

Capítulo 8: Calidad de la madera y silvicultura

8.0 Definición de la calidad de la madera

Se puede definir la calidad de la madera como una serie de atributos que hacen que la madera sea apropiada para ciertos usos. Algunas características de la madera son deseables para ciertos usos, pero indeseables para otros. Por ejemplo, se busca madera de débil masa volumétrica para la fabricación de bancos de sauna y de mangos de cacerola, en razón de su débil conductividad térmica (*Thuja sp.*). Igualmente se busca madera de débil masa volumétrica para la fabricación de láminas de chapa orientadas (OSB, Oriented Strandboards) (*Populus sp.*, *Pinus sp.*). Por el contrario, para la madera de armazón, se busca madera rígida, que presente una buena resistencia mecánica asociada a nudos de pequeño tamaño y a una fibra derecha (*Pseudotsuga menziesii*; *Pice sp.*). Para la escultura, se buscan maderas estables de masa volumétrica homogénea (*Chamaecyparis nootkatensis*; *Tilia americana*). Para el revestimiento de los pisos se busca madera de dureza elevada y de color apreciado por los consumidores (*Acer sp.*, *Quercus sp.*, *Betula alleghaniensis*, *Fraxinus americana*). para la fabricación de papel se busca madera que posea fibras largas, de paredes celulares delgadas, paredes celulares esbeltas dan un papel menos poroso, pero más resistente mecánicamente. Para la fabricación de muebles se busca madera resistente a los golpes et al. desgaste, que presenten una buena estabilidad dimensional, pocos nudos y un color adecuado (*Hacer spp.*, *Quercus spp.*, *Betula alleghaniensis*, *Fraxinus americana*). Un resumen de las principales propiedades tomadas en cuenta para evaluar la calidad de la madera, considerando un uso determinado es presentado en el cuadro 8.1.

Las propiedades que definen la calidad de la madera para un uso determinado son en parte genéticas, pero son también influenciadas por las condiciones de crecimiento del árbol:

- genética

- silvicultura

Tabla 8.1 Principales características consideradas en la determinación de la calidad de un madera para un determinado uso (adaptado de Baillères y Durand 2000).

Factores de calidad de la madera	Propiedades de la madera	Comentarios
1. Factores mecánicos	1a. MOE 1b. MOR 1c. Compresión // a la fibra 1d. Dureza (pisos) 1e. Tensiones de crecimiento	1a a 1d se correlacionan con la densidad
2. Factores físicos	2a. Contracción 2b. Contracción tangencial / contracción radial 2c. Sorción 2d. Poder calorífico	Los factores 2a a 2c estan relacionados a la estabilidad dimensional. El factor 2d esta relacionado al utilización de la madera como combustible.
3. Factores biológicos	3a. Resistencia a la pudrición 3b. Resistencia a las termitas 3c. Resistencia al envejecimiento	Durabilidad natural
4. Factores estéticos	4a. Color 4b. Grano 4c. Texturo	« Apariencia » de la madera
5. Factores estructurales	5a. Proporción alburo / duramen 5b. Forma de los troncos (rectitud, conicidad) 5c. Tailla et frecuencia de los nudos 5d. Orientación de grano	Determina el rendimiento de sierramiento (valor de productos y rendimiento-material)

El impacto de los tratamientos silvícolas sobre los volúmenes producidos y el tamaño de los árboles es generalmente conocido, pero el impacto de estos últimos sobre la calidad y el valor de la madera lo es mucho menos.

8.1 Características de la madera determinantes para la calidad

8.1.1 Masa volumétrica

La masa volumétrica de la madera varía al interior de los anillos anuales, tal como está ilustrado en la figura 8.1. La amplitud de las variaciones está, sin embargo, fuertemente unida a la especie. De hecho, la amplitud de las variaciones de masa volumétrica puede tener tanta importancia como la masa volumétrica media, como indicador de la calidad de la madera para un uso determinado. Por ejemplo, una madera de masa volumétrica uniforme se presta generalmente mejor para la escultura,

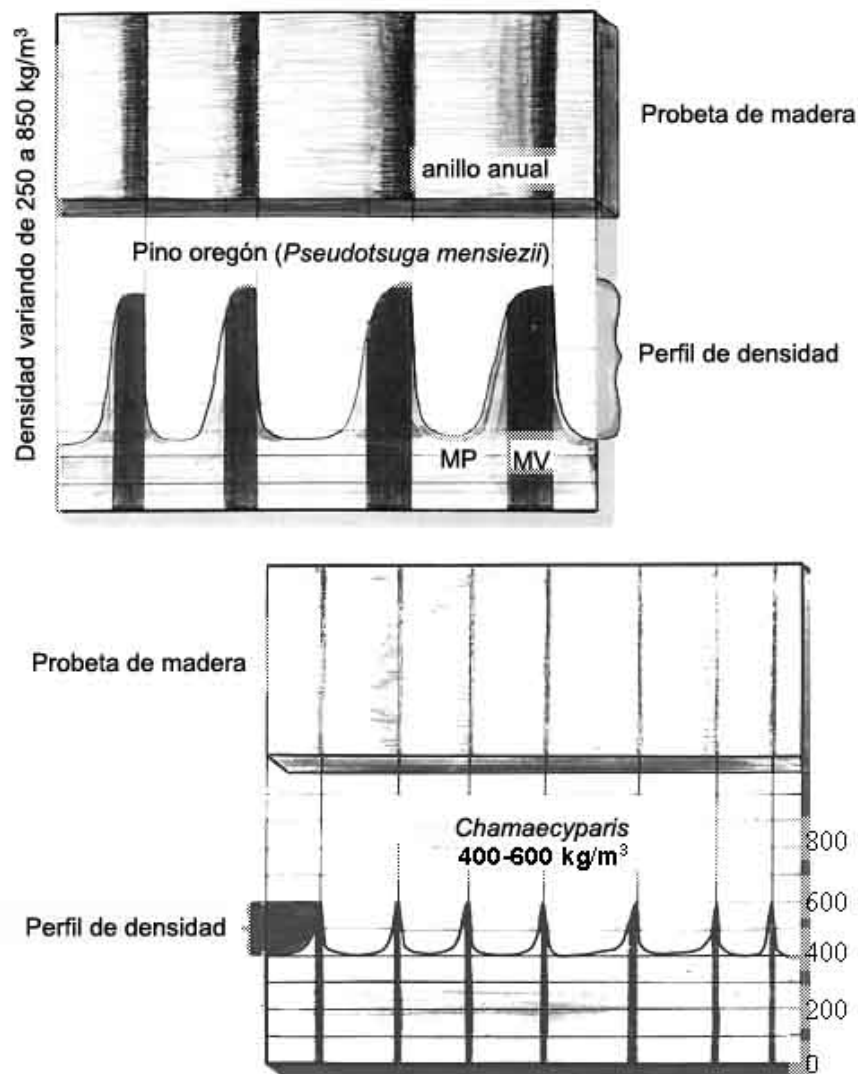


Figura 8.1 Variación de la densidad en los anillos anuales (adaptado de Josza y Middleton 1997)

en la fabricación de chapa y al torneado mejor que una madera que tiene fuertes variaciones de masa volumétrica intra-anillos. Igualmente el mantenimiento de las pinturas y barnices es mejor para las maderas de masa volumétrica homogénea, ya que la contracción/hinchamiento de esas maderas es también más homogénea.

De manera general, la masa volumétrica de la madera aumenta desde la médula hacia la corteza. Curvas típicas de la distribución de masa volumétrica de la médula hacia la corteza son presentadas en las figuras 8.2, 8.3 y 8.4. La figura 8.2 presenta la variación de la masa volumétrica en el pino oregón.

