



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-542

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Influencia del peso específico de la pared celular en la variabilidad del peso específico aparente de la madera de roble (*Quercus robur* L.)

RIESCO MUÑOZ, G.¹, REMACHA GETE, A.²

¹ Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo (España). E-mail: guillermo.riesco@usc.es.

² Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid. Avenida de Ramiro de Maeztu s/n. 28040 Madrid (España).

Resumen

La densidad y el peso específico de la madera son propiedades cuya variación se debe a factores genéticos y ambientales. En este trabajo se determinó la densidad aparente de la madera (incluyendo paredes celulares y poros) y la densidad solamente de la pared celular, para conocer las fuentes de variación de la densidad de la pared celular y cómo afecta su variación a la densidad aparente. Esto orienta sobre qué fuentes de variación manipular para reducir la variabilidad de la densidad, logrando una madera más homogénea, y apta para la industria, en cuanto a densidad y en cuanto a otras variables relacionadas con esta. Se dispuso de una muestra de 200 probetas prismáticas de madera de roble, pequeñas y sin defectos, obteniéndose una densidad de la pared celular de 1.343 kg/m³, valor inferior a las referencias bibliográficas. El coeficiente de variación de la densidad de la pared celular (5,1 %) fue inferior al coeficiente de variación de la densidad aparente, lo que indica que la porosidad afecta a la variación de la densidad. No se detectaron diferencias de densidad entre probetas de duramen y de albura, aunque existían diferencias significativas entre los árboles de los que procedía la muestra.

Palabras clave

Peso específico anhidro, densidad básica, densidad de la pared celular, porosidad, propiedad física..

1. Introducción

Las propiedades de la madera varían debido a factores principalmente genéticos (especie forestal, procedencia, individuo) y en menor medida varían a causa de factores ambientales, que influyen en el metabolismo del árbol, en las características anatómicas de la madera que produce y, por tanto, indirectamente afectan a las propiedades de esa madera. Entre las características anatómicas que influyen en las propiedades de la madera está la edad del cambium, el grado de duraminización de la madera o la anchura de los anillos de crecimiento.

Entre las variables que suelen determinarse para caracterizar la madera se encuentran la densidad y el peso específico, debido a que son propiedades estrechamente relacionadas con otras características físicas y mecánicas del material, lo cual hace de la densidad un valioso índice de calidad de la madera. Así mismo, el conocimiento de la densidad facilita las transacciones comerciales en metros cúbicos o en toneladas. Por último, tanto la densidad como el peso específico son variables sencillas de obtener.

En la caracterización de la madera suele emplearse la densidad aparente, que se calcula como cociente entre la masa y el volumen de la madera, considerando el volumen total, tanto el que ocupan las paredes celulares como el volumen que ocupan los poros (lúmenes celulares y meatos intercelulares). Los poros se encuentran llenos de aire cuando la humedad de la madera no supera el punto de saturación de la pared celular, que varía normalmente entre el 25 y el 35 % según GUTIÉRREZ y PLAZA (1967). Cuando la humedad de la madera supera el punto de saturación de la pared celular los lúmenes celulares comienzan a llenarse de agua, hasta quedar completamente ocluidos cuando la humedad de la madera alcanza un máximo teórico que viene dado por la expresión siguiente:

$$H_{max} = 1.000 \frac{100 + C_v}{\rho_0} - \frac{100.000}{\rho_{PC}} \quad (1)$$

donde H_{max} es la humedad máxima que puede albergar la madera, expresada en porcentaje,
 C_v es la contracción volumétrica expresada en porcentaje,
 ρ_0 es el peso específico anhidro expresado en kg/m^3 ,
 ρ_{PC} es la densidad de la pared celular en estado anhidro expresada en kg/m^3 .

Por tanto, la densidad aparente de la madera depende de la densidad de la pared celular, de la abundancia de poros y del contenido de humedad de la madera. Para un nivel determinado de humedad en la madera sería deseable conocer qué fuentes de variación afectan específicamente a la densidad de la pared celular y compararlas con las fuentes de variación (factores genéticos y ambientales) que afectan a la densidad aparente.

