



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-571

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* de Cataluña

VILCHES CASALS, M.¹, CORREALMÒDOL, E.¹ y VOLTAS VELASCO, J.²

¹ Institut Català de la Fusta (INCAFUST-CTFC). Parc Científic i Tecnològic de Lleida. Turó de Gardeny. Ed. H2 planta baixa. 25003, Lleida. Sede social: CTFC, Ctra. Sant Llorenç de Morunys, km 2. 25280, Solsona, Espanya.

² Departamento de Producción vegetal y Ciencia Forestal. ETSEA. Universidad de Lleida. Avda. Rovira Roure, 191. 2198 Lleida.

Resumen

Pinus radiata y *Pinus pinaster* proceden principalmente de zonas de clima atlántico donde son ampliamente utilizados por la industria. Cataluña, al presentar un clima mayoritariamente mediterráneo, puede propiciar una calidad de madera distinta. Para disponer de mayor información se han estudiado las propiedades básicas de estas especies. Además, para hacer el estudio más exhaustivo se han analizado por separado las propiedades de la albura y el duramen de *Pinus pinaster*.

En la fase experimental se caracterizaron siete propiedades físico-mecánicas de madera libre de defectos de pequeñas dimensiones, según las correspondientes normas UNE. Se efectuaron 72 probetas para cada propiedad y especie consiguiendo una distribución robusta de los datos, que fueron analizados mediante modelos estadísticos para comparar las propiedades de las dos especies.

Los resultados de los ensayos realizados sobre probetas de pequeñas dimensiones, muestran que las propiedades físicas del pino insigne y de la albura del pino pinaster son parecidas, pero el pino insigne presenta mejores propiedades mecánicas. El pino pinaster presenta un duramen mucho más pesado, estable, higroscópico y duro que la albura, y también que la madera del pino insigne. Sin embargo, las propiedades mecánicas del duramen son parecidas a las de la albura. En relación a otros estudios realizados a nivel español, se observa que la madera de estas dos especies es más densa y resistente en el noreste peninsular.

Palabras clave

Caracterización físico-mecánica, madera libre de defectos, pino radiata, pino pinaster, albura, duramen.

1. Introducción

En el sector maderero es importante conocer las propiedades físicas y mecánicas de la madera de las diferentes especies forestales comercialmente maderables presentes en el territorio, con objeto de que éstas resulten más competitivas frente a la madera importada desde Europa. Esto nos ha llevado a caracterizar la madera de *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* de origen catalán. La caracterización de estas especies ya se ha realizado en diferentes regiones de España (CASADO *et al.*, 2001; CIGALAT y SOLER, 2003; FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 1995; MARTÍNEZ y LÁZARO, 2007; PERAZA *et al.*, 2004; PRADES *et al.*, 2001; REMACHA, 1986; RIESCO y DÍAZ, 2007), pero de una región de procedencia a otra existe mucha variabilidad pudiendo llegar a existir coeficientes de variación del 30% para una propiedad determinada (FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 1995).

Los países del Sur de Europa son los que presentan una mayor superficie dedicada a especies de crecimiento rápido, ya sea *Pinus radiata* D. Don, *Pinus pinaster* Ait. o *Eucalyptus* spp., con unos crecimientos en m³/ha/año hasta tres veces superiores a las especies forestales del Norte. Los propósitos de las plantaciones son diferentes según las regiones, utilizándose para la construcción, tableros, muebles, pasta de papel, y también para el suministro de leñas o para la fijación del suelo (BARREIRO, 2003). En Cataluña las dos coníferas de crecimiento rápido mencionadas se encuentran sobre todo en el Parque Natural del Montseny, formando parte de plantaciones densas con un marco de plantación bien definido y realizando el aprovechamiento mediante cortas a hecho, con unos turnos cortos que se mueven entre los 20 y 25 años (BADIA, 1983; BURRIEL *et al.*, 2002).