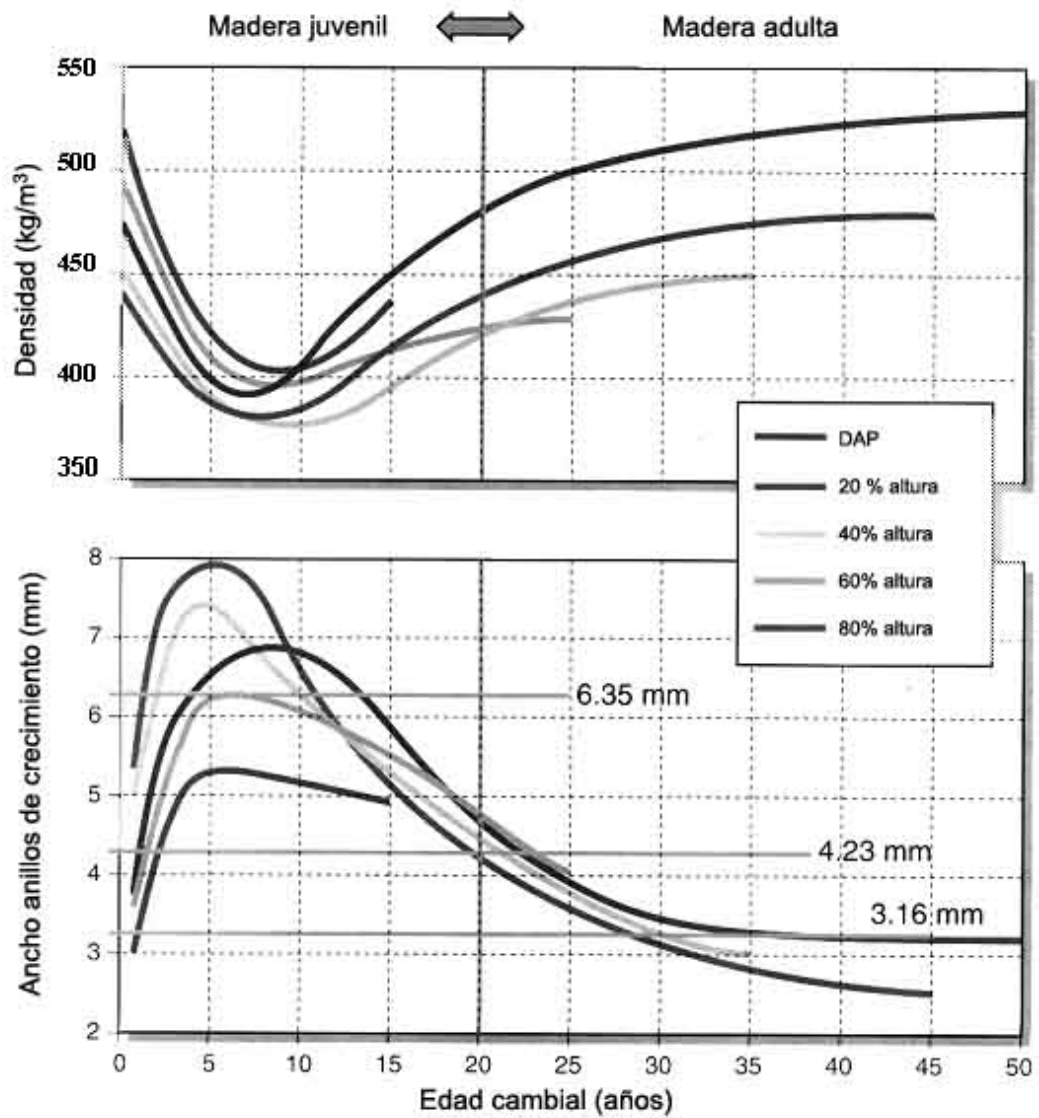


Figura 8.2 Promedio densidad y ancho de anillos anuales en función de la edad cambial en madera de *Pseudotsuga menziesii* (pino oregón) recogida a diversas alturas (adaptado de Jozsa y Middleton 1997).

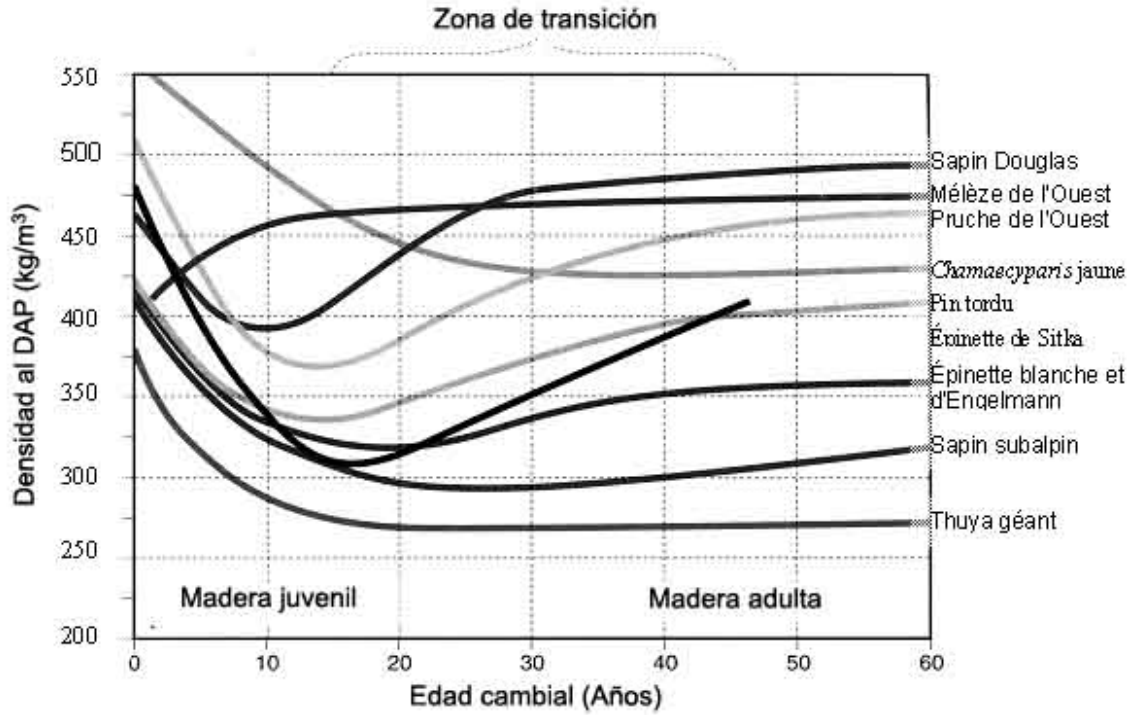


Figura 8.3 Densidad en función de la edad cambial para nueve resinosas del Oeste de Canadá (adaptado de Jozsa y Middleton 1997).

