

SILVICULTURA y CALIDAD DE MADERA

Santiago Vignote Peña ¹

Isaac Martínez-Rojas ²

Antonio Villasante Plágaro ³

INDICE

- Introducción
- Objetivos
- Desarrollo y discusión
 - El turno
 - Influencia en el diámetro del fuste del árbol
 - Influencia en el porcentaje de nudos
 - Influencia en el porcentaje de madera juvenil
 - Influencia en la conicidad
 - Influencia en el porcentaje de duramen
 - Influencia en los defectos de la fibra
 - Influencia en los defectos de costillaje
 - Influencia en las tensiones de crecimiento y consecuentemente en los defectos de fendas de cuadratura, médula débil y deformaciones en la elaboración
 - Influencia en la aparición de acebolladura
 - Influencia en las alteraciones biológicas
 - La espesura: espaciamiento inicial y cortas intermedias
 - Sobre el diámetro de los pies
 - Influencia sobre la textura
 - Sobre la rectitud del fuste
 - En el número y diámetro de los nudos
 - Otros efectos de las claras
 - Podas
 - Efecto sobre el número de nudos y su tamaño
 - Efectos en la forma del fuste
 - Efectos en el crecimiento de los pies
 - Efectos sobre la madera juvenil
 - Efectos sobre la producción de bolsas de resina, kino u otras sustancias.
 - Abonado
 - Riego
 - Sanidad
- Conclusiones
- Referencias

¹y ² Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Economía y Gestión Forestal
santiago.vignote@upm.es

³ Universidad de Lérida

INTRODUCCIÓN

Sorprende la lectura de Monceau, D. (1773) detallando la influencia de las condiciones ambientales, suelo, clima, orientación, espesura, situación dentro de la masa, edad del árbol, etc., en la calidad de la madera, detallando para las especies más importantes de Europa, el uso de la madera y las condiciones ambientales más adecuadas para ese uso de cada madera. A ello lo dedica los capítulos III, IV, V y VI de las páginas 43 a 133 del tomo I.

Foto nº1: Portada de la traducción del libro de Monceau

TRATADO

DEL CUIDADO Y APROVECHAMIENTO
DE LOS MONTES Y BOSQUES,
CORTA, PODA, BENEFICIO Y USO
DE SUS MADERAS, Y LEÑAS:

ESCRITO EN FRANCES

Por el célebre Mr. DUHAMEL DU MONCEAU;

Y TRADUCIDO AL CASTELLANO CON VARIAS NOTAS

Por el Dr. D. CASIMIRO GOMEZ DE ORTEGA, Primer Catedrático del Real Jardín Botánico, é Individuo de las Reales Academias de la Historia, y Médica de Madrid, y de la Sociedad Botánica de Florencia.

PARTE PRIMERA.



MADRID. MDCCLXXIII.

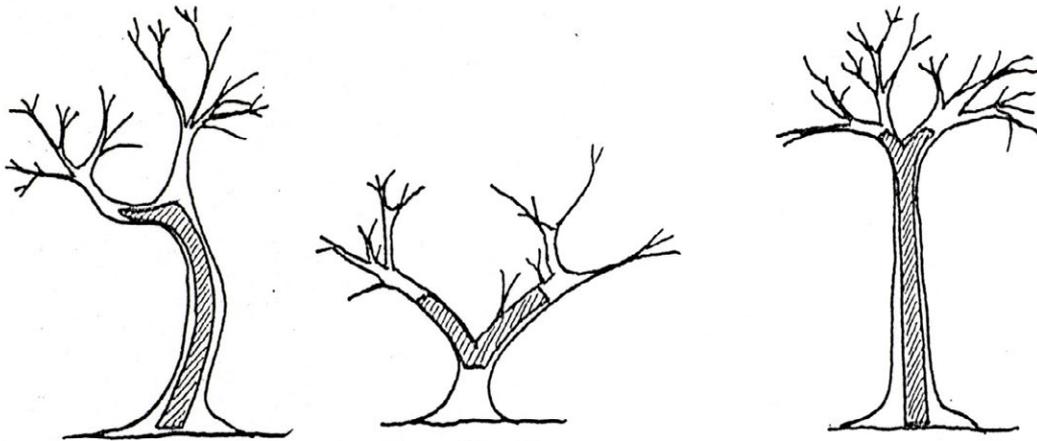
Por D. JOACHIN IBARRA, Impresor de Cámara de S.M.

A expensas de la Real Compañía de Impresores, y Libreros del Reyno.

CON LAS LICENCIAS NECESARIAS.

En estos siglos, la adecuación de la calidad a los requisitos de su uso se basaba en la búsqueda por huroneo selectivo de los pies que poseían las propiedades requeridas (Fernández, F. 2011) o en provocar deformaciones desde edades jóvenes a los árboles para adecuar su forma a su uso previsto (esquema 1)

Esquema 1: arboles especialmente deformados para su adecuación a cuadernas.



Con el inicio de la silvicultura como ciencia, se ha ido trabajando en las mejoras fenotípicas de los árboles, aunque el impulso más importante ha sido en la búsqueda de la mejora en la producción más que en la mejora de la calidad. La causa de ello se ha debido fundamentalmente a dos aspectos siguientes:

- La variabilidad intraespecífica de las características de un árbol varía con la especie de que se trate y de la característica que se analice. En los aspectos de las propiedades dendrométricas del árbol, tales como altura, diámetro y volumen, la variabilidad es en general muy grande, mientras que en los aspectos de las propiedades físicas o mecánicas del árbol la variabilidad es muy pequeña. Así, en la *Gmelina arborea* Linn., Roxb. se encontró valores de coeficiente de variación de más del 150% en las características de volumen, o de solo el 8,5% en las características de densidad de la madera (Balcorta y Vargas, 2004). El Forest Product Laboratory (1999), estudiando aproximadamente 50 especies de madera estimó los valores medios de los coeficientes de variación de las principales características físicas y mecánicas de la madera, los valores oscilaron entre el 10% de la densidad al 34% de la dureza, este último valor tan alto, más debido a la anisotropía de la madera que a la variabilidad en si misma de la especie. Es decir, que la mejora de una especie en los aspectos productivos tiene un margen mucho más amplio que en la mejora en las características físico-mecánicas de la madera.
- La calidad de la madera es una variable muy difícil de definir, pues este puede cambiar en relación con el uso que se pretenda. Así hay usos como los envases requieren que la madera ligera y blanca, mientras que en otros usos como los de parquet lo que requiere es dureza (densidad elevada) y un color apreciado por los consumidores y mejor que le proporcione cierta resistencia al ataque de insectos xilófagos.

Una de las variables más utilizadas para evaluar la calidad intraespecífica de la madera es la densidad, dado que esta característica está muy relacionada con las características mecánicas, la dureza y el rendimiento en la producción de tableros de desintegración y

pasta celulósica (Schimleck y Clark, 2008), pero su utilización se debe más a la rapidez de poder realizar su evaluación que a la verdadera definición de calidad de madera.

Aún a riesgo de ser incompleta, en la tabla 1 se detallan los principales factores que intervienen en la calidad de madera cuya utilización sea en forma maciza o en chapa (adaptado de Baillères y Durand, 2000).

En este cuadro se ha obviado, como factor de calidad, las propiedades mecánicas, por su elevada correspondencia con la densidad, aunque también podría incluirse, sobre todo en usos estructurales de la madera. En cualquier caso es una tabla abierta, en la que se podría incluir algunas particularidades.

Tabla 1: Factores y propiedades que afectan a la calidad de la madera

Factores de calidad de la madera	Propiedades de la madera	Comentarios
1. Factores Físicos	1.a Densidad 1.b Coeficiente contracción volumétrica 1.c Relación entre contracciones 1.d Higroscopicidad 1.e Dureza (Escala Monnin)	Entre 0,4-0,8 gr/ cm ³ Menor de 0,5% Menor de 2,2 Entre 1 y 9
2. Factores dendrométricos estructurales	2.a Diámetro del fuste 2.b Forma del fuste 2.c Tamaño y frecuencia de los nudos 2.d Orientación de la fibra 2.e Proporción de duramen y albura 2.f Altura del árbol	>20 cm Rectitud y conicidad
3. Factores estéticos	3.a Color 3.b Grano 3.c Textura 3.d Veta	Belleza de la madera
4. Factores Biológicos	4.a Resistencia a pudrición y termitas	Relación albura-duramen
5. Otros factores	5.a Relación resistencia madera adulta, madera juvenil 5.b Tensiones de crecimiento 5.c Bolsas de resina, enteamiento, gomas, aceites esenciales y depósitos 5.d Coloraciones 5.e Irregularidades de la anchura de los anillos de crecimiento	

Aunque la variabilidad de las características físico-mecánicas es muy pequeña, el precio que puede alcanzar una madera en función de sus características de calidad es muy grande. Así, Vignote et al 2006, establece los precios indicados en la tabla 2 para la madera en rollo de pino silvestre puesta en parque de fábrica, en donde los principales parámetros de calidad son los diámetro en punta gruesa y punta delgada de la troza ϕ_M ; ϕ_m , su longitud mínima L y la clase de calidad de acuerdo con la norma EN 1927.

Tabla 2: Precios de la madera en rollo de pino silvestre puesta en fábrica

Φ_M (cm)	Φ_m (cm)	L (m)	Clase de calidad	Precio (€/m ³)	Uso
-	45	2,6	A	425	Chapa a la plana
-	25	2,5	A-B	75	Madera aserrada para carpintería y mueble
30	10	6	B	50	Postes
12,5	7,5	1,5	B	50	Estacas, cercas, apeas
-	20	2,5	C	46	Madera aserrada construcción auxiliar
-	15	1,2	C	40	Madera aserrada envases y palets
40	6	2	D	33	Tableros de partículas, fibras y pasta papelera

Según esta tabla, la diferencia de precio de la madera puesta en fábrica supera ampliamente valores del 1000%, diferencia que se haría mucho más notable si esos precios se indicasen en la madera en pie.

Por tanto, la mejora de una especie en los aspectos de calidad, tiene una repercusión tan grande en el precio de la madera, que puede condicionar de forma muy importante la selvicultura que se aplique.

A continuación se analizan los factores selviculturales que afectan de alguna forma a los parámetros de calidad de la madera.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es recopilar los conocimientos técnicos y científicos que se tiene acerca de las posibilidades que tiene la selvicultura en modificar las propiedades de la madera en los factores de calidad indicados.

Para su desarrollo, se van a analizar los principales tratamientos selviculturales y su influencia en los principales defectos y alteraciones de la madera, describiendo primero su origen y características, después los problemas de uso que origina y por último, y como consecuencia, como le afecta la el tratamiento selvicultural.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

1. El turno

Es sin lugar a dudas, el elemento selvicultural que más puede influir en la calidad de la madera, pero no porque influya directamente en la resistencia de la madera, que fuera de los primeros años de crecimiento (madera juvenil) se puede decir que es bastante constante (Díez y Fernández-Golfín, 1998), sino por los siguientes efectos indirectos:

- *Influencia en el diámetro del fuste del árbol*

El diámetro del fuste es una de las variables que más determina el uso de la madera y el rendimiento en la transformación.

Foto n°2: Diferencia de diámetro entre un fuste de árbol joven con uno de árbol maduro



En la tabla 3, se establecen los destinos más usuales de la madera en España, según el diámetro en punta delgada y según su longitud.

Tabla 3: Destino de la madera según sus dimensiones. Vignote, S. *et al* (2006).

\ Dimensiones	Diámetro mínimo en punta delgada (cm)	Diámetro máximo en punta gruesa (cm)	Longitud mínima (m)
Aplicaciones \			
Apeas de mina	8	15	2,5
Estacas	8	15	1,5
Desintegración	6	35	1,0
Postes	10	45	6,0
Aserrío muebles, carpintería.	20	200	2,0
Aserrío construcción auxiliar	20	100	2,4
Aserrío envases y palets	15	40	1,2
Chapa y desenrollo	35	160	2,6

Con el diámetro aumentan los rendimientos de las operaciones de aserrado, desenrollo y chapa a la plana. En la tabla 4 se indican los diferentes rendimientos en el aserrado, tanto de carpintería como para envases, según el diámetro de la madera en punta delgada.

Tabla 4: Rendimientos del aserrado en función del diámetro sin corteza en punta delgada y del destino de la madera Hocquet, A. *et al* (1979).

Usos de la madera	Diámetro sin corteza en punta delgada (cm)	Rendimiento del aserrado %	Incremento del rendimiento
Carpintería industrializada	15	49	
	29	63	28%
Pallets	15	50	
	29	69	38%

Montero (1992) estudió el turno más económico del *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central, en España, basándose en el porcentaje de madera que es apta para su destino en chapa a la plana, cuyo valor en el mercado se sitúa entre 7 a 9 veces el valor que si se destina a aserrado de construcción y carpintería y alrededor de 15 veces el valor de si se destina a aserrado envases y embalajes y alrededor de 20 veces si se destina a la fabricación de tableros de desintegración. Analizando el porcentaje de chapa por clases diamétricas establece la tabla 5, que como puede apreciarse, a medida que aumenta el diámetro aumenta el porcentaje de madera para chapa, hasta llegar a la clase diamétrica de más de 70 cm, en el que el porcentaje se empieza a reducir, consecuencia del aumento de pies con pudrición, consecuencia de su decaimiento.

Tabla 5: Relación entre la clase diamétrica del árbol y el porcentaje de madera para chapa y el precio índice de la madera (Montero 1.992).

Clase diamétrica (cm)	% de madera para chapa	Precio índice estimado
20-24	0	100
25-29	0	100
30-34	0	100
35-39	1,5	105
40-44	10,5	132
45-49	16,3	149
50-54	20,5	161
55-59	24,1	172
60-64	26,7	180
54-69	28,8	186
≥70	27,0	181

Montero (1992), también relaciona la edad, con el diámetro medio, el porcentaje de pies mayores a 40 cm, el porcentaje de madera mayor a 40 cm, el porcentaje de madera para chapa y el precio índice, siguiente:

Tabla 6: Relación entre la clase de edad de la masa, con el diámetro medio, el porcentaje de pies mayores a 40cm, el porcentaje de madera mayor a 40 cm, el porcentaje de madera para chapa y el precio índice, Montero (1992)

Clase de edad	Φ_m (cm)	% $\Phi > 40$ (cm)	% madera > 40	% madera chapa	Precio índice
80-100	26,9	14,7	38,9	6,14	1,18
100-120	34,5	27,9	54,2	8,94	1,27
120-140	37,9	44,5	69,1	11,31	1,34
140-160	45,5	82,7	93,3	18,58	1,56

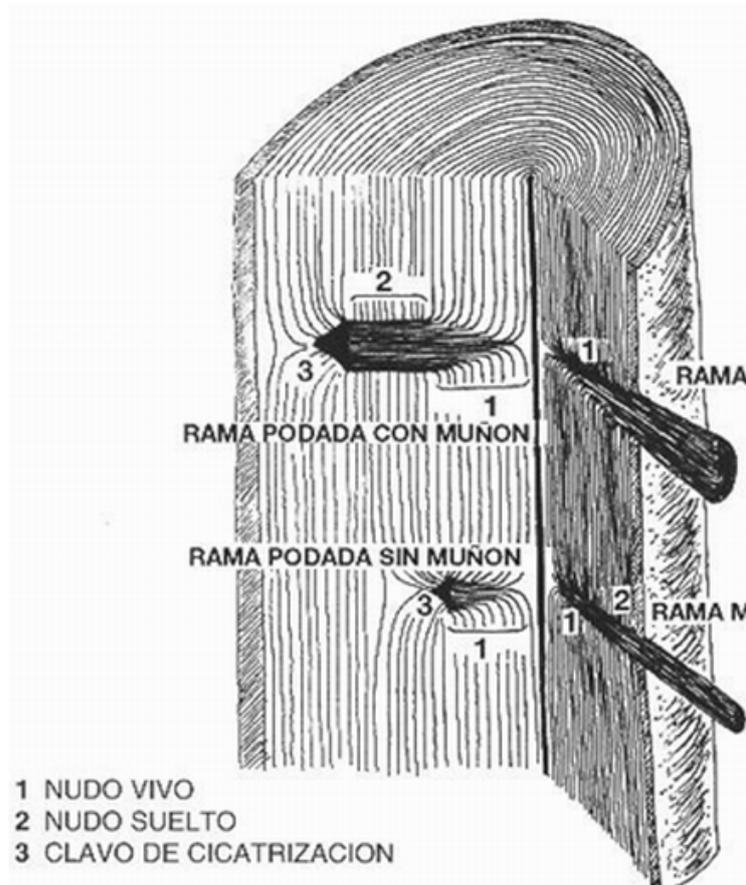
De todo ello se deduce la importancia del turno en el diámetro de la masa y en el valor de la madera.

- *Influencia en el porcentaje de nudos*

El nudo es una inclusión de la porción basal de una rama dentro del tallo del árbol. El origen de los nudos son, pues, las ramas; ahora bien, su influencia como defecto es muy variable, según sea el proceso seguido por esa rama en el contexto del árbol, y según sea el tipo de transformación industrial de ese árbol.

Los nudos se evalúan por su estado (sano, si corresponde a una rama viva, saltadizo, si corresponde a una rama muerta y podrido, si la rama muerta tiene ataque de hongos), por su tamaño, por su número y por su forma

Esquema 2: Tipos de nudos por su estado



Los nudos tienen una importancia fundamental en la calidad de la madera, hasta tal punto, que en la mayoría de especies es el parámetro que más influye en el valor de la madera.

Una referencia a la variación de precios entre madera podada y no podada, puede leerse en el libro de Hubert y Courraud, 1989, en la que el valor de los árboles aumenta entre el 170 y el 220% en maderas blandas y del 220 y el 550% en maderas duras.

