

Guillermo Riesco Muñoz · Andrés Remacha Gete ·
Francisco Pedras Saavedra

Influencia de la situación geográfica y la fisiografía en la calidad de la madera de *Quercus robur* L.

Recibido: 26 Novembro 2006 / Aceptado: 21 Decembro 2006
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2006

Resumen Se seleccionaron 35 robles procedentes de varias zonas de Galicia sobre los que se determinaron sus principales características dendrométricas así como las condiciones del entorno. Los árboles fueron apeados para obtener probetas de madera libre de defectos, con dimensiones normalizadas, en las que se determinó el peso específico. Se constató la variación del peso específico de la madera entre individuos, siendo éste mayor en el duramen. La variación entre individuos fue parcialmente atribuida a circunstancias ambientales, que influyen de forma diferente en el peso específico del duramen y en el de la albura. Las características ambientales más influyentes en el peso específico fueron el relieve y la localización geográfica, siendo inapreciable la influencia de las variables dendrométricas. En cuanto a la localización geográfica, la madera de roble es más ligera cuanto más al interior de Galicia, más al oriente y mayor sea la altitud. La variación de la calidad de la madera entre individuos y entre zonas justifica que esta especie sea una fuente de diversidad a conservar. La localización de determinadas estaciones para

el cultivo del roble no garantiza la obtención de madera más uniforme para la industria, debido a la baja relación entre peso específico y factores ambientales.

Palabras clave roble, propiedades de la madera, peso específico, fisiografía.

Summary They were sampled 35 oaks from some zones of Galicia (Spain). Main biometric properties were registered in them as well as the environmental conditions. The trees were felled to obtain clear and small wood specimens, with standardised dimensions, in which specific gravity was measured. The inter tree variation in specific gravity was checked, being higher the specific gravity in the heartwood. The inter tree variation in specific gravity could be partially explained because of the environmental variations, which do not affect with the same intensity the heartwood and the wood including sapwood. The most significant properties affecting specific gravity were the relief features and the geographical location of the trees. The biometric properties of the trees did not affect significantly the specific gravity. Related to the location, the wood of oak is lighter in trees growing in inner lands, in the east and in high altitudes. The between tree and between zone variation of oak wood quality aims to consider this species as a source of diversity to protect. The location of specific sites for plantations does not lead to obtain more uniform wood for the industry because of the low influence of environmental sources of variation on specific gravity.

Key words oak, wood properties, specific gravity, physiography.

Guillermo Riesco Muñoz
Departamento de Enxeñaría Agroforestal. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo
Tfno: 982-285900. Fax: 982-285926
e-mail: riescomu@lugo.usc.es

Andrés Remacha Gete
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Avenida de Ramiro de Maeztu s/n. 28040 Madrid

Francisco Pedras Saavedra
CIS Madera (Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia). Parque Tecnológico de Galicia. San Cibrao das Viñas. 32901 Ourense

Introducción

El roble (*Quercus robur* L.) es una especie muy extendida por toda la Europa templada. En España se extiende por el norte peninsular y abunda en Galicia (Xunta de Galicia 2001), donde los bosques de roble aparecen en grandes extensiones pero de forma muy fragmentada y con frecuencia en mezcla con otras especies (Ferreras &

Arozena 1987). Éste es el resultado de su eliminación de aquellas zonas con suelos fértiles y profundos, que en otro tiempo pasaron a la agricultura (Álvarez 1995) y que, más recientemente, se repoblaron con especies forestales de alto rendimiento (Ruiz de la Torre 1979).

En Galicia, los bosques de roble llegan casi desde el nivel del mar hasta algo más de los 1000 metros de altitud. La especie prefiere los valles anchos y las laderas suaves, en los que es más probable encontrar la humedad edáfica que precisa (Ferreras & Arozena 1987; Ruiz de la Torre 1979). Sin embargo, tales terrenos se destinan casi siempre a la agricultura (Álvarez et al. 1999) por lo que el roble ha de vegetar sobre suelos inadecuados, produciendo, por tanto, madera de características deficientes (Bulfin 1992). En Galicia, por lo general, la madera de roble es de baja calidad, siendo muy escasa la utilización de esta madera en la industria. En concreto, los robledales suelen estar formados por fustes de escaso diámetro y con abundantes nudos. Son también frecuentes los ejemplares prácticamente aislados, con grandes ramas y abundante madera de verano, que presentan nudos grandes y madera muy densa. En definitiva, son árboles sobre los que nunca se ha aplicado una silvicultura dirigida a la obtención de madera de calidad y que tienen poco interés industrial.

Del roble se aprovecha la leña, y la madera cuando es de calidad, aunque las propiedades de la madera son muy variables porque dependen del árbol y de su entorno y varían también dentro de un mismo árbol (Vg.: Nepveu 1984, 1990; Polge 1973; Zhang et al. 1994). La variabilidad de la madera es un inconveniente de esta materia prima en la industria pero la variabilidad también hace que a la madera de roble se le puedan asignar usos muy diversos (Zhang et al. 1994). En general, la madera de roble es pesada, dura, elástica y resistente a los esfuerzos mecánicos (Gutiérrez & Plaza 1967; Riesco Muñoz 2001). Las trozas de mayor dimensión y valor decorativo se destinan a la producción de chapa plana mientras que las de calidad media se destinan al aserrado para producir carpintería de armar, elementos de carpintería, muebles, toneles y otros.

El duramen de roble resiste la intemperie y los agentes bióticos de deterioro por lo que constituye la base de los productos de esta especie. La albura se tolera en pequeñas proporciones y para los usos menos nobles (Rodríguez & Arriaga 1988).