Para determinar la densidad de la pared celular en estado anhidro se puede hacer uso de la expresión (1), despejando en la misma la densidad de la pared celular:

$$\rho_{PC} = \frac{100.000}{1.000 \frac{100 + C_v}{\rho_0} - H_{max}} \quad (2)$$

Una vez conocida la densidad de la pared celular se puede calcular la porosidad de la madera en estado anhidro, como volumen de la madera ocupado por poros respecto del volumen total de la madera, expresado en porcentaje. La ecuación que permite calcular la variable porosidad (P) es la siguiente:

$$P = 100 - 100 \frac{\rho_0}{\rho_{PC}} \quad (3)$$

La determinación de los factores que afectan a la variación de la densidad de la pared celular es el primer paso para intervenir sobre dichos factores con vistas a obtener madera de densidad más uniforme y una madera más uniforme es más apta como materia prima en la industria de transformación. Esto es particularmente útil en el caso de la madera de roble, cuya calidad es muy

variable, dependiendo de componentes hereditarios, de la estación forestal y de los tratamientos selvícolas recibidos (ÁLVAREZ *et al.*, 2000). El empleo de esta madera debe asentarse en un conocimiento detallado de sus propiedades físicas y mecánicas (METTEM y RICHENS, 1991).

2. Objetivos

Se pretende conocer las fuentes de variación de la densidad de la pared celular y cómo influye ésta en la densidad aparente de la madera. Esto ayuda a decidir sobre qué fuentes de variación intervenir para reducir la variabilidad de la densidad de la pared celular y de la densidad aparente, logrando una madera más homogénea en cuanto a densidad y en cuanto a otras variables relacionadas con esta.

3. Metodología

Para obtener el material necesario para el estudio se seleccionó en diversas localizaciones de Galicia una muestra de 28 robles (*Quercus robur* L.), que mostraban un amplio rango dimensional (desde 6 hasta 51 cm de diámetro normal y desde 5 hasta 23 m de altura total). El diámetro normal de los árboles de la muestra se midió con forcípula de $\pm 0,5$ cm de precisión y la altura total con hipsómetro Blume-Leiss con precisión de $\pm 0,5$ m.

Estos ejemplares fueron apeados y de cada uno de ellos se extrajeron rodajas de la sección transversal completa a diferentes alturas en el tronco: en la base, a 1 m de altura, a 2 m de altura, etc. hasta obtener en algunos ejemplares rodajas a 9 m de altura, lo que representaba el 56 % de la altura total del fuste. Se pretendía obtener rodajas tan arriba como fuera posible en el fuste, para hacer así más apreciable la previsible tendencia de la densidad a lo largo del tronco. No obstante, no se pudo obtener rodajas a alturas superiores a 9 m ya que su pequeño diámetro imposibilitaba la extracción posterior de las probetas de ensayo normalizadas que se requieren para la medida de la densidad.

Las rodajas fueron labradas en carpintería para obtener probetas prismáticas de dimensiones nominales $4 \times 2 \times 2$ cm y $2 \times 4 \times 4$ cm (dimensión longitudinal \times dimensión radial \times dimensión tangencial). De entre las probetas labradas se escogieron 200 que estuvieran libres de defectos anatómicos aparentes. El análisis sobre probetas de pequeñas dimensiones sin defectos permite caracterizar la madera de una especie y comparar madera de diversas procedencias ya que la presencia de defectos o singularidades en la madera es una fuente de variación que impediría detectar la influencia de otros factores en las propiedades del material. Las probetas sin defectos fueron sumergidas en agua durante varios meses hasta alcanzar la humedad máxima y en ese estado se determinó su peso con precisión de centésima de gramo junto con su volumen a saturación, como producto de las tres dimensiones principales del prisma medidas con precisión de centésima de milímetro. También se determinó en cada probeta la anchura de anillos de crecimiento y la presencia o ausencia de albura. Una vez fuera del agua se estabilizaron a la humedad del laboratorio antes de llevarlas a desecación en estufa a 103 °C. Sobre las probetas ya en estado anhidro se volvieron a medir pesos y volúmenes por el procedimiento ya indicado.

