumento del espesor de la pared de las fibras con la edad puede explicarse en función del crecimiento del árbol. En los primeros años se prioriza la materia fotosintetizada en la creación de nuevas células (períodos de elevada multiplicación) mientras que en la madurez puede ser utilizada para la síntesis de pared celular.

La variación significativa de la densidad de la madera entre árboles sugiere que la misma se presenta como un valioso parámetro a tener en cuenta en procesos de selección de ejemplares para proyectos de mejoramiento y domesticación.

CONCLUSIONES

La fuente principal de variabilidad de las características anatómicas de la madera de *N. alpina* es la edad de los árboles. Entre los 20 y 30 años la mayoría de las características anatómicas presentan una estabilización de sus magnitudes, evidenciándose un proceso de maduración del cambium vascular, coincidiendo con la edad de maduración sexual citada para la especie. La interacción entre los factores sitio y edad en la variable longitud de fibras señala una influencia del sitio en la maduración del cambium vascular. La densidad de la madera varía significativamente entre árboles, indicando su baja eficiencia para ser empleada como criterio de evaluación o indicador de calidad de la madera de la especie. Sin embargo se presenta como un valioso parámetro en procesos de selección de ejemplares para proyectos de mejoramiento y domesticación de la especie.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, A.L.** 1976. Regiones fitogeográficas de la Argentina. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. Buenos Aires, Argentina. 85 pp.
- Dadswell, H.** 1960. Tree growth wood properties interrelationships. Proc. Spec. Field Inst. For. Biol. Sch. For. N. C. State Univ. Raleigh, North Caroline. 86 pp.
- De la Paz Pérez, C., R. Dávalos & P.A. Quintanar.** 2005. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) de Durango, México. Madera y Bosques 11 (2): 49-68.
- Donoso Zegers, C.** 2006. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cuneo Ediciones. 678 pp.

- Franklin, G.** 1937. Permanent Preparations of Macerated Wood Fibres. *Tropical woods* 49: 21-22.
- Gallo, L.A.** 2006. Proyecto Integrado del INTA: Domesticación de especies forestales nativas. Programa Nacional-FORESTALES. PNFOR-044001.
- Giménez, A.M & C. López.** 2000. Caracteres anatómicos que determinan la variabilidad del leño de *Schinopsis quebracho-colorado*, Anacardiaceae. *Revista de Investigaciones Agrarias (INIA) Sistemas y Recursos Forestales*. España. Vol. 9 (2): 219-235.
- Helinska-Raczkowska, L. & E. Fabisiak.** 1991. Radial variation and growth rate in the length of the axial elements of the sessile oak wood. *IAWA Bulletin* 12(3): 257-262.
- IAWA Committee.** 1989. List of microscopic features for hardwoods identification. *IAWA. Bulletin* 10(3): 219-332
- Kuhel, R.O.** 2003. Diseño de experimentos. México DF, México. Thomson-Learning. 666 pp.
- Larson, P.** 1994. *The Vascular Cambium. Development and Structure*. Springer Series in Wood Science, 720 pp.
- León, W.J. & N. Espinoza de Pernía.** 1998. Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana* (Boraginaceae) en sentido transversal. *Revista Forestal Venezolana* 42(1): 15-23.
- Moglia, J.G & C.R. López,** 2001. Variabilidad radial de algunos caracteres anatómicos de *Aspidosperma quebracho blanco*. *Bosque* 22(2): 3-14.
- R Development Core Team.** 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Rojas García, F & L. Villers Ruiz.** 2005. Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán La Malinche. *Madera y Bosques* 11 (1): 63-71.
- Sabatier, Y., M.M. Azpilicueta, P. Marchelli, M. Gonzales Peñalba, L. Lozano, L. García, A. Martinez, L.A. Gallo, F. Umaña, D. Bran & M.J. Pastorino.** 2011. Distribución natural de *Nothofagus alpina* y *Nothofagus obliqua* (Nothofagaceae) en Argentina, dos especies de primera importancia forestal de los bosques templados norpatagónicos. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 46 (1-2): 131-138.
- Sluder, E.** 1972. Variation in specific gravity of wellow poplar in southern Appalachians. *Wood Science* 5: 132-138.
- Smith, D.** 1954. Maximun moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. Forest Products Laboratory. Rept. N° 2014. USDA. Forest Service. Madison, Wis. EUA. 8 pp.
- Tortorelli, L.A.** 2009. Maderas y bosques argentinos. 2ª edición. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. Volumen 1, 576 pp.
- Zimmermann, M.H.** 1983. Xylem structure and the ascent of sap. Heidelberg, Alemania. Springer. 143 pp.
- Zobel, B.J & J.P. Van Buijtenen.** 1989. Wood variation: Its causes and control. Berlín. Springer-Verlang. 363 pp.
- Zobel, B. & J. Jett.** 1995. Genetics of wood production. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.