

INFLUENCIA DEL AZULADO (mancha azul) EN LA DENSIDAD Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA DE *PINUS SYLVESTRIS*

INFLUENCE OF BLUE STAIN ON DENSITY AND DIMENSIONAL STABILITY OF *PINUS SYLVESTRIS* TIMBER

Adrián Rey-Prieto¹, Guillermo Riesco-Muñoz¹

RESUMEN

La madera de *Pinus sylvestris* tiene interés comercial aunque su valor se reduce considerablemente cuando presenta hongos de azulado. En el presente estudio se apearon siete pinos procedentes de plantaciones españolas, y de los fustes se muestrearon 14 rodajas a diferentes alturas. Cuando éstas estaban parcialmente azuladas se labraron para obtener probetas pequeñas sin defectos anatómicos, sobre las que se determinó la densidad y además la estabilidad dimensional en volumen y en las tres dimensiones principales de la madera. En cada rodaja se compararon las propiedades físicas de las probetas completamente azuladas y las no azuladas, mediante el análisis de la varianza con un factor. El método permitió analizar la influencia específica del azulado eliminando otras fuentes de variación: factor árbol, altura en el fuste, anchura de anillos, presencia de albura y edad cambial. Solo en algunas rodajas la madera azulada de pino silvestre resultó significativamente diferente en densidad y contracción axial (madera azulada un 1% más densa y con la contracción axial un 13% mayor).

Palabras clave: Pino silvestre, *Pinus sylvestris*, densidad, contracción, hongos de azulado.

SUMMARY

Pinus sylvestris timber is commercially important, but its value is considerably decreased by the effects of blue stain fungi. Seven pine trees from Spanish plantations were felled for the study, and 14 discs were sampled from different heights in their stems. When the discs showed partial discolouration due to fungal infection, they were cut to produce small defect-free specimens for determining density and dimensional stability (in volume and in the three main dimensions of wood). The physical properties of fully stained and stain free specimens were compared, in each disc, by one-factor analysis of variance. This method enabled analysis of the specific influence of the blue stain fungi while avoiding other sources of variation: tree factor, height in the stem, ring width, presence of sapwood and cambial age. However, the only significant differences between discoloured and unstained wood were in the density and axial shrinkage, in some discs (the density of the blue-stained wood was 1% higher and the axial shrinkage 13% higher than in the unstained wood).

Keywords: Scots pine, *Pinus sylvestris*, density, shrinkage, blue stain.

¹Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo (España).
Autor para correspondencia: guillermo.riesco@usc.es.
Recibido: 14.02.2011 Aceptado: 05.10.2011

INTRODUCCIÓN

El pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) se ha extendido notablemente en España debido a la repoblación artificial de 650.000 ha, principalmente en el norte del país (Xunta de Galicia 2001). Recientemente se han llevado a cabo intensos programas de raleos (claras) sobre estas plantaciones. La madera aprovechada en raleos suele destinarse al astillado por el reducido diámetro de las trozas, aunque las piezas de mayor calidad y dimensión se destinan al aserrado (Riesco *et al.* 2008).

En la madera procedente de raleos hay gran proporción de albura y madera juvenil, lo cual afecta a las propiedades físicas (Aguiar *et al.* 2003, Jayawickrama 2001). La madera juvenil de coníferas presenta anchos anillos de crecimiento, alta contracción axial y menor densidad que la madera adulta (Gjerdrum 2003, Panshin y de Zeeuw 1980, Riesco y Díaz 2007). Por tanto, la madera de raleos es de peor calidad que la madera procedente de cortas finales (Fernández-Golfín *et al.* 1997). Se admite que en el pino silvestre la madera adulta empieza a producirse a la edad de 22 años (Mutz *et al.* 2004, Zobel y Van Buijtenen 1989).