Las razones de la importancia de los nudos, es que estos presentan los siguientes inconvenientes:

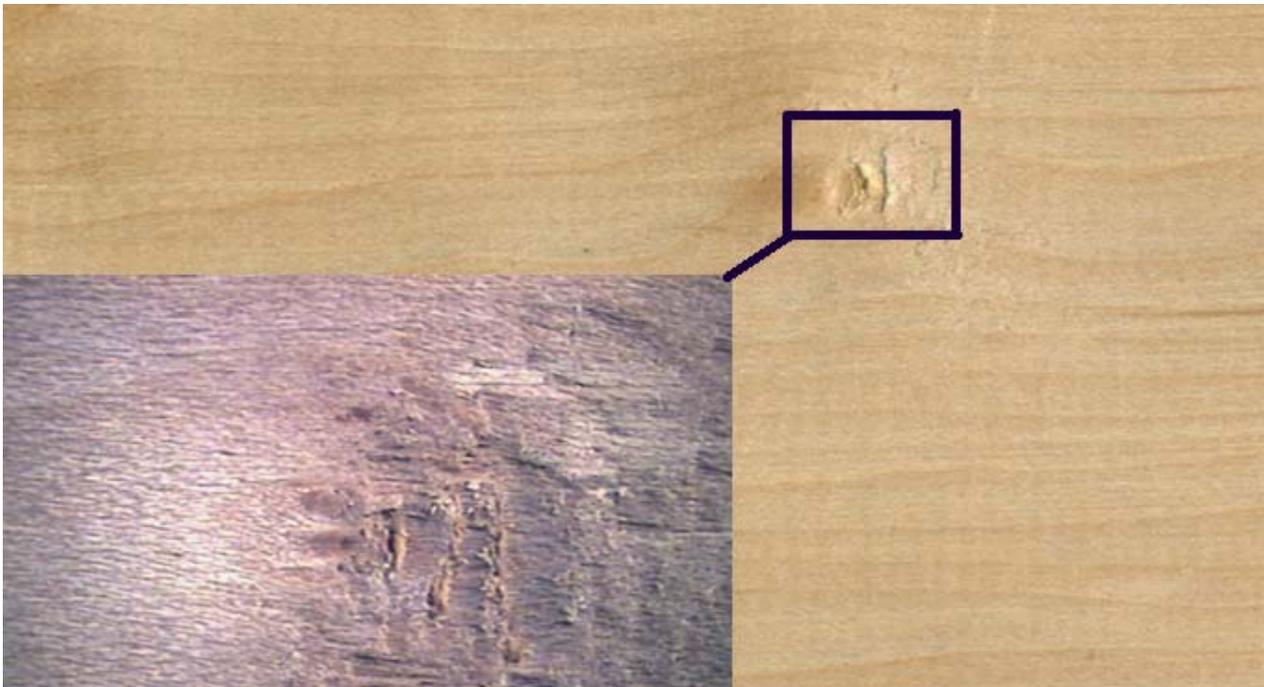
- *Inconvenientes de orden físico:*

Los nudos provocan dos tipos de efectos físicos en la madera:

- Son causa de deformaciones en las piezas, causada por la menor resistencia en las secciones donde aparece.
- Dificultan en gran medida la trabajabilidad de la madera, causando los siguientes inconvenientes:

- En las operaciones de corte: La disposición de la fibra en la madera, pasa de ser fundamentalmente en el sentido del eje del árbol, en el caso del fuste, a perpendicular al eje del árbol en la rama. Esta discontinuidad se acusa de forma importante durante el proceso de corte de la madera, dado que la dureza en el sentido perpendicular a la fibra es mucho mayor que en los sentidos transversales. Mayor dureza supone un mayor esfuerzo en elaborar la rama, que se traduce en pérdida de productividad, mayor desgaste de la herramienta, en una peor calidad de elaboración, pues muchos cortes se convierten en desgarro de las fibras (como el caso del desgarro de fibras que se indica en la foto 3), y por último, en el peor de los casos, supone un peligro para el operario.

Foto 3: Repelo causado por el desgarro de fibras causado por el nudo (escala 1:1) y detalle de ese repelo (escala 6,5:1)



- En las operaciones de unión y juntado: Si la unión se realiza por clavado o atornillado, esta se ve dificultada, primero porque al ser más dura la madera de los nudos, se necesita mayor esfuerzo en la operación, y segundo porque existe el riesgo elevado de que el nudo salte o se rompa, con lo que la calidad de la unión es nula. Si la unión se realiza por encolado, el nudo absorbe más cola que el resto de la madera (salvo que este se encuentre impregnado de resina), consecuencia de la orientación particular que tienen sus fibras, con el peligro que existe de desaparecer la línea de cola en esos puntos, además la unión del nudo a la cola es peor que en el resto de la madera, al poseer más sustancias de impregnación que se interponen entre las fibras y la cola.

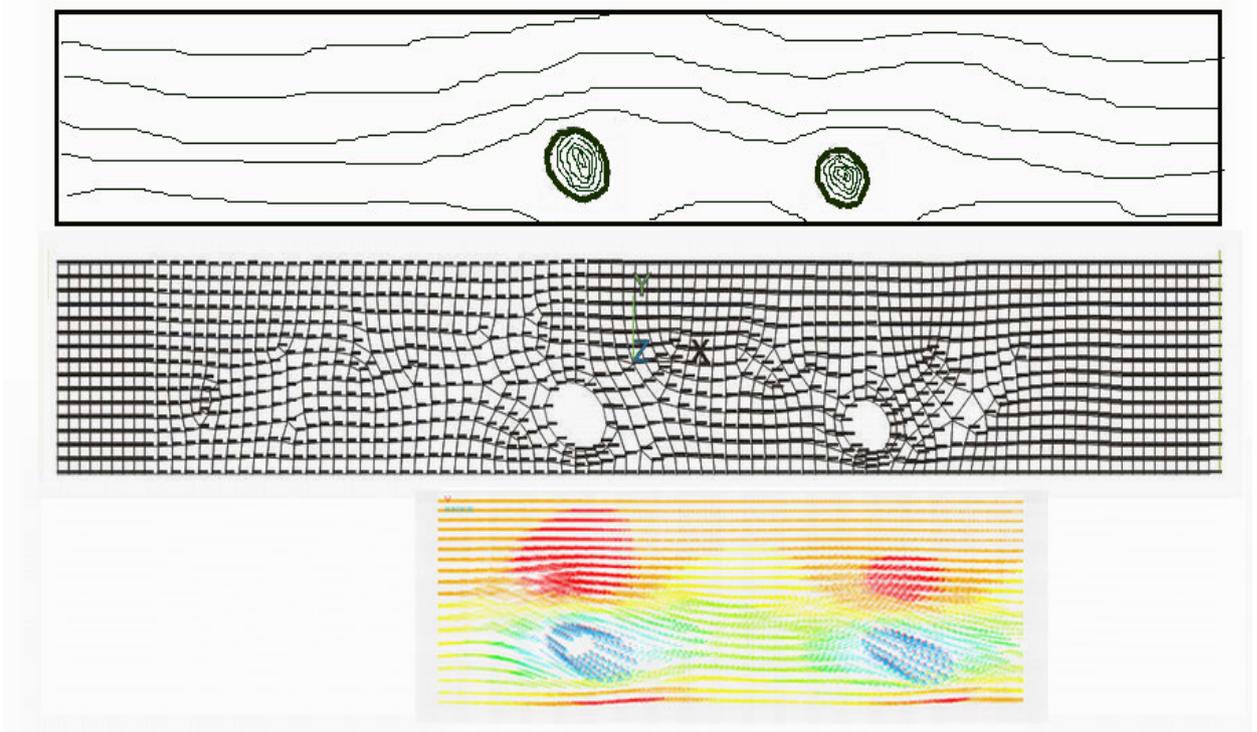
- En las operaciones de lijado: Al ser el nudo más resistente a la abrasión y al desgaste que el resto de la madera, después del lijado se manifestarán con protuberancias, que merman la calidad del producto.
- En las operaciones de barnizado: Por las mismas razones que en el encolado, el nudo dificulta enormemente la operación, mermando calidad al producto.

- Inconvenientes de orden mecánico.

La presencia de nudos disminuye de forma notable la resistencia de la madera, sobre todo a los esfuerzos de tracción y flexión, pudiendo suponerse como símil, la existencia de un agujero en la madera. En este aspecto, cuanto mayor sea el nudo, mayor será la pérdida de resistencia. También influye en la pérdida de resistencia, la posición del nudo en la pieza, siendo desfavorables los nudos situados en el centro.

En el esquema 3, se visualiza el efecto de la distribución de tensiones en una viga sometida a flexión, consecuencia de los nudos.

Esquema 3: Efecto de distribución de tensiones de una viga como consecuencia de los nudos (Basado en Guidos, 2011)



- Inconvenientes de orden estético

Los nudos rompen la uniformidad de los dibujos y del color de la madera. Según esto, cuanto mayor sea el nudo y mayor su coloración (caso de nudos negros), más deprecia la pieza de madera.

En las especies con poda natural, con la edad se reduce el porcentaje de ramas del fuste, sobre todo las situadas en la parte inferior y si las especies no tienen poda natural, la falta de luz en la zona baja del fuste, mantiene el grueso de las ramas y con ello se reducen en porcentaje relativo respecto de la sección del árbol (Echevarría, 1.959, de Champs, 1.989).

En las fotos 4 y 5 se observa la diferente ramosidad de una masa joven y una masa adulta de pino silvestre.

Foto nº 4 y 5 Ramosidad en masa joven y adulta de pino silvestre



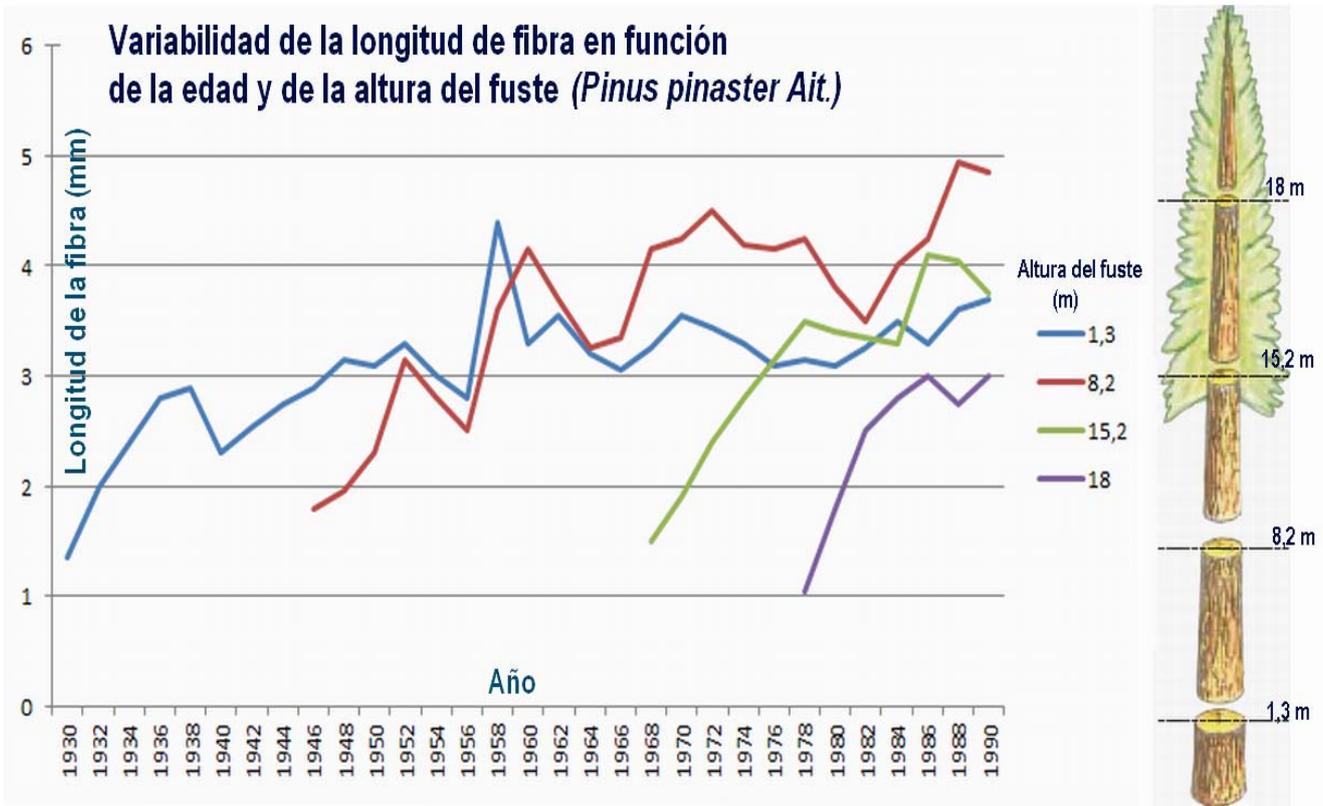
- *Influencia en el porcentaje de madera juvenil*

Los primeros anillos que forma el árbol, están constituidos por madera, que si bien no difiere en aspecto de la del resto, posee unas características de comportamiento mecánico y físico, diferentes a las del resto de la madera formada. Esta madera, denominada juvenil, es más ligera, hasta un 30% menor, con traqueidas o fibras más cortas, hasta un 100% menores, paredes celulares más delgadas, menor contenido en celulosa más hemicelulosa, mayor desviación de la fibra, y una proporción más alta de madera de compresión que la madera de los pies ya maduros (Pardos, 1.984).

Fisiológicamente, se relaciona la formación de madera juvenil con la edad del cambium (Zobel, van Buijtenen, 1.989), si bien, también se relaciona con la actividad

de las ramas, de forma que el árbol forma madera juvenil, a una determinada altura, en tanto tengan actividad las ramas situadas por debajo de esa altura (de Champs, 1.989). Es decir, que la parte del fuste, que ya no tiene ramas, forma madera adulta.

Gráfico nº1: Variación de la longitud de la fibra en función de la edad de formación del cambium y de la altura del árbol (Ezquerro, 1.995).



El número de anillos que afecta la madera juvenil varía entre los 5 a 20 primeros, oscilando este número, en función de la especie de que se trate (Zobel, van Buijtenen, 1.989). Así, cita 5 a 6 años para el *Pinus caribae* y *Pinus radiata* D.Don, 10 para el *Pinus taeda* y 20 para el *Pinus ponderosa*. Es decir, que la madera juvenil depende fundamentalmente de las características genéticas del árbol. Pero, si se tiene en cuenta la influencia de la actividad de las ramas, el número de anillos que afecta la madera juvenil, también depende de las características de la masa y de las labores selvícolas que se realicen. Cuanto antes, se poden o pierdan actividad las ramas del árbol, antes empezará a formar madera madura (de Champs, 1.989). Por último, a medida que se alargue el turno, el porcentaje de madera juvenil, disminuye.

Moya 2003, estudia la madera juvenil en el pino insignis y comprueba que el período juvenil finaliza cuando el crecimiento corriente anual en altura y en diámetro alcanza su máximo, fenómeno que ocurre entre los 7 y 11 años, no influyendo en ello, el posible abonado.

Los efectos que produce la madera juvenil son principalmente, la menor de resistencia, que puede llegar a ser de un 50 a un 60% inferior, y la de poseer un carácter más nervioso, sobre todo en el sentido axial, que lleva a un mayor porcentaje de piezas

curvadas de canto y de testa (Josza and Middleton, 1994).

Foto 6: Alabeo de cara en pino silvestre consecuencia de la madera juvenil



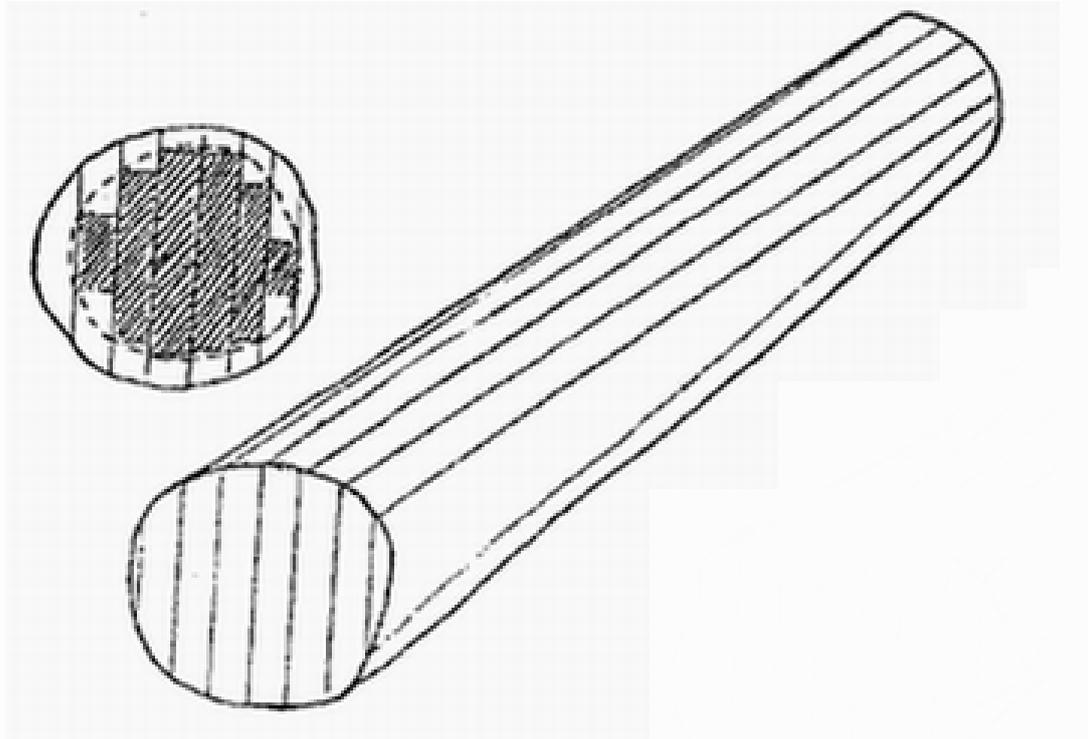
Por tanto, el turno influye en que, a medida que aumenta la edad del árbol, aumenta la proporción de madera adulta con respecto a la juvenil y con ello se reducen sus inconvenientes ya señalados.