Un indicador habitual de calidad en la madera es su peso específico a una humedad de referencia ya que resulta fácil de medir e influye directamente en muchas características físicas y mecánicas del material (Vg.: Cinotti 1990, 1991; Janin et al. 1990; Riesco Muñoz 2001). Los factores ambientales afectan débilmente al peso específico ya que ésta es una variable sometida a fuerte control genético y a una gran variación individual (Kanowsky et al. 1991; Luk'yanets 1977; Nepveu 1984, 1990). Sin embargo, la localización y la silvicultura sí que influyen ya que en árboles aislados aumenta la presencia de madera de verano y los pies son muy ramosos, aumentando el peso específico. Por ello, cabe esperar que un modelo predictor del peso específico basado en variables ambientales

explique solo una parte de la variación del peso específico en la madera de roble.

Se cita que la calidad de la madera de roble puede cambiar fuertemente de una estación a otra debido a factores ecológicos, particularmente cuando esos factores toman valores extremos (Phelps & Chens 1991; Polge 1973; Zobel & Buijtenen 1989). Así, la humedad edáfica y la fertilidad del suelo son las características edáficas que más frecuentemente son citadas por su influencia en la calidad de la madera (Bergès et al. 1999; Gajate Maroto et al. 2001; Louzada 1991; Riesco Muñoz 2001). Así mismo, el tipo de suelo influye significativamente en el peso específico de la madera producida (Hamilton & Knauss 1986; Peraza 1986; Zhang & Zhong 1992) aunque la composición edáfica no basta para explicar la variación del peso específico ya que en esta variable influye de forma importante la variación en la anchura de anillos de crecimiento anual (Deret-Varcin 1983; Hamilton & Knauss 1986; Krzysik 1975; Nepveu & Guillely 1997; Zhang et al. 1993; Zhang et al. 1994).

Otro factor ambiental que influye notablemente en el peso específico de la madera adulta es la exposición fisiográfica a umbría o a solana (Neusser et al. 1975; Louzada & Fonseca 1991). Así mismo, en coníferas se cita que el peso específico es parcialmente dependiente de la altitud, de la latitud y de la longitud geográfica (Kininmonth & Whitehouse 1991; Louzada & Fonseca 1991; Remacha 1987).

El objetivo general del presente estudio es analizar si ciertas circunstancias ambientales en las que el roble se desarrolla influyen en la calidad de su madera, representada por su peso específico. Si dicha variable está relacionada con factores ambientales se planteará qué localizaciones son las más adecuadas en Galicia para que el roble produzca madera con determinadas características.

Material y métodos

Para estudiar una muestra representativa de la especie *Quercus robur* L. en Galicia se procedió a la selección y apeo de 35 ejemplares de roble procedentes de diversos puntos del área de distribución de la especie (Figura 1). Por tanto, se muestreó en las cuatro provincias gallegas, abarcando las siete comarcas geoforestales definidas en el Plan Forestal de Galicia (Xunta de Galicia 1992) y abarcando, así mismo, las dos subregiones de procedencia definidas para el roble en Galicia según Díaz-Fernández (1995): la subregión galaico-suroccidental (1a) y la subregión astur-galaico septentrional (1b). Hacia el sureste existe una procedencia, diferente de las anteriores, que no se consideró por su escasa superficie (Díaz-Fernández 1995).

Se optó por un tamaño de muestra que superara ampliamente las exigencias de la norma española UNE 56528:1978 y la norma europea EN 384:2004. En cada zona de Galicia se apeó un número de árboles aproximadamente proporcional a la superficie geográfica de la zona, y esto para las dos formas de estratificación (por comarcas geoforestales y por subregiones de procedencia). Los robles se muestrearon, así mismo, en diferentes

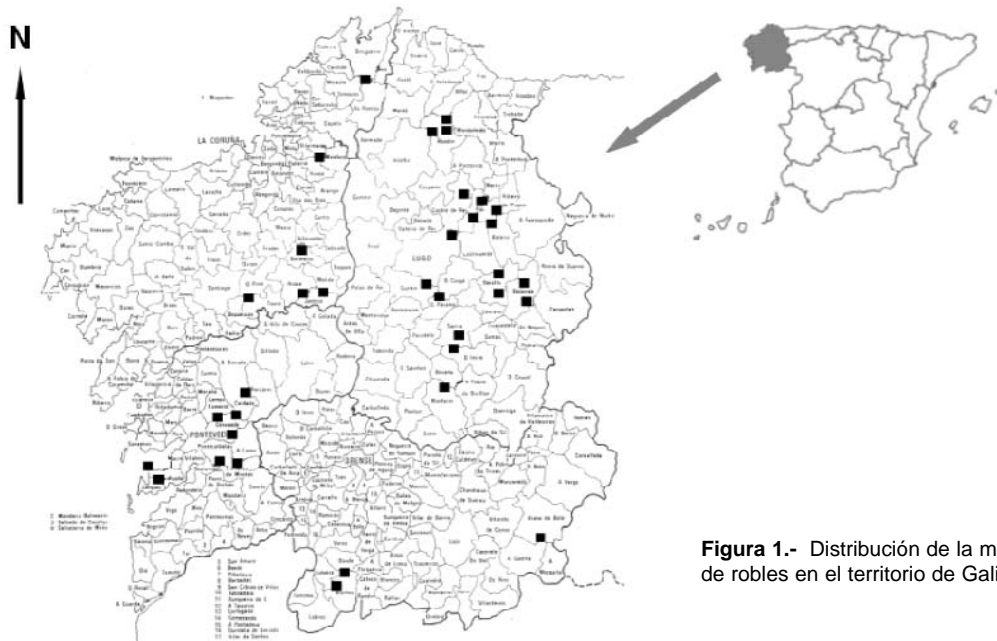


Figura 1.- Distribución de la muestra de robles en el territorio de Galicia

condiciones de relieve (exposición, altitud, pendiente, etc.) para abarcar en lo posible toda la variabilidad estacional de la especie. Se estableció el árbol como unidad de muestreo y, aunque la norma UNE 56528:1978 establece implícitamente que la selección de las unidades de muestreo ha de ser aleatoria, no siempre es posible ejecutar un muestreo aleatorio en sentido estricto por lo que la selección fue, en puridad, subjetiva.