En la madera apeada de pino es frecuente la aparición de hongos cromógenos de azulado en la zona de albura, si su humedad es superior al 18-22% (Arriaga *et al.* 1994, Rodríguez y Arriaga 1988). Estos hongos (habitualmente de los géneros *Aureobasidium*, *Ceratocystis*, *Ceratostomella*, *Endoconidiophora*, *Graphium*, *Lasiodiplodia*, *Leptographium*, *Ophiostoma* y *Sphaeropsis*) aparecen rápidamente (en 5 o 6 días) en la madera en rollo, aserrada o astillada (Forest Products Laboratory 1999). Los hongos de azulado colorean la madera, empeorando su aspecto y reduciendo notablemente su precio de venta para astilla, sierra o chapa. La madera afectada adquiere un color gris más o menos oscuro pero no se alteran sus propiedades físicas, a excepción de la higroscopicidad y de la permeabilidad si el ataque es muy severo y afecta a la madera adulta (Byrne *et al.* 2005, Kollmann 1959, McFarling y Byrne 2003, Riesco *et al.* 2008, Rodríguez y Arriaga 1988, Vignote y Martínez 2006). En el trabajo de revisión de Byrne *et al.* (2005) se hace referencia a la escasez de literatura existente en torno a la influencia del azulado en las propiedades de la madera maciza y se indica que la mayoría de las publicaciones informan de que la influencia del azulado no es significativa en las maderas de zonas templadas. Aunque los hongos de azulado no suelen afectar a las propiedades mecánicas, la albura de pino silvestre muy atacada puede perder hasta un 16-25% de su resistencia mecánica a esfuerzos estáticos (Rodríguez y Arriaga 1988) y un 30% de su resistencia mecánica al impacto (Byrne *et al.* 2005, Eaton y Hale 1993, Forest Products Laboratory 1999).

Ante la escasez de estudios sobre la influencia del azulado en la densidad y estabilidad dimensional de la madera de *Pinus sylvestris* es conveniente conocer qué propiedades físicas de esta madera y en qué cuantía se ven afectadas por los hongos de azulado. Las propiedades gravimétricas de la madera (densidad) deben ser incluidas en el análisis ya que son indicadores de calidad del material, debido a la relación que presentan con numerosas características de la madera que afectan a su utilización (Fernández-Golfín y Díez 1994, Forest Products Laboratory 1999, Gutiérrez *et al.* 1997, Louzada 1991, Mazet y Nepveu 1991, Riesco *et al.* 2008, West 2006, Zobel y Van Buijtenen 1989). Así mismo, las variables que cuantifican la contracción de la madera ante la desecación también son objeto de estudio ya que informan sobre la calidad de la madera. En efecto, las deformaciones del material ante los cambios de humedad del ambiente afectan notablemente a la transformación mecánica de la madera (Riekkinen *et al.* 2005). La anisotropía de las contracciones de la madera en dirección radial y tangencial se cuantifica mediante el coeficiente de anisotropía y también mediante la anisotropía absoluta ya que esta última variable informa eficazmente del riesgo de deformación durante el secado (Rijsdijk y Laming 1994). Por último, se suele registrar la anchura de anillos de crecimiento por ser una variable anatómica de obtención sencilla, en ocasiones relacionada con la densidad (Louzada 1991) y con otras propiedades físicas de la madera.

En la toma de muestras para la evaluación de dichas propiedades físicas hay que tener en cuenta que las mismas están sujetas a una significativa variación entre individuos para una misma especie en

un mismo rodal (Fonseca 1989, Kininmonth y Whitehouse 1991, Louzada 2003, Louzada y Fonseca 1991, Mazet y Nepveu 1991, Riesco y Díaz 2007, Zobel y Van Buijtenen 1989). Así mismo, dentro de cada árbol varía la densidad y las variables relacionadas con la contracción, que están significativamente relacionadas con la edad del cambium y con la anchura de anillos de crecimiento anual de la madera (Kellomäki *et al.* 1999), derivándose de las relaciones anteriores diversos patrones de variación de las propiedades físicas a lo largo del fuste (Fonseca 1989, Kininmonth y Whitehouse 1991, Kollmann 1959, Riesco y Díaz 2007, Riesco *et al.* 2008).

El objetivo del presente estudio es analizar los cambios que se producen en las propiedades físicas de la madera de pies jóvenes de pino silvestre debido a la acción de los hongos de azulado, para comprobar si las variaciones de densidad o de estabilidad dimensional condicionan la utilización de este material como madera maciza.