- *Influencia en la conicidad:*

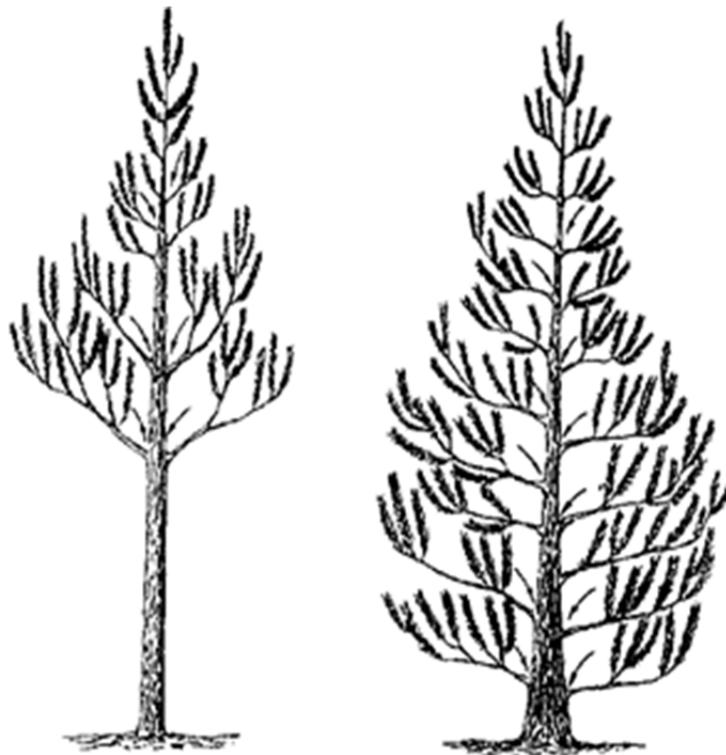
La conicidad tiene su origen en la superposición del crecimiento en altura y el crecimiento en grosor que tiene el árbol y que simplídicamente da una forma cónica.

El efecto más importante que provoca la conicidad es la pérdida de rendimiento de la madera en los procesos de aserrado, desenrollo y chapa a la plana, ya que sólo es aprovechable la sección correspondiente a la testa más pequeña. En los casos de valores del factor de conicidad muy grandes, los aserrados presentan defectos de inclinación de la fibra (esquema 4).

Esquema 4: Pérdida de rendimiento en el aserrado por conicidad



Esquema 5: Conicidad en arboles con y sin podar. Echevarría (1959)



Aunque parte de la conicidad del fuste es intrínseca a la especie y procedencia del árbol, otra parte importante es debida a la selvicultura seguida. Ya Leonardo da Vinci observó que un árbol siempre crece de manera que el grosor total de

las ramas más el tronco a una altura determinada es igual al grosor del tronco antes de la bifurcación o del verticilo de ramas. Así, los árboles que crecen aislados, tienen un factor de conicidad mucho más elevado que los que crecen en espesura. Igualmente, los árboles que pierden las ramas inferiores de una forma temprana tienen un factor de conicidad inferior que los que no las pierden (esquema 5).

Por tanto la reducción del número de nudos que lleva consigo la edad, o cuando menos la menor sección relativa, que se analizó en el punto anterior, lleva consigo una menor conicidad (Echevarría, 1.959, Josza and Middleton, 1994).

- *Influencia en el porcentaje de duramen*

El proceso de duraminización es uno de los efectos que lleva consigo la madurez y envejecimiento de la planta (Pardos, 1.985) por el que las células más internas del xilema, pierden su funcionalidad, muriendo las células vivas del parénquima y produciéndose alteraciones químicas en esa parte de la madera, principalmente por deposición de sustancias fenólicas, que tienen por consecuencia, proteger esta parte de la madera contra los agentes xilófagos (Kollmann, 1.959).

Foto 7: Aspecto del duramen, rodeado de una pequeña franja de albura en trozas de madera tropical



El inicio del proceso de duraminización es muy variable con la especie, así (Pardos, 1.985), en el eucalipto se inicia a los 5 años, en los pinos entre los 14 y los 20 años, en

los fresnos alrededor de los 60 a 70 años y en el haya se retrasa hasta los 80 o más años. La velocidad del proceso de duraminización también varía con la especie, estando ligado a la tasa de crecimiento (Wilkes, 1.991). Debe tenerse en cuenta que la superficie que ocupa la albura (superficie conductora de la savia) está ligada a la superficie foliar del árbol, si la superficie foliar es grande, lo debe ser también la albura y viceversa (Ojansuu, 1.995).

El principal efecto de la madera duraminizada, además del cambio de color, es el de la mayor dificultad de tratamiento (mayor impermeabilidad) y su mayor resistencia frente a organismos xilófagos, esto es, aumenta la durabilidad de la madera.

Los cambios físicos que suponen la duraminización, aparte de su cambio de apariencia, se reducen a un ligero aumento de la dificultad de trabajo de la madera, sobre todo en lo que respecta a los procesos de encolado y barnizado, dado el mayor contenido en sustancias extractivas, que en ocasiones exige un tratamiento previo, a base de sustancias disolventes.

En cuanto a la resistencia de la madera, tampoco existen cambios notables, en general es un poco más resistente a esfuerzo estático y un poco menos resistente frente a esfuerzos dinámicos.

La duraminización, en la mayoría de los casos, es una propiedad buscada en la madera y dado que la edad es el factor más importante para que se inicie la duraminización de la madera, el turno es una variable selvicultural de especial importancia.

- *Influencia en el enteamiento*

Ciertas maderas sufren de forma natural, o artificial, un proceso por el cual, parte o la totalidad del duramen, o incluso la albura, se impregnan de resina, dando un aspecto y cualidad a la madera característica.

El proceso de enteamiento natural, es característico de ciertas especies (denominadas generalmente como pino tea, caso del canario, amarillos del sur, laricio...), cuando el árbol alcanza una cierta madurez. No se tiene conocimiento de cuál es la razón de que estas especies se impregnan totalmente de resina, pero al igual que en la formación de bolsas de resina, debe obedecer a mecanismos de defensa del árbol, si bien en este caso el árbol debe de actuar de forma preventiva.

El proceso de enteamiento artificial, se ha logrado, a base de someter al árbol a la acción de fitocidas, tales como el paraquat (dicloruro de dimitil biperidilio). El árbol sufre unos cambios fisiológicos que conducen a un incremento de secreción de resina procedente de las células epiteliales de los canales resiníferos, que impregnan los lúmenes y las paredes de las traqueidas (Pardos, 1985).

La madera enteada provoca numerosos efectos en la madera que afectan fundamentalmente su trabajabilidad, dado que la resina dificulta enormemente cualquier proceso tecnológico. Así, en las operaciones de corte con sierra, cuchilla o

fresa, o desbaste por lijado, la resina embota la herramienta, de forma que merma parcial o totalmente su operatividad. Las herramientas deben limpiarse o sustituirse para poder continuar las operaciones. En las operaciones de encolado, barnizado o pintado, la resina se interpone entre la madera y la cola, barniz o pintura de forma que impide la unión que se pretende. La madera enteeda es muy difícil de trabajar, particularmente con máquinas industriales, hasta el punto de desestimarse, industrialmente, las piezas que poseen este defecto de una forma, más o menos extendida.

Foto 8: Aspecto de la madera aserrada enteeda, en este caso de pino silvestre



En el orden físico, debe destacarse su mayor densidad, hasta el punto de que en muchos casos, duplican los valores de la madera sin entear. También destaca su mayor estabilidad dimensional, y su durabilidad natural, realmente extraordinaria.

En el orden mecánico, la madera enteeda es más plástica que la madera sin entear y menos resistente, sobre todo ante esfuerzos dinámicos.

En el orden estético, las maderas enteedas suelen ser más apreciadas por el color tostado que adquieren.

Estas características mecánicas deficientes, unidas o su mayor peso, han motivado que esta madera sea desestimada en la construcción estructural, aunque en razón a esa durabilidad excepcional, la escasa higroscopicidad y la mejora estética hace que su valor en carpintería sea muy apreciado.

De la misma forma que con el duramen, en aquellas especies con tendencia natural a entearse, la edad, y por tanto el turno, es el factor más importante para el inicio de este proceso (Climent, *et al*, 1993).

- *Influencia en los defectos de la fibra*

En una madera de estructura normal, las fibras se orientan, bien (como es más general) en dirección longitudinal paralela al eje del árbol, o bien, (en menor proporción) en dirección perpendicular al eje del árbol, según los radios. Esta disposición tiene excepciones, bien en la madera juvenil, que suele tener una disposición espiralada cuyas consecuencias ya se han analizado, o también a partir de edades de madurez o senectud, en donde muchas especies la fibra pasa de seguir el eje del árbol, a adquirir ciertos ángulos produciendo fibra ondulada, fibras entrelazada e incluso en algunas especies madera avellanada (Cividini, 1983), pudiendo coexistir varias de estas alteraciones.

Esquema 6, 7 y 8: Trozas con fibra entrelazada, ondulada y festoneada.

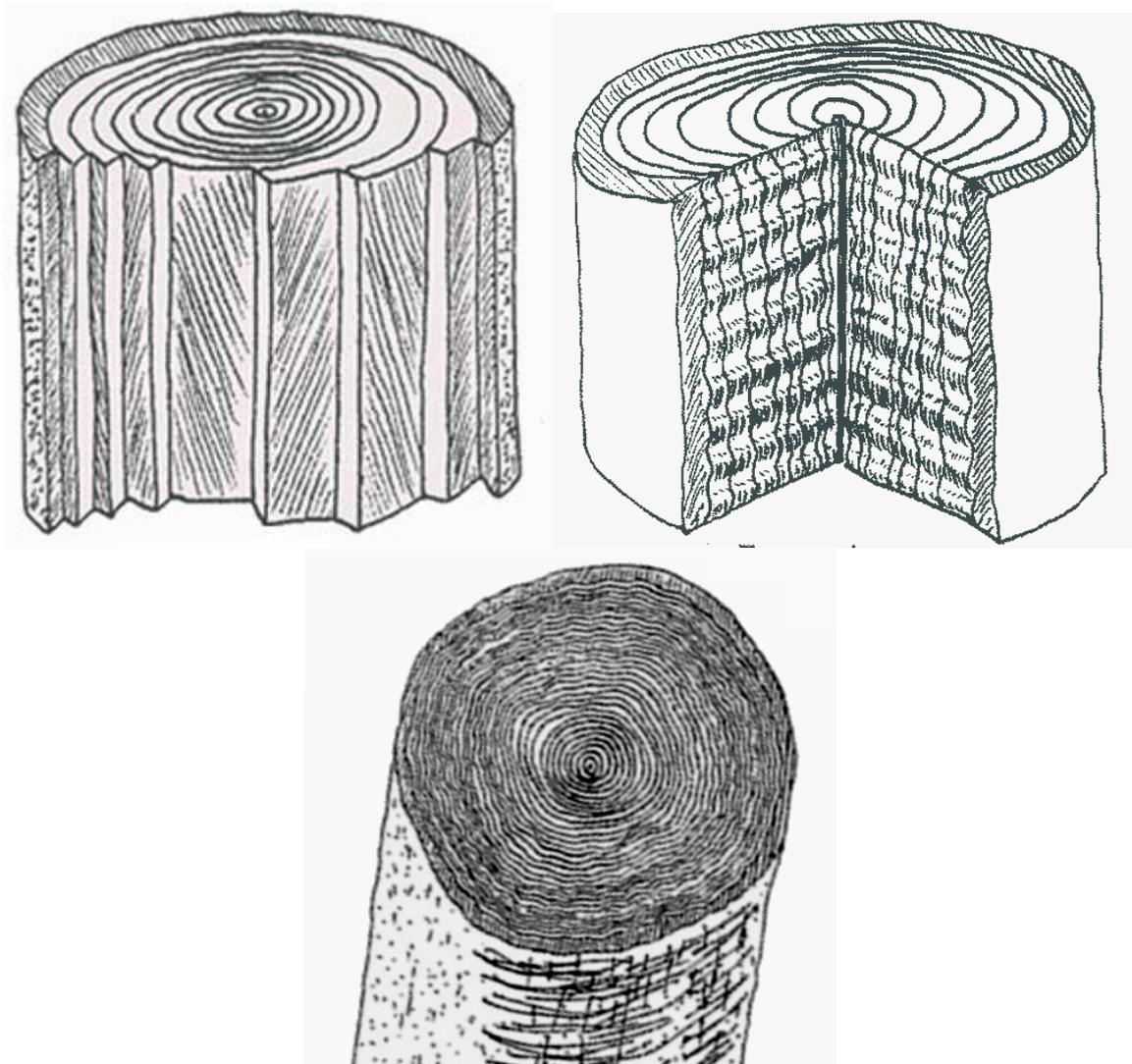


Foto 9: Aspecto de la base de un eucalipto con la fibra ondulada



Aunque estos defectos siempre suponen una cierta pérdida de resistencia en dirección paralela a la fibra, y ciertas dificultades de mecanización (riesgo de repelo), en muchos casos, estas alteraciones de la fibra tienen gran aceptación por los industriales, dada la belleza que toma la madera.

Foto 10: Repelo característico que se produce en el cepillado de la madera entrelazada

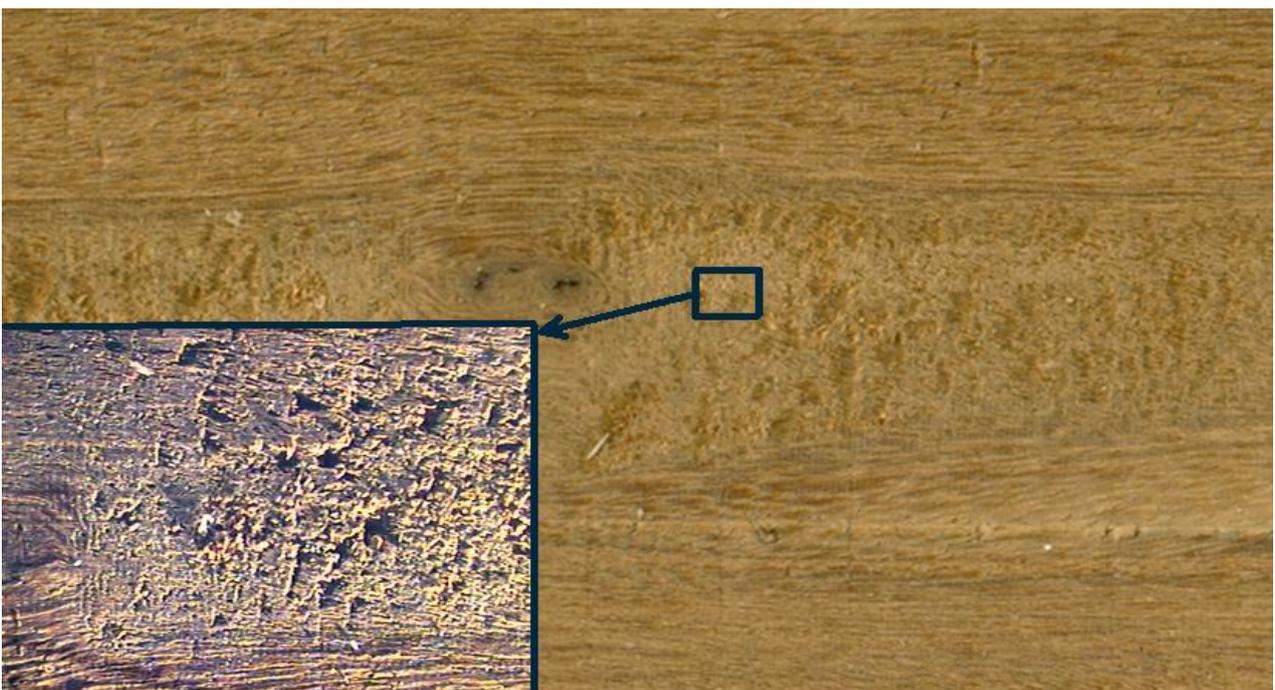
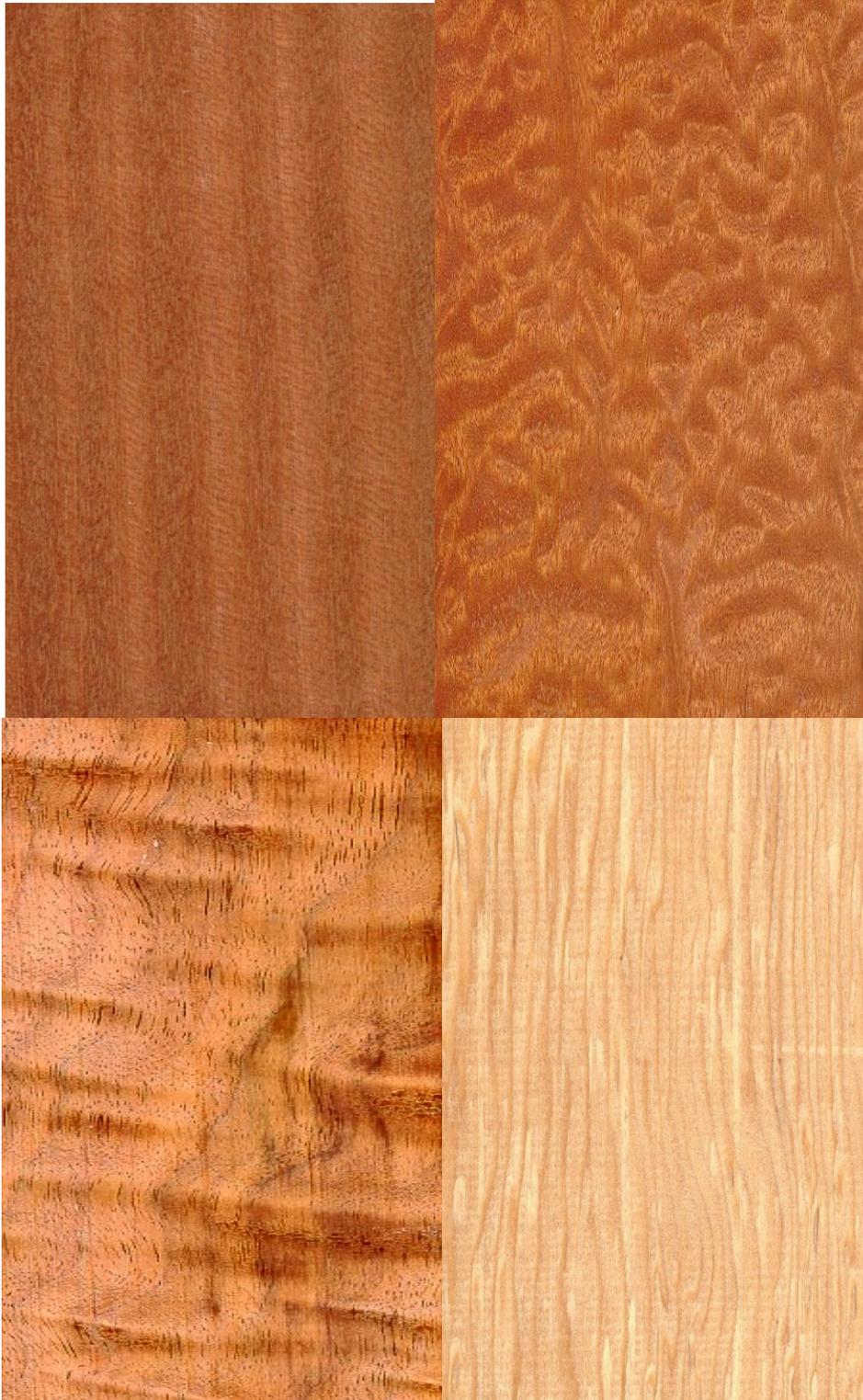


Foto 11, 12, 13 y 14: Aspecto de la madera con fibra entrelazada, moqueta, fibra ondulada y madera avellanada característica de árboles maduros o extramaduros de *Entandrophragma cylindricum* Sprague, *Juglans nigra* L y *Pinus sylvestris* L.