Con los datos de peso y volumen en ambos estados (saturado de humedad y anhidro) se obtuvieron las siguientes variables:

- contracción volumétrica (diferencia entre volumen saturado y volumen anhidro, como porcentaje del volumen anhidro)
- peso específico anhidro (peso anhidro entre volumen anhidro)
- densidad básica (peso anhidro entre volumen saturado)
- humedad máxima
- densidad de la pared celular en estado anhidro (con la ecuación 2) y
- porosidad (con la ecuación 3).

Para el análisis estadístico de los resultados se empleó la hoja de cálculo Microsoft Excel 2010 y el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 20.

4. Resultados

Los resultados obtenidos para las variables analizadas se encuentran en la tabla 1 y en la figura 1. La anchura de anillos de crecimiento toma un valor medio que es propio de una especie de crecimiento lento, con una variabilidad esperable dada el amplio rango diamétrico de los árboles muestreados. La humedad máxima es superior al 100 % en parte de las probetas, lo cual se explica ya que la porosidad es también superior al 50 % en algunos casos. Así mismo, humedad máxima y porosidad presentan un coeficiente de variación similar, debido a ser variables muy relacionadas. El peso específico anhidro y la densidad básica informan de una madera pesada, que presenta una variación esperable para una propiedad gravimétrica según la norma UNE 56528:1978 (AENOR, 1978a). La contracción volumétrica en este caso es tan solo una variable instrumental necesaria para determinar la densidad de la pared celular mediante la ecuación (2). No obstante, los resultados de contracción volumétrica para la muestra informan de una madera que presentan gran contracción ante los cambios de humedad (según el criterio de interpretación dado por la norma UNE 5640:1978 (AENOR, 1978b), siendo además una variable sujeta a gran variabilidad según la norma UNE 56528:1978 (AENOR, 1978a).

Se obtuvo una densidad para la pared celular en estado anhidro de 1.343 kg/m³, valor inferior a las referencias bibliográficas, que sitúan dicha densidad, para la mayoría de las maderas, entre 1.400 y 1.620 kg/m³, con una media de 1.560 kg/m³ (REMACHA, 1993). Por otra parte, según FREAS (1995), la densidad de la pared celular es aproximadamente 1.500 kg/m³. Es llamativo en esta variable su gran uniformidad, a juzgar por su baja dispersión relativa (coeficiente de variación), inferior al coeficiente de variación obtenido para la densidad aparente (peso específico anhidro y densidad básica). Como el factor humedad no es causa de variación en las variables gravimétricas consideradas hay que atribuir a la porosidad que la densidad básica y el peso específico anhidro presenten una variabilidad que no explica una variable tan uniforme como la densidad de la pared celular.

5. Discusión

El análisis de la varianza (tabla 2) muestra que existen diferencias altamente significativas entre árboles para las tres variables de densidad y para la porosidad. Dado que el factor árbol influye en la densidad y en la porosidad se examinaron las correlaciones entre dichas variables y las variables dimensionales de los fustes, encontrándose que la densidad básica y el peso anhidro no

están relacionados con la altura del árbol del que procede la madera pero sí están altamente correlacionados con el diámetro normal, resultado esperable ya que el diámetro guarda relación con la edad, que afecta a la densidad de la madera. Sin embargo, la densidad de la pared celular es menos variable y no guarda relación significativa con la dimensión del árbol en la muestra analizada.

Las tres variables de densidad decrecen de forma significativa o altamente significativa a lo largo del fuste, aunque la cuantía de los coeficientes de correlación de Pearson son insuficientes como para justificar una propuesta de modelo de variación de la densidad según la posición en el fuste (figura 2).