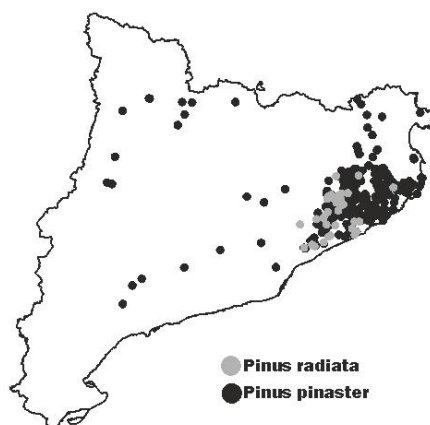


Figura 1. Distribución del *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* en Cataluña

En la caracterización de estas especies se debe tener en cuenta que las propiedades físicas y mecánicas de la madera están determinadas por los componentes de las paredes celulares, con una proporción de un 50% de celulosa, un 23% de hemicelulosa y un 27% de lignina (JIMÉNEZ, 1999). La celulosa y hemicelulosa son dos moléculas que poseen grupos polares H-C-OH que absorben y ceden agua, pero éstas además dan rigidez a la pared y ejercen función de soporte. En cambio, la lignina tiene grupos -OH que fijan el agua en menor proporción, siendo el componente que proporciona más rigidez y resistencia a compresión a la pared celular (JIMÉNEZ, 1999; GARCÍA *et al.*, 2003).

Otro aspecto a considerar es que en el tejido leñoso se pueden diferenciar dos zonas: el duramen, en el interior del tronco, y la albura, en el exterior. En algunas especies estas dos partes se diferencian a simple vista por el color, como es el caso del pino pinaster, pero no existe bibliografía existente que las diferencie física y mecánicamente, de manera que en el presente estudio también se comparan estas dos zonas del tronco para la especie comentada. La albura es la madera encargada del transporte de la savia bruta, ocupando la parte más externa del tronco, siendo de color claro y con sus elementos conductores libres de obstrucciones por depósitos de resina. Los anillos de crecimiento más viejos de la albura se duraminizan (JIMÉNEZ, 1999). El duramen presenta modificaciones anatómicas y químicas, sufriendo el cierre de la punteaduras areoladas (orificios de comunicación entre células) y la impregnación de las paredes celulares con resinas, aceites y otras sustancias que reducen la hinchazón, la merma y la penetración de líquidos, además de darle un color más oscuro (GARCÍA *et al.*, 2003; PERAZA *et al.*, 2004; ROWEL, 2005). Aunque estas coníferas presentan un volumen cercano al 10% de duramen para los turnos habituales de corta (RODRÍGUEZ *et al.*, 1997; DANS *et al.*, 1999) y una formación irregular según los árboles, ya que éste es un proceso genético y no hay una relación directa entre el área foliar y la proporción de albura y duramen (BERTHIER *et al.*, 2001), el duramen constituye un producto interesante para la industria maderera, ya que se convierte en un material con mejores propiedades que la albura.

2. Objetivos

En este estudio se pretende caracterizar la madera de *Pinus radiata* y la albura y el duramen de *Pinus pinaster* de parte del territorio catalán y comparar sus propiedades, para de este modo disponer de un mejor conocimiento de estas maderas. Esto será útil para los usuarios de este material, como las serradoras, pudiendo utilizar las especies propias de sus montes y así reducir la importación de maderas que tienen características similares a las de Cataluña.

3. Metodología

La madera empleada en el estudio fue extraída del área natural del Montseny, donde las dos especies son más representativas en Catalunya. Se obtuvieron 47 tablas de pino pinaster del municipio de Anglès, con una sección de 2,5×15×213 cm, y 20 tablas de pino radiata del municipio de Santa Coloma de Farners, de sección 2,5×ancho del árbol×250 cm. Los dos municipios pertenecen a la comarca de la selva (Girona), que se encuentra en la región de procedencia del litoral catalán del *Pinus pinaster* o en la RIU número 10 del *Pinus radiata*. Las tablas de madera se secaron en secadero hasta una humedad próxima al 12%, para evitar los cambios dimensionales y deformaciones de la madera, además de reducir el ataque de hongos, el peso en el transporte y facilitar su mecanización (CONDE y FERNÁNDEZ-GOLFÍN, 2007).

La caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la madera de las dos especies se realizó mediante probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos, obteniendo el valor óptimo de cada propiedad; de este modo, se minimiza el efecto de la silvicultura y se pueden comparar entre sí diferentes especies de maderas (FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 2009). Para preparar las probetas, de las tablas se cortaron los mejores trozos de 55 cm, mediante la sierra de disco. Después estos trozos se cepillaron a cara y canto, per dejarlos escuadrados y a continuación, se cortaron longitudinalmente con un ancho de 23 mm, obteniendo listones de 23×23×550 mm, utilizando una escuadradora. Finalmente, estos listones se cepillaron hasta obtener los listones definitivos de 20×20×550 mm. Los listones, libres de médula, con los anillos de crecimiento de pequeña curvatura, y sensiblemente perpendiculares a dos caras paralelas (AENOR, 1978a), se cortaron a la longitud requerida para obtener las probetas necesarias, consiguiendo de cada uno de los listones una probeta para cada ensayo (Tablas 1 y 2). Los ensayos se realizaron con las probetas al 12% de humedad, ya que antes de ser ensayadas se conservaron en una atmósfera de 20°C y 65% de humedad según la norma UNE 56528:1978 (AENOR, 1978a), cuyas condiciones llevan a la madera a equilibrarse al contenido de humedad anteriormente citado (KOLLMANN, 1959; CONDE y FERNÁNDEZ-GOLFÍN, 2007).