MATERIAL Y MÉTODOS

La madera empleada en el estudio procedió de 7 árboles jóvenes de la especie *Pinus sylvestris* L., sin daños externos visibles, seleccionados y apeados en dos parcelas situadas en el norte de Galicia (noroeste de España). Las características de los pinos de la muestra aparecen en la tabla 1. Se trata de árboles que estaban completando el primer tercio del turno habitual de la especie. El número de árboles elegido cubría las exigencias de la norma española UNE 56528:1978 (AENOR 1978a) y de la norma europea EN 384:2010 (European Committee for Standardization 2010) para la realización de ensayos sobre probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos aparentes. De cada pino apeado se obtuvieron rodajas de la sección transversal completa del fuste a distancias fijas de un metro, empezando desde la base y hasta 7 m de altura en el tronco. Las rodajas se cortaron con un espesor aproximado de 10 cm y se dejaron secar en las condiciones ambientales del laboratorio (temperatura media de 16 °C y humedad relativa del aire del 60%) hasta que las manchas producidas por los hongos de azulado aparecieron y cubrieron aproximadamente la mitad de la superficie de las testas. Cuando las rodajas se encontraban parcialmente atacadas por el hongo fueron labradas en carpintería, realizando los cortes de forma que se obtuviera el máximo número de probetas prismáticas normalizadas de 2 por 2 por 4 cm como dimensiones nominales en la dirección radial, tangencial y longitudinal respectivamente (AENOR 1978a). También se obtuvieron probetas de 4 por 4 por 2 cm de dimensión en las mismas direcciones. La obtención de probetas por aserrado de las rodajas se inició cuando el avance del azulado era suficiente para obtener un número similar de probetas azuladas y no azuladas en cada rodaja, con independencia de la humedad de la madera en ese momento. Por ello, las probetas que se ensayaron (Tabla 2) presentaban valores de humedad de equilibrio higroscópico con cierta variación en torno al 12% que indica la norma UNE 56528:1978 (AENOR 1978a), aunque esa variación es irrelevante para el análisis.

Tabla 1. Características de los árboles muestreados

Parcela	Nº de árbol	Edad (años)	Diámetro a la altura del pecho (cm)	Altura total (m)	Nº de rodajas por árbol	Nº medio de probetas por rodaja
Boiro	1	20	15.0	7.0	1	5
	2	22	12.1	7.1	2	16
	3	22	16.3	7.3	1	28
Becerreá	4	27	13.8	11.5	3	16
	5	30	12.0	10.5	1	10
	6	32	22.8	15.0	4	21
	7	32	25.4	14.0	2	46

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas analizadas en la madera de *Pinus sylvestris* (n = 300 probetas)

variable		media	CV	mínimo	máximo
Anchura de anillos (mm)	a	4.2	36	1.4	9.4
Humedad (%)	H	11.0	9	8.2	13.2
Densidad al 12% (kg/m ³)	ρ_{12}	491	18	368	839
Densidad anhidra (kg/m ³)	ρ_0	459	18	343	778
Densidad básica (kg/m ³)	d_b	405	18	303	708
Contracción volumétrica (%)	C_v	13.5	21	7.0	24.9
Coefficiente de contracción volumétrica (%)	v	0.41	26	0.14	0.81
Higroscopicidad (kg/m ³)	hi	2.9	26	1.0	6.0
Punto de saturación de la pared celular (%)	psf	34.5	23	19.5	68.7
Contracción longitudinal (%)	C_l	1.3	75	0.1	5.0
Coefficiente de contracción longitudinal (%)	l	0.04	82	0.00	0.18
Contracción radial (%)	C_r	4.9	13	4.1	5.8
Coefficiente de contracción radial (%)	r	0.19	19	0.15	0.25
Contracción tangencial (%)	C_t	7.5	16	5.9	9.3
Coefficiente de contracción tangencial (%)	t	0.18	48	0.05	0.28
Coefficiente de anisotropía	C_t/C_r	1.6	23	1.0	2.1
Anisotropía absoluta (%)	$C_t - C_r$	2.6	58	0.2	4.8

CV = coeficiente de variación, en porcentaje.