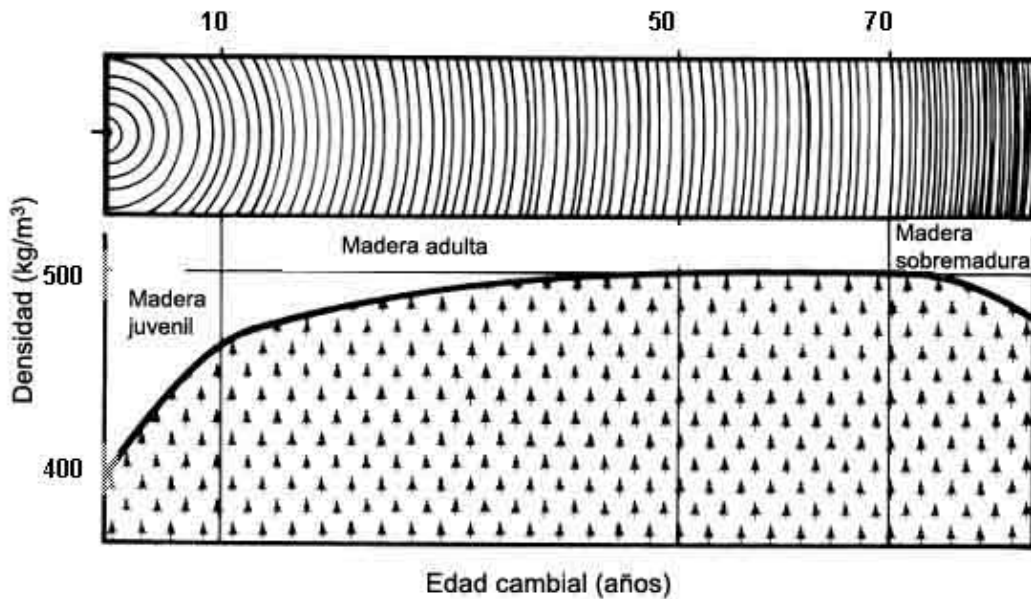


Figura 8.4 Densidad en función de la edad cambial (adaptado de Haygreen y Bowyer 1989).

Se puede ver allí una baja rápida de la masa volumétrica a partir de la médula, para alcanzar un mínimo entre 5 y 10 años de edad cambial. La masa volumétrica más elevada cerca de la médula se debería a la producción de madera de compresión en las plantas juveniles bajo el efecto del viento. Después del mínimo alcanzado en la madera juvenil, la masa volumétrica aumenta después para llegar a ser más estable después de 30 años, más o menos, de edad cambial. El período de baja masa volumétrica corresponde a un período de producción de anillos anuales e inversamente.

La figura 8.4 presenta una variante de la distribución transversal de la masa volumétrica. En ese caso, no hay aumento de la masa volumétrica alrededor de la médula. Esta distribución es frecuente en las resinosas y en varias latifoliadas de porosidad difusa.

El patrón de variación radial de la masa volumétrica, tal como se ha observado, durante los 20 primeros años de crecimiento en la espineta blanca, por Corriveau *et al.* (1990) es presentado en la figura 8.5. Se nota una baja de la masa volumétrica en los primeros años de crecimiento seguida de una fase de estabilización, seguida a su vez por una lenta, pero constante recuperación de la masa volumétrica. Los autores destacan igualmente que las características densimétricas de la madera de espineta blanca están ligadas débilmente, pero negativamente, al ancho de los anillos anuales. Por lo tanto anillos de crecimiento más anchos implican en varios casos, menor masa volumétrica. En una publicación anterior, Corriveau *et al.* (1987) mencionan, sin embargo, que la masa volumétrica de la madera y el ancho de los anillos anuales estén correlacionados negativamente en la espineta blanca, existen ejemplares y poblaciones que presentan una masa volumétrica elevada y un crecimiento rápido. Por lo tanto no hay que asociar necesariamente crecimiento rápido y baja masa volumétrica.

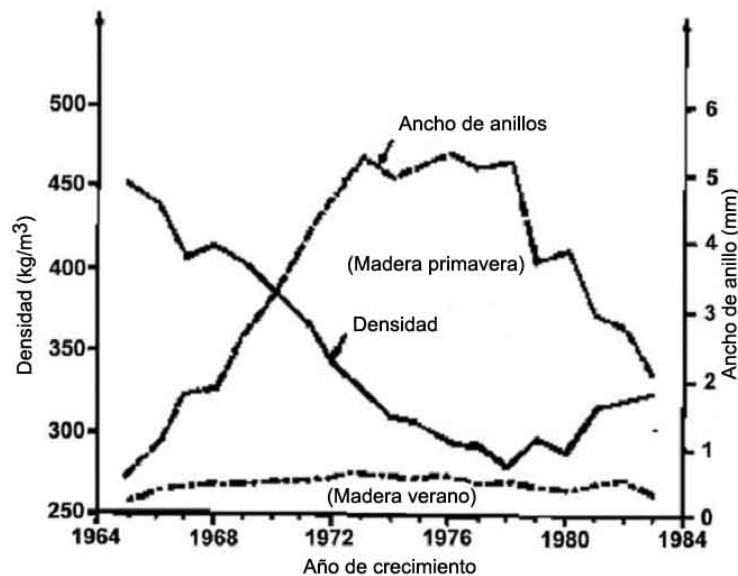


Figura 8.5 Variación radial de la densidad y del ancho de anillo en la Picea blanca (adaptado de Corriveau *et al.* 1990).

8.1.2 Madera juvenil

La madera juvenil presenta características indeseables para varias aplicaciones. Es producida durante los 20 a 30 primeros años de crecimiento y se presenta en el árbol como una columna que parte del tronco y va hasta la cima del árbol, tal como se ilustra en la figura 8.6.

Características de la madera juvenil (figura 8.7)

La proporción de la madera juvenil depende:

- 1) de la edad del árbol
- 2) del vigor y del desarrollo de la copa viva

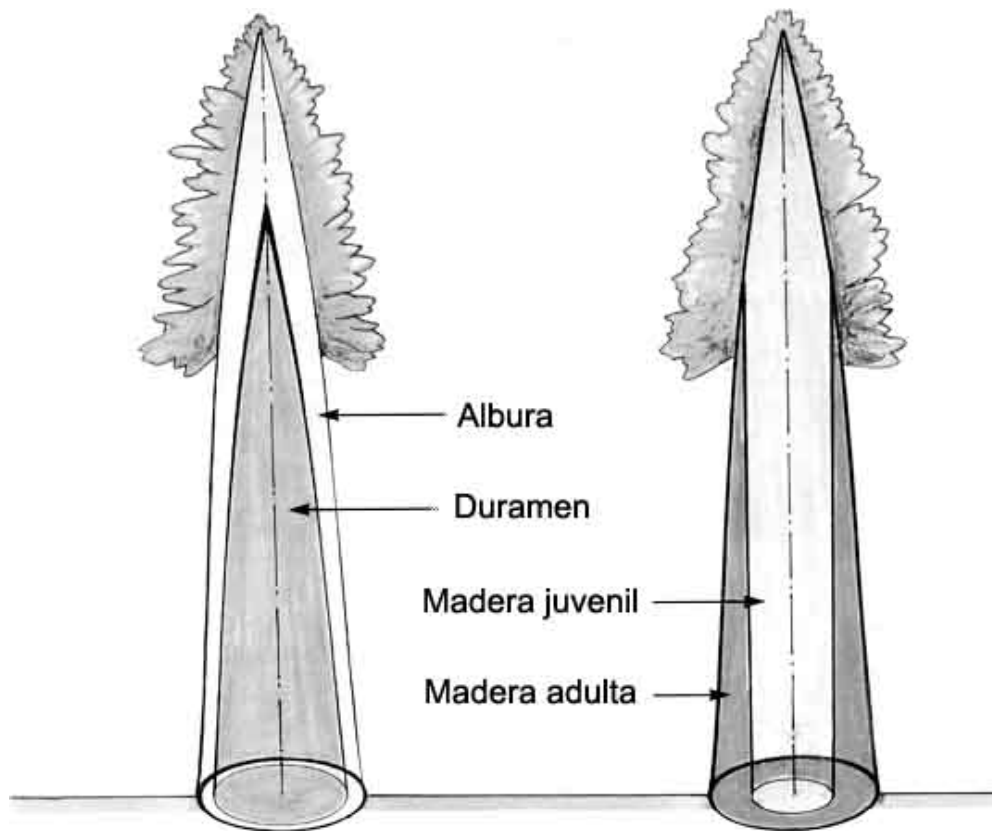


Figura 8.6 Distribución de madera de albura y duramen y de madera juvenil y adulta (adaptado de Jozsa y Middleton 1997).