Por supuesto, la aparición de estas vetas está unido el turno, dado que es precisamente la edad, el factor que impulsa su aparición.

- *Influencia en los defectos de costillaje*

Este defecto característico de muchas especies tropicales, por lo que por su importancia, dentro de los objetivos de este libro, ha hecho conveniente su inclusión en este último apartado. En el bosque templado, el defecto de costillaje, también denominado de aletas, es muy pequeño, no siendo un defecto de gran importancia, por los escasos efectos que produce.

Como ya se ha indicado, algunas especies tropicales de grandes dimensiones, desarrollan unas costillas en la base del árbol, con una función de sostén. En ocasiones, el costillaje es tan desarrollado, que cubre una superficie de muchos metros cuadrados.

Foto 15: Aspecto del costillaje de un árbol maduro de *Ceiba pentandra* (L.) GAERTN.



Foto n°16, 17 y 18: Aspecto del costillaje de la limba (*Terminalia superba* Engl.& Diels) con 3,5 y con 5,5 años y a la edad adulta (bosque de Lancetilla, Honduras).



El efecto principal del costillaje, es la dificultad que supone talar el árbol, necesiéndose en muchas ocasiones construir un andamiaje a varios metros de altura sobre el suelo y apearse el árbol a partir de esa altura.

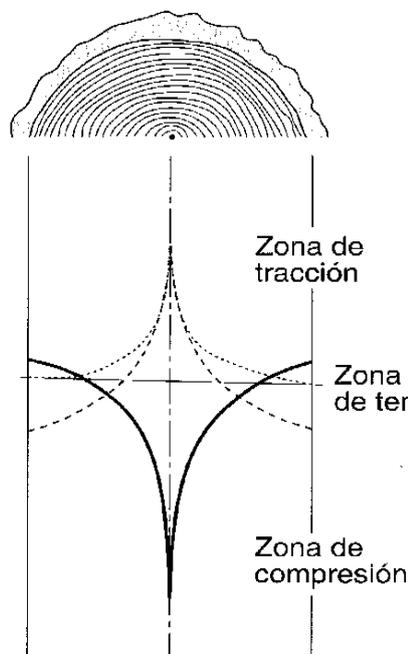
También es característico de la edad, en algunas especies, el inicio del desarrollo de costillajes u otras alteraciones de la forma del fuste, que son característicos de la madurez del árbol.

- *Influencia en las tensiones de crecimiento y consecuentemente en los defectos de fendas de cuadratura, médula débil y deformaciones en la elaboración.*

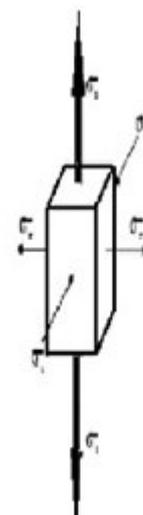
El origen de las tensiones de crecimiento parece estar en la búsqueda, por parte del árbol de una posición recta y estable. Para ello, las células de madera producidas por el cambium, tienden, en su proceso de maduración, a expandirse lateralmente y a contraerse longitudinalmente, pero la madera formada en años anteriores impide esta tendencia, con lo que se genera un estado de tensiones que, según las direcciones clásicas en la madera, es la representada en el esquema 8 (Gueneau, 1.973, Archer, 1.987).

Esquema 9: Distribución de las tensiones de crecimiento en un árbol

Distribución de tensiones en el plano longitudinal y transversal (radial y tangencial) en función de su distancia respecto del centro del árbol



Estado de tensiones de un elemento infinitesimal



..... Tensión radial
 - - - - Tensión tangencial
 ——— Tensión longitudinal

Además, las células de la madera de árboles con tensiones de crecimiento alto, posee una longitud de fibras y de vasos, un espesor de la pared celular, y por tanto de la densidad, mayor que los árboles que tienen tensiones inferiores (Malan, 1.989). De la

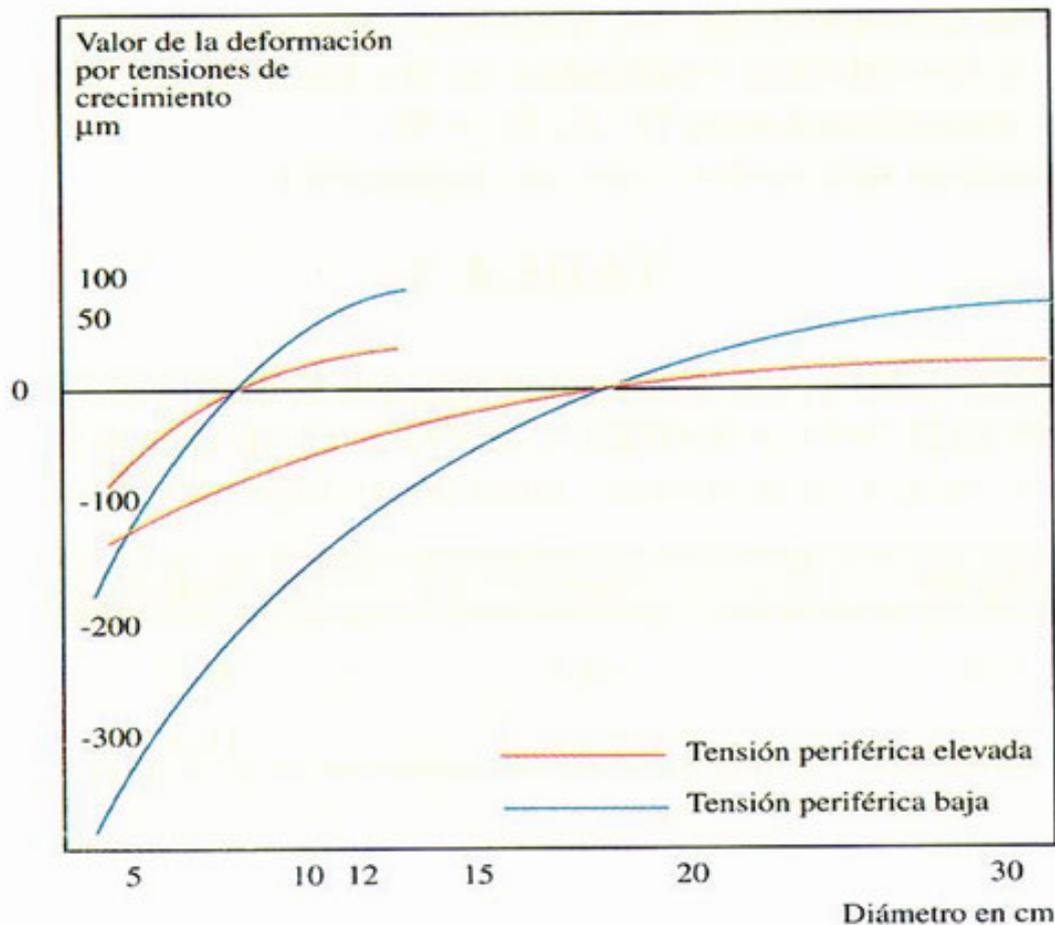
misma forma, a mayores tensiones, menor es el porcentaje de lignina de la madera, y mayor es la contracción volumétrica, y el módulo de elasticidad (Nicholson, Campbell y Bland). También está demostrado que la variación de características entre la madera juvenil y la madura es muy superior (variación radial superior).

La magnitud de las tensiones es muy diferente según la dirección que se considere. Así, las tensiones en dirección axial son 10 veces superiores a las transversales, y dentro de estas últimas, son más grandes las tangenciales que las radiales.

Los valores de las tensiones perimetrales de un árbol se mantienen constante a lo largo de la vida joven del árbol (que a su vez depende de la especie de que se trate y de las características genéticas del individuo), cuando llega la madurez de este, las tensiones perimetrales se relajan (Vignote et al, 1996)

También es importante, como a igualdad de tensiones perimetrales, la pendiente de la curva de distribución de tensiones a lo largo de la sección disminuye cuanto mayor es el diámetro (si bien el valor absoluto de la tensión interna de compresión es mayor), tal como indica el gráfico 2 (Boyd, 1.950).

Gráfico 2: Distribución de tensiones de crecimiento longitudinales según el grueso del árbol. Vignote (1996)



Las tensiones de crecimiento, causan los siguientes tipos de defectos:

- Fendas de cuadratura: Son fendas originadas en el árbol en pie, que se inician en la médula y que se extienden desde ella hacia el exterior de una forma radial, no llegando nunca a la madera joven. La causa de estas fendas tiene su origen en las tensiones tangenciales, que tiene su máximo valor en el centro del árbol, siendo creciente con el diámetro del árbol. Es esta la causa de que los árboles a los que afecte este defecto sean árboles gruesos, y con tensiones de crecimiento elevadas.

Foto 19: Fendas de cuadratura en fustes de árboles de *Eucalyptus globulus* Labill.



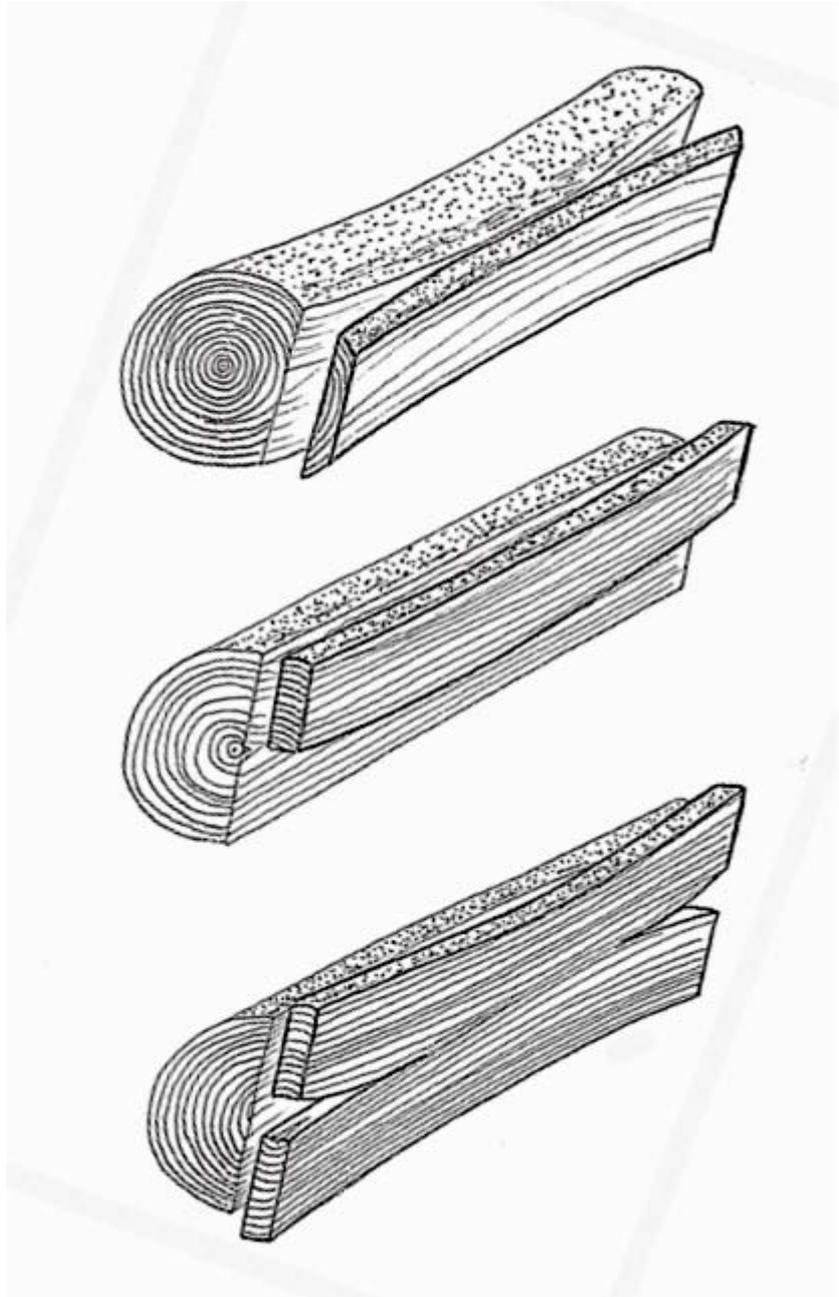
- Médula débil o blanda: En árboles de gran porte, en donde las tensiones de crecimiento son muy importantes, el centro del árbol sufre un deterioro, difícilmente observable a simple vista, pero que se pone de patente por su escasa resistencia mecánica, fundamentalmente en el plano transversal.

Foto 20 y 21: Testa de árbol maduro de *Eucalyptus globulus* Labill con médula blanda y detalle de dicha médula blanda.



- Acebolladuras: Al igual que en el caso anterior, son rajas que se presentan en el centro del árbol, cuando el árbol está en pie, producidas, según algunos autores (R. R. Archer, 1.987), por las tensiones de crecimiento de dirección radial.
- Defectos de elaboración: En tanto el árbol está en pie, las tensiones de una parte del árbol se compensan con las de la otra, y no se produce más efecto que el indicado anteriormente, pero si se apea, tronza o despieza la madera, la compensación en algunas zonas se pierde, produciéndose una liberación de tensiones, que puede causar fendas, alabeos o deformaciones de magnitudes muchas veces impresionantes.

Esquema 10: Defectos típicos de elaboración de madera con tensiones de crecimiento elevadas: Alabeo de cara, alabeo de canto y alabeo de canto con rotura central



La edad, por tanto influye, reduciendo las fendas de cuadratura y los defectos de elaboración y aumentando la médula débil o blanda y la acebolladura.

- *Influencia en la aparición de acebolladura*

Son roturas locales de la madera, producidas entre anillos de crecimiento y a lo largo del eje del árbol, causadas, por esfuerzos que inciden sobre la madera. El origen de las acebolladuras, además de por la posibilidad de tensiones de crecimiento, por la concurrencia de la existencia de tensiones en el árbol con la falta de resistencia de la madera a esfuerzos perpendiculares a la fibra. La primera se puede originar por una

alteración brusca del crecimiento del árbol (defoliación, sequía,..) y la segunda por característica de resistencia intrínseca de la especie (por ejemplo la madera de castaño) o por el efecto causado por un ataque de organismo xilófago a la pared celular.

Las acebolladuras suponen como efectos principales la pérdida de resistencia mecánica de la madera y al fallo estético que supone visualmente la rotura. Menor influencia tiene en la trabajabilidad de la madera, donde sólo influye en los procesos de acabado., con la de ser indicativos de la existencia de otros tipos de alteraciones de la madera, de forma que son objeto de un mayor rechazo por parte de los industriales

La probabilidad de aparición de acebolladura aumenta con la edad del árbol y dentro de estos los que tienen un diámetro menor (Bonenfant, 1.985).

Foto 22: Acebolladura en pino silvestre



- *Influencia en las alteraciones biológicas*

Los ataques de los hongos a los árboles vivos puede iniciarse al producirse una herida en el árbol (rotura de ramas causadas por caída de los árboles colindantes, viento o nieve; daños por rayos; picaduras de insectos...), o cuando el árbol está debilitado por cualquier razón (vejez, defoliación,...). También puede producirse por contaminación de árboles enfermos vecinos, a través de rizomorfos (García Rollan, 1.976).

El efecto de las alteraciones biológicas puede ser la coloración o la pudrición de la madera.

- La coloración produce como principal efecto el cambio de color de la madera, que en general supone una depreciación, en cuanto al perjuicio estético que producen. La coloración, salvo en casos especiales, como es el producido por el *Ceratocystis piceae*, que presentan enzimas que pueden atacar las celulosas y hemicelulosas (Gil y Pajares, 1.986), no lleva consigo pérdida de resistencia de la madera, ni de sus características físicas (excepto la permeabilidad, que disminuye al ocupar el micelio de los hongos los lúmenes celulares) pero es un índice de que la madera ha estado expuesta en condiciones aptas para otros tipos de ataques más graves. En casos especiales, (jaspeado del nogal) la coloración es apreciada por el valor estético de la figura que produce.

Foto 23: Aspecto del falso corazón negro en trozas de chopo



- La pudrición en todos los casos supone la destrucción de las paredes celulares de la madera, con pérdida de características físicas, como la densidad y sobre todo pérdida características mecánicas de resistencia, incluso con niveles de ataque pequeños. En cuanto a la estética de la madera, también se ve afectada en gran medida

Foto 24: Pudrición en una troza de madera de pino silvestre de elevada edad.



El turno es un factor muy importante en las alteraciones biológicas, puesto que a medida que aumenta la edad aumenta la probabilidad de que suceda alguna circunstancia de las señaladas, y sobre todo, cuando llega la vejez, la falta de fortaleza del árbol hace que este riesgo aumente rápidamente. Montero et al, (1.992), analiza el porcentaje de chapa en pino silvestre, en función de la edad, y comprueba que este porcentaje aumenta a medida que aumenta la edad, pero a partir del turno de 140 años, este porcentaje baja como consecuencia del aumento de número de pies con pudrición (ataques del hongo xilófago *Fomes pini* F.).

Lo mismo sucede con el falso corazón negro del chopo, que a medida que aumenta la edad aumenta la probabilidad de su aparición, siendo uno de los condicionantes que establece el turno.

2. La espesura: espaciamiento inicial y cortas intermedias

El marco de plantación, los clareos y claras (raleos) son operaciones que tienen como objetivo regular la espesura y con ello la competencia que tienen los árboles por la luz, los nutrientes y el agua.

Los principales efectos de la espesura sobre la calidad de la madera son los siguientes:

- *Sobre el diámetro de los pies*

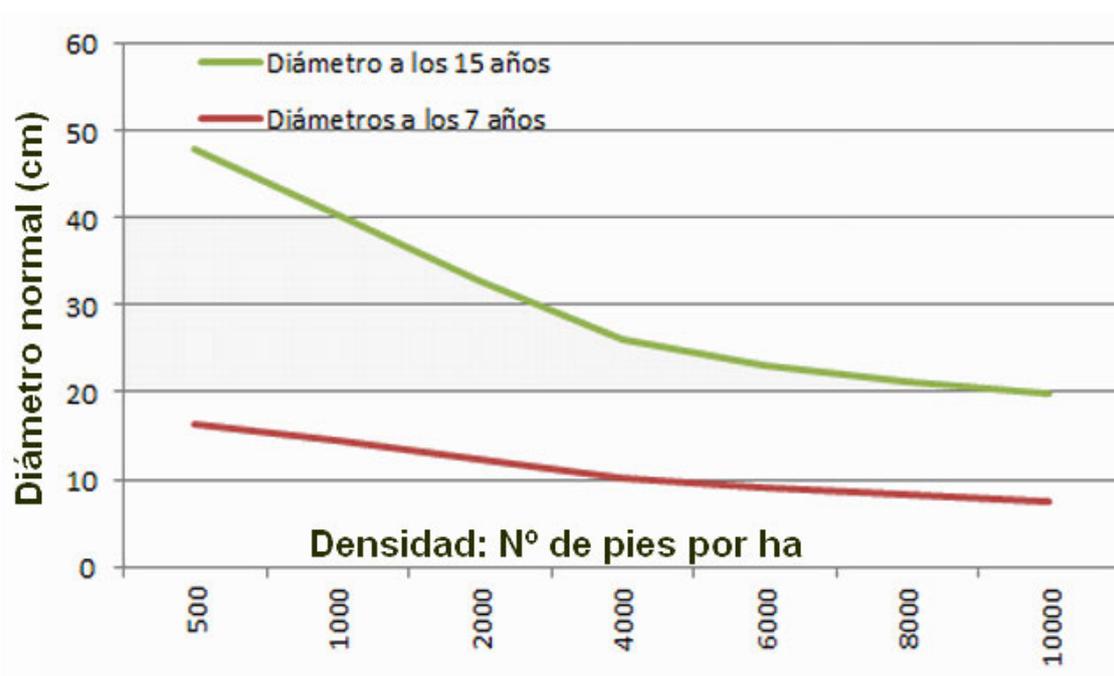
El árbol, a medida que crece va necesitando un espacio creciente, cuando este espacio es menor a sus necesidades, el árbol entra en competencia con los árboles vecinos, perdiendo capacidad de crecimiento. El US Forest Service (2012), haciendo referencia a Fox (1968) y a Suri, (1979), establece el siguiente cuadro de espaciamiento en m, en función del diámetro normal (DAP) en cm.

Tabla 7: Espaciamiento necesario según especies y diámetro del árbol

DAP (cm)	Bangkal <i>Anthocephalus chinensis</i> Rich	Balau amarillo <i>Shorea robusta</i> Gaetner f.	Teca <i>Tectona grandis</i> L.
10	2,0	3,5	9,4
20	4,1	5,1	11,0
30	5,7	6,7	12,3
40	6,5	7,6	13,8
50	Sin datos	8,9	15,4
60	Sin datos	Sin datos	17,0

Analizando este espaciamiento, se puede ver como a medida que el árbol crece, necesita más espacio, además este espacio, en las especies de luz, como la teca, es mayor que en las especies de sombra como el bangkal.

Gráfico nº3: Evolución del diámetro normal con diferentes espesuras de plantación en *Pinus radiata* D. Don (Espinosa, M. et al. 2.005)



Espinosa, M.; 2.005, citando a Mead, 1992 indica las características dendrométricas del *Pinus radiata* D. Don, en Kaingaroa, Nueva Zelanda en función de la espesura, a dos edades diferentes a los 7 y a los 15 años (gráfico 3). Se puede apreciar como a los 7 años de edad la influencia del número de pies en el diámetro es notable pero en menor medida a cuando la edad es de 15 años.

Existen muchas evidencias de que la espesura influye en el crecimiento diamétrico. Así, (Costas, 2005) estudia 3 parcelas de *Pinus taeda* L. de 7 años de edad, con densidades de 400; 700 y 1.000 pies/ha, siendo los diámetros normales medios de 20,86; 19,28 y 17,70 cm, respectivamente, siendo estadísticamente significativa la diferencia entre las 3 parcelas.

De la misma forma, una clara (raleo) del 60% en peso sobre una plantación de *Eucalyptus deglupta* Blume de 3,5 años de edad tuvo un año después un incremento diamétrico promedio del 18% en relación con la plantación sin ralear (Ugalde Arias 1980). Por último, Heinz et al. (2.008) estudia 3 espaciamientos, de 100, 200 y 1.200 pies/ha en pino de Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), demostrando la diferencia significativa del diámetro de los árboles de diferentes parcelas de alrededor de 28 años de edad, siendo esta diferencia menor al 4% entre las plantaciones de 100 y 200 pies/ha, pero de más del 20% entre estos dos espaciamientos con respecto al de 1.200 pies/ha (Véase tabla 8). Este resultado demuestra que, mientras que en la parcela de 100 y 200 pies/ha, los árboles apenas han tenido competencia, en las parcelas de 1.200 pies/ha esa competencia es muy patente y reduce de forma importante el crecimiento radial de los árboles.

Tabla 8: Influencia de la densidad de plantación en el diámetro y altura de la masa

Densidad (pies/ha)	100 pies/ha		200 pies/ha		1200 pies/ha	
	Media	Min-máx.	Media	Min-máx.	Media	Min-máx.
Edad (años)	28,5	24-34	26,4	24-30	28,1	25-31
Diámetro (cm)	43,3	35,9-48,1	41,8	37-46,7	33,5	27,2-37,2
Altura (m)	21,6	18,0-25,8	22,8	20,6-24,7	23,7	21,1-26,0

Es también interesante la comparación que realiza Rojo y Montero (1.996) sobre las características de la masa de *Pinus sylvestris* L. en dos rodales de la misma calidad sometidos a distinta intensidad selvícola:

Tabla 9: Comparación del número de pies/ha y del diámetro medio en dos rodales de pino silvestre de la misma calidad, sometidos a tratamientos selvícolas de distinta intensidad (Rojo y Montero, 1996)

Edad (años)	Nº pies/ha		Diámetro medio (cm)		Crecimiento corriente (m ³ /ha·año)	
	S. Intensiva	S. Escasa	S. Intensiva	S. Escasa	S. Intensiva	S. Escasa
20	7.040	14.933	6,9	4,3	-	-
40	2.081	3.581	19,1	15,5	22,6	20,7
60	743	1.381	33,7	26,9	21,1	18,3
80	435	774	44,1	35,8	14,2	11,4
100	324	536	50,9	42,3	8,0	5,7
120	270	415	55,3	47,1	4,3	3
140	240	344	58,3	50,9	2,4	1,4

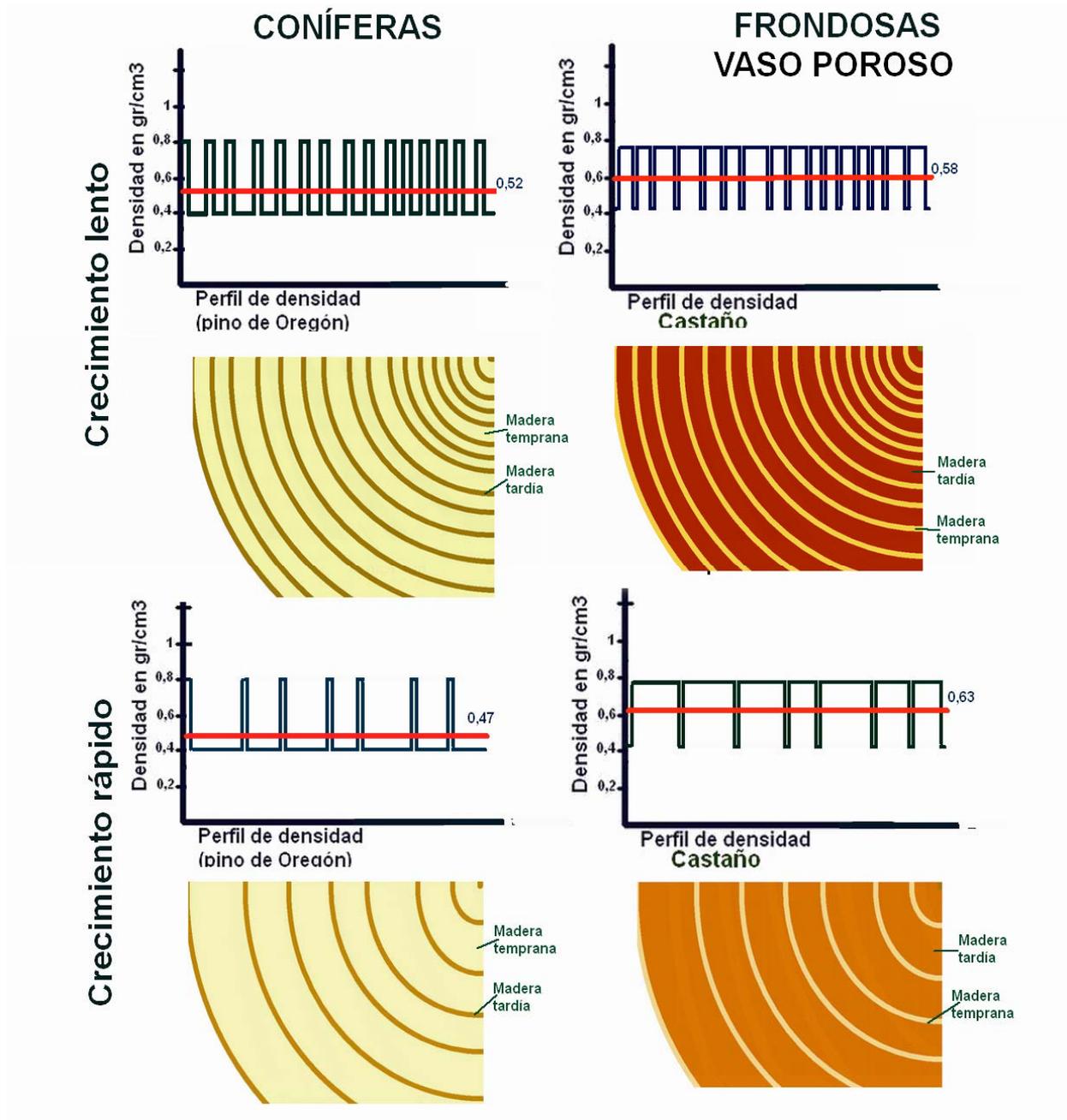
Es por tanto, la reducción de la densidad una forma de acelerar el crecimiento en el diámetro de los pies, bien aumentando estos al final del turno, o bien buscando reducir el turno, si este tiene un criterio diamétrico.

- *Influencia sobre la textura*

La textura, es la relación entre la madera tardía (madera de otoño) y la madera producida durante el año de crecimiento. En las coníferas, en donde el crecimiento de la madera tardía es bastante constante, el aumento de la anchura de los anillos supone un aumento de la madera temprana (madera de primavera), resultando con el aumento de crecimiento una textura menor, y con ello una reducción de la densidad de la madera y de las características mecánicas. En las frondosas de vasos porosos el efecto es contrario, el crecimiento de la madera temprana es muy constante, por lo que el aumento de crecimiento supone un aumento de la madera tardía, resultando una textura mayor y con ello un aumento de la densidad y de las características mecánicas de la madera (Jiménez Peris, F.J.1999).

Son muchos los trabajos que justifican la influencia del espaciamiento en la textura, así, Espinosa, et al.; 2.005 citando a Gerischer y De Villiers 1963 y a Shepherd 1986, señala que el resultado de las claras reducen el porcentaje de madera de verano, la densidad y el largo de fibra, en tanto que incrementan la espiralidad de la misma y en consecuencia, la tendencia de la madera a torcerse durante el secado. De la misma forma, citando a Denne *et al.* (1999) el efecto de las claras sobre una plantación de *Nothofagus alpina* creciendo en el Reino Unido, determinaron un leve incremento de la anchura del anillo y de la densidad, lo que demuestra que el incremento de la madera tardía en las maderas de frondosas de vasos agrupados o semiagrupados.

Esquema 11: Diferencia de textura en coníferas de crecimiento rápido y lento y de frondosas de vasos agrupados de crecimiento rápido y lento



El efecto que produce las claras sobre la textura es extrapolable a cualquier acción que suponga el aumento de crecimiento de los árboles, como es el abonado o el riego, sobre el que posteriormente se desarrollará.

Concluyendo, la reducción de la espesura, supone el aumento diamétrico de la masa, y con ello que la madera de coníferas tenga menor textura y por tanto mayor densidad y que en la madera de frondosas de vasos agrupados o semiagrupados que aumente la textura y con ello la densidad y las propiedades mecánicas de esas maderas.

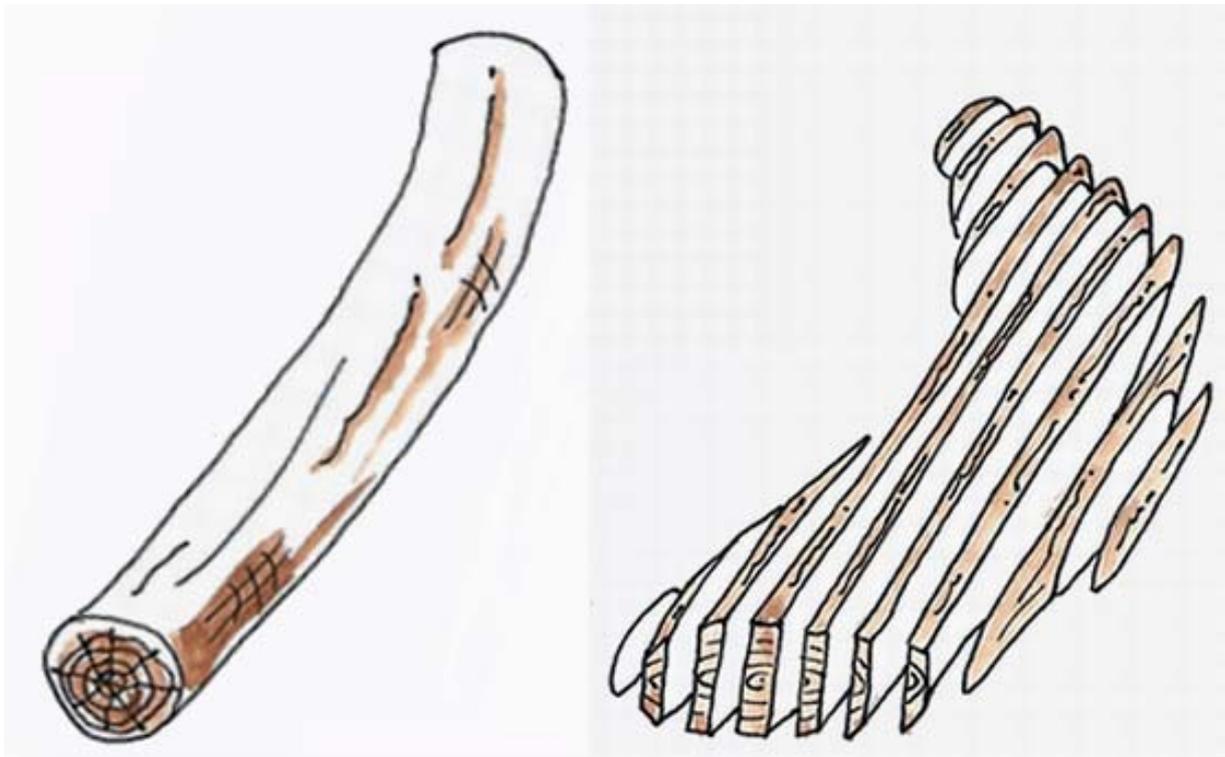
- *Sobre la rectitud del fuste*

Las plantas son capaces de percibir la gravedad y responder a ella (Pardos, 1.985). Los tallos suelen responder a un geotropismo negativo, es decir, crecen en sentido contrario a la fuerza de gravedad, lo que origina que los fustes de los árboles, sean en general, perfectamente verticales y rectos, pero en ocasiones, esta rectitud no es absoluta, pudiendo aparecer una o varias curvaturas más o menos acusadas, cuyo origen u orígenes puede obedecer a diferentes causas.

La falta de rectitud en los fustes es importante porque siempre que deba procesarse ya sea en aserrado, desenrollo o corte a la plana siempre supone una pérdida de rendimiento, además es causa de defectos en el producto elaborado (inclinación de la fibra). El uso de los fustes en forma de madera en rollo (caso de las apeas de mina y de los postes), la curvatura del fuste resta resistencia al producto de forma muy importante, hasta el punto de ser uno de los parámetros clásicos de aceptación o no del producto, la curvatura.

En el esquema 12 puede observarse la pérdida de rendimiento en el aserrado de una pieza de madera curvada.

Esquema 12: Pérdida de rendimiento de la madera curvada



Pero más importante que estos efectos, la falta de rectitud está asociado, con la elipticidad o tableadura de la sección del fuste, el corazón descentrado y la formación de madera de compresión (Casado et al., 2012).

Foto 25: Fuste tableado con madera de compresión, típico de los pies torcidos



Es por todo ello un defecto muy importante que devalúa enormemente la madera en usos de calidad.

La curvatura del fuste es bastante frecuente en algunas especies (caso del pino gallego), y dentro de una misma especie, las variedades y procedencias tienen mucha influencia en las magnitudes con que se manifiesta la curvatura (Sierra De Grado 1.999). Es por tanto, la curvatura un defecto fundamentalmente genético.

En otras ocasiones, la rectitud de los fustes puede ser modificada por la luz, en un sentido u otro, es decir, especies que hereditariamente presentan curvatura de los fustes pueden producir tallos más rectos y viceversa. Así, Costas, R. et al. 2005, demostró que la densidad de la masa en *Pinus taeda* L. tiene relación con el coeficiente de forma de Girard, aumentando la rectitud de los fustes con la densidad.

Foto 26 y 27: Aspecto de los fustes de dos tipos de clones de cerezo



- *En el número y diámetro de los nudos*

También la espesura, reduce la intensidad de la luz en las ramas más bajas del fuste, lo que facilita su poda natural o cuando menos el que sus ramas sean menos gruesas y como ya se ha expresado también se reduce la conicidad, incluso está demostrado que a mayor espesura mayor es el crecimiento en altura (Echevarría, 1.959, Josza y Middleton, 1997). Marcos de plantación pequeños, resultan pies más derechos, con menor diámetro, mayor altura, menor proporción de ramas o más delgadas y espaciadas.

Costas (2.005) en el ensayo de densidad ya referenciado, demostró que en los tratamientos con mayor densidad de plantación se observaron menores diámetros de ramas y menores ángulos de inserción de las ramas en la base de la copa.

Heinz et al. (2.008) en el ensayo de densidad de plantación, también encontró diferencias significativas en el diámetro de las ramas más gruesas dentro de la copa Dr_{max} , en la altura de ubicación de las ramas más gruesa dentro de la copa Hr_{max} , y otras características de esas ramas. En la tabla 10, se indican los valores obtenidos.

Tabla 10: Influencia de la densidad de plantación en el número y diámetro de ramas.

Densidad (pies/ha)	100 pies/ha		200 pies/ha		1200 pies/ha	
	Media	Min-máx.	Media	Min-máx.	Media	Min-máx.
Edad (años)	28,5	24-34	26,4	24-30	28,1	25-31
Dr_{max} (cm)	7,8	6,1-9,6	6,8	5,9-9,4	5,4	4,3-6,3
Hr_{max} (m)	7,8	1,9-11,7	8,8	4,2-13,4	10,7	6,0-14,3

Debe también considerarse que las claras intensas facilita la penetración de la luz hasta la base de los árboles y con ello puede favorecer el crecimiento de las ramas y con ello el aumento diametral de los nudos. También puede ocurrir que en las especies con yemas epicórmicas puede provocar el desarrollo de nuevas ramas en la parte inferior del fuste.

- *Otros efectos de las claras*

La espesura influye de forma menos significativa en otros aspectos de la calidad como son:

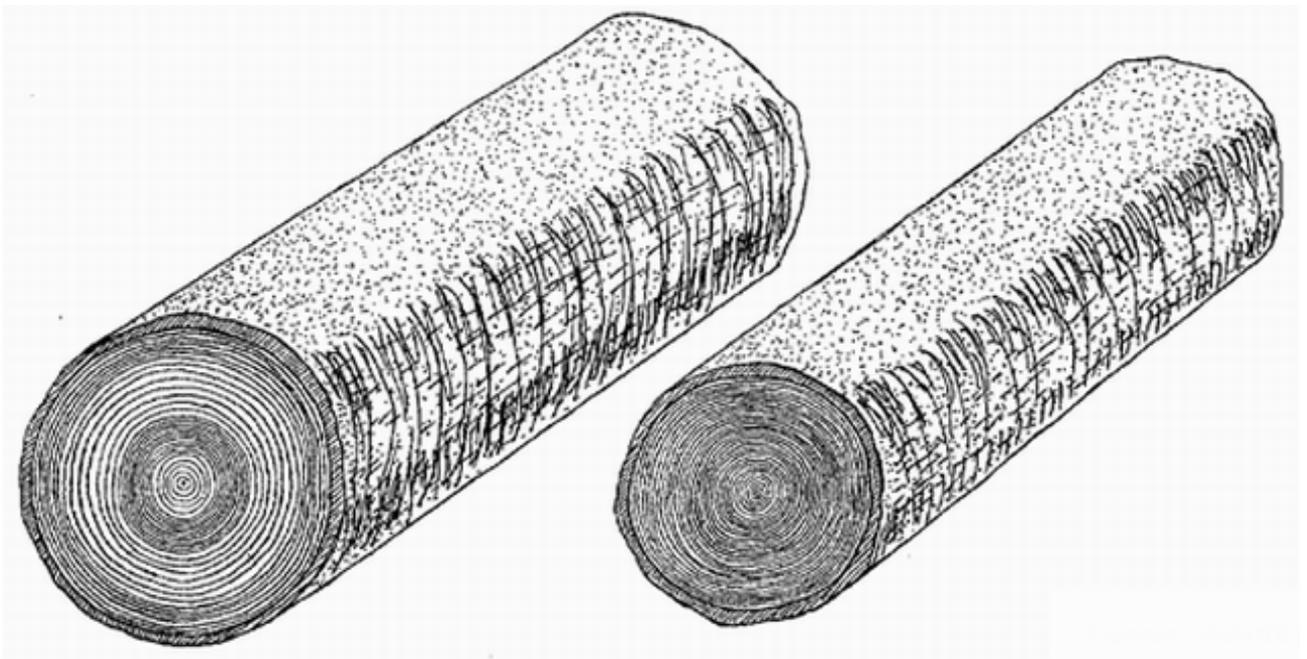
- *Influencia en la altura de la masa*

En la tabla 10 se puede apreciar como a mayor espesura además de influir en el diámetro de la masa influye en la altura de esta, incrementándose la altura con la espesura.

- *Influencia sobre la regularidad de los anillos*

El aumento de crecimiento que suponen las claras también hace que el tamaño de los anillos de crecimiento presente irregularidades, pasando de anillos estrechos, antes de la clara a anillos anchos después de la clara.

Esquema 13: Diferencia diamétrica y de regularidad de los anillos de crecimiento de árboles sometidos a claras y sin realización de claras.



Las irregularidades en el tamaño de los anillos de crecimiento, provoca principalmente efectos estéticos en la madera, aunque si la irregularidad es grande puede llegar a suponer descompensaciones en las tablas que originan defectos de curvaturas y alabeos que limitan sus usos o cuando menos sus rendimientos.

- *En las tensiones de crecimiento*

Un efecto desfavorable de las claras es el aumento de las tensiones de crecimiento consecuencia de la reorientación del árbol y con ello los problemas que ya se ha indicado que produce este defecto (principalmente de fendas y alabeos) (Nicholson, Hillis y Ditchburne, 1.975).

- *En el porcentaje de duramen.*

La velocidad del proceso de duraminización varía con la especie, estando ligado a la tasa de crecimiento, sobre todo de los primeros años de vida del árbol (Wilkes, 1.991).

Debe tenerse en cuenta que la superficie que ocupa la albura (superficie conductora de la savia) está ligada a la superficie foliar del árbol, si la superficie foliar es grande lo debe ser también la albura y viceversa (Ojansuu, 1.995).

Foto 28 y 29: Diferencia de duramen entre un fuste de árbol maduro de crecimiento lento y otro joven de crecimiento rápido.



También influye en el porcentaje de duraminización, la espesura, o mejor dicho, como ha sido el desarrollo del árbol durante los primeros años de crecimiento. Si estos han sido de elevado crecimiento, el porcentaje de duramen será mayor que si estos han sido lentos. Arce et al, (2003) estudia el porcentaje de duramen en dos plantaciones de teca de diferente espesura y aunque no logra sacar resultados estadísticamente diferente, si obtiene que con la espesura reduce el porcentaje de duramen, aunque este llega a mas altura

Gráfico n°3: Porcentaje de duramen según el marco de plantación (Arce 2003)

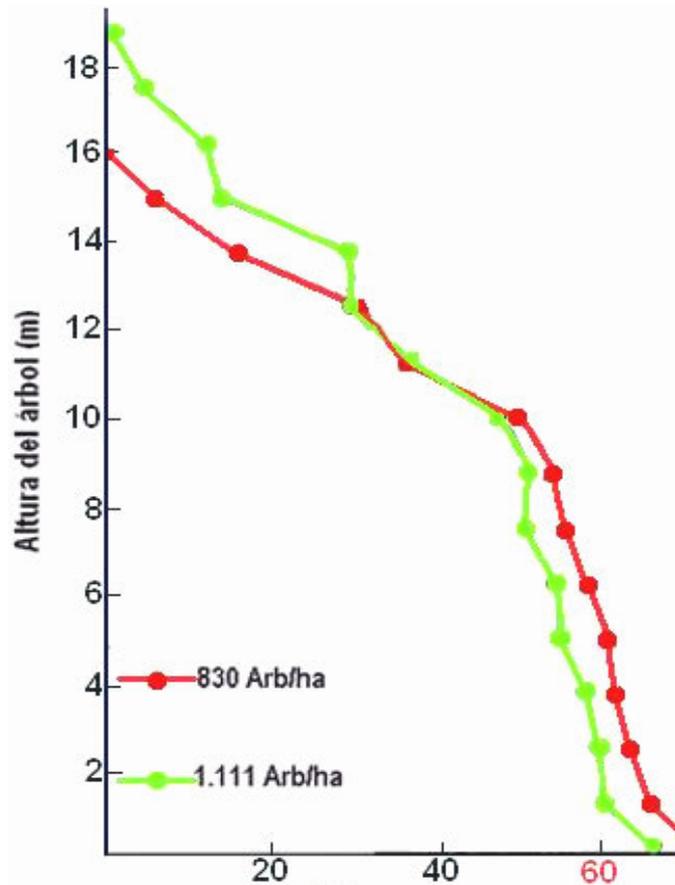


Foto 30: Poda en P. pinaster (Helvia, 2012)

3. Podas

La poda es una operación selvicultural que busca limitar los defectos de los nudos en la madera y por tanto tiene una influencia muy importante en su calidad, aunque también hay que expresar que la poda supone una herida al árbol, que cuando menos influye en alguna medida en el crecimiento y también puede ser una vía de penetración de diferentes tipos de patologías.

A continuación se analizan sus principales efectos:

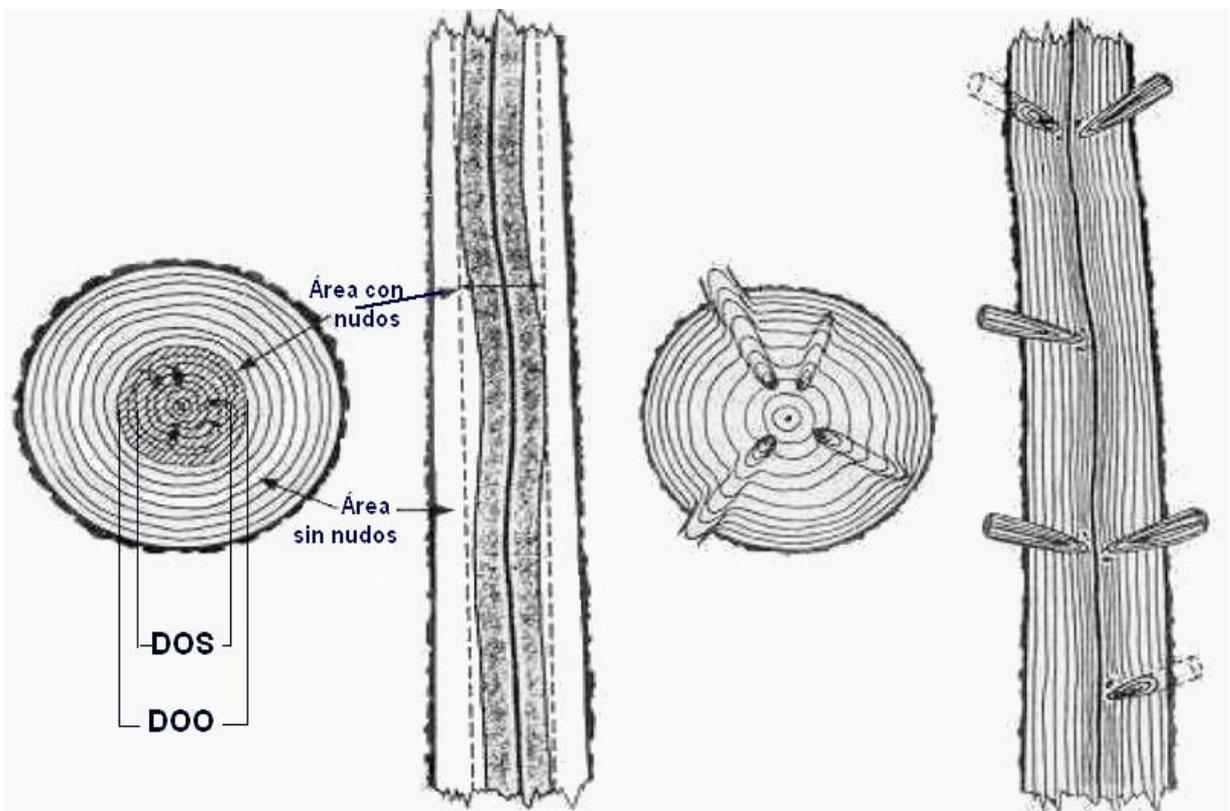


- *Efecto sobre el número de nudos y su tamaño*

Es evidente que el principal efecto que tiene la poda es buscar que una vez ocluida la herida producida, la madera que produzca el árbol no tenga nudos. Es por ello por lo que la poda debe realizarse a edad temprana, tanto por el tamaño de la herida, como por reducir los efectos de los nudos.

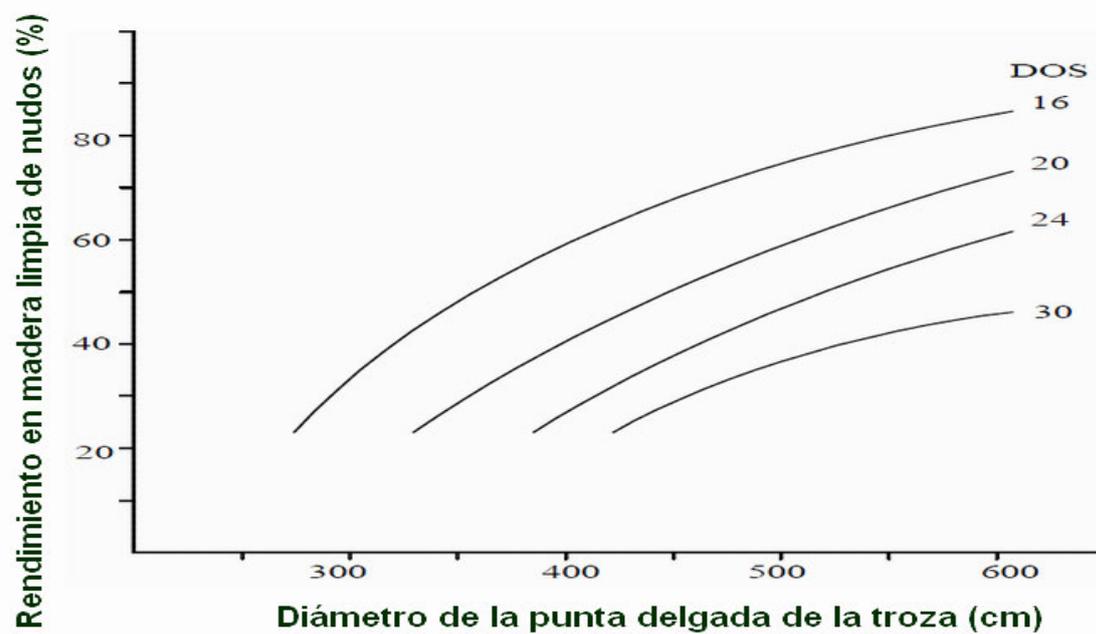
En el esquema 14 se significa el aspecto de un árbol podado 10 años de la corta y un árbol sin podar y un árbol podado (Espinosa, 2005). También se ha significado el DOS (diámetro de la sección del árbol en el momento de la poda) y el DOO (diámetro de la sección con el nudo ocluido).

Esquema 14: Aspecto de un árbol sin podar y podados (Espinosa, 2005)



En el gráfico 4 se indica el rendimiento de madera limpia en función del diámetro de la troza y del diámetro de la troza en el momento de la poda (Espinosa, 2005, haciendo referencia a Sutton, 1985).

Gráfico 4: Rendimiento de madera aserrada limpia en función del diámetro de la troza y del diámetro de la sección en el momento de la poda (DOS)



Naturalmente que este efecto se ve reducido cuando la especie produce brotes epicórmicos que generan nuevas ramas y por tanto la producción de nudos. Aun así, normalmente estos brotes se producen en menor número y generan ramas de menor diámetro y por tanto de los nudos.

Foto 31 y 32: Brote epicórmico en pino canario y el desarrollo de sus ramas.

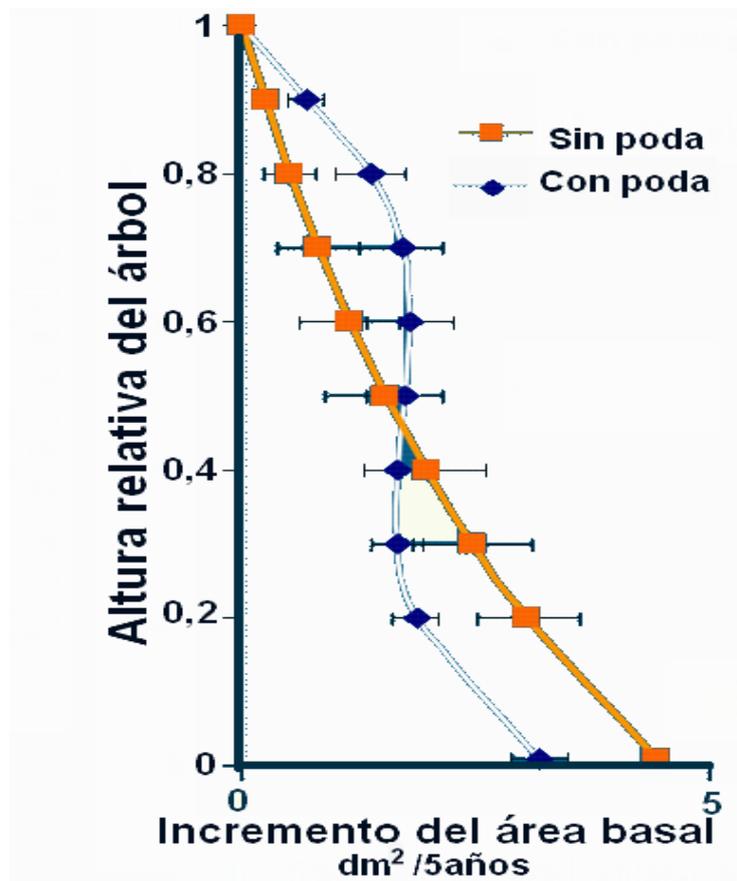


La producción de brotes epicórmicos es característica de cada especie, y depende de la exposición a la luz del árbol, de la edad a la que se ha realizado la poda, de su intensidad y de la época en que se realiza. Helvia, 2012, estudiando los efectos de distintas intensidades de poda (15; 30 y 45% sobre la altura) sobre más de dos mil árboles de cada especie sobre masas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aitt., en Asturias, comprueba que solo produce yemas epicórmicas el pino radiata y estas son más numerosas cuanto mayor es la intensidad de la poda, siendo frecuente que la yema aparezca en la zona media del fuste podado y en orientación Sur, prueba de la influencia de la luz en la estimulación de la aparición de las yemas. La producción de brotes epicórmicos del pino insignis fue del 11% del total de árboles podados, con una media de 2,6 brotes/árbol para la severidad de poda del 30% y de 3,2 brotes/árbol para la poda del 45%).

- *Efectos en la forma del fuste*

Haciendo referencia a Pinkard y Beadle (1998) y Rodríguez (2005), Helvia, 2012 señala que los árboles podados tienen una conformación más cilíndrica que los no podados, siendo explicado este efecto por la modificación de la distribución del crecimiento a lo largo del tronco tras la poda, con un mayor reparto del crecimiento en las zonas superiores del fuste, dando lugar así a troncos de conformaciones más cilíndricas.

Gráfico 5: Efecto de la poda en la conicidad (Letourneau, F. Andenmatten, E.; 2013)



- *Efectos en el crecimiento de los pies.*

US Forestal Service, 2012, haciendo referencia a Foot 1968 indica la siguiente tabla de reacción de los árboles de pino mexicano amarillo de 7,5 años a la poda:

Tabla 11: Reacción a la poda en términos de crecimiento de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl et Cham. de 7,5 años en Malawi (Foot 1968)

Altura de la poda en % de altura del fuste	Crecimiento como porcentaje de control			
	18% (control)	42%	57%	77%
Años después de la poda	Crecimiento en área basal			
1	100	81	52	14
2	100	84	60	21
3	100	96	87	49
4	100	112	126	92
	Crecimiento en altura			
1	100	88	82	64
2	100	95	95	81
3	100	101	94	81
4	100	107	99	100

Como puede observarse, el efecto sobre el crecimiento basal empieza a ser importante cuando la poda afecta a más del 50% de la altura del fuste. Por estas circunstancias la poda debe realizarse en una proporción de la copa que no reste vigor al árbol.

Hevia, 2012, en el ensayo ya indicado sobre pino pinaster e insignis, también comprueba que la poda de mayor intensidad (45% de la altura) tiene una influencia significativa sobre el crecimiento, siendo el efecto sobre el insignis en pérdida de diámetro y sobre el pinaster además de en diámetro algo en altura.

- *Efectos sobre la madera juvenil*

Fisiológicamente, se relaciona la formación de madera juvenil con la edad del cambium (Zobel, van Buijtenen, 1.989), si bien, también se relaciona con la actividad de las ramas, de forma que el árbol forma madera juvenil, a una determinada altura, en tanto tengan actividad las ramas situadas por debajo de esa altura (de Champs, 1.989). Es decir, cuanto antes se poden o pierdan actividad las ramas del árbol, antes empezará a formar madera madura.

- *Efectos sobre la producción de bolsas de resina, kino u otras sustancias.*

Las bolsas de resina, Kino, goma u otras sustancias son pequeñas cavidades, con forma predominantemente alargada en dirección del eje del árbol, cuyo origen suele ser una combinación de genética del árbol con un traumatismo, como puede ser el originado

por la poda (García, 2003, Nutto, 2004). El árbol, para protegerse de la herida que se le ha producido genera una serie de mecanismos para protegerse de la posible acción de insectos u hongos xilófagos, ya sea generando una barrera de células resistentes a la acción de los agentes biológicos o bien la secreción de sustancias antisépticas, como puede ser la resina, las gomas, el quino u otras sustancias.

Foto 33: Bolsas de resina en una sección de una troza de pino silvestre.



Los principales efectos de las bolsas de resina son los siguientes:

- *Físicos*: La resina dificulta enormemente cualquier proceso tecnológico. Así, en las operaciones de corte con sierra, cuchilla o fresa, o desbaste por lijado, la resina contenida en la bolsa, embota la herramienta, de forma que merma parcial o totalmente su operatividad. Las herramientas deben limpiarse o sustituirse para poder continuar las operaciones. En las operaciones de encolado, barnizado o pintado, la resina se interpone entre la madera y la cola, barniz o pintura de forma que impide la unión que se pretende.
- *Efectos mecánicos*: Al igual que el nudo, la bolsa de resina no trabaja, con lo que supone una merma de resistencia en las secciones donde se presente, en la medida de la relación entre la superficie de la sección con respecto a la superficie de la bolsa en esa sección.

- *Efectos estéticos*: La bolsa de resina produce un efecto estético negativo, en la medida del tamaño que tenga la bolsa.

El conjunto de estos efectos hace que la presencia de bolsas de resina en la madera, deprecie, en la medida del tamaño de las bolsas, esas maderas, hasta el punto de ser causa, muchas veces, de rechazo por la industria de aserrado y desenrollo, incluso se deprecia enormemente en las industrias de desintegración de la madera. Únicamente en los destinos de postes y apeas, donde no se hace visible este defecto, la madera conserva su valor.

La poda es un traumatismo y por tanto es una circunstancia que aumenta la probabilidad de producción de esas bolsas. Por supuesto, cuanto mayor sea el traumatismo, ya sea por el diámetro de la rama podada, o por producir desgarro otro defecto de poda, mayor es el riesgo de bolsa, aunque también se ha estudiado como influye la forma de efectuar la poda para que el riesgo de bolsa de resina sea menor (Nutto, 2004).

4. Abonado

Las plantaciones forestales capturan, conservan y reciclan grandes volúmenes de nutrientes, por lo que las necesidades de fertilización, si existen, son mucho menores que las de cultivos agrícolas. El abonado es una operación de escasa aplicación en el manejo forestal, aunque se está haciendo cada día más frecuente en cultivos forestales, más por aumento de la productividad que por calidad de la madera.

Los elementos más comunes en el abonado son el N; P y K cuyos efectos principales en las plantas son los siguientes:

- El N, contribuye al crecimiento vegetativo de la planta, principalmente a la formación del tallo y las hojas, lo que supone crecimiento diamétrico del árbol, estando la altura del árbol muy poco afectada. También reducen la variabilidad diamétrica dentro de una plantación (US Forest Service, 2012 haciendo referencia a Schultz 1976). Por supuesto, que siempre ese aumento diamétrico supone indirectamente un aumento de la calidad, como ya se ha indicado anteriormente.
- El P fomenta el desarrollo de las raíces y acelera la maduración de las semillas, aunque también tiene influencia en el crecimiento diamétrico, pues el N, sin complemento del P proporciona escasos resultados.
- Por último, el K juega un papel en la resistencia contra enfermedades.

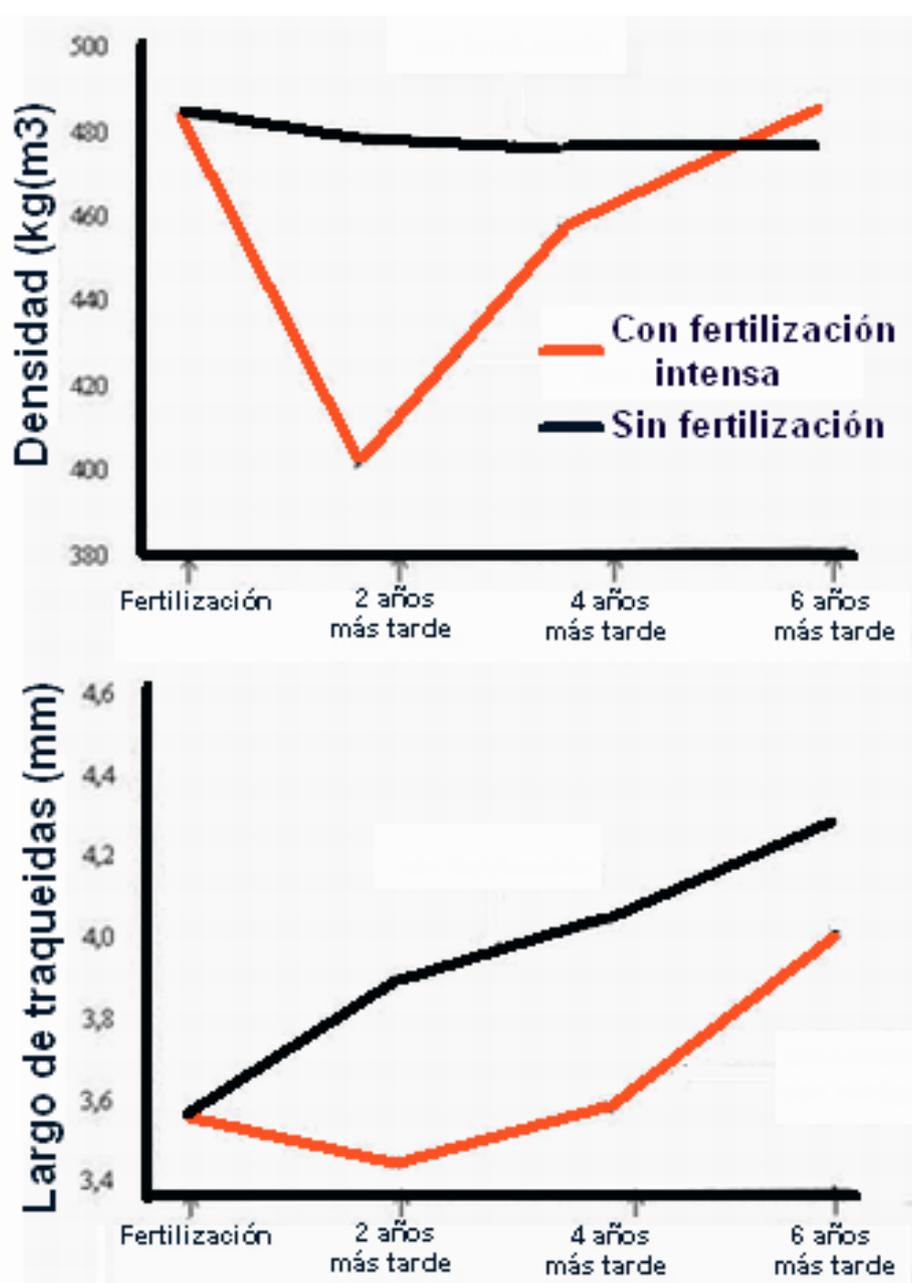
Son muchas las experiencias de la influencia del abonado en el crecimiento diamétrico, altura y volumen del arbolado, sirva como ejemplo Álvarez et al., 1997, en donde se demuestra como un abonado puntual, permite el aumento del crecimiento diamétrico y en altura durante los 3 años siguientes.

La fertilización también lleva consigo cambios en la estructura celular, cuya base se ha indicado al desarrollar la influencia de la densidad de la masa en la textura de la madera.

En coníferas, crece fundamentalmente la madera de primavera, aumentando su anchura a la vez que reduce la longitud de las células, con un efecto indirecto sobre la densidad y la resistencia mecánica de la madera, que se reducen. Este efecto dura hasta 5 a 10 años después de la fertilización, después de lo cual, la madera vuelve a su estado previo al tratamiento, Zobel y van Buijtenen, 1.997.

Antony, F. et al, 2009 deducen parecidas conclusiones en una parcela de *Pinus taeda* L., con diferentes niveles de abonado, encontrando diferencias significativa en la densidad en los árboles con mayores niveles de abonado (336 kg/ha de N), consecuencia de la reducción del grosor de las paredes celulares.

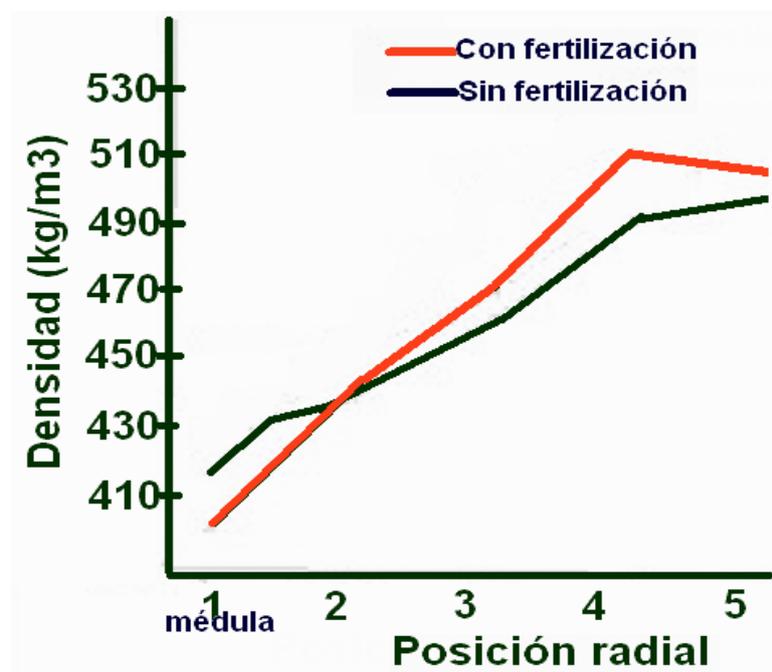
Gráfico nº5: Efecto de la fertilización en la densidad y en el tamaño de las traqueidas en *Pinus taeda* (adaptado de Zobel y van Buijtenen, 1.997)



En frondosas, de vasos agrupados, el efecto es al revés, la fertilización aumenta la anchura de la madera de otoño, con lo que aumenta su densidad. Espinosa M., 2005 haciendo referencia a Cromer *et al.*, 1998, estudió el efecto de la fertilización en *Eucalyptus grandis* W. Hill et Maiden, en Australia y la mejor respuesta se obtuvo al aplicar 800 kg/ha de N y 60 kg/ha de P. La producción volumétrica a los 5-6 años casi se duplicó, desde 76 m³/ha en el testigo a 145 m³/ha. Además se incrementó la densidad básica en un 6%. Sobre este último aspecto, Gonzalves *et al*, 2004 indica que el aumento de la densidad básica del eucalipto solo se produce si tiene suficiente agua.

Espinosa, 2005 haciendo referencia a Wilkins, 1990, remarca la diferencia de distintos tratamientos en la densidad del *Eucalyptus grandis* W. Hill et Maiden, obteniendo en fertilidad el gráfico 6.

Gráfico 6: Variación de la densidad del *Eucalyptus grandis* W. Hill et Maiden desde la médula hacia el exterior en parcelas fertilizadas y sin fertilizar.



También deben considerarse otros nutrientes específicos de ciertas, especies, la falta de algún nutriente específico de esa especie puede causar malformaciones del fuste, crecimientos muy pequeños incluso facilitar que se produzcan enfermedades o plagas. En España se tiene el ejemplo del efecto de la falta de boro sobre el eucalipto, que le hace perder la yema apical (Andrade *et al*, 1995). Esto puede dar lugar a la aparición del fenómeno de la bifurcación que origina defectos en la madera (curvatura del fuste, madera de reacción, fibra ondulada) que deprecian la madera, si se buscaba un destino distinto al de la trituración. También se puede producir una elevada brotación de las yemas laterales, que terminan por abortar al poco tiempo. En casos extremos, con la profusión de ramas laterales en ausencia de dominancia apical, el eucalipto puede adquirir un aspecto de arbusto. En cualquier caso y aunque no se llegue a estos niveles, la falta de boro siempre conlleva una pérdida de crecimiento. Según Gonçalves *et al.*, (2004), los

síntomas de deficiencia de boro consistentes en una reducción del crecimiento suelen aparecer en el primer año de vida entre el comienzo y la mitad de la estación seca y se extienden hasta la estación húmeda. También puede tener lugar durante el segundo y tercer años después del establecimiento de los árboles, pero con una menor severidad.

Por tanto el efecto del abonado en la calidad de la madera es de forma indirecta, a través del aumento diamétrico del fuste y por tanto, para un mismo turno, una mejora de rendimiento en las operaciones de aserrado, desenrollo y chapa a la plana. También al igual que se analizó con la espesura, el aumento de crecimiento que supone la fertilización del suelo, influye en la textura y consecuentemente en la densidad y características mecánicas.

5. Riego

El riego tiene un efecto parecido al del abonado, en el sentido de que aumenta el crecimiento diametral del árbol, pero también modifica la estructura celular de la madera, con cambios que según lo visto hasta ahora, en las coníferas se reduce su densidad y resistencia mecánica, mientras que en las frondosas de vasos agrupados, el efecto en la densidad y en la resistencia es positivo.

Las pruebas experimentales realizadas son un tanto contradictorias pues en coníferas Espinosa M., 2.005 haciendo referencia a Howe (1970) señala que el riego aplicado en *Pinus ponderosa* maduros creciendo en un área relativamente seca en el Este de Washington, incrementó el porcentaje de madera tardía, y apenas el porcentaje de madera temprana con lo que resultó un incremento de la textura y de la densidad de la madera.

En frondosas, este mismo autor haciendo referencia a Murphey *et al.* (1973), indica que los árboles de *Quercus rubra* L. regados semanalmente durante 5 años, consiguieron un incremento de la densidad, como consecuencia del incremento de la anchura de la madera tardía. También se produjeron incrementos en la longitud de los vasos y de las fibras, con pequeños cambios en el grosor de la pared celular. También se incrementó la relación entre el largo y el grosor de la pared celular.

6. Sanidad

La sanidad de las masas forestales puede influir en la calidad de la madera, ya sea de forma directa, por pudrición de la madera, por su enteamiento o por los defectos de galería que surge por efecto de los xilófagos.

Foto 34: Perforaciones provocadas por *Tomicus minor* Hart en *Pinus sylvestris* L.

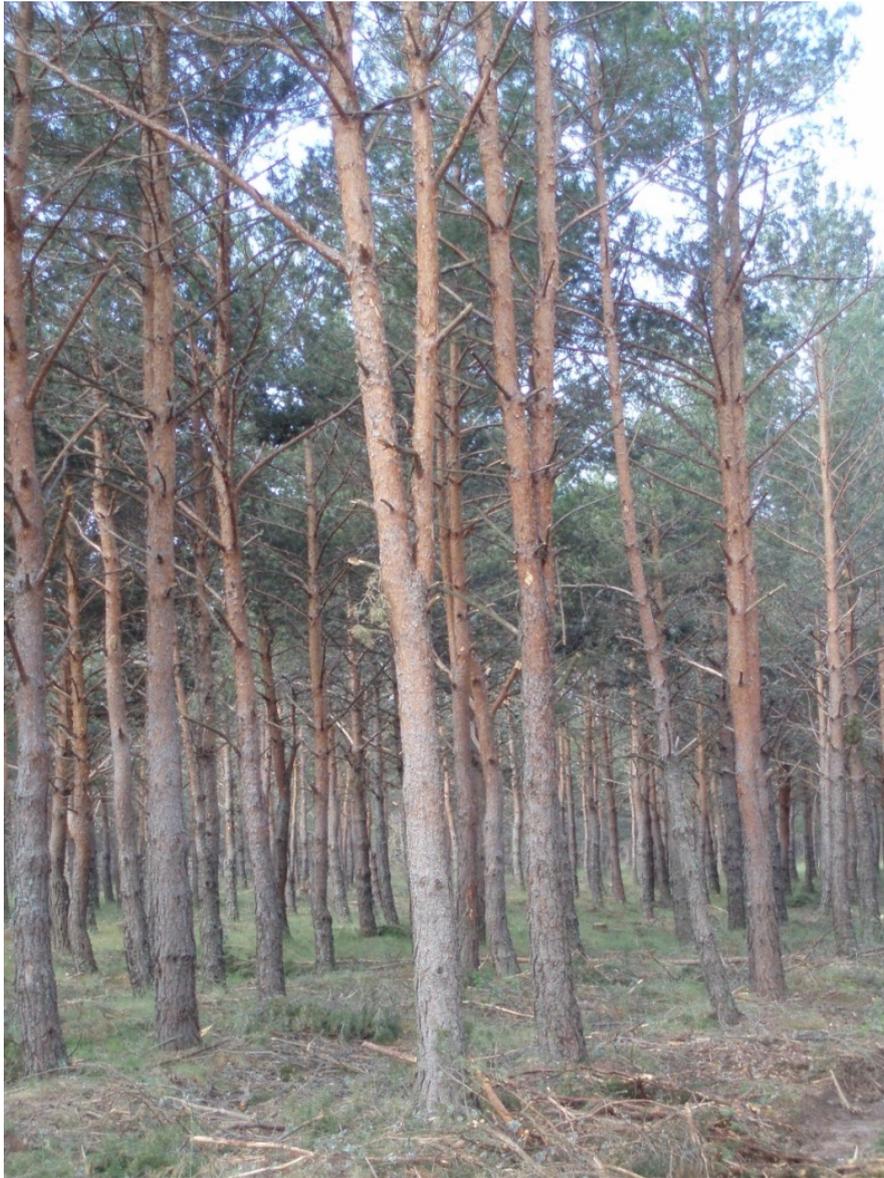


También de forma indirecta porque la enfermedad o plaga provoca malformaciones en la forma del fuste. Es de todos conocidos el efecto de la evetria, *Rhyacionia buoliana* (Den. et Schiff.) sobre las yemas de los pinos que provoca malformaciones de las guías terminales y con ello bifurcaciones u otros defectos de la forma del fuste.

De la misma forma, la *Hypsipyla grandella* (Zeller) sobre la guía terminal y en general de los brotes de los árboles de la caoba y cedro, que suele provocar el ahorquillado del fuste y con ello la pérdida de calidad de su madera. En cualquier caso, aún en plagas que no afectan más que a las hojas, provoca en la planta una pérdida de crecimiento, con las consecuencias que ya se ha indicado en la calidad, además de debilitar al árbol y de favorecer el ataque de otros organismos que pueden llevar a la muerte de la planta.

Todos estos ejemplos proporcionan una visión de la importancia de los trabajos sanitarios en la calidad de la madera.

Foto 35: Bifurcaciones generalizadas causadas por la evetria.



CONCLUSIONES

- Tecnológicamente la selvicultura puede ser una herramienta muy valiosa para mejorar muchos aspectos de la calidad de la madera.
- La economía de las operaciones selvícolas para la mejora de la calidad de la madera, está condicionada por el coste de la mano de obra y por la rentabilidad esperada de la inversión, pero también deben considerarse aspectos sociales y ambientales.

- Las operaciones selvícolas que proporcionan simultáneamente mejora de la calidad de la madera con aumento de la productividad, son en la mayoría de las circunstancias suficientemente rentables y deberían ser prácticas más habituales en plantaciones madereras de especies nobles.

REFERENCIAS

- Álvarez J. G.; Ruiz A. D.; Bara S.; 1997 *Efecto del abonado sobre los crecimientos en diámetro, altura y volumen de Pinus pinaster Ait. en Galicia*. I Congreso Forestal Hispano Luso / II Congreso Forestal Español IRATI 97 Ponencias y Comunicaciones Mesa 4. Pag. 27-32. ISBN: 84-235-1593-1 Pamplona (España). <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/2CFE04-004.pdf> (05/11/2012)
- Andrade, S.C.; de Barros, N.F.; de Novais, R.F.; Teixeira, J.L. y Leal, G.L. 1995 *Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto*. Bosque 16(1): 53-59.
- Antony, F.; Jordan, L.; Daniels, R. F.; Schimleck, L. R.; Clark III, Alexander; Hall, Daniel B.; . 2009 *“Effect of midrotation fertilization on growth and specific gravity of loblolly pine*. Canadian Journal of Forest Research 39: 928-935
- Arce, V; W. Fonseca 2003. *Relación albura - duramen y características físicas de la madera de Tectona grandis L. En plantaciones de 10 años de edad, con diferente densidad de siembra, Guanacaste, Costa Rica. La industria y la comercialización de productos forestales en Latinoamérica*. Heredia,C.R. Inisefor. 125- 134pp.
- Archer R.R., 1.987 *“Growth Stresses and Strains in Trees”* Forest Product Abstract, Vol 10 n° 3, págs 74
- Baillères, H ; Durand, P.Y. 2000. *Non-destructive techniques for wood quality assesment of plantation-grow teak*. Bois et Forêts des Tropiques 263(1) : 17-29.
- Balcorta Martínez, H.C. y Vargas Hernández, J.J 2004 *Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de Melina (Gmelina arborea Linn., Roxb.) de tres años de edad*. Revista Chapingo Serie ciencias forestales y del ambiente, año/vol 10, n°1, Chapingo, México pp13-19.
- Bonenfant, M., 1.985 *Croissance et qualite du chataignier de futaie en Bretagne*. Ed. Serfob Bretagne, Memoire troisieme annee. Enitef, Rennes Cedex, Francia, 123 p.
- Casado, M; García, M.; Acuña, L.; 2012 *Caracterización físico-mecánica del pinus pinaster ait. Procedencia sierra de oña (burgos), influencia del factor rectitud*. <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/3CFE05-081.pdf>
- de Champs J., 1.989 *Effects de la densité de plantation sur la croissance en diametre, la forme et la branchaison du Douglas* Anales de AFOCEL, págs 231 a 283.
- Cividini R, 1.983 *Elementi di tecnologia Forestale* Ed. Edagricole, Bologna, págs 44 a 90.

- Climent, J.; Gil, L.; Pardos, J.; 1993. *Heartwood and sapwood development and its relationship to growth and environment in Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC. *Forest Ecology and Management*, 59; 165-174.
- Costas Patricio R.; Mac Donagh Elizabeth Weber Santiago Figueredo Pedro Irschick, 2005 *Influencias de la densidad y podas sobre la producción de pinus taeda l. a los 7 años de edad*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 275-284.
- Díez, R.; y Fernández-Golfín, J.I.; 1998 *Influencia de diversos factores en la calidad de la madera de uso estructural de Pinus sylvestris L*. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, Vol. 7, Nº 1-2, págs. 41-52.
- Echevarría, I., 1.959. *Pinares del norte: La nudosidad de la madera y modo de evitarla* Ed. IFIE, Madrid. 62 p.
- EN 1927 *Madera en rollo de coníferas. Clasificación de calidades. Picea, abeto, pinos, alerce y pino de Oregon*
- Espinosa, M.; Muñoz F.; 2.005 *Silvicultura de plantaciones: Apuntes de clase*. En <http://www2.udec.cl/~fmunoz/Apuntes/Apuntes%20Silvicultura%20plantaciones%202005.pdf> (05/11/2012)
- Fernández, F. 2011. *Astilleros y construcción naval en la España anterior a la ilustración*, <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet> (31/03/2011).
- Forest Products Laboratory, 1999. *Wood handbook: Wood as an engineering material* Ed. Forest Products Laboratory and Forest Service Agriculture, Washington 1974, 463 p.
- García, L.; Guindeo, A.; Peraza, C.; de Palacios, P.; 2.003. *La madera y su anatomía*. Ed Mundi-Prensa.
- García Rollan M., 1.976: "Hongos de la madera" Ed. Ministerio de Agricultura, Madrid
- Guidos, P.; 2011 Modelos de elementos finitos tridimensionales para simular el comportamiento de madera con presencia de nudos, empleando la analogía fluido-fibra y validación con fotogrametría de objeto cercano. Universidad de Santiago de Compostela.
- Gonçalves J.L.; Stape J.L., Laclau J.P., Smethurst P., Gava J.L. 2004. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management* 193 p 45-61.
- Gueneau P., 1.973 "*Contraintes de croissance*" Ed. Bois et Forêts des Tropiques, Nogent-Sur-Marne, 45 págs
- Hein, S; Weiskittel, A.R.; Kohnle, U.; 2.008. *Effect of wide spacing on tree growth, branch and sapwood properties of young Douglas-fir [Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco] in south-western Germany*. *Eur. J Forest Res.* 127:481–493.
- Hevia, A. 2012 *Influencia de la poda en el desarrollo de masas de Pinus radiata D. Don y Pinus pinaster Aiton en Asturias*. Tesis doctoral

https://minerva.usc.es/bitstream/10347/8047/1/rep_407.pdf (consultado mayo, 2013)

- Hocquet, A. *et al*; 1979. *Possibilités de sciage des bois de petit diamètre*. Courrier de l'exploitant et du scieur 2/79. CTBA, Paris. 95 p.
- Jiménez Peris, F.J.; 1999. *La madera propiedades básicas*. Ed GET, 154 p.
- Josza, L.A.; Middleton, G.R.; 1994 *A discussion of wood quality attributes and their practical implications*. Forintek Canada Corp. Western Laboratory, Vancouver, B.C. 42 pp.
- Knapic, S.; Pereira, H.; 2005 *Within-tree variation of heartwood and ring width in maritime pine (Pinus pinaster Ait)*. Forest Ecology and Management Volumen 210, Pages 81-89
- Kollmann F., 1959: "*Tecnología de la madera y sus aplicaciones*" Ed. IFIE, Madrid
- Letourneau, F. Andenmatten, E.; 2013 Aportes de la silvicultura a la calidad de madera en Pino ponderosa. http://bariloche.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2013/04/1_Letourneau-silvicultura-y-calidad-de-madera.pdf (consultado mayo 2013)
- Monceau, D. 1773. *Del aprovechamiento de los montes. Parte primera*. Reeditado por la Junta de Castilla y León y la SECF, 2009. 427 p.
- Montero, G.; Rojo, A. y Alía, R. (1992). *Determinación del turno de Pinus sylvestris L. en el Sistema Central*. Montes, 29: 42-48.
- Nicholson, J.E.; Hillis, W.E.; Ditchburne, N.; 1975. *Some tree growth wood property relationships of eucalypts*" Canadian Journal Forest, nº 5, págs 424 a 432.
- Nutto, L.; Touza, M.; Delgado J.L. 2004. *Producción de madera de calidad Eucalipto. La poda. Conocimientos fundamentales y técnicas*. Revista Cis-Madera. <http://www.cismadeira.es/Galego/downloads/cismadeira11poda.pdf>
- Ojansuu R.; Maltamo M.; 1995 "*Sapwood and heartwood taper in Scots pine stems*" Canadian Journal Forest Research, 25; 1928-1943
- Pardos, J.A., 1985 *Apuntes de fisiología vegetal* Ed. Fundación Conde del Valle Salazar, Madrid, 465 págs.
- Rojo, A. y Montero, G. (1996): *El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama*. Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Serie Técnica). Madrid.
- Sáez Ezquerro Boticario, Francisco Javier 1995 "*Biomecánica del árbol en pie y su relación con características de la madera: (Aplicación práctica al caso de un Pinus pinaster)*" Proyecto Fin de Carrera, ETSI de Montes. UPM, Madrid
- Sierra de Grado, R.; Diez-Barra, R.; Alía, R.; 1999 *Evaluación de la rectitud del fuste en seis procedencias de Pinus pinaster Ait*. Invest. Agrar, Sist Recur. For. 8(2): 263-278.

- Schimleck y Clark, 2008 *Wood Quality*
<http://www.encyclopediaofforestry.org/index.php/Wood_Quality> (02/04/2011).
- Ugalde Arias, L.A. 1980. *Rendimiento y aprovechamiento de dos intensidades de raleos selectivos en Eucalyptus deglupta* Tesis doctoral en Turrialba, Costa Rica
- US Forest Service: 2012
http://www.fs.fed.us/research/publications/forest_production_for_tropical_america/
(02/04/2011).
- Vignote, S.; Molinero, I.; Gerard, J.; Díez, M.R. 1996 *Estudio de las tensiones de crecimiento de Eucalyptus globulus Labill., en Galicia y su relación con las características de la estación y morfológicas del propio árbol*. Revista: Investigación Agraria Serie Sistemas y Recursos Forestales vol.5 (1) MAPA-INIA, 153 a 176 p.
- Vignote, S.; Martínez Rojas, I; 2006 *Tecnología de la madera*. Ed. Mundi-Prensa, 3ª edición, 678 págs.
- Wilkes J., 1.991: "*Heartwood development and its relationship to growth in Pinus radiata*". Wood Science and Technology, Springer-Verlag, págs 85 a 90
- Zobel, B.J., Van Buijtenen, J.P., 1.989 *Wood variations: its causes and control* Springer-Verlag, Berlin, 361 págs.