Para estudiar específicamente la influencia del azulado en las propiedades físicas de la madera de pino silvestre, descartando otras fuentes de variación del material, se seleccionaron probetas:

- libres de defectos anatómicos (Gómez *et al.* 1996), con muy baja desviación de fibra y con anillos de crecimiento paralelos a las aristas
- con similar anchura de anillos de crecimiento en la submuestra de madera azulada y en la submuestra de madera no azulada de cada rodaja
- con un estrecho rango de variación de la edad cambial en las probetas procedentes de una misma rodaja. Es decir, se seleccionaron probetas distantes de la periferia de la rodaja (probetas sin rastros de corteza) y distantes de la médula (probetas de anillos rectos y sin rastros de médula)
- con la superficie exterior completamente azulada o completamente libre de azulado, por estimación visual.

Mediante el método de selección de probetas utilizado se eliminó la presencia de defectos o singularidades como fuente de variación de propiedades físicas y se redujo la fuente de variación debida a la edad cambial y a la anchura de anillos. Así mismo, dada la gran variación que presenta la madera entre individuos y dentro de cada individuo, como ya se indicó en la Introducción, la comparación de propiedades físicas entre madera azulada y no azulada se efectuó en cada rodaja de modo que se eliminó el factor individuo como fuente de variación y la altura en el fuste como fuente de variación dentro del individuo.

La presencia de duramen como posible fuente de variación quedó descartada ya que en el pino silvestre el duramen empieza a formarse a partir de los 50 años (Gómez *et al.* 1996, Kollmann 1959,

Mörling y Valinger 1999), con lo que se esperaba que su presencia en los árboles apeados fuera irrelevante.

Al eliminar del análisis las probetas procedentes de las proximidades de la médula se descartaba la mayor parte de la madera de compresión, que suele aparecer alrededor de la médula en coníferas (Rune y Warensjö 2002).

Se ensayaron en promedio 43 probetas por pie y se determinaron las propiedades físicas que aparecen en la tabla 2. Dichas variables se obtuvieron según disponen las normas españolas UNE 56531:1977 (AENOR 1977a), UNE 56532:1977 (AENOR 1977b), UNE 56533:1977 (AENOR 1977c), UNE 56528:1978 (AENOR 1978a) y según las normas internacionales EN 13183-1:2002 (European Committee for Standardization 2002), EN 408:2011 (European Committee for Standardization 2011) e ISO 3131:1975 (International Organization for Standardization 1975). El peso de cada probeta se obtuvo con precisión de centésima de gramo. El volumen se obtuvo considerando cada pieza como un prisma perfecto y multiplicando sus tres dimensiones principales, obtenidas con precisión de centésima de milímetro.

Tras validar y depurar los resultados de los ensayos se obtuvieron los estadísticos descriptivos básicos de las propiedades físicas (Tabla 2). Para encontrar diferencias significativas entre medias de propiedades físicas se efectuó el análisis de la varianza con un factor (madera azulada o no azulada). 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. Todos los cálculos y análisis estadísticos fueron efectuados mediante la hoja de cálculo Microsoft Excel 2003 y la aplicación estadística PASW Statistics 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadísticos descriptivos básicos

La tabla 2 muestra los principales estadísticos de las propiedades físicas analizadas. Según el criterio de interpretación dado para coníferas por la norma UNE 56540:1978 (AENOR 1978b) se trata de una madera ligera, medianamente estable en volumen y con una higroscopicidad normal. La contracción transversal (radial y tangencial) es moderada, el punto de saturación de la pared celular es normal según el criterio de interpretación de Gutiérrez y Plaza (1967) y la anisotropía de las contracciones es media según el criterio de interpretación de Rijdsdijk y Laming (1994). La estabilidad dimensional de la madera es algo inferior a la esperable dada su baja densidad, considerando para esta interpretación las constantes propuestas por Koehler (1931).

La dispersión de los resultados es muy alta en cuanto a las variables de densidad así como en las dos variables que se han utilizado para cuantificar la estabilidad de la madera en dirección axial (contracción longitudinal y coeficiente de contracción longitudinal). La gran dispersión en las variables de contracción axial es previsible dado que la madera procede de pies jóvenes, en los que hay elevada proporción de madera juvenil, en la cual las propiedades de contracción presentan gran variabilidad (Forest Products Laboratory 1999, Riesco y Díaz 2007, Zobel y Van Buijtenen 1989).