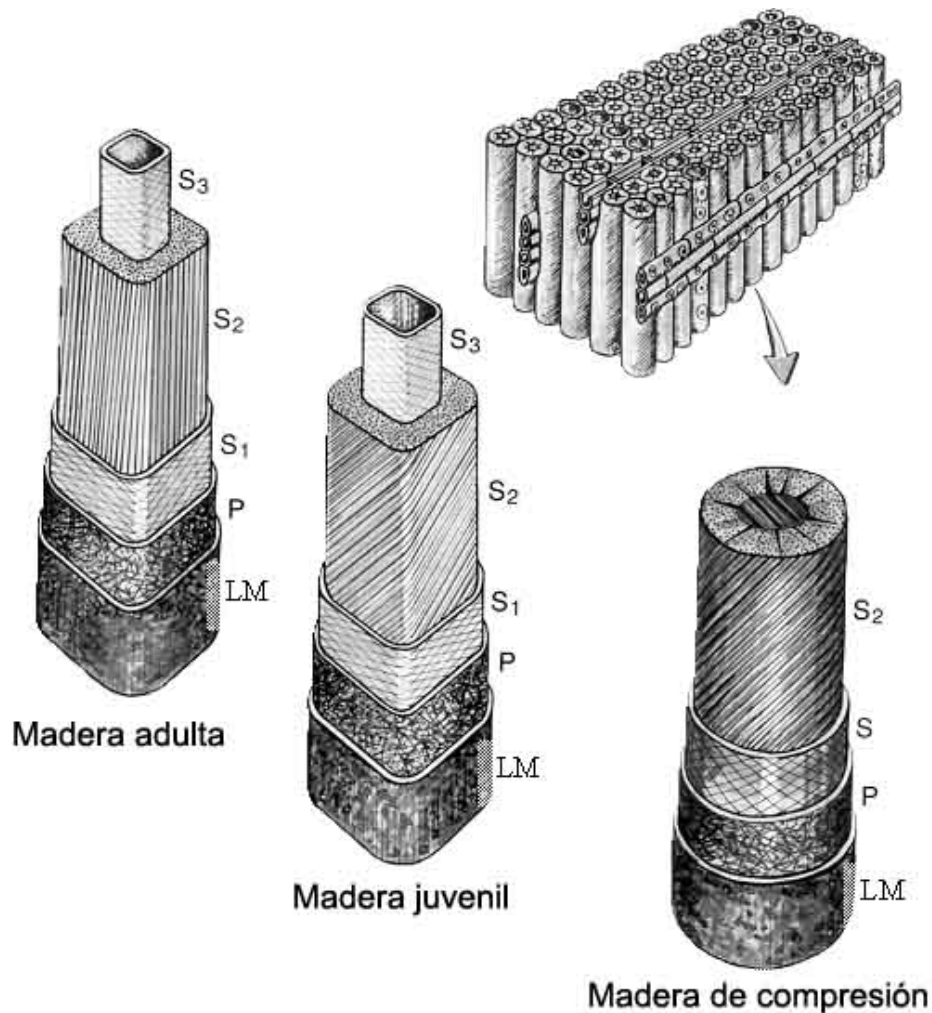


Figura 8.7 Orientación de las microfibrillas en madera adulta, juvenil y en madera de compresión (adaptado de Jozsa y Middleton 1997).

La proporción de madera juvenil en un árbol es función de la tasa de crecimiento en los primeros años de crecimiento y de la edad del árbol. A diámetro igual, un árbol de crecimiento rápido contendrá más madera joven que un árbol de crecimiento lento que no tiene una cúspide muy desarrollada. Como corolario de esto, medidas tomadas para acelerar el crecimiento a temprana edad pueden hacer aumentar la proporción de madera juvenil e incluso prolongar el período de producción de madera juvenil.

La presencia de madera juvenil tiene varios impactos sobre las propiedades de la madera, entre los principales se destacan:

- La contracción longitudinal hasta cinco veces superior de la madera juvenil, que aumenta los riesgos de torcedura.
- La resistencia mecánica inferior de madera juvenil.
- Menor rendimiento de madera juvenil para la producción de pulpa y de papel.

El módulo de elasticidad (MOE) de madera aserrada, que contiene 100% de madera juvenil puede ser 50 a 60% inferior a la madera aserrada que no la contiene. La resistencia máxima en la tracción paralela a la fibra, así como la resistencia al cizalle y a la comprensión perpendicular a la fibra disminuyen igualmente con una proporción creciente de madera juvenil (Zhang y Gingras 1998).

8.1.3 Madera de compresión

La madera de compresión se desarrolla bajo el efecto de una pendiente, vientos dominantes o cúspides desequilibradas. La presencia de madera de compresión reduce la resistencia mecánica y aumenta la contracción longitudinal.

8.1.4 Proporción albura/ duramen

La distribución característica de la madera de albura y de duramen es presentada en la figura 8.6. La proporción de madera de duramen reviste una gran importancia para los usos donde se requiere una buena resistencia a la pudrición y a los insectos (tuya del Este, enebro) y aquellos usos donde el color de la madera es importante (nogal, cerezo tardío). Como ya ha sido mencionado, la madera de duramen es más resistente a la pudrición y a los insectos que la madera de albura a causa de los extractibles que contiene, pero es igualmente menos permeable que la madera de albura.

Además la albura y el duramen presentan diferencias importantes en relación a su comportamiento en el secado. En general, la albura de las resinosas contiene mucha más agua que el duramen. Sin embargo es más fácil de retirar el agua del albura que del duramen. La permeabilidad más baja del duramen reduce su aptitud a la penetración de los productos de preservación bajo presión, del líquido de cocimiento cuando se realiza la fabricación de pulpa química, así como pinturas y tinturas.

8.1.5 Largo de las traqueidas y de las fibras

Aunque ninguna relación clara haya sido establecida entre la resistencia de la madera y el largo de las fibras, se sabe sin embargo que fibras más largas dan un papel más resistente. El largo de las fibras es por lo tanto principalmente importante para la fabricación de pulpas y papeles.

El largo de las fibras y de la traqueidas es indicador de madera juvenil, ya que ellas son netamente más cortas en la madera juvenil. Además, el ángulo de las microfibrillas es inversamente proporcional al largo de las traqueidas y de las fibras.

Las traqueidas y las fibras son más cortas cerca de la médula y más largas cerca de la corteza. Ellas son más largas en la base de la copa viva y más cortas en los niveles inferior y superior. La figura 8.8 ilustra la variación del largo de las traqueidas de espina blanca durante los primeros 21 años de crecimiento.