Tabla 1. Esquema donde se especifica para cada uno de los ensayos a realizar: la norma utilizada, la dimensión de la probeta y el número de probetas utilizadas por especie (l)

Ensayo	Norma	Dimensiones probeta (mm)	Nº de probetas		
			Pinaster		Radiata
			Albura	Duramen	
Densidad	UNE 56531:1977 (AENOR 1977a)	20×20×40	40	32	72
Higroscopicidad	UNE 56532:1977 (AENOR 1977b)				
Contracción Volumétrica	UNE 56533:1977 (AENOR 1977c)				
Coefficiente de Contracción Volumétrica					
Dureza	UNE 56534:1977 (AENOR 1977d)				



Tabla 2. Esquema donde se especifica para cada uno de los ensayos a realizar: la norma utilizada, la dimensión de la probeta y el número de probetas utilizadas por especie (II)

Ensayo	Norma	Dimensiones probeta (mm)	Nº de probetas		
			Pinaster		Radiata
			Albura	Duramen	
Resistencia a Compresión Axial	UNE 56535:1977 (AENOR 1977e)	20×20×60	40	32	72
Resistencia a Flexión Estática	UNE 56537:1979 (AENOR 1977f)	20×20×300	40	32	72

La muestra de *Pinus pinaster* estaba formada por un 44% de probetas con madera de duramen y un 56% de probetas con madera de albura, ya que en algunas tablas de esta especie se podían diferenciar perfectamente la albura y el duramen por la diferencia de color. Para el *Pinus radiata* el color de la madera es uniforme, de manera que en la muestra existían probetas con madera de albura y de duramen de forma aleatoria.

Para calcular la densidad no se utilizó la dimensión de probeta que dicta la norma, de 20×20×25 mm, sino que se calculó con las probetas del ensayo de contracción volumétrica, de 20×20×40 mm, ya que en este ensayo se pesan, miden y condicionan las probetas igual como se haría en la norma de densidad.

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico básico para obtener el valor medio de cada propiedad y poder clasificar la madera según la norma UNE 56540:1978 (AENOR, 1978b). También se realizaron análisis de la varianza para comparar las propiedades entre especies. Finalmente se realizó un análisis de componentes principales con objeto de resumir las correlaciones existentes entre variables y las tendencias que presentan las observaciones de cada madera respecto a las propiedades físicas y mecánicas consideradas.

4. Resultados

En las Tablas 3 y 4 se recogen los resultados medios obtenidos para cada una de las maderas y propiedades consideradas y la clasificación que cada valor tiene de acuerdo con la norma UNE 56540:1977, así como la desviación típica. Con los valores de la tabla se puede comprobar la similitud o la diferencia entre las maderas según la clasificación que dicta la norma citada, pero para comparar las tres maderas se efectuó un análisis de la varianza (ANOVA). De este modo se determinó si existían diferencias significativas entre ellas para cada una de las propiedades físicas y mecánicas estudiadas (Tabla 4).

Tabla 3. Valores medios, desviación típica y clasificación de cada propiedad para la madera de *Pinus pinaster*

Propiedades físico-mecánicas	<i>Pinus pinaster</i>					
	Albura			Duramen		
	\bar{x}	S_{n-1}	Clasificación	\bar{x}	S_{n-1}	Clasificación
Densidad (kg/m ³)	538,74	49,43	Semipesada	629,49	84,85	Pesada
Contracción volumétrica (%)	13,74	1,93	Media	11,02	1,44	Media
Coefficiente de Contracción volumétrica (%)	0,39	0,060	Medianamente nerviosa	0,37	0,069	Medianamente nerviosa
Higroscopicidad (kg/m ³)	0,0033	0,0004	Normal	0,0038	0,0005	Normal
Dureza (mm ⁻¹)	2,48	0,91	Semidura	3,31	1,37	Semidura
Resistencia a compresión axial (kg/cm ²)	435,18	65,37	Media	445,69	90,66	Media
Resistencia a flexión estática (kg/cm ²)	871,81	148,70	Baja	812,90	208,54	Baja

Tabla 4. Valores medios, desviación típica y clasificación de cada propiedad para la madera de *Pinus radiata*

Propiedades físico-mecánicas	<i>Pinus radiata</i>		
	\bar{x}	S _{n-1}	Clasificación
Densidad (kg/m ³)	523,18	29,39	Semipesada
Contracción volumétrica (%)	12,52	2,15	Media
Coefficiente de Contracción volumétrica (%)	0,38	0,066	Medianamente nerviosa
Higroscopicidad (kg/m ³)	0,0032	0,0004	Normal
Dureza (mm ⁻¹)	2,59	0,62	Semidura
Resistencia a compresión axial (kg/cm ²)	470,96	34,74	Alta
Resistencia a flexión estática (kg/cm ²)	916,97	63,79	Baja

Exceptuando el coeficiente de contracción volumétrica, las demás propiedades presentaron diferencias significativas entre la madera de pino radiata y la albura y duramen de pino pinaster (Tablas 5 y 6). Las diferencias observadas en las dos propiedades mecánicas son debidas a la diferencia de resistencia a flexión y compresión que existe entre las dos especies; en cambio, las diferencias obtenidas entre la contracción volumétrica y la dureza son debidas a las diferencias entre albura y duramen en pino pinaster. Finalmente, las diferencias significativas de densidad e higroscopicidad son causadas por la diferencia que hay entre especies y entre la albura y el duramen.

Tabla 5. ANOVA entre la madera de pino radiata y albura y duramen del pino pinaster para cada propiedad evaluada (I)

	GL	Densidad		Contracción Volumétrica		Coeficiente Cont. Vol.	
		MS	F	MS	F	MS	F
Tipo de madera	2	129448,25	48,06**	65,35	17,17**	0,003	0,72
Radiata vs Pinaster	1	112478,46	41,76**	0,02	0,005	0,001	0,18
Albura vs Duramen	1	3705,59	54,36**	130,67	34,33**	0,005	1,26
Error	141	2693,45		3,81		0,004	

** Diferencias estadísticamente significativas, con un nivel de significación del 5%

Tabla 6. ANOVA entre la madera de pino radiata y albura y duramen del pino pinaster para cada propiedad evaluada (II)

	GL	Higroscopicidad		Dureza		Compresión		Flexión	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
Tipo de madera	2	3,8·10 ⁻⁶	21,52**	5,71	11,21**	18395,64	5,11**	122454,58	6,91**
Radiata vs Pinaster	1	3,1·10 ⁻⁶	17,49**	0,94	1,84	34827,14	9,68**	183227,01	10,24**
Albura vs Duramen	1	4,5·10 ⁻⁶	25,55**	10,48	20,57**	1964,14	0,55	61682,08	3,48
Error	141	2·10 ⁻⁷		0,51		3596,77		17726,63	

** Diferencias estadísticamente significativas, con un nivel de significación del 5%

Un resultado importante derivado del análisis de componentes principales (Figura 2) fue la naturaleza de la correlación existente entre la densidad y las propiedades mecánicas de la madera. Mientras que el duramen presenta una correlación estrecha entre estas propiedades, la albura de pinaster y el pino radiata presentan correlaciones considerablemente bajas entre la densidad y la resistencia a flexión y compresión (Figura 3). Además, con el gráfico de componentes vectores se muestra como las observaciones de albura de pino pinaster se distribuyen de manera parecida a las observaciones de pino radiata (Figura 2).

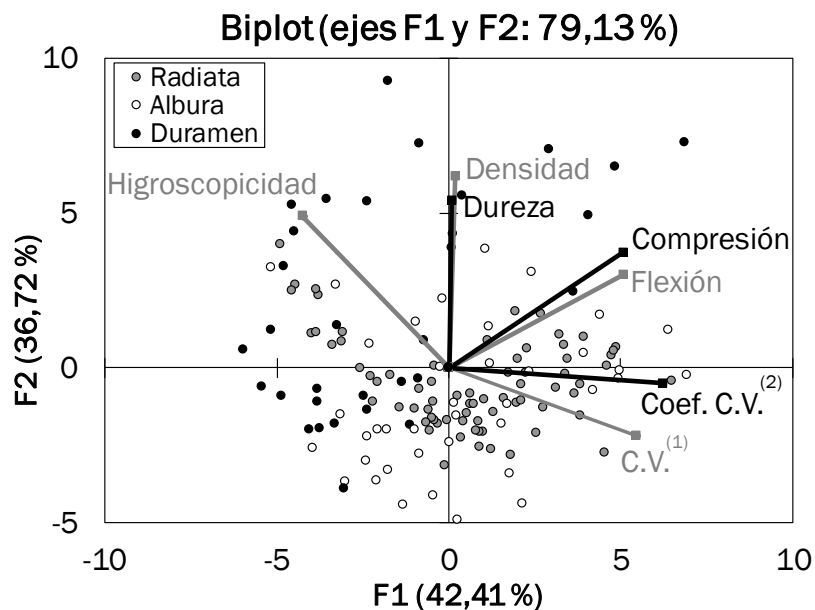


Figura 2. Análisis de componentes principales. Gráfico de componentes vectores. (1) C.V.: Contracción volumétrica. (2) Coef. C.V.: Coeficiente de Contracción Volumétrica

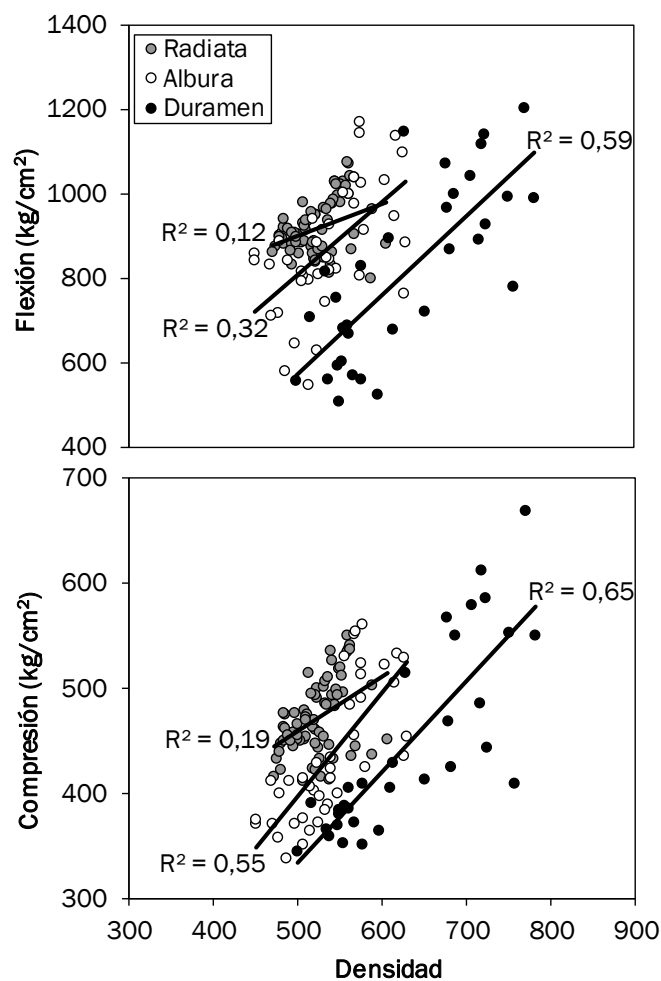


Figura 3. Correlaciones entre la densidad y la resistencia a flexión y compresión para las tres maderas.

Finalmente, para evaluar una a una qué propiedades físico-mecánicas permiten diferenciar entre los tres tipos de maderas consideradas (albura, duramen y radiata) se realizó un análisis discriminante (Figura 4). En este análisis no se incluyó la propiedad física del coeficiente de contracción volumétrica porque no aportaba información para diferenciar entre los tres tipos de madera que se estudiaban. Todas las demás propiedades eran explicativas del modelo.

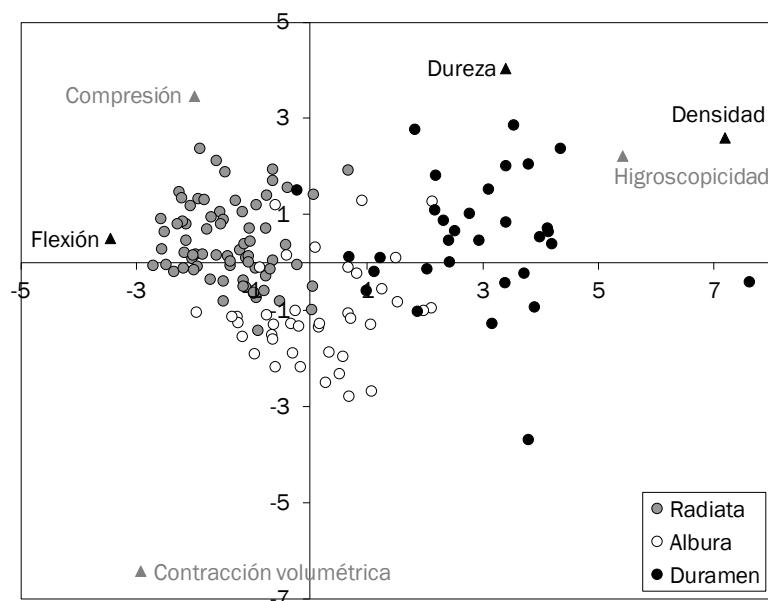


Figura 4. Análisis discriminante

5. Discusión

La realización de un gran número de ensayos permite determinar con exactitud las propiedades de la madera y, al mismo tiempo, conocer el comportamiento de su variabilidad. En líneas generales el pino radiata ha sido el más homogéneo, exceptuando la contracción volumétrica, mientras que el duramen del pino pinaster ha resultado ser el más variable en todas las otras propiedades (Tablas 3 y 4).

Algunas de las propiedades físico-mecánicas obtenidas para la madera de pino radiata y de albura y duramen de pino pinaster difieren respecto a las publicaciones consultadas que caracterizan la madera de pino radiata y pinaster de diferentes regiones de España (CASADO *et al.*, 2001; CIGALAT y SOLER, 2003; FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 1995; MARTÍNEZ y LÁZARO, 2007; PERAZA *et al.*, 2004; PRADES *et al.*, 2001; REMACHA, 1986; RIESCO y DÍAZ, 2007). Una de las diferencias de clasificación se encuentra en la densidad del duramen de *Pinus pinaster*, ya que obtiene la categoría de pesada cuando en el resto de la península la madera de esta especie es semipesada, debido a que en las caracterizaciones realizadas en el resto del estado hay una mezcla de probetas de albura y duramen. Finalmente, la dureza y resistencia a compresión del pino radiata es semidura y de alta resistencia, mientras que en las otras regiones españolas se clasifica como blanda y con una resistencia a compresión media. Estas propiedades que presentan las tres maderas estudiadas de origen catalán no divergen excesivamente de otras coníferas españolas y catalanas que se utilizan habitualmente (Tabla 7).

Tabla 7. Propiedades cualitativas de las maderas de pino más abundantes en el sur de Europa (Incafast)

Especie	Densidad	Contracción	Coef. CV	Higroscopicidad	Dureza	Compresión	Flexión
Pino negro	Semipesada	Media	Medianamente Nerviosa	Normal	Blanda	Baja	Baja
Pino rojo	Semipesada	Alta	Poco nerviosa ¹	Baja ¹	Semidura	Alta	Baja
Pino carrasco	Semipesada	Media	Medianamente Nerviosa	Normal	Dura	Alta	Media
Pino laricio	Semipesada	Media	Poco nerviosa ²	Baja ²	Semidura	Alta	Baja
Pino insignne	Semipesada	Media	Medianamente Nerviosa	Normal	Semidura	Alta	Baja
Pino pinaster Albura	Semipesada	Media	Medianamente Nerviosa	Normal	Semidura	Media	Baja
Pino pinaster Duramen	Pesada	Media	Medianamente Nerviosa	Normal	Semidura	Media	Baja

¹Peraza et al. (2004) ²Cigalat y Soler (2003)

La diferencia de densidad entre los tres grupos de maderas es debida al peso que gana el duramen en el proceso de impregnación de las paredes celulares. Este proceso de duraminización; también diferencia el duramen haciéndolo significativamente más higroscópico, duro y estable a los cambios de humedad que la madera de albura y de pino radiata. Respecto las propiedades mecánicas, la madera de pino radiata es significativamente superior a la de albura y duramen de pino pinaster; en cambio estas dos maderas presentan una resistencia a flexión y compresión parecidas, como se también se refleja en la bibliografía consultada (JIMÉNEZ, 1999; BERTHIER et al., 2001; PERAZA et al., 2004).

Aunque en este caso el duramen del pino pinaster presenta una mayor densidad que la albura y el pino radiata, éste no tiene mejores propiedades mecánicas, al contrario de lo que recoge gran parte de bibliografía de tecnología de la madera y caracterización de especies, donde se afirma que hay una relación directamente proporcional entre la densidad y las propiedades mecánicas (KOLLMAN, 1959; REMACHA, 1986; MARIÑO et al., 2002; VIGNOTE y MARTÍNEZ, 2006; MARTINEZ y LAZARO, 2007). La contradicción a lo comentado anteriormente es debido a que el pino radiata tiene una mayor resistencia a pesar de presentar una menor densidad y el duramen, siendo más pesado, no resiste tanto, encontrándose limitado por el proceso de impregnación de las paredes celulares, ya que forma una madera más frágil al perder la elasticidad del material.

Con todo lo dicho, se puede afirmar que la madera de pino radiata y albura de pino pinaster presentan un alto grado de similitud, sobre todo en lo referente a las propiedades físicas (Figura 3), debido seguramente a que en la madera de pino radiata hay una mayor proporción de madera de albura que de duramen. De esta manera, las dos maderas, convenientemente dimensionadas, se podrían utilizar como madera estructural, aunque con el pino radiata se soportan mayores cargas con menores secciones, por su mayor resistencia. Su utilización sería más adecuada en la clase de servicio 1, ya que por su mayor contracción volumétrica es mejor que ésta se utilice en lugares donde la humedad varíe poco. Además, esta propiedad también se debe tener en cuenta para establecer unos procesos de secado adecuados, y así evitar fendas y deformaciones excesivas. El duramen, en cambio, tendría una mejor utilidad en exterior bajo cubierta (clase de servicio 2), por su mejor estabilidad frente los cambios de humedad, aunque utilizando mayores secciones por su menor resistencia mecánica. Sin embargo, no se puede utilizar en una clase de servicio 3 o 4 porque el duramen de *Pinus pinaster* es medianamente o

poco durable contra hongos y sensible a las termitas y éste no se puede tratar con producto protector por ser no impregnable.

Con la ayuda del análisis discriminante (Figura 4) se ha observado que, con los ensayos realizados, las propiedades mecánicas ayudan a diferenciar la madera de pino radiata, ya que sus muestras se sitúan en torno a los vectores que definen tales propiedades. En cambio, la madera de duramen de pino pinaster se distingue mediante su mayor densidad, dureza e higroscopicidad. Finalmente, la mayor contracción volumétrica es la propiedad que permite diferenciar la madera de albura del pino pinaster.

6. Conclusiones

Con los ensayos físico-mecánicos realizados sobre madera de pequeñas dimensiones y los métodos estadísticos aplicados se muestra que la madera de *Pinus radiata*, a pesar de tener menor densidad, presenta mejores propiedades mecánicas que el duramen y albura de *Pinus pinaster*. En cambio, entre estas dos últimas maderas no hay diferencias significativas de resistencia a flexión y compresión. Sin embargo, la madera de duramen del pino pinaster es más densa, dura e higroscópica, que las otras dos analizadas, y la albura tiene una contracción volumétrica superior.

Por lo que respecta a las propiedades físico-mecánicas de la madera de pino pinaster catalán, ésta es más densa, higroscópica y dura que la del resto de España. En cambio, la madera de pino radiata es más densa, higroscópica, dura y más resistente a compresión axial y a flexión estática que la del territorio español. De manera que, a partir de los datos obtenidos, se puede concluir que la madera de *Pinus radiata* y de albura y duramen de *Pinus pinaster* de origen catalán puede ser transformada en procesos industriales análogos a los realizados en el resto de la península, para estas mismas especies, e incluso obtener productos de mayor calidad.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte a la investigación del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya.

8. Bibliografía

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1977a. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico. UNE 56-531-77. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1977b. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la higroscopicidad. UNE 56-532-77. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1977c. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de las contracciones lineal y volumétrica. UNE 56-533-77. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1977d. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la dureza. UNE 56-534-77. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1977e. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la compresión axial. UNE 56-535-77. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1977f. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la flexión estática. UNE 56-537-77. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1978a. Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas para ensayos. UNE 56-528-78. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN 1978b. Características físico-mecánicas de la madera. Interpretación de los ensayos de los resultados. UNE 56-540-78. Madrid: AENOR.

BADIA CARDÚS, A.; ESTRADA ARIMON, R.; VILANOVA PRATS, I. 1983. Els boscos de Catalunya II. Publicacions de l'Abadia de Montserrat. 154 pags. Barcelona.

BARREIRO MOURIZ, O. 2003. La Gestión Forestal Sostenible en las Especies de Crecimiento Rápido y su Selvicultura. XII Congreso Forestal Mundial. .Quebec 21-28 septiembre 2003.

BERTHIER, S.; KOKUTSE, A.D.; STOKES, A.; FOURCAUD, T. 2001. Irregular Heartwood Formation in Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait): Consequences for Biomechanical and Hydraulic Tree Functioning". *Annals of Botany* 87:19-25.

BRONCANO, M.J.; BOADA, M. 2005. Estudi sobre la distribució de les plantacions forestals de coníferes al Parc Natural del Montseny. VI Trobada d'Estudiosos del Montseny. Diputació de Barcelona. p. 91-97. Barcelona.

BURRIEL, J.A. [et al.] 2000-2004. Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. CREA. 108 pp. Bellaterra (Barcelona).

CASADO, M.; GARCÍA, M.; ACUÑA, L. 2001. Caracterización físico-mecánica del *Pinus pinaster* Ait. procedencia Sierra de Oña (Burgos), influencia del factor rectitud. A: III Congreso Forestal Español. Montes para la sociedad del nuevo milenio. Mesa 9. Industria y desarrollo tecnológico. Granada: Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. p. 545-553.

CIGALAT FIGUEROLA, E.; SOLER BURILLO, M. 2003. Guía de las principales maderas y de su secado. Ediciones Mundi-Prensa. 540 pp. Valencia.

CONDE GARCÍA, M.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I. 2007. Manual técnico de secado de maderas. AITIM. 249 pp. Madrid.

DANS DEL VALLE, F.; FERNÁNDEZ DE ANA-MAGÁN, F.J.; ROMERO GARCÍA, A. 1999. Manual de selvicultura del Pino Radiata en Galicia. Proyecto Agrobite.

FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; DÍEZ BARRA, M. R.; CONDE GARCÍA, M.; BAONZA MERINO, M.V.; GUTIERREZ OLIVA, A.; HERMOSO PRIETO, E.; MÍER PÉREZ, R.; TROYA FRANCO, M.T.; RODRIGUEZ TROBAJO, E. 2009. Estado del arte del conocimiento sobre las propiedades de la madera de pino laricio. V Congreso Forestal Español. 5CFE01-649. Ávila 21-25 de septiembre 2009.

FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; GUTIÉRREZ OLIVA, A.; BAONZA MERINO, M. V.; DÍEZ BARRA, M.R. 1995. Características físico-mecánicas de las maderas de especies de crecimiento rápido de procedencia española. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, vol. 4, núm. 2 : p. 251-261.



GARCÍA ESTEBAN, L.; GUINDEO CASASÚS, A.; PERAZA ORAMAS, C.; DE PALACIOS DE PALACIOS, P. 2003. La madera y su anatomía. Ediciones Mundi-Prensa. 330 pp. Madrid

JIMÉNEZ PERIS, F.J. 1999. La madera: propiedades básicas. Grupo Estudios Técnicos. 160 pp. Madrid

KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones, Tomo I. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE). 675 pp. Madrid

MARIÑO ALLENGUE, R.; FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, M^a. E.; FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, C. 2002. Análisis comparativo de la densidad de la madera de *Pinus sylvestris* L. mediante la utilización del Resistógrafo. Cis-Madera, 2002. N° 9, p. 60-70

MARTÍNEZ ALVAREZ, F.; LÁZARO SÁNCHEZ M^a. T. 2007. Variabilidad de la propiedades físico-mecánicas de la madera de cuatro regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton. Montes, núm: 90 : p. 16-23.

PERAZA SÁNCHEZ, F. [et al.] 2004. Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario. AITIM. Madrid. ISBN: 84-87381.

PRADES, C.; MONTERO, A.; RUBIO, J. 2001. Características físico-mecánicas de la madera de *Pinus pinaster* Ait., procedente de los montes del Marquesado (provincia de Granada). A: III CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL. Montes para la sociedad del nuevo milenio. Mesa 9. Industria y desarrollo tecnológico. Granada: Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. p. 665-670.

REMACHA GETE, A. 1986. Características físico-mecánicas de la madera de pino gallego y sus aplicaciones. AITIM 02/4 72 pp. Madrid.

RIESCO MUÑOZ, G.; DÍAZ GONZÁLEZ, J. 2007. Características físicas de la madera de pino procedente de raleos en el noroeste de España. Maderas, ciencia y tecnología, vol. 9, núm. 3: p. 233-244.

RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R.; ÁLVAREZ GOZÁLEZ, J.G.; CELA GONZÁLEZ, M.; MANSILLA VÁZQUEZ, P.; VEGA ALONSO, P.; GONZÁLEZ ROSALES, M.; RUÍZ ZORRILLA, P.; VEGA ALONSO, G. 1997. Manual técnico de selvicultura del Pino pinaster. Proyecto Agrobite.

ROWEL, R.M. 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites. Ed. Taylor & Francis. 703 pp. London.

VIGNOTE PEÑA, S.; MARTÍNEZ ROJAS, I. 2006. Tecnología de la madera - 3.^a ed. Ediciones Mundi-Prensa. 678 pp. Madrid.