Influencia del azulado en las propiedades físicas de la madera

En cada rodaja se efectuó el análisis de la varianza para cada variable física de la madera con el factor presencia/ausencia de azulado (Tabla 3). Tal como se pretendía, no se hallaron diferencias significativas en cuanto a anchura de anillos entre la madera azulada y no azulada de cada rodaja por lo que las diferencias significativas entre otras variables no deben atribuirse a diferencias en cuanto

a anchura de anillos. Para el conjunto de la muestra se encontró que la madera azulada presentaba una anchura media de anillos de 4.2 mm mientras que en madera no azulada era 4.1 mm, siendo la diferencia no significativa.

Tabla 3. Análisis de la varianza (F ; p) para cada propiedad física de la madera de *Pinus sylvestris* con el factor presencia/ausencia de azulado

	rodaja ⁽¹⁾				
	2.2	4.3	6.0	6.3	7.7
a	ns	ns	ns	ns	ns
ρ_{12}	6.2; 0.03	ns	94.5; 0.00	ns	ns
ρ_0	6.5; 0.03	ns	93.6; 0.00	ns	ns
d_b	6.7; 0.02	ns	117.6; 0.00	5.5; 0.03	ns
C_v	5.6; 0.04	11.3; 0.02	29.2; 0.00	ns	ns
v	ns	ns	ns	ns	ns
hi	ns	ns	24.3; 0.00	ns	ns
psf	ns	ns	14.4; 0.00	ns	ns
C_l	5.9; 0.03	ns	25.0; 0.00	ns	19.6; 0.00
l	ns	ns	10.8; 0.00	ns	5.8; 0.02
C_r	ns	ns	ns	ns	ns
r	ns	ns	ns	ns	ns
C_t	ns	ns	ns	ns	ns
t	ns	ns	ns	ns	ns
C_t/C_r	ns	ns	ns	ns	ns
$C_t - C_r$	ns	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾Se presentan solamente los resultados para las rodajas en las que se encontraron diferencias significativas entre madera azulada y no azulada para alguna de las variables. El primer dígito del nombre de la rodaja indica el árbol de procedencia y el segundo dígito indica la altura de la rodaja en el fuste, en metros. La descripción de las variables se encuentra en la tabla 2. (ns = no significativo).

En general, se observó que el azulado tiene muy baja influencia en las propiedades físicas de la madera. Solamente en tres de las 14 rodajas de la muestra aparecieron diferencias significativas de densidad (las rodajas 2.2, 6.0 y 6.3, marcadas en la parte superior de la fig. 1), siendo las diferencias de muy baja cuantía e irrelevantes desde el punto de vista práctico, de forma similar a lo que refieren Aufsess (1981) para *Abies alba*, Chapman y Scheffer (1940) con madera de pinos amarillos del sur de Estados Unidos o Schirp *et al.* (2000) para *Pinus radiata*. En la madera analizada en el presente estudio la densidad (al 12% y anhidra) era un 0.9% mayor en la madera azulada y la densidad básica era un 1.1% mayor en la madera azulada. (Los porcentajes indicados son la media de los resultados de las 14 rodajas, solo en tres de las cuales las diferencias eran estadísticamente significativas). La variación es similar a la encontrada por Seifert (1993), citado por Schirp *et al.* (2000), en madera de *Pinus radiata* inoculada con hongos del género *Ophiostoma*.

La higroscopicidad y el punto de saturación de la pared celular solo presentan diferencias significativas en función del azulado en la rodaja 6.0 (Tabla 3), en la que la madera azulada es más higroscópica (0.9 kg/m³ de diferencia) y con más bajo punto de saturación de la pared celular (13% de diferencia).

La contracción volumétrica solo es significativamente diferente entre rodajas y la variación no es del mismo signo en todas ellas (contracción volumétrica un 4.9% superior en la madera azulada en la rodaja 2.2 y contracción en madera azulada un 3.2% inferior en la rodaja 4.3 y un 2.3% inferior en la rodaja 6.0). A pesar de esta escasa influencia del azulado en la estabilidad dimensional en volumen sí se ha encontrado que la madera azulada es más inestable en la dirección de la fibra ya que en algunas rodajas existían diferencias significativas: la contracción longitudinal era un 12.7% mayor en la madera azulada y el coeficiente de contracción longitudinal era un 16.2% mayor en la madera azulada. Dichos porcentajes son la media de los resultados de las 14 rodajas, solo en tres de las cuales las diferencias eran estadísticamente significativas. Los resultados de contracción longitudinal por rodajas se presentan en la fig. 1.

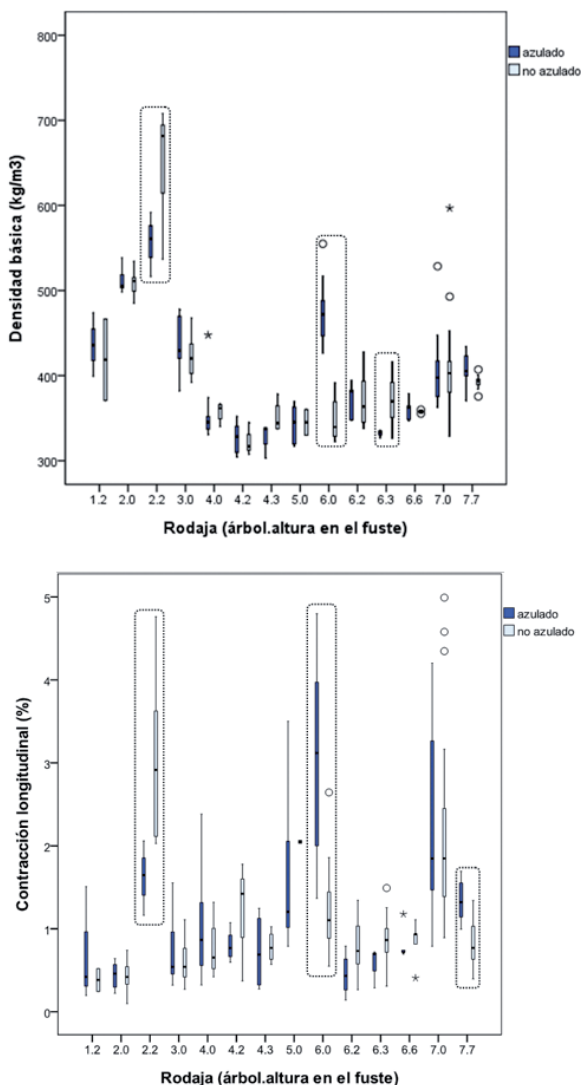


Figura 1. Efecto del azulado en la variación de la densidad básica (arriba) y de la contracción longitudinal (abajo) en la madera de pino silvestre. Las cajas representan la distribución de la muestra con/sin azulado en cada rodaja. El primer dígito del nombre de la rodaja indica el árbol de procedencia y el segundo dígito indica la altura de la rodaja en el fuste en metros. Aparecen marcadas las cajas entre las que se hallaron diferencias significativas.

Las cinco rodajas que mostraron diferencias significativas en función del factor azulado (Tabla 3) procedían de diferentes alturas en el fuste y pertenecían a cuatro árboles diferentes en cuanto a tamaño, edad y procedencia (árboles números 2, 4, 6 y 7 en la Tabla 1). Así mismo, el tamaño de muestra en las rodajas que ofrecieron diferencias significativas era similar al tamaño de muestra en las restantes rodajas.

