ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA EN EL FUSTE.

F. Rodríguez [1], M. Broto [2], M. Badía[3], A. García [2], S. Closa[2]
[1] Universidad de Lérida. Dep. Producción Vegetal y Ciencia forestal.
Av. Rovira Roure 177. 25198 Lérida. E-mail: francisco.rodriguez@pvcf.udl.es
[2] Universidad de Lérida. Dep. Ingeniería Agroforestal.
Av. Rovira Roure 177. 25198 Lérida. E-mail: mbroto@eagrof.udl.es
[3] Institute National de Recherche Agronomique. Champenoux. LERFOB
E-mail: badia@nancy.inra.fr

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la variabilidad de la densidad de la madera, así como sus principales fuentes de variación; entre árboles y dentro del árbol. Para ello se estudian dos metodologías distintas; una en la que se determina con menor precisión la posición en el árbol y en la que las probetas son de dimensión constante (de acuerdo con el ensayo correspondiente de las normas UNE-EN) e independiente del espesor de los anillos, y otra basada en probetas con un número fijo de anillos de crecimiento y dimensiones variables. Finalmente, se ejemplifica estas dos metodologías con dos estudios realizados por nuestro equipo, uno sobre una muestra de 26 pies de abeto (*Abies alba* Mill.) procedentes del Pirineo central según la primera metodología propuesta, y otro, mediante el análisis de probetas de edad constante, en el que se estudian 6 pinos radiata (*Pinus radiata* D.Don) procedentes del Montseny (Barcelona). Se investiga la variación de la densidad dentro del árbol en función de la edad, anchura y posición del anillo.

Palabras clave: Densidad, abeto, pino radiata, variabilidad.

ABSTRACT

In the present work one analyse the variability of the density of the wood, as well as its main sources of variation; between trees and within the tree. For it two different methodologies study; one in that the position in the tree is determined with smaller precision and in which the test tubes are of constant dimension (in agreement with the corresponding test of norms UNE-EN) and independent of the thickness of the ring, and another variable cradle in test tubes with a fixed number of growth ring and dimensions. Finally, one exemplifies these two methodologies with two studies made by our equipment, one on a sample of 26 trees of white fir (*Abies alba* Mill.) coming from Pyrenean the power station according to the first propose methodology, and another one, by means of the analysis of test tubes of constant age, in which 6 radiata pines (*Pinus radiata* D.Don) coming from the Montseny study (Barcelona). The variation of the density within the tree based on the age, width and position of the ring is investigated.

Key words: Density, white fir, radiata pine, variability.

INTRODUCCIÓN

Una de las características de la madera es su heterogeneidad, por lo que es de gran importancia el conocimiento detallado de las propiedades físico mecánicas y su distribución. Sólo así es posible prever el comportamiento de los productos elaborados.

La densidad de la madera no varía de forma constante al aumentar su humedad. Por debajo del punto de saturación de las fibras (PSF) varía no sólo el peso también el volumen. Dada su heterogeneidad, la densidad no es constante dentro de una misma especie ni dentro de un mismo árbol. Esta propiedad es la que más información aporta sobre el comportamiento de cualquier madera, ya que el resto de características físico-mecánicas están íntimamente correlacionadas con ella (Guitard, 1987).

Existen dos fuentes de variación respecto a las propiedades de la madera en el árbol; *(i)* las variaciones entre árboles y, *(ii)* las variaciones dentro del árbol. Las primeras vienen explicadas por causas genéticas, factores ecológicos y gestión de la masa, mientras que las segundas están condicionadas por su situación dentro del árbol.

Analizando exhaustivamente las variaciones dentro del árbol (en el caso de las coníferas) vemos como están condicionadas por (Nepveu 1994):

- **Edad respecto al cambium**: A igualdad de anchura de anillo y altura, la densidad tiende a aumentar con la edad.

- **Anchura de anillo**: A igualdad de edad y altura la densidad de la madera tiende a disminuir cuando la anchura del anillo aumenta.
- **Altura respecto al suelo**: A igualdad de edad y anchura de anillo la densidad tiende a disminuir con la altura.