No se detectaron diferencias de densidad y porosidad entre probetas de duramen y de albura, lo cual es un resultado coincidente con trabajos anteriores, en los que la variación de densidad entre albura y duramen se debe a diferentes contenidos de humedad en una y otra zona del fuste.

6. Conclusiones

La variabilidad de la densidad aparente de la madera es principalmente atribuible a la porosidad ya que la densidad de la pared celular es muy uniforme. No obstante, la densidad de la pared celular mantiene el mismo patrón de variación que existe para la densidad aparente en numerosas especies forestales: diferencias altamente significativas entre árboles y tendencia a reducirse a medida que aumenta la altura en el fuste, resultados que puede ser debidos a la influencia de la edad cambial sobre la densidad, supuesto que habrá que contrastar en trabajos posteriores con madera de roble y con madera procedente de otras especies forestales, para comprobar así mismo si la densidad de la pared celular muestra una significativa variación entre especies.

7. Bibliografía

AENOR. 1978a. Norma UNE 56528:1978. Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas para ensayos. AENOR. 3 pp. Madrid.

AENOR. 1978b. Norma UNE 56540:1978. Características físico-mecánicas de la madera. Interpretación de los resultados de los ensayos. AENOR. 5 pp. Madrid.

ÁLVAREZ, P.; BARRIO, M.; DÍAZ, R.A.; HIGUERAS, J.; RIESCO, G.; RIGUEIRO, A.; RODRÍGUEZ, R.; VILLARINO, J. J. 2000. Manual de selvicultura de frondosas caducifolias. Escuela Politécnica Superior. 116 pp. Lugo.

FREAS, A. D. 1995. Wood properties. En: FAHERTY, K. F.; WILLIAMSON, T. G. (eds.): Wood engineering and construction handbook. 1-29. McGrawHill Inc. New York.

GUTIÉRREZ, A.; PLAZA, F. 1967. Características físico-mecánicas de las maderas españolas. Instituto Forestal de Investigaciones y experiencias. 103 pp. Madrid.

METTEM, C.J.; RICHENS, A.D. 1991. Hardwoods in construction. Timber Research & Development Association. 111 pp. High Wycombe.

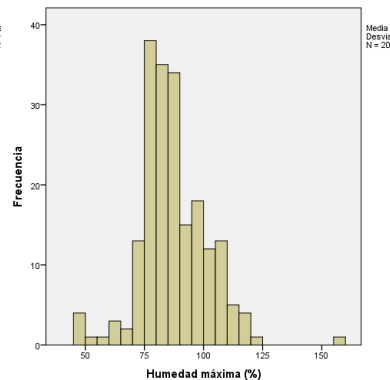
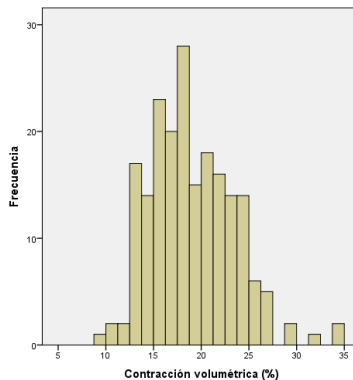
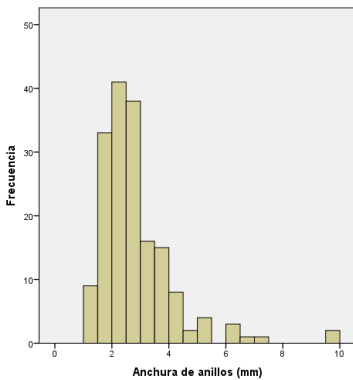
REMACHA, A. 1993. Humedad máxima de la madera y humedad final según usos. En: REMACHA, A.; CHOZAS, A.; ÁLVAREZ, H.; ORTIZ, J. (eds.): Curso de secado de maderas Uruguay. 287 pp. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas determinadas sobre la muestra de 200 probetas de madera de pequeñas dimensiones sin defectos de roble (*Quercus robur* L.).

	Mínimo	Máximo	Media	CV (%)
<i>Anchura de anillos (mm)</i>	1,0	9,9	2,8	47
<i>Humedad máxima (%)</i>	46	155	87	16
<i>Peso específico anhidro (kg/m³)</i>	516	1025	743	12
<i>Densidad básica (kg/m³)</i>	427	860	623	10
<i>Contracción volumétrica (%)</i>	10,0	34,7	19,1	23
<i>Densidad de la pared celular (kg/m³)</i>	1.186	1.521	1.343	5
<i>Porosidad en estado anhidro (%)</i>	26	59	45	13

Tabla 2. Análisis de la varianza con el factor árbol para las variables gravimétricas y la porosidad.

Fuente de variación		Grados de libertad	Media cuadrática	Significación
Peso específico anhidro	Inter-grupos	27	33477,711	0,000
	Intra-grupos	172	3937,898	
	Total	199		
Densidad básica	Inter-grupos	27	16563,703	0,000
	Intra-grupos	172	1872,934	
	Total	199		
Densidad de la pared celular	Inter-grupos	27	11304,868	0,000
	Intra-grupos	172	3647,243	
	Total	199		
Porosidad	Inter-grupos	27	126,613	0,000
	Intra-grupos	172	16,290	
	Total	199		



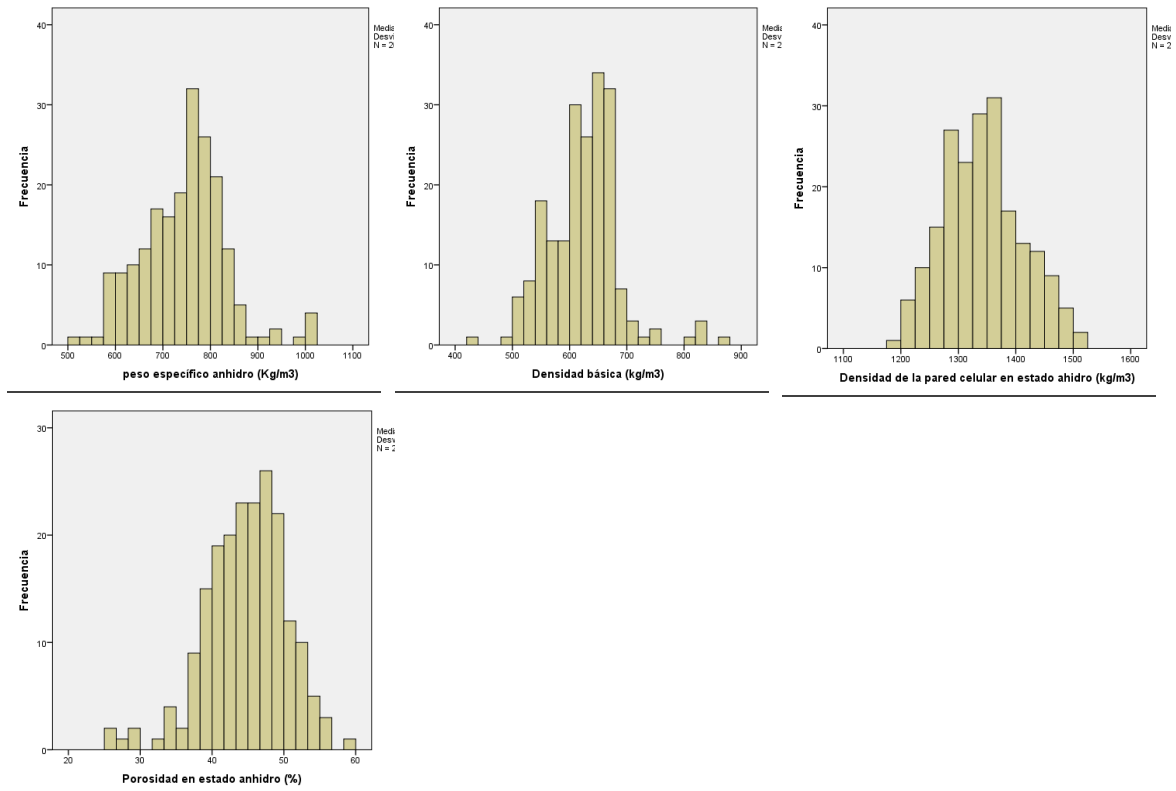


Figura 1. Distribución de las variables analizadas en la madera de roble (n = 200).

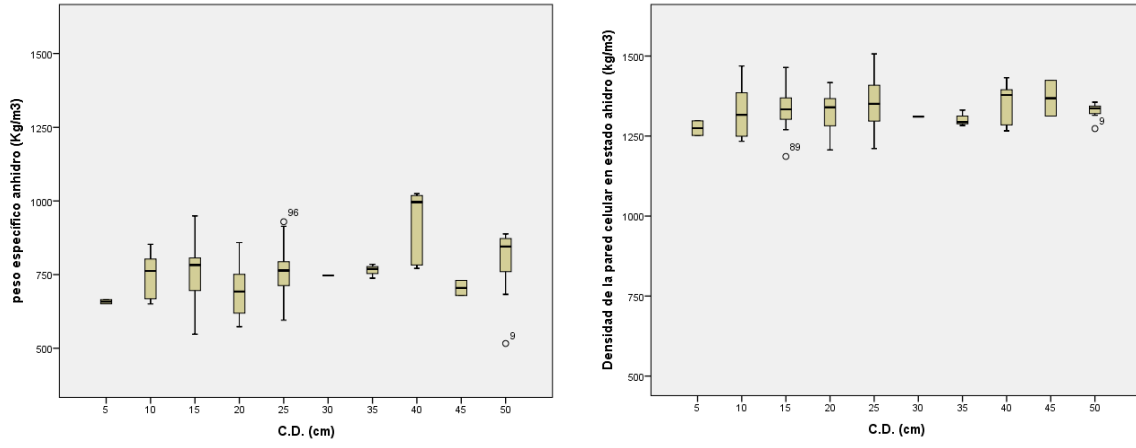


Figura 2. Distribución de densidades con datos agrupados por clases diamétricas (C.D.) de los ejemplares de roble muestreados.

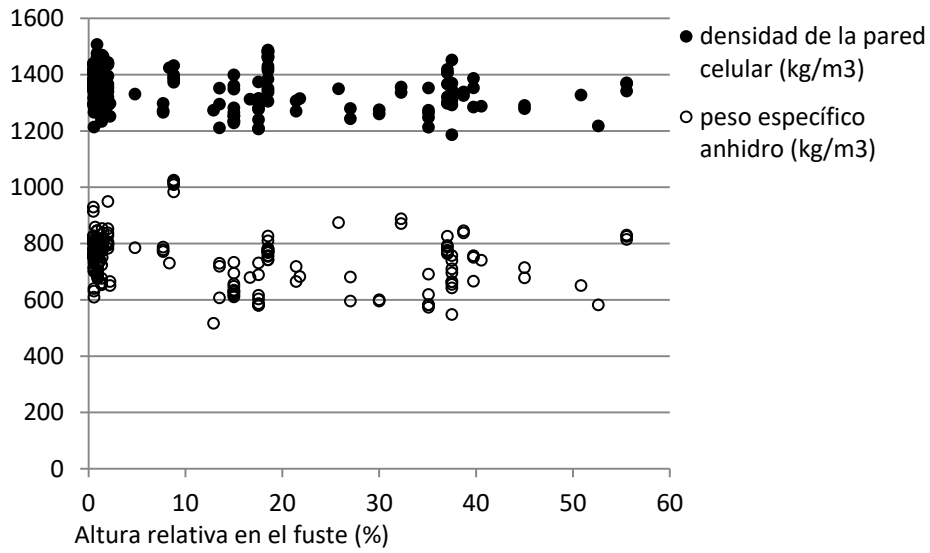


Figura 3. Variación de la densidad de la madera de roble a lo largo del fuste (n = 200).