Se registró la localización de cada ejemplar mediante sus coordenadas geodésicas (latitud y longitud) con ayuda de un navegador GPS con precisión de $\pm 5''$. Con las coordenadas se calculó la distancia al mar desde el punto de muestreo. Se calculó la altitud con un altímetro barométrico de ± 5 m de precisión y la pendiente máxima del terreno en grados sexagesimales con precisión de $\pm 1^\circ$ mediante clisímetro. También se determinó la posición fisiográfica (ladera, divisoria, vaguada, llano o ribazo) y la exposición en el caso de situaciones en ladera. El diámetro normal se midió con forcípula de $\pm 0,5$ cm de precisión y la altura total se determinó con hipsómetro Blume-Leiss con precisión de $\pm 0,5$ m. La edad de cada fuste se determinó en laboratorio por conteo de anillos sobre rodajas basales. La esbeltez de cada roble de la muestra se obtuvo como cociente entre su altura total y su diámetro normal.

Se estimó la calidad de estación, mediante el cálculo del índice de sitio según la expresión de Barrio Anta (2003), en aquellos rodales de muestreo regulares y monoespecíficos donde alguno de los pies muestreados correspondiese a las clases sociológicas "dominante" y "predominante" según la clasificación de Kraft (Lanier 1986).

Para cuantificar la espesura de la masa en la localización precisa de cada roble se analizó el grado de competencia al que se ve sometido cada árbol muestreado por la presencia de los árboles vecinos. El grado de competencia se estimó por la dimensión del área de influencia definida según el índice de More-Budelsky (Ottorini 1978). Se considera que

el área de influencia es la superficie en proyección horizontal de un polígono en cuyo interior se encuentra el árbol. Cada lado del polígono es perpendicular a la línea que une el árbol de interés con cada uno de los adyacentes, a una distancia del primero que es función de su diámetro y del diámetro del árbol adyacente (Ottorini 1978). El criterio de selección de árboles competidores fue el de seleccionar aquellos pies cuya copa estuviera en contacto con el árbol muestreado.

La distribución espacial de los árboles del entorno o su escasez no siempre permitió cerrar el polígono del área de influencia o bien dio lugar a polígonos demasiado extensos en ciertas direcciones. Por ello se consideró que el área de influencia máxima es la que cubriría la copa del árbol muestreado si se encontrara creciendo aislado (sin competencia). Esa extensión hipotética de la copa se estimó a partir de la expresión de Savill (1986).

De cada roble apeado se obtuvieron rodajas de la sección transversal completa del fuste a distancias fijas de tres metros, empezando desde la base. Las rodajas se cortaron con un espesor aproximado de 10 cm y fueron labradas en carpintería hasta obtener probetas de ensayo de 2 por 2 por 4 cm como dimensiones nominales en la dirección radial, tangencial y axial respectivamente. Sobre aquellas probetas que resultaron libres de defectos anatómicos, con desviación de fibra inapreciable, con anillos de crecimiento sensiblemente rectos (no muy próximos a la médula) y anillos paralelos a los lados de las testas, se determinó el peso específico al 12% de humedad de la madera, tal como establece la norma UNE 56531:1977, y se determinó también la presencia de albura y la anchura de anillos de crecimiento. El análisis sobre probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos permite caracterizar la madera y comparar maderas de diferentes procedencias ya que la presencia de singularidades en la madera constituiría una importante fuente de variación que impediría analizar la influencia de otros factores en la calidad.

La norma UNE 56528:1978 establece un tamaño de muestra de al menos 18 probetas para obtener una estimación de la media del peso específico al 12% de humedad con un error de muestreo no superior al 5% al 95% de probabilidad fiducial. Dado que en el roble la variación del peso específico intraindividuos es especialmente elevada (Guilley & Nepveu 1999; Zhang et al. 1994; Zobel & Buijtenen 1989) parecía aconsejable superar ese tamaño de muestra. Por ello, para obtener una solicitud de muestreo del 5% al 95 % de probabilidad en la estimación del peso específico medio de cada roble se decidió que el número de probetas de ensayo por árbol fuera mayor o igual que 30. Finalmente, para el conjunto de los 35 robles se consideró una muestra total de 1767 probetas de ensayo.

El peso de cada probeta se obtuvo con precisión de centésima de gramo y el volumen se obtuvo considerando la pieza como un prisma perfecto y multiplicando sus tres dimensiones principales, obtenidas con precisión de centésima de milímetro.

Para detectar la presencia de albura en las probetas se empleó como criterio el cambio de color de la madera, útil en piezas en verde, mientras que en piezas secas fue necesario acudir a la tinción con una solución acuosa al 1 % de naranja de metilo, que tiñe de amarillo las zonas de albura y de rojo el duramen, por la mayor acidez de éste (Peraza 1986).