CONCLUSIONES

La madera azulada presenta en dirección axial contracciones significativamente más altas que la madera no azulada, aunque solo en una parte de las rodajas analizadas. El efecto del azulado es muy reducido en las demás propiedades de la madera sometidas a estudio, incluyendo densidad y variables relacionadas con la contracción en volumen y con la contracción transversal. Dado que la madera de la muestra procedía de pies jóvenes, el material analizado contenía principalmente madera juvenil. Los resultados en cuanto a influencia del azulado en las propiedades físicas son aplicables, por tanto, a la madera juvenil de *Pinus sylvestris*. Convendría efectuar estudios posteriores con madera procedente de pies adultos a fin de comprobar si en ellos el efecto del azulado en las propiedades físicas es diferente. Puede concluirse que en el caso de madera de pies jóvenes de la especie *Pinus sylvestris* procedentes de raleos no hay influencia del azulado en la densidad de la madera ni en la estabilidad en volumen ante los cambios de humedad, aunque es apreciable la inestabilidad dimensional de la madera azulada en la dirección de la fibra.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. 1977a.** UNE 56531:1977. Determinación del peso específico. AENOR, Madrid, España. 2p.
- AENOR. 1977b.** UNE 56532:1977. Determinación de la higroscopicidad. AENOR, Madrid, España. 2p.
- AENOR. 1977c.** UNE 56533:1977. Determinación de las contracciones lineal y volumétrica. AENOR, Madrid, España. 2p.
- AENOR. 1978a.** UNE 56528:1978. Preparación de probetas para ensayos. AENOR, Madrid, España. 4p.
- AENOR. 1978b.** UNE 56540:1978. Interpretación de los resultados de los ensayos. AENOR, Madrid, España. 6p.
- Aguiar, A.; Almeida, M. H.; Borralho, N. 2003.** Genetic control of growth, wood density and stem characteristics of *Pinus pinaster* in Portugal. *Silva Lusitana* 11: 131-139.
- Arriaga M, F.; González Á, M. A.; Medina G, G.; Ortiz, J.; Peraza, F.; Peraza, J. E.; Touza, M. C. 1994.** *Guía de la madera*. AITIM, Madrid, España. 572p.
- Aufsess, H. V. 1981.** Effects of silver fir dieback on the wood properties of affected trees. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 100 (3-4): 217-228.
- Byrne, T.; Woo, K. L.; Uzunovic, A.; Watson, P. A. 2005.** An annotated bibliography on the effect of bluestain on wood utilization with emphasis on mountain pine beetle-vectored bluestain. Working Paper 2005-4. Canadian Forest Service, Victoria, Canadá. 60p.

- Chapman, A. D.; Scheffer, T. C. 1940.** Effect of bluestain on specific gravity and strength of southern pine. *Journal of Agricultural Research* 61 (2): 125-133.
- Eaton, R. A.; Hale, M. D. C. 1993.** Wood. Decay, pests and protection. Chapman & Hall, London, UK. 546p.
- European Committee for Standardization. 2002.** EN 13183-1:2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa. European Committee for Standardization, Bruselas, Bélgica. 10p.
- European Committee for Standardization. 2010.** EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. European Committee for Standardization, Bruselas, Bélgica. 20p.
- European Committee for Standardization. 2011.** EN 408:2011. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. European Committee for Standardization, Bruselas, Bélgica. 38p.
- Fernández-Golfín, J. I.; Díez, M. R. 1994.** Influencia de la anchura del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de diversas especies. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 3: 211-219.
- Fernández-Golfín, J. I.; Díez, M. R.; Gutiérrez, A. 1997.** Caracterización mecánica de la madera aserrada de pino silvestre de los Sistemas Central e Ibérico mediante probetas de tamaño estructural. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 6: 183-214.
- Fonseca, F. M. A. 1989.** Variação na madeira de *Pinus pinaster* Ait. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. 245p.
- Forest Products Laboratory. 1999.** *Wood handbook. Wood as an engineering material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113, USDA, Forest Service, Madison, USA. 463p.
- Gjerdrum, P. 2003.** Heartwood in relation to age and growth rate in *Pinus sylvestris* L. in Scandinavia. *Forestry* 76: 413-424.
- Gómez, J. A.; Gutiérrez, A.; Baonza, M. V. 1996.** Influencia de la intensidad de clara en el crecimiento, producción y características de la madera en una masa artificial de *Pinus sylvestris* L. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 5: 257-273.
- Gutiérrez, A.; Baonza, M. V.; Fernández-Golfín, J. I. 1997.** Variaciones de la densidad de la madera de pino silvestre de los Sistemas Central e Ibérico. Proceedings of I Congreso Forestal Hispano-Luso, IRATI 97. SECF, Pamplona, España. Vol. V, 229-234.
- Gutiérrez, A.; Plaza, F. 1967.** *Características físico-mecánicas de las maderas españolas*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, España. 103p.
- International Organization for Standardization. 1975.** ISO 3131:1975. Wood. Determination of density for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 2p.
- Jayawickrama, K. J. S. 2001.** Breeding radiata pine for wood stiffness: review and analysis. *Australian Forestry* 64: 51-56.