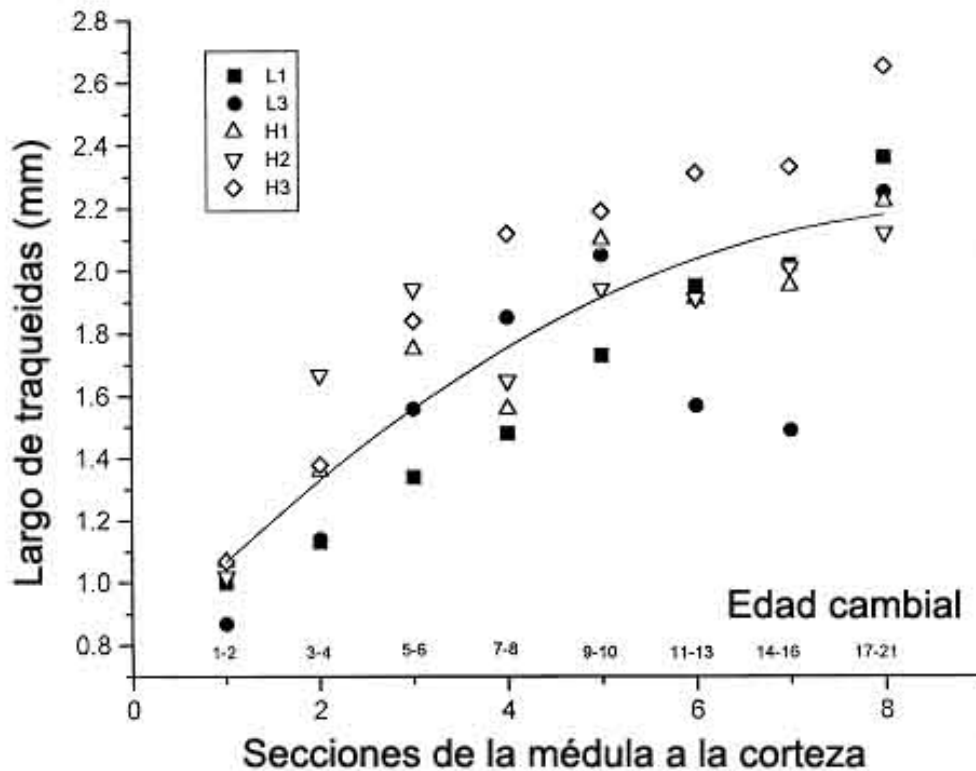


Figura 8.8 Largo de traqueidas en la Picea blanca durante los primeros 21 años de crecimiento (adaptado de Beaulieu 1998).

8.1.6 *Ángulo de las microfibrillas*

El ángulo de las microfibrillas de la pared secundaria es más notorio en la madera juvenil (alrededor de 30°) que en la madera adulta (alrededor de 10°), tal como está ilustrado en la figura 8.7.

8.1.7 *Orientación de la fibra de la madera*

El carácter más importante desde el punto de vista de la producción de madera aserrable es la orientación de la fibra, ella misma determinada por la orientación de las fibras en la pieza de madera. Idealmente, el eje longitudinal de las fibras debe ser paralelo al de la pieza. En un árbol vivo, cuya madera tiene una fibra derecha, las fibras son paralelas al eje de la planta. En algunos árboles, las fibras están dispuestas en un ángulo que puede ir hasta los 35° con respecto al eje de la planta. Se habla entonces de fibra espiral. Las maderas aserradas en tales trozas son más débiles mecánicamente y tienen más tendencia a torcerse cuando se realiza el secado. El cepillado es igualmente mucho más difícil, ya que se debe cortar la fibra.

El tipo de corte utilizado determina igualmente la disposición de los anillos anuales en las piezas, tal como está ilustrado en la figura 8.9.

La posición de madera juvenil en las piezas es por lo tanto función del corte de la pieza, lo que tiene implicaciones prácticas, tal como está ilustrado en la figura 8.10.

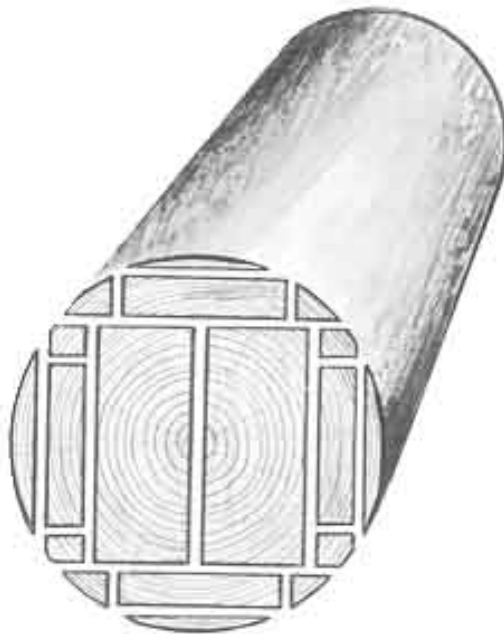
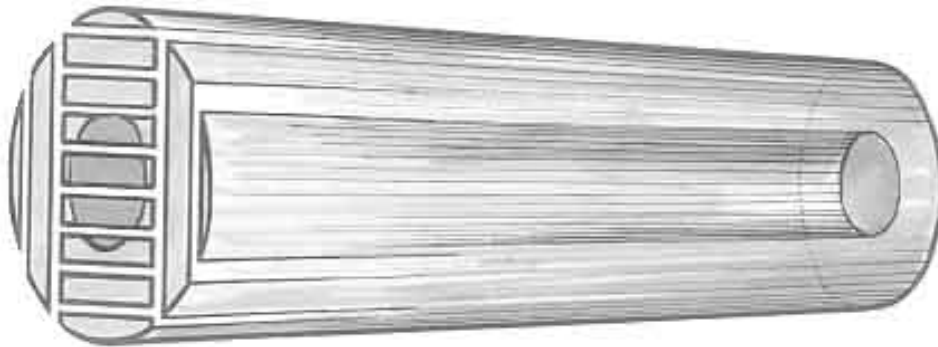
8.1.8 *Tamaño y frecuencia de los nudos*

Un nudo es la parte de una rama encerrada en la madera después del crecimiento de éste. En la medida en que la rama sigue viva, su cambium está unido al de la planta y resulta un nudo vivo. En el caso de una rama muerta la continuidad del cambium es quebrada y resulta un nudo muerto.

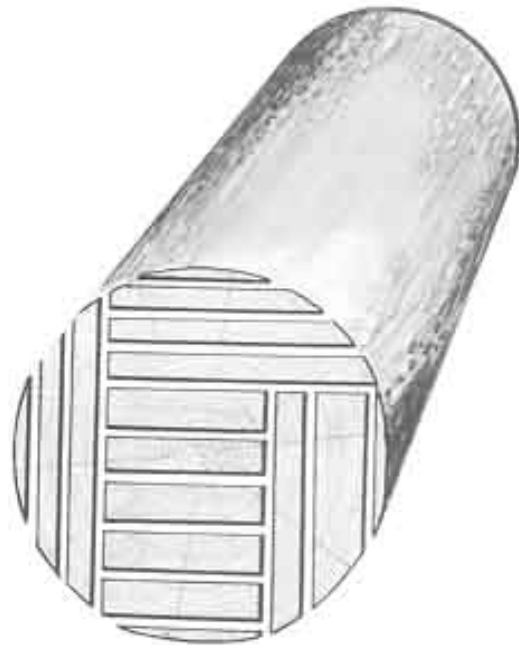
La clasificación de la madera se hace según características de 3 tipos:

- 1) factores naturales
- 2) trabajabilidad
- 3) secado

Esquema corte tangencial modificado



Esquema corte tangencial modificado
(con plano de corte centrado)



Esquema corte selectivo

Figura 8.9 Esquemas de corte (adaptado de Josza y Middleton 1997).