A cada árbol se le asignó como peso específico al 12 % de humedad la media de los valores obtenidos en las probetas procedentes del mismo. Análogamente, a cada roble se le asignó como anchura de anillos de crecimiento la media de los valores obtenidos en las probetas. También se calculó el peso específico medio de las probetas de duramen de cada fuste, a fin de eliminar la presencia de albura como fuente de variación en la comparación entre individuos. Por otra parte, el peso específico depende de la anchura de anillos de crecimiento (Deret-Varcin 1983; Krzysik 1975; Nepveu & Guilley 1997; Zhang et al. 1993; Zhang et al. 1994). Por ello, para homogeneizar la información y hacerla más comparable entre individuos el peso específico medio del duramen de cada fuste se calculó solo a partir de las probetas de duramen cuya anchura de anillos no superase

los 10 mm ni fuese inferior a 0,8 mm. Con esto se pretendía reducir la influencia de la anchura de anillos de crecimiento como fuente de variación en el peso específico de la madera. De este modo, el peso específico del duramen se obtuvo como media de aquellas probetas de cada fuste (en torno a 24 probetas por fuste) que solo presentaban duramen y sujetas a la restricción mencionada en relación a la anchura de anillos.

Tras validar los datos obtenidos en los ensayos se procedió al análisis de los resultados, empezando por la obtención de los estadísticos descriptivos básicos. Se destaca que los estadísticos descriptivos del peso específico son valores medios obtenidos por árbol (Tabla 1). Por tanto, el número de datos de peso específico en este análisis es 35, que es el número de pies y el número de valores de peso específico medio calculados.

Se hizo uso de técnicas de regresión para presentar y describir relaciones entre variables cuantitativas, siempre y cuando estas relaciones pudieran tener alguna aplicación práctica en el empleo real de la madera de roble. Entre los pares de variables que presentaban valores significativos del coeficiente de correlación lineal de Pearson (R) se buscaron modelos, por el método de ajuste por mínimos cuadrados, que permitieran predecir una variable, dependiente, como función lineal de otras variables independientes, no correlacionadas linealmente entre sí.

Para encontrar relaciones entre variables cuantitativas y cualitativas se efectuó el análisis de la varianza con un factor. En todas las pruebas estadísticas se consideró que un nivel de significación bilateral menor o igual a 0,05 es significativo y que un valor menor o igual a 0,01 es altamente significativo.

Resultados y discusión

Estadísticos descriptivos básicos

En la Tabla 1 se presentan las características principales de los robles de la muestra, que fueron en general pies adultos, con unos diámetros normales y alturas que los hacían aptos

variable	símbolo	unidad	<i>n</i>	media	mínimo	máximo	CV
Peso específico al 12 %	ρ_{12}	kg/m ³	35	787	721	885	6
Peso espec. duramen al 12 %	$\rho_{12,D}$	kg/m ³	35	818	745	899	6
Anchura de anillos	<i>a</i>	mm	35	3,4	1,6	6,1	37
Edad	<i>t</i>	año	34	75	33	141	32
Diámetro normal	<i>d</i>	cm	35	45,5	33,5	73,2	18
Altura total	<i>h</i>	m	31	18,3	11,4	24,0	19
Esbeltez	<i>e</i>		31	0,41	0,23	0,57	19
Distancia al mar	<i>DM</i>	km	35	47	1	133	67
Pendiente	<i>P</i>	grados	35	11	0	30	88
Altitud	<i>A</i>	m	35	497	250	1150	35
Longitud	<i>Lo</i>	grados	35	7,8	7,1	8,8	7
Latitud	<i>La</i>	grados	35	42,8	42,0	43,6	1
Índice de sitio	<i>IS</i>	m	23	15,8	8,4	20,7	21
Área de influencia	<i>AI</i>	m ²	33	38,0	8,8	83,3	48

Tabla 1.- Estadísticos descriptivos básicos de los robles de la muestra

para la industria del aserrado (Colmenares 1995; González & Ríos 1996). La esbeltez obtenida fue muy baja si se compara con otros estudios realizados sobre la especie en Galicia (Barrio Anta 2003). Los valores obtenidos para el índice de sitio cubren todo el rango de calidades de estación del roble en la región (Barrio Anta 2003).

Así mismo, la muestra abarca un amplio rango de situaciones del roble en Galicia en cuanto a localización geográfica y relieve (Tabla 1). Respecto a la situación fisiográfica, la mayoría de los robles de la muestra (60%) se localizaba en zonas de ladera. La orientación era claramente a solana en el 46% de los casos y a umbría en el 34%.

La búsqueda intencional de variación en las condiciones del entorno de los robles muestreados condujo a una heterogeneidad importante en características dasométricas como la edad o la espesura (Tabla 1).

Para determinar el peso específico medio de cada árbol se ensayaron en promedio 45 probetas por pie, con un mínimo de 30 probetas en algunos casos. Como resultado, la estimación de peso específico medio tuvo la precisión buscada en todos los pies (error relativo inferior al 5% con una probabilidad fiducial del 95%) salvo en un ejemplar, en el que el error relativo alcanzó el 7% a pesar de que el peso específico asignado a dicho pie se basaba en el ensayo de 38 probetas procedentes del mismo.

Los valores medios por pie para la variable peso específico al 12% de humedad (Tabla 1) son propios de una madera pesada, según el criterio de interpretación dado por la norma UNE 56540:1978. Así mismo, el rango de variación del peso específico es suficientemente amplio (Tabla 1 y Figura 2), de modo que un ejemplar de la muestra quedó en el rango de las maderas semipesadas (peso específico inferior a 725 kg/m³). El peso específico medio aumenta un 4% cuando se considera solamente la madera de duramen de roble, lo cual es coherente con numerosos estudios previos (Vg.: Noack 1963).