- Kellomäki, S.; Ikonen, V. P.; Peltola, H.; Kolström, T. 1999.** Modelling the structural growth of Scots pine with implications for wood quality. *Ecological modelling* 27: 117-134.
- Kininmonth, J. A.; Whitehouse, L. J. 1991.** *Properties and uses of New Zealand radiata pine* (vol. I, Wood properties). Ministry of Forestry, FRI, Christchurch, New Zealand.
- Koehler, A. 1931.** Longitudinal shrinkage of wood. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers* 53 (2): 17-20.
- Kollmann, F. 1959.** *Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Vol. I.* Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, España. 675p.
- Louzada, J. L. P. C. 1991.** Variação nas componentes da densidade na madeira de *Pinus pinaster* Ait. Série Técnica-Científica, 12. UTAD, Vila Real, Portugal. 113p.
- Louzada, J. L. P. C. 2003.** Genetic correlations between wood density components in *Pinus pinaster* Ait. *Annals of Forest Science* 60: 285-294.
- Louzada, J. L. P. C.; 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. UTAD, Vila Real, Portugal. 28p.
- Mazet, J. F.; Nepveu, G. 1991.** Relations between wood shrinkage properties and wood density for Scots pine, silver fir and Norway spruce. *Annales des Sciences Forestières* 48: 87-100.
- McFarling, S.; Byrne, A. 2003.** Characterizing the dimensional stability, checking, and permeability of wood containing beetle-transmitted bluestain. Report to Forest Innovation Investment. Forintek Canada Corp., Vancouver, Canadá. 13p.
- Mörling, T.; Valinger, E. 1999.** Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area and growth in Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 462-469.
- Mutz, R.; Guilley, E.; Sauter, U. H.; Népveu, G. 2004.** Modelling juvenile-mature wood transition in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using nonlinear mixed-effects models. *Annals of Forest Science* 61: 831-841.
- Panshin, A. J.; De Zeeuw, C. 1980.** *Textbook of wood technology*, Mc Graw Hill, New York, USA. 722p.
- Riekkinen, M.; Nevalainen, S.; Verkasalo, E. 2005.** Competitive properties of Scots pine from Nordic countries in mechanical wood processing. METLA. Results of projects in the SPWT consortium. Internal report. Joensuu, Finland. (póster).
- Riesco, G.; Díaz, J. 2007.** Características físicas de la madera de pino procedente de raleos en el noroeste de España. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 9(3): 233-244.
- Riesco, G.; Soilán, M. A.; Rodríguez, R. 2008.** Physical properties of wood in thinned Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) from plantations in northern Spain. *Annals of Forest Science* 65 (5): 507. 8p.
- Rijsdijk, J. F.; Laming, P. B. 1994.** *Physical and related properties of 145 timbers: information for practice.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 380p.

Rodríguez, J.; Arriaga, F. 1988. Patología de la madera. En: Curso de Construcción en Madera. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, España. 205-236.

Rune, G.; Warensjö, M. 2002. Basal sweep and compression wood in young Scots pine trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 529-537.

Schirp, A.; Farrell, R. L.; Kreber, B. 2000. Capability of staining fungi to cause structural changes in New Zealand radiata pine: toughness testing and enzyme production. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 2 (2): 119-129.

Vignote, S.; Martínez, I. 2006. *Tecnología de la madera*. Mundi-Prensa, Madrid, España. 687p.

West, P. W. 2006. *Growing plantation forests*. Springer Verlag, Berlin, Germany. 304p.

Xunta de Galicia. 2001. *O bosque galego en cifras*. Consellería de Medio Ambiente, Santiago de Compostela, España. 226p.

Zobel, B. J.; Van Buijtenen, J. P. 1989. *Wood variation. Its causes and control*. Springer Verlag, Berlin, Germany. 363p.