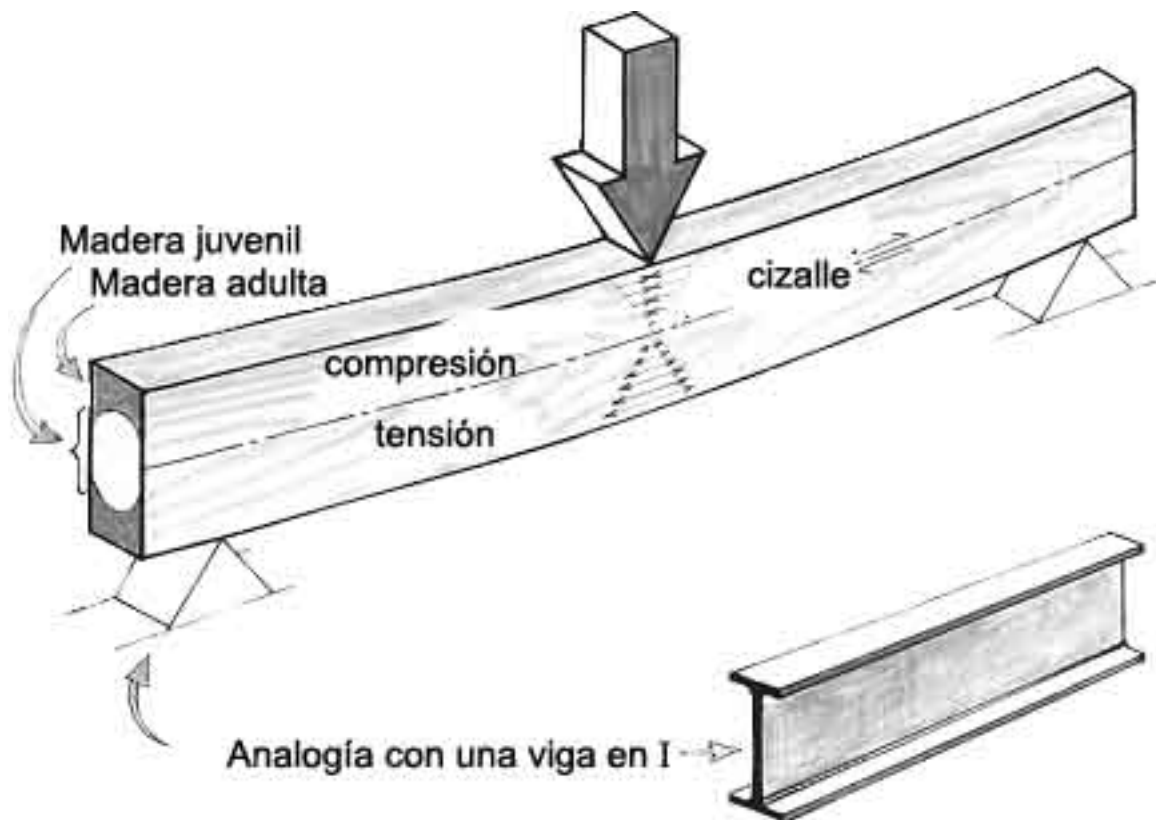


Figura 8.10 Esfuerzos en una viga sometida a flexión. Impacto en la madera juvenil. (adaptado de Josza y Middleton 1997).

El tamaño y la posición de los nudos juegan un rol mayor en la clasificación de las maderas, por lo tanto en su valor. Tal como está ilustrado en la figura 8.11, mientras más grandes son las dimensiones de las piezas, más aumenta el tamaño admisible de los nudos. Además, mientras más cerca de los bordes de las piezas están situados los nudos, más pequeños deben ser para una clase determinada. El impacto del tamaño de los nudos sobre la clasificación de las maderas aserradas de la categoría “vigas y maderas estructurales” está igualmente ilustrado en la figura 8.12.

8.2 Efectos de los tratamientos silvícolas sobre la calidad de la madera

8.2.1 Densidad de población y de plantación

La densidad de población controla el desarrollo del ápice que, a su vez, influye ampliamente en las características de la madera producida, principalmente en términos de orientación de la fibra y de proporción de madera juvenil. Se trata, de hecho, de la teoría de Larson (1969), quien dice que la cúspide (ápice) controla el crecimiento y las

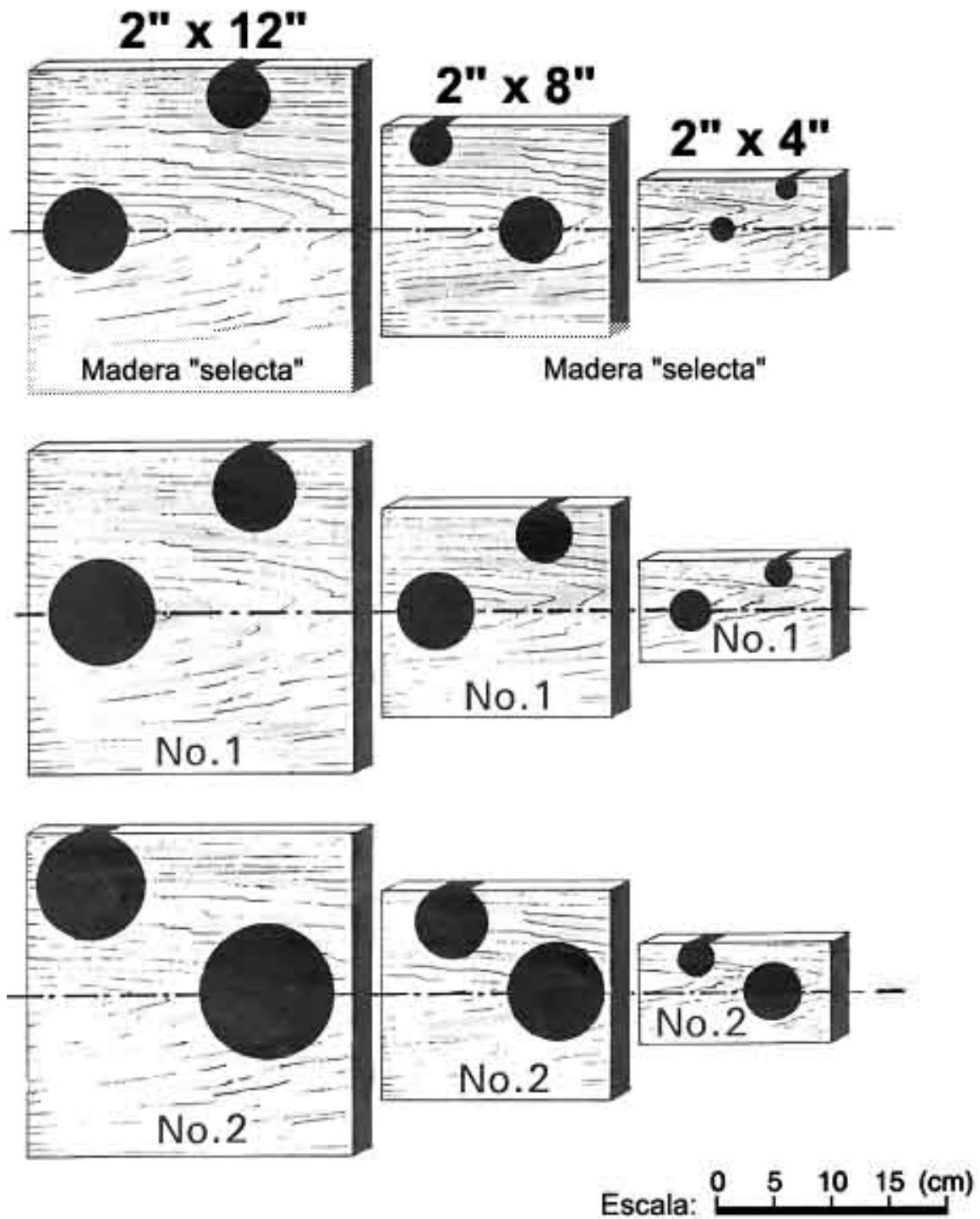


Figura 8.11 Tamaño máximo permitido en los nudos sobre los cansos y en el centro de piezas de 2" x 4", 2" x 8", y 2" x 12" (adaptado de Josza y Middleton 1997).