Relación del peso específico con variables cuantitativas

La variación del peso específico entre individuos podría atribuirse en principio a características dasométricas y de espesura diferentes entre pies (edad, diámetro normal, altura total, esbeltez, área de influencia, anchura media de anillos de crecimiento). No obstante, en la matriz de correlaciones (Tabla 2) se observa que dichas variables no están relacionadas significativamente con el peso específico.

Por el contrario, lo más destacable de la Tabla 2 es la relación estadística existente entre las variables de peso específico y ciertas variables fisiográficas cuantitativas (distancia al mar, pendiente, altitud y longitud geodésica). Cabría pensar, por tanto, que en el peso específico del roble de la muestra influye más la fisiografía y la localización geográfica que la edad, dimensión o grado de competencia al que está sometido el árbol. Dicha afirmación puede

resultar aventurada si no se contrasta con nuevos datos y, en todo caso, no es objeto de este trabajo comparar factores ambientales por su influencia en el peso específico.

En el estudio se constata que cuanto mayor es la proximidad al mar mayor es el peso específico de la madera de roble. En Galicia se admite que la madera de roble de la costa es, en general, de mayor calidad (Díaz 1997, comunicación personal). Esto concuerda con los resultados del estudio si se considera como madera de mayor calidad la que es más densa (madera con mayores propiedades resistentes en construcción y madera con mayor poder calorífico si se emplea como combustible) aunque en carpintería y ebanistería la madera más ligera es la más apreciada. En cualquier caso, cabe aceptar la existencia de una posible influencia litoral en la calidad de la madera aunque la fuente de variación que constituye la variable distancia al mar no es fácil de distinguir de otras fuentes de variación como longitud geodésica o altitud, variables con las que la distancia al mar está relacionada de forma altamente significativa (Tabla 2).

Interesa conocer la respuesta en la calidad de la madera del roble frente al crecimiento en pendiente, dado que en Galicia las zonas en donde se le permite vegetar con frecuencia son laderas no aptas para otros usos. Sin embargo, en la muestra la pendiente afecta débilmente al peso específico (Tabla 2), probablemente debido a que la escasa pendiente media en que vegetaba la mayor parte de los robles muestreados (Tabla 1) no daba lugar a respuestas significativas en la calidad de la madera.

La variable altitud afecta significativamente al peso específico de la madera de duramen pero no al peso específico de la madera con albura (Tabla 2), aunque se han analizado robles situados entre los 250 y los 1150 metros de altitud, intervalo que abarca casi todo el rango altitudinal en el que la especie presenta porte arbóreo en Galicia (Tabla 1).

La coordenada longitud es el factor fisiográfico que afecta más claramente al peso específico de la madera de roble en la muestra, comprobándose que el peso específico es tanto mayor cuanto más occidental es la zona donde crece el individuo (Figura 2 y Tabla 2). Una relación similar se ha encontrado en coníferas (Kininmonth & Whitehouse 1991). De nuevo hay que advertir que la longitud geodésica es una variable muy relacionada con otras variables fisiográficas que aquí se analizan (Tabla 2) por lo que resulta difícil valorar su importancia individual como factor condicionante del peso específico de la madera. Las correlaciones obtenidas son algo más altas cuando se limitan al peso específico de la madera de duramen con anchura de anillos restringida. Este resultado es esperable ya que en dicha submuestra hay menor dispersión de los valores de las medias al eliminar o reducir fuentes de variación.

Por otra parte, el índice de sitio y la variable latitud no guardan relación significativa con el peso específico de la madera (Tabla 2). Respecto al índice de sitio, su falta de vinculación con el peso específico puede deberse a que el número de datos disponibles de índice de sitio es reducido ya que este índice no pudo ser calculado en todos los robles. En cuanto a la inexistencia de relación entre latitud y

	ρ_{12}	$\rho_{12,D}$	DM	P	A	Lo	La	IS
ρ_{12}	1,000							
$\rho_{12,D}$	0,707**	1,000						
DM	-0,442**	-0,518**	1,000					
P	0,334*	0,226	-0,100	1,000				
A	-0,306	-0,431**	0,537**	0,440**	1,000			
Lo	0,526**	0,623**	-0,710**	0,018	-0,631**	1,000		
La	-0,110	-0,077	-0,158	-0,108	0,022	-0,465**	1,000	
IS	-0,170	-0,150	0,364	-0,070	-0,044	-0,076	-0,372	1,000
AI	0,309	0,321	-0,248	0,019	-0,152	0,252	0,111	-0,167
a	0,030	0,043	0,051	0,150	-0,060	-0,063	-0,029	0,528**
t	0,171	0,055	-0,090	-0,112	-0,007	0,047	0,115	-0,636**
d	0,210	0,285	-0,119	-0,121	-0,341*	0,251	-0,056	0,012
h	0,151	0,132	0,305	0,008	-0,115	-0,080	-0,150	0,520*
e	0,008	0,035	0,379*	0,054	0,115	-0,235	-0,121	0,577**

ρ_{12} : peso específico al 12 % de humedad; $\rho_{12,D}$: peso específico del duramen al 12 % de humedad; DM: distancia al mar; P: pendiente; A: altitud; Lo: longitud; La: latitud; IS: índice de sitio; AI: área de influencia; a: anchura de anillos de crecimiento; t: edad; d: diámetro normal; h: altura total; e: esbeltez

Tabla 2.- Matriz de correlaciones parcial con los valores del coeficiente de correlación lineal de Pearson para las variables cuantitativas analizadas

peso específico, debe observarse que la latitud presenta muy poca variación (Tabla 1). Probablemente, la influencia que se le atribuye a la latitud sobre el peso específico (Louzada & Fonseca 1991) no es apreciable en el estrecho rango de latitudes en que se inscribe el territorio gallego o tal vez se apreciaría la influencia de la latitud si se hubieran muestreado más ejemplares en los extremos meridional y septentrional del área de distribución del roble en Galicia (Figura 1).

Dado que las variables fisiográficas que muestran relación con el peso específico (distancia al mar, pendiente, altitud y longitud geodésica) son de obtención relativamente sencilla podría elaborarse un modelo que estimara el peso específico medio de un árbol en pie en función de dichas circunstancias fisiográficas. No obstante, algunas de las variables fisiográficas están correlacionadas (Tabla 2) por lo que no es aconsejable elaborar un modelo que implique a las cuatro variables predictoras de forma simultánea, a fin de evitar autocorrelación. Un ejemplo de vinculación entre

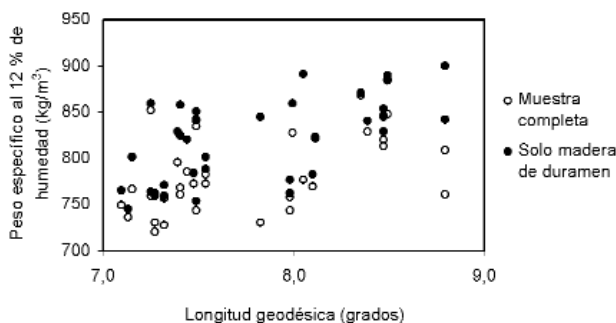


Figura 2.- Asociación entre la variable longitud geodésica y el peso específico de la madera de roble (*Quercus robur* L.). Cada punto blanco representa la media de al menos 30 mediciones de peso específico y cada punto negro representa la media de unas 24 mediciones de peso específico

variables ambientales que influyen en la calidad de la madera es la notable relación negativa que se aprecia entre altitud y longitud geodésica (Tabla 2). Dicha relación es atribuible a la ubicación concreta de los robles de la muestra pero también es cierto que aquí la muestra es un fiel trasunto de la topografía general de Galicia, en la que las mayores altitudes se encuentran al este y las cotas más bajas al oeste. En definitiva, ambas variables se encuentran relacionadas porque en la población a la que representan dicha relación existe.

Teniendo en cuenta la limitación dada por la dependencia entre variables pueden plantearse diversos modelos predictivos del peso específico al 12 % de humedad a partir de una o dos variables independientes. En la Tabla 3 aparecen los valores del coeficiente de determinación obtenidos con varios modelos de regresión lineal. En el mejor de los casos, las variables fisiográficas explican un 37,0 % de la variación del peso específico de la madera de roble. Por ello, un modelo predictivo de la calidad de la madera basado solo en variables fisiográficas daría lugar a estimaciones poco precisas y sin utilidad práctica. De las variables fisiográficas relacionadas con el peso específico es la altitud la más útil desde el punto de vista operativo y es un parámetro de uso frecuente en la caracterización de una estación forestal. No obstante, es la variable fisiográfica que da lugar al modelo más pobre de entre los modelos lineales ensayados (Tabla 3).

Relación del peso específico con variables cualitativas

Para analizar la influencia de las variables cualitativas sobre las variables cuantitativas de los robles de la muestra se efectuó el correspondiente análisis de la varianza con un factor. Las variables cualitativas consideradas como factores fueron las que aparecen en la Tabla 4. El peso

Modelo	Coefficiente de determinación corregido (R^2)
$\rho_{12} = a + bDM + cP$	0,235
$\rho_{12} = a + bP + cLo$	0,343
$\rho_{12,D} = a + bDM$	0,246
$\rho_{12,D} = a + bA$	0,161
$\rho_{12,D} = a + bLo$	0,370

ρ_{12} : peso específico al 12 % de humedad; $\rho_{12,D}$: peso específico del duramen al 12 % de humedad; DM : distancia al mar; P : pendiente; A : altitud; Lo : longitud; a, b, c : constantes del modelo

Tabla 3.- Coeficiente de determinación para posibles modelos lineales

específico resultó ser significativamente diferente en función de la situación orográfica donde crece el roble (ladera, valle, cumbre, etc.), la exposición (solana, umbría) y, sobre todo, en función de su pertenencia a una zona natural u otra (subregión de procedencia, comarca geoforestal).

Las diferencias entre zonas naturales son esperables dado que la división en comarcas geoforestales se basa en la vegetación climatófila, que es una síntesis de variables físicas, clima, suelo, litología, geología y topografía (Xunta de Galicia 1992). Por tanto, al basarse en más parámetros físicos, la división en comarcas geoforestales o subregiones de procedencia define más precisamente cada región natural e integra de mejor manera las características de la misma, en tanto que otras divisiones zonales se basan solo en aspectos parciales del medio físico.

Así, los robles de la muestra localizados en la subregión de procedencia 1a (más occidental) son significativamente más densos que los apeados en la subregión de procedencia 1b (más oriental), lo cual es coherente con la estrecha relación encontrada entre peso específico y longitud geodésica (Tabla 2). También existen diferencias significativas en cuanto a peso específico entre robles procedentes de comarcas geoforestales distintas. De nuevo aquí, los valores más altos de peso específico se dan en las comarcas geoforestales más occidentales y los valores más bajos se dan en las comarcas más orientales. A pesar de ello, no procede establecer conclusiones apresuradas en

cuanto a una posible vinculación de carácter general entre el peso específico de la madera y la ubicación geográfica en la que el árbol vegeta ya que la localización geográfica es una fuente de variación difícil de segregar de otras fuentes de variación ambiental (distancia al mar y altitud), como se aprecia en la Tabla 4.

Es significativa la diferencia de peso específico entre los robles muestreados en zona de solana (812 kg/m³) y en zona de umbría (761 kg/m³), sin que haya podido establecerse ninguna otra distinción entre tales grupos de árboles, salvo la diferencia de pendiente (15° de media en zona de solana y 5° en zona de umbría), cuya influencia sobre el peso específico (Tabla 2) ya se puso de manifiesto anteriormente.

En este trabajo se han encontrado diferencias entre individuos en cuanto al peso específico de la madera, diferencias que son en parte atribuibles a las condiciones fisiográficas de crecimiento de los robles. Esto permite hacer algunas previsiones acerca de la calidad de la madera de roble que se obtendría fomentando la selvicultura productiva con la especie. Así, tomando como referencia el Plan Forestal de Galicia (Xunta de Galicia 1992), se observa que el roble no se propone como especie índice sino solo como especie alternativa en futuras repoblaciones forestales. Por ejemplo, en la comarca Costa Norte el roble solo figura como especie alternativa de repoblación y en cotas inferiores a los 700 m. Los robles muestreados en esa zona presentan diferente peso específico en ambos rangos de altitud: por debajo de 700 m el peso específico es de 737 kg/m³ mientras que sube a 837 kg/m³ en cotas superiores a 700 m. Por tanto, si se mantienen las directrices de repoblación del Plan Forestal de Galicia, las repoblaciones de roble ofrecerían maderas más ligeras, más adecuadas, por otra parte, para aquellas aplicaciones industriales en las que esta madera alcanza mayor cotización (Nepveu 1990).

Conclusión

El peso específico de la madera de roble es muy variable entre zonas y entre individuos. Esto constituye una evidencia más de la diversidad que presenta la especie en

variable cuantitativa	variable cualitativa			
	procedencia	comarca	situación	exposición
Peso específico al 12 %	0,001	0,021	0,006	0,005
Peso específico del duramen al 12 %	0,000	0,003		
Anchura de anillos de crecimiento				
Edad				
Diámetro normal	0,009			
Altura total				
Esbeltez				
Distancia al mar	0,000	0,000		
Pendiente			0,000	0,024
Altitud	0,000	0,000		
Longitud	0,000	0,000	0,012	
Latitud	0,017	0,000		
Índice de sitio		0,008		
Área de influencia	0,020			

Tabla 4.- Niveles de significación inferiores a 0,05 en el análisis de la varianza con un factor para las principales variables cuantitativas de los árboles de la muestra

Galicia y conduce a la necesidad de conservar el robledal en todo el territorio gallego. Una mayor utilización del roble gallego en la industria pasaría por conseguir madera más uniforme en cuanto a peso específico. Sin embargo, solo parte de la variación del peso específico es de origen ambiental, por lo que la búsqueda de localizaciones específicas para el cultivo de esta especie contribuiría escasamente a homogeneizar la madera.

Agradecimientos Para la realización de este trabajo se ha dispuesto de financiación procedente de las siguientes instituciones: Consellería de Educación e Ordenación Universitaria de la Xunta de Galicia; Dirección Xeral de Montes e Medio Ambiente Natural (Consellería de Agricultura, Gandería e Montes de la Xunta de Galicia) y Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Santiago de Compostela.

Bibliografía

- Álvarez, J.G. (1995). Perspectivas de futuro de las repoblaciones forestales con frondosas en Galicia. En: A. Rigueiro et al. (Eds.). Repoblación con frondosas caducifolias en Galicia. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo.
- Álvarez, P.; Barrio, M.; Díaz, R.A.; Higuera, J.; Riesco, G.; Rigueiro, A.; Rodríguez, R.J. & Villarino, J.J. (1999). Manual de silvicultura de frondosas caducifolias. Serie Manuales Técnicos. Proyecto Columella, Lugo.
- Barrio Anta, M. (2003). Crecimiento y producción de masas naturales de *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Bergès, L.; Hervé, J.C.; Franc, A.; Gilbert, J.M. & Nepveu, G. (1999). Influence of ecological factors and individual effects on radial growth and wood density components for Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl) in Paris Basin and North-Eastern France by use of mixed linear models. Third Workshop IUFRO S5.01-04 "Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software", 205-222.
- Bulfin, M. (1992). Trees on the farm. Tree Council of Ireland-ZENECA Crop Protection, Kinsealy.
- Cinotti, B. (1990). La gélivure des chênes. Facteurs prédisposants individuels et mécanique du phénomène. Revue Forestiere Francaise. 42, 2: 145-147.
- Cinotti, B. (1991). Recherche de propriétés intrinsèques du bois pouvant expliquer la sensibilité à la gélivure de *Quercus petraea* (Liebl) et *Q. robur* (L.). Ann. Sci. For. 48: 453-468.
- Colmenares, M. (1995). Estudio del sector forestal en la provincia de Lugo (el sector del aserrío). Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de la Provincia de Lugo, Lugo.
- Deret-Varcin, E. (1983). Etude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pédonculés et intermédiaires), en forêt de Morimond. Ann. Sci. For. 40, 4: 373-398.
- Díaz-Fernández, P.M. (1995). Regiones de procedencia de *Quercus robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl. y *Q. humilis* Miller. ICONA, Madrid.
- Ferreras, C. & Arozena, M.E. (1987). Guía física de España 2. Los bosques. Alianza Editorial, Madrid.
- Gajate Maroto, A.; Prieto Rodríguez, A. & Sáiz de Omeñaca, J.A. (2001). Daños abióticos de origen natural en masas arboladas. CEDEX-Ministerio de Fomento, Madrid.
- González, M.A. & Ríos, J. (1996). El circuito de la madera en España. Montes. 45: 15-17.
- Guilley, E. & Nepveu, G. (1999). Using mixed models to estimate the pith-to-bark density profiles in individual logs from reduced density measurements: application to Sessile oak. Third Workshop IUFRO S5.01-04 "Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software", 245-252.
- Gutiérrez, A. & Plaza, F. (1967). Características físico-mecánicas de las maderas españolas. IFIE, Madrid.
- Hamilton, J.R. & Knauss, S.J. (1986). Wood factors affecting the variation in specific gravity of northern red oak (*Quercus rubra*) associated with soil origin. Forest Ecology and Management. 17: 129-136.
- Janin, G.; Mazet, J.F.; Flot, J.L. & Hofmann, P. (1990). Couleur et qualité du bois de chêne de tranchage: chêne sessile, chêne pédonculé et chêne rouge. Revue Forestiere Francaise. 42, 2: 134-139.
- Kanowsky, P.J.; Mather, R.A. & Savill, P.S. (1991). Short note: Genetic control of oak shake; some preliminary results. Silvae Genetica. 40, 3/4: 166-168.
- Kininmonth, J.A. & Whitehouse, L.J. eds. (1991). Properties and uses of New Zealand Radiata Pine (vol. I, Wood properties). New Zealand Ministry of Forestry, Forest Research Institute, Rotorua.
- Krzysik, F. (1975). Właściwości techniczne i stosowanie drewna debowego w Polsce. Sylwan. 119, 7: 1-10.
- Lanier, L. (1986). Précis de sylviculture. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Nancy.
- Louzada, J.L.P. (1991). Variação nas componentes da densidade na madeira de *Pinus pinaster* Ait. Série Técnica-Científica, 12. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Louzada, J.L.P. & Fonseca, F.M.A. (1991). Influência do crescimento em diâmetro (DAP) e da qualidade do local na variação da densidade em *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Franco). Série Técnica-Científica, 10. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Luk'yanets, V.B. (1977). Wood properties of the seedling progeny of oak ecotypes and seed trees. Lesnoi-Zhurnal. 4: 48-52.
- Nepveu, G. (1984). Controle hereditaire de la densité et de la rétractibilité du bois de trois especes de chêne (*Quercus petraea*, *Quercus robur* et *Quercus rubra*). Silvae Genetica. 33, 4/5: 110-115.

- Nepveu, G. (1990). Les facteurs influençant la qualité du bois de chêne (Chêne rouvre et chêne pédonculé). *Revue Forestiere Francaise*. 42, 2: 128-133.
- Nepveu, G. & Guilley, E. (1997). Etude et modélisation de la qualité du bois de chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl) selon la vitesse de croissance. Office National des Forêts, Bulletin technique. 33: 83-91.
- Neusser, H.; Krames, U.; Serentschy, W. & Zentner, M. (1975). Comparative investigation of home-grown oaks with special reference to Turkey Oak. Preparation of test material, carrying out the test and summary of the results in detail. *Holzforschung und Holzverwertung*. 27, 6: 114-131.
- Noack, D. (1963). Vergleichende Untersuchungen über einige physikalische und technologische Eigenschaften des Kern und Splintholzes der mitteleuropäischen Eiche. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 21, 3: 108-121.
- Ottorini, J.M. (1978). Aspectes de la notion de densité et croissance des arbres en peuplement. *Sci. Forest*. 35, 4: 299-320.
- Peraza, C. (1986). Las maderas de roble en la fabricación de barricas. *Jornadas sobre el roble*. Asociación de Enólogos de Rioja, 11-42.
- Phelps, J.E. & Chens, P.Y.S. (1991). Wood and drying properties of white oak from thinned and unthinned plantations. *Forest Products Journal*. 41, 6 : 34-38.
- Polge, H. (1973). Facteurs écologiques et qualité du bois. *Ann. Sci. For*. 30: 307-328.
- Remacha, A. (1987). Características del pino gallego y sus aplicaciones. AITIM, Madrid.
- Riesco Muñoz, G. (2001). Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de roble (*Quercus robur* L.) de Galicia en relación con las variables del medio. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez, J.A. & Arriaga, F. (1988). Patología de la madera. En: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Ed.) *Construcción en madera*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid.
- Ruiz de la Torre, J. (1979). Arboles y arbustos de la España peninsular. Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.
- Savill, P.S. (1986). Anatomical characters in the wood of oak (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* Liebl.) which predispose trees to shake. *Commonwealth Forestry Review*. 65, 2: 109-116.
- Xunta de Galicia (1992). Plan Forestal de Galicia. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Estudios e Iniciativas Forestales S.L. (SESFOR), Santiago de Compostela.
- Xunta de Galicia (2001). O monte galego en cifras. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.
- Zhang, S.Y.; Nepveu, G. & Owoundi, R.E. (1994). Intratree and intertree variation in selected wood quality characteristics of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). *Canadian Journal of Forest Research*. 24, 9: 1818-1823.
- Zhang, S.Y.; Owoundi, R.E.; Nepveu, G. & Mothe, F. (1993). Modelling wood density in European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) and simulating the silvicultural influence. *Canadian Journal of Forest Research*. 23: 2587-2593.
- Zhang, S.Y. & Zhong, Y. (1992). Structure property relationship of wood in East Liaoning oak. *Wood Science and Technology*. 26, 2: 139-149.
- Zobel, B.J. & Buijtenen, J.P.V. (1989). *Wood variation. Its causes and control*. Springer Verlag, Berlín.