Hay diferentes opiniones sobre la forma en que la densidad, al igual que el resto de propiedades, varía en el interior del árbol, aunque es total el acuerdo sobre que estas variaciones efectivamente existen.

Dado que la mayoría de las veces la variación dentro del árbol es superior a la variación entre árboles (Zobel et al. 1989), es imprescindible cuantificarla y definirla de la forma más precisa, puesto que nos va a condicionar los productos que podemos obtener.

MATERIALES Y MÉTODOS.

En el presente trabajo se presenta la comparación de dos metodologías distintas para el análisis de la variabilidad de la densidad de la madera: una en la que las probetas son de dimensión constante, y la otra en la que permanece constante el número de anillos, y por tanto el tamaño es variable. La muestra es distinta para cada una de las dos metodologías, tanto en especie, origen como en tamaño.

Probetas de dimensión constante.

En esta metodología se analiza la variabilidad de la densidad en tres de sus formas (anhidra, normal y básica) sobre una muestra de 236 probetas procedente de 26 pies de abeto del Pirineo Central. El estudio se realiza siguiendo las distintas normas UNE. Así, para el cálculo de la densidad de la madera (UNE 56.531-77) se realizaron probetas cúbicas de 2 cm de lado. Se analizó la variabilidad en función de la distancia a la médula de la probeta y de su altura respecto al suelo. Se estudiaron un total de diez posiciones distintas; cinco distancias (5, 10, 15, 20 y 25 cm respecto a la médula) y cinco alturas (0, 280, 560, 840 y 1160 cm respecto al suelo). En la Tabla 1 se observa el reparto de la muestra en los diez puntos muestreados.

Tabla 1: Reparto de las probetas en la metodología de dimensión constante

		Distancia a la médula					
		5	**10**	**15**	**20**	**25**	**Total**
	0	6	9	4	·	2	21
	280	14	21	19	9	5	68
Altura	**560**	16	16	20	10	5	67
	840	15	19	16	4	2	56
	1120	9	9	5	1	·	24
	Total	60	74	64	24	14	**236**

Probetas de anillos constantes.

En esta metodología se analiza la variabilidad de la densidad básica sobre una muestra de 6 árboles procedentes del macizo del Montseny (Barcelona), obteniendo un total de 989 probetas. Para intentar discernir la influencia de la edad, anchura de anillo y altura, sobre la densidad básica, se construyeron probetas con un número fijo de anillos (cinco anillos). Se analizaron 2 radios opuestos, en un total de 14 secciones transversales en cada árbol sobre la misma unidad de crecimiento (UC) en cada uno de ellos. Las probetas se extrajeron desde la corteza hacia la médula, eliminando así la influencia climatológica ya que todas las probetas se formaron en el árbol los mismos años. En las secciones más bajas se obtuvo un mayor número de probetas (un máximo de 10) al aumentar la altura de la sección el número de probetas iba decreciendo.

Las probetas denominadas como 1 fueron las probetas formadas en los últimos 5 años, las denominadas como 2, las formadas entre los últimos 10 años hasta los últimos 5 y así sucesivamente hasta la probeta 10. Respecto a la variable unidad de crecimiento, la UC1 representa la última “metida” que ha realizado el árbol, mientras que la UC56 representa la primera metida que realizó, hace 56 años. En la Tabla 2 se presenta el reparto de la muestra en función de los factores

estudiados.

Tabla 2: Reparto de las probetas en la metodología de anillos constantes.

		Probeta										
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Total**
Unidad de Crecimiento	**12**	12	12	·	·	·	·	·	·	·	·	24
	15	11	12	10	·	·	·	·	·	·	·	33
	19	12	11	11	·	·	·	·	·	·	·	34
	26	10	10	10	10	10	·	·	·	·	·	50
	30	12	12	12	11	12	12	·	·	·	·	71
	31	8	8	7	8	8	8	·	·	·	·	47
	33	11	12	12	12	11	12	·	·	·	·	70
	35	10	9	10	9	11	12	11	·	·	·	72
	40	11	12	12	12	12	12	12	11	·	·	94
	42	12	11	12	11	11	12	12	12	·	·	93
	44	9	9	10	10	9	10	10	10	·	·	77
	46	11	10	12	12	12	12	11	11	11	·	102
	47	12	11	12	12	11	12	12	12	11	·	105
	50	11	12	12	12	12	11	12	11	12	12	117
	Total	152	151	142	119	119	113	80	67	34	12	**989**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados se separarán en función de la metodología empleada.

Probetas de dimensión constante

Se obtuvo una relación entre las tres densidades estudiadas (densidad normal, densidad anhidra y densidad básica). Esta relación permite explicar cualquiera de las tres densidades estudiadas como combinación lineal de una de ellas. Los resultados de dicha regresión así como su coeficiente de correlación se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Relación y correlación entre las distintas densidades

Relación	Coef. Correlación
$D_{12} = 1.2547D_b$	0.9216
$D_a = 1.14765D_b$	0.9638
$D_a = 1.09299D_{12}$	0.9253

La bondad de ajuste es muy elevada, por lo que sólo se presentarán en el resto de la comunicación los resultados de la densidad básica. Así los resultados son comparables con los obtenidos con la otra metodología.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la densidad básica en cada uno de los puntos de estudio (diferentes alturas y diferentes distancias a la médula).

Tabla 4: Densidad básica (kg/m^3)

		Distancia a la médula (cm)					
		5	**10**	**15**	**20**	**25**	**Total**
Altura. Cm	**0**	429.12	413.08	387.13	·	424.52	413.81
	280	377.36	358.49	348.14	363.09	351.29	359.56
	560	356.54	344.90	335.39	357.45	335.00	345.98
	840	360.74	343.82	329.26	349.19	365.80	345.36
	1120	355.81	344.76	335.75	370.19	·	348.08
	Total	369.60	356.76	340.91	358.72	358.01	**356.00**

El análisis gráfico de los resultados permite clasificar por distancias o bien por alturas, como vemos en el Gráficos 1.

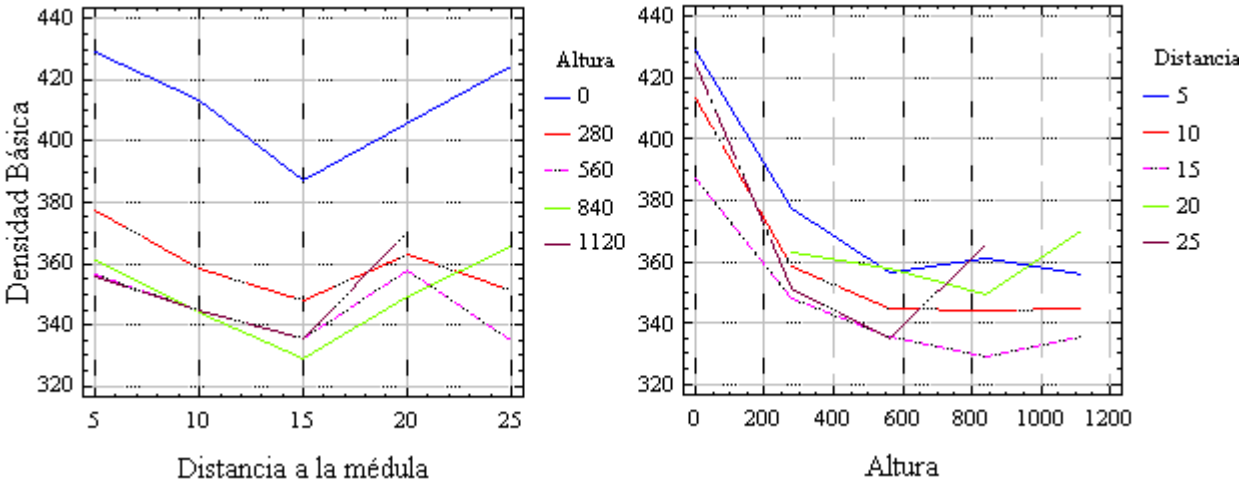

Gráfico 1: Densidad básica en función de la distancia a la médula, clasificada según su altura (a) y en función de su altura según su distancia a la médula (b).

La variación de la densidad manteniendo la distancia a la médula constante tiende a disminuir con la altura, mientras que si analizamos la variación de la densidad a altura constante, ésta disminuye de la médula hacia la corteza, para luego a los 15 cm aumentar hasta su valor original.. Hay que tener en cuenta que al estudiar la variación de densidad a distancia de la medula constante se esconde el efecto edad del anillo de crecimiento, puesto que un anillo formado en la base a 10 cm de la médula tendrá más edad que otro formado a la misma distancia y a 11 m del suelo. Cabe destacar la escasa variabilidad que presentan los resultados respecto al factor distancia a la medula, ya que solo es significativa la distancia 15 cm por su baja densidad.

La madera de abeto ensayada en este proyecto presenta una densidad media de 356 kg/m^3, con un máximo de 429 kg/m^3 situado en el punto a 5 cm de la médula y en la troza baja, y un mínimo de 329 kg/m^3 situado en el punto a 540 cm del suelo y a 15 cn de la médula. Respecto a la variabilidad entre árboles, encontramos un coeficiente de variación del 8,05%, mientras que la variabilidad máxima dentro del árbol la encontramos en un árbol procedente de Gounaux de Louchon, presentando un coeficiente de variación de 23,9%.

Probetas de tamaño variable

En este estudio sólo se calculó la densidad básica, al estar íntimamente relacionada con el resto de las densidades. Las probetas son de 5 anillos, extraídas de la corteza a la médula, por lo que resulta interesante no sólo comparar el efecto edad (similar al efecto distancia a la médula) y el efecto unidad de crecimiento (similar al efecto altura) sino también las probetas formadas el mismo año. En la Gráfica 2 se representa la evolución de la densidad en función de la edad y de la unidad de crecimiento a la que pertenece, apareciendo una clara tendencia a aumentar la densidad con la edad del anillo en la totalidad de las secciones estudiadas. Sólo se observa en alguna sección un comportamiento errático en los primeros 10 años (madera juvenil).

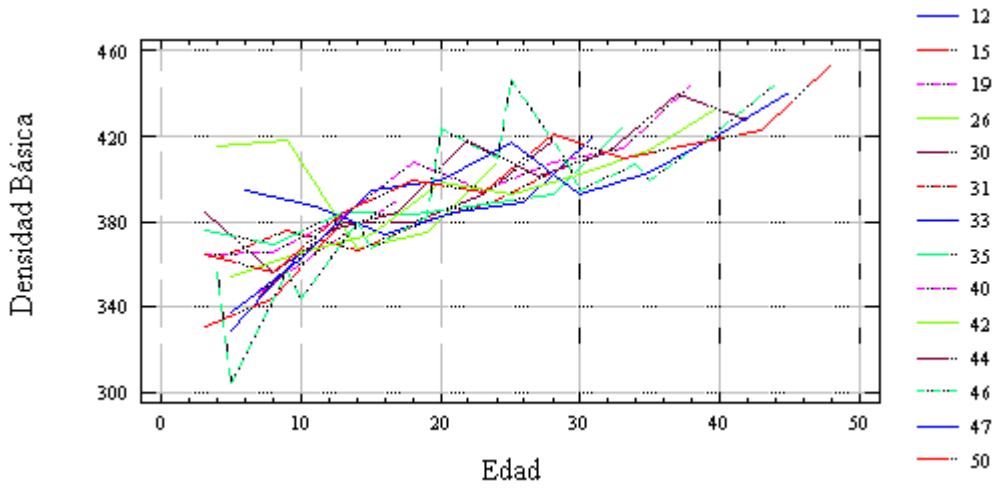

Gráfico 2: Densidad básica en función de la edad clasificada para cada unidad de crecimiento.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la densidad agrupados por su año de formación. En ella se puede ver la influencia de la altura, sin que se vea perturbada por las condiciones climáticas, ya que cada probeta (1 a 10) ha sido formada en el mismo periodo. Analizando probeta a probeta se aprecia la clara disminución de densidad al aumentar la altura (disminución de unidad de crecimiento).

Tabla 5: Densidad básica comparando probetas formadas el mismo año a diferentes alturas.

		Probeta										
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Total**
Unidad de Crecimiento	**12**	365.9	328.5									347.2
	15	380.4	343.8	331.3								352.2
	19	389.8	368.9	347.1								369.2
	26	407.2	374.7	367.2	418.0	414.9						396.4
	30	418.5	392.6	379.8	378.2	366.2	375.5					385.2
	31	406.5	390.0	380.4	366.2	375.4	362.1					380.1
	33	419.7	388.2	383.7	373.7	387.1	394.6					390.8
	35	424.0	392.7	387.8	383.5	384.3	369.5	375.4				387.4
	40	443.9	414.2	408.1	394.9	408.1	382.0	365.5	364.3			397.5
	42	434.1	413.0	402.4	392.1	398.5	373.3	365.3	354.3			391.3
	44	426.9	440.1	412.2	401.2	423.1	383.8	372.6	351.0			400.3
	46	443.9	417.6	406.2	406.0	413.3	386.0	378.2	354.8	351.7		395.4
	47	440.9	420.9	402.6	392.5	417.0	398.8	394.9	362.3	337.9		396.6
	50	453.4	423.2	415.7	410.2	420.7	393.4	399.4	384.4	356.4	364.1	401.9
	Total	418.1	392.4	387.7	393.1	401.0	382.5	379.0	361.9	348.9	364.1	**390.7**

La densidad media de la madera de pino radiata es de 390,7 kg/m^3, con un máximo de 453 kg/m^3 situado en la sección más baja y en el punto más alejado de la médula, y un mínimo de densidad de 328 kg/m^3, situado en la sección más alta. Respecto a la variabilidad entre árboles nos encontramos con un coeficiente de variación del 5,4%, mientras que la variabilidad máxima presente dentro de un árbol es de 12,7%.

Comparando estos resultados con los ofrecidos por el abeto, se observa que la densidad media del abeto es inferior a la del pino radiata, del orden de un 10%. En ambos casos la variabilidad dentro del árbol es mayor a la variabilidad entre árboles.

CONCLUSIONES

Lejos de pretender caracterizar la densidad del pino radiata y del abeto, lo que se persigue con este estudio es el conocimiento pormenorizado de su distribución espacial en el tronco, analizándola mediante dos metodologías distintas.

El estudio con probetas de dimensión constante infravalora el efecto edad del anillo, al no corresponder, a distintas alturas, con la distancia a la médula.

El estudio con probetas de anillos constantes da los resultados más robustos. Evita el sesgo producido por la influencia climatológica sobre la densidad de la madera y separa el efecto radial (edad del anillo) y axial (unidad de crecimiento). Además explica la variación en términos fisiológicos (edad de formación) y no dendrométricos (distancia a...).

En el caso del abeto, la densidad disminuye con la altura, no pudiendo describir ningún patrón claro en el sentido radial. En general, se cumple que es mayor en las proximidades de la médula y en la parte más externa del tronco. Las mayores fluctuaciones se verifican en la parte más baja del tronco (de 0 a 3m).

En el caso del pino radiata, el comportamiento es el típico de una conífera de crecimiento rápido; disminuyendo la densidad en sentido axial y aumentando en sentido radial, encontrando su mínimo en la zona más alta y su máximo en la zona más externa.

La variabilidad dentro del árbol es mayor, en ambos casos, a la variabilidad entre árboles tal y como apuntan diversos autores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores muestran su especial agradecimiento a Josep Argemí Relat (Diputació de Barcelona) y a Maderas Safont Pedarrós S.A., por facilitarnos los árboles del estudio.

BIBLIOGRAFÍA.

- GUITARD D., 1987. *Mécanique du matériau bois et composites.* CEPADUES ÉDITIONS.
- NEPVEU G., 1994. *Le bois matériau d'ingenierie. Chapitre IV: Variabilité*. ARBOLOR. Nancy. 127-182 p.
- ZOBEL B.J., VAN BUIJTENEN J.P., 1989. *Wood variation. Its causes and control.* Springer Series in Wood Sciences, 355 p.