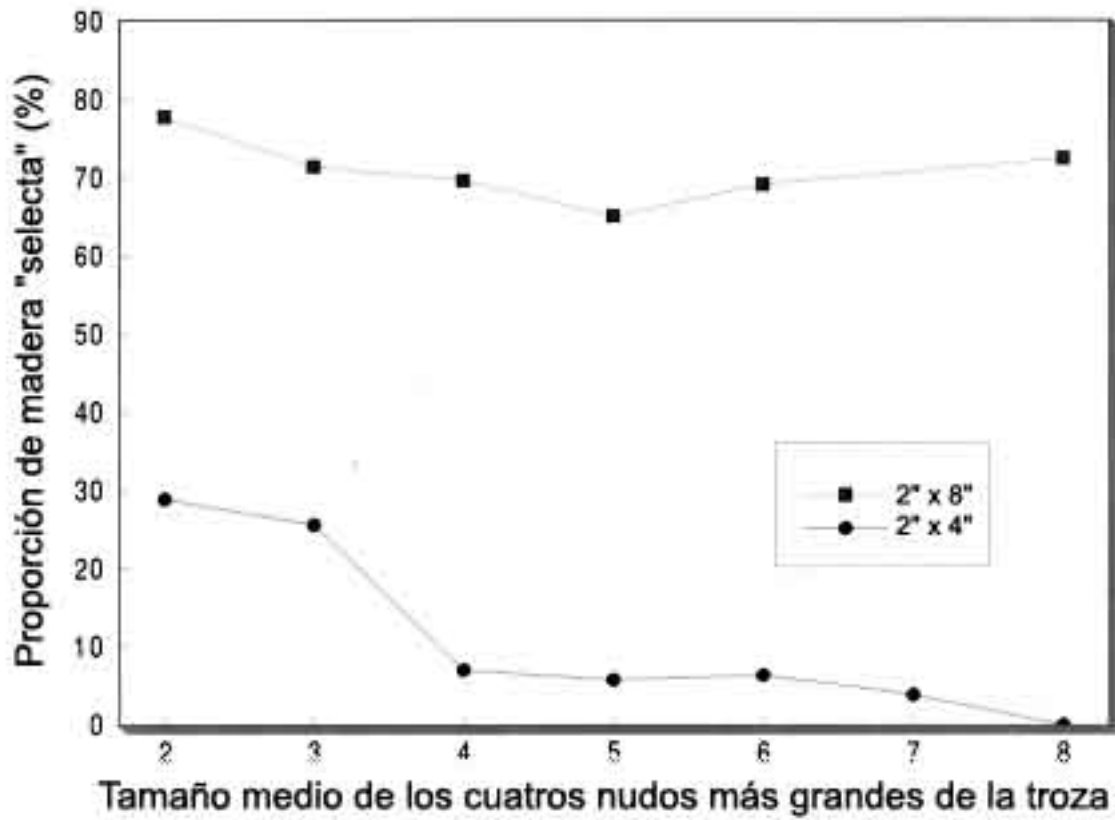


Figura 8.12 Rendimiento de madera aserrado selecta de diversas escuadrias, obtenidas de trozas clasificadas en función del tamaño promedio de los nudos (adaptado de Josza y Middleton 1997).

propiedades de la madera. La densidad de población puede ser controlada de dos maneras:

- 1) a través de raleos en la población, con una densidad deseada
- 2) controlando el espaciamiento entre los árboles en las plantaciones

El impacto de la densidad de población sobre la estructura de los árboles está ilustrado en la figura 8.13. Se debe encontrar la combinación óptima volumen/calidad para cada especie, en función del sitio.

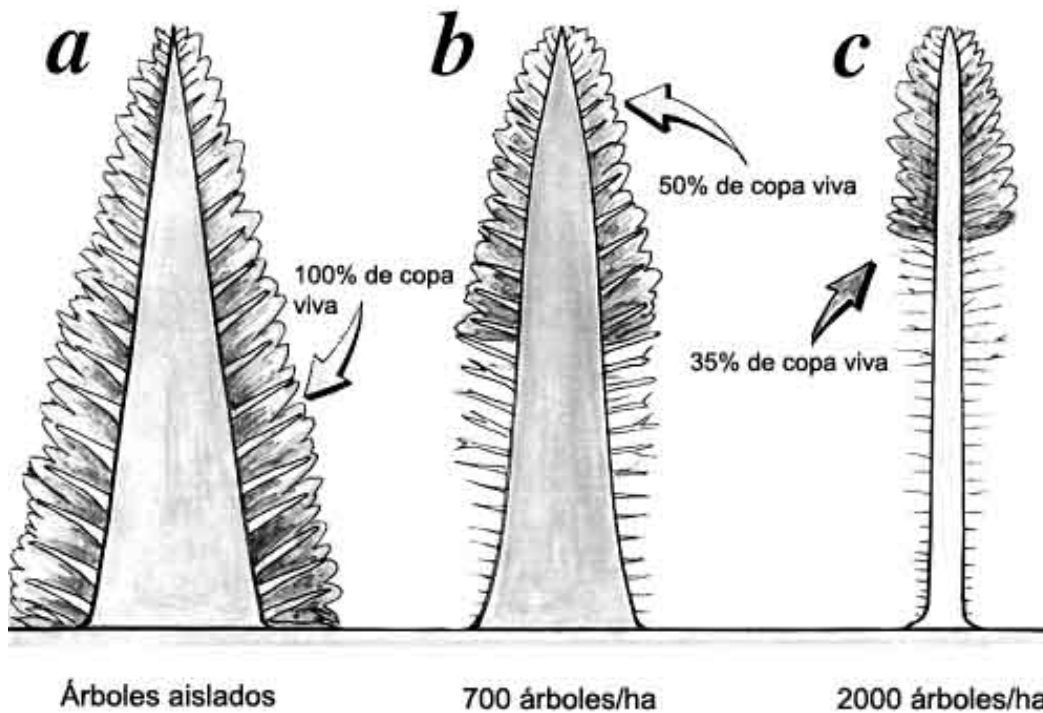


Figura 8.13 Efecto de la densidad de la población sobre el desarrollo de la copa viva (adaptado de Josza y Middleton 1997).

- 1) Árboles aislados
- 2) Población/plantación a 700 árboles/ha
- 3) Población/plantación a 2000 árboles/ha

El impacto de la dimensión de las trozas sobre el factor de transformación en aserrado, el rendimiento en aserrado y el valor de los productos son presentados en las figuras 8.14 y 8.16.

Se puede destacar que hay ciertas ventajas en producir árboles de diámetro considerable con el objetivo de producir aserrados de dimensiones más considerables, lo que es más ventajoso en el plano del valor monetario de los productos.

Se puede además destacar los siguientes puntos concernientes al espaciamiento en la plantación:

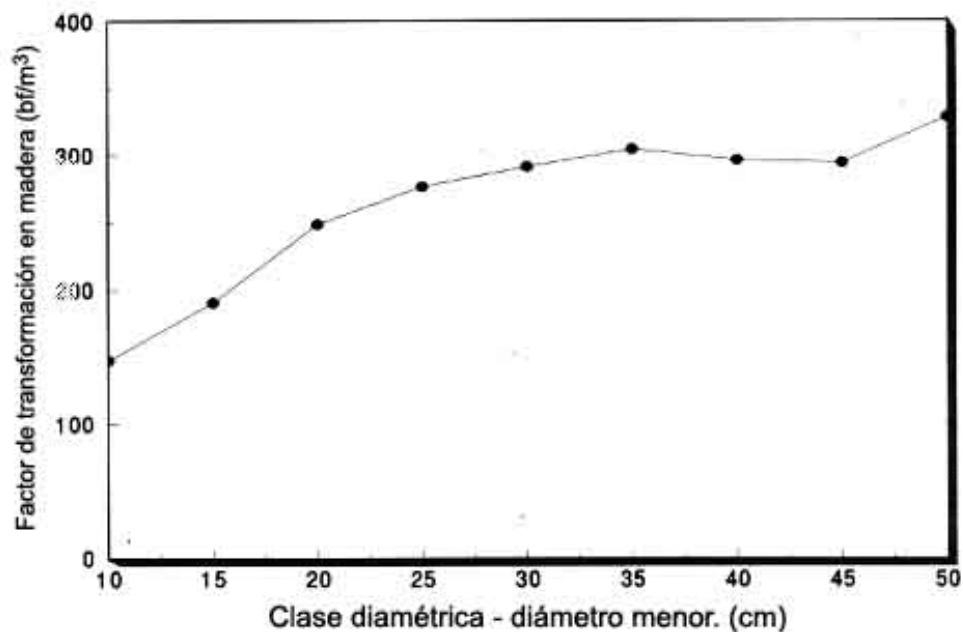


Figura 8.14 Factor de transformación en madera aserrada (adaptado de Josza y Middleton 1997).

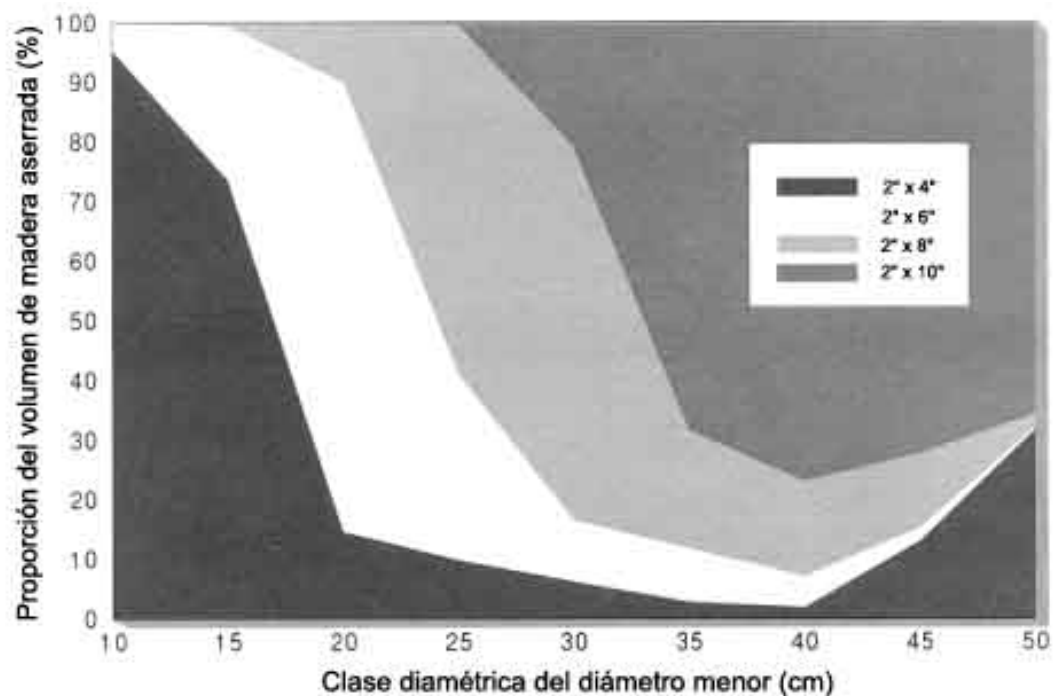
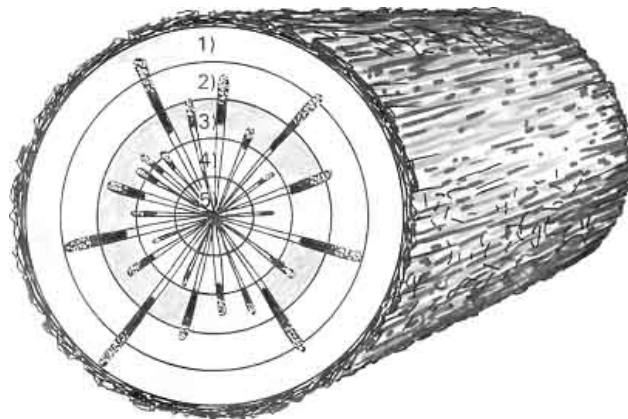


Figura 8.15 Rendimiento en madera aserrada de diversas escuadrías considerando la clase diamétrica - diámetro menor. (adaptado de Josza y Middleton 1997).



Precio en enero 1995 según
Madison's Canadian Lumber Reporter

- 1) Madera sin nudos: \$1250 US - \$4000 US / Mbf
- 2) Madera casi sin nudos: \$600 US - \$1000 US / Mbf
- 3) Madera de elaboración: \$450 US - \$800 US / Mbf
- 4) Madera de carpintería: \$350 US - \$500 US / Mbf
- 5) Madera de calidad inferior: \$200 US - \$350 US / Mbf

Figura 8.16 Zonas de calidad y valor comercial de los productos (adaptado de Josza y Middleton 1997).

En general:

- 1) Grandes diferencias de espaciamiento son necesarios para afectar las propiedades de la madera.
- 2) Plantaciones muy espaciadas producen árboles con más madera joven y con orientación muy fuerte de la fibra .
- 3) Un espaciamiento pequeño implica una masa volumétrica más elevada, por lo tanto un rendimiento en pulpa más elevado.
- 4) Más agua está disponible para un espaciamiento amplio, lo que implica que la masa volumétrica es más elevada, ya que el agua está disponible en la formación de la madera final.

En las plantaciones de espineta blanca cerca de Thunder Bay, Ontario, la transición de madera juvenil a madera adulta se producía a la edad de 8 años, cuando

el espacio era menor (1,8 m x 1,8 m) y a una edad que iba hasta los 20 años, cuando era más grande (3,6 m x 3,6 m). Eso tendería a confirmar que el período de producción de madera juvenil puede ser controlado por un espaciamiento denso al comienzo, el que favorece un crecimiento inicial lento. Estudios han demostrado igualmente que el menor espacio de plantación daba madera que tenía la menor densidad relativa.

A pesar que un mayor espaciamiento inicial pueda tener por resultados propiedades mecánicas menos buenas (proporción más elevada de madera juvenil, menor masa volumétrica y nudos más grandes), árboles más grandes procuran más posibilidades de utilización. Para el pino oregón, un espaciamiento de 3 m x 3 m ofrecía un buen compromiso entre la ganancia en volumen y las pérdidas en propiedades mecánicas (Zhang y Gingras 1998).

8.2.2 Raleos

Raleos (thinning): Retiro de una cierta proporción de plantas de una población, de manera de favorecer los ejemplares dejados en el terreno.

- el árbol cambia de medio ambiente bruscamente
- el raleo provoca generalmente un mayor crecimiento y una mejor calidad de las plantas.
- más agua y luz están disponibles para las plantas restantes.

En general:

- 1) El raleo mejora la calidad general de la población, ya que se aumenta el número de grandes trozas de calidad en el momento en que se corta.
- 2) La madera proveniente del raleo de una población joven tiene una gran proporción de madera juvenil, pero la madera de corte final tendrá menos que en una población sin raleo.
- 3) El cambium es activo más rápido en primavera en poblaciones con raleos, pero la producción de madera tardía es retardada.
- 4) El raleo tiene más efecto sobre:
 - a.- las latifoliadas de porosidad circular
 - b.- las latifoliadas de porosidad difusa y
 - c.- las resinosas

- 5) La densidad y el largo de las traqueidas no son muy afectados por el raleo.
- 6) Si el raleo es muy intenso puede dar como resultado ramas más gruesas (nudos más grandes) y el desarrollo de ramas adventicias.

8.2.3 Fertilización

Efecto de la fertilización sobre las propiedades de la madera

La fertilización es un tratamiento costoso, que se usa poco en las resinosas, pero practicado más en las latifoliadas. El efecto de la fertilización en la masa volumétrica de la madera y el largo de las traqueidas está ilustrado en las figuras 8.17 y 8.18.

Fertilización de las coníferas

En general:

- 1) La fertilización con nitrogenados causa más cambios a las propiedades de la madera. Los otros nutrientes tienen menos efecto.
- 2) La fertilización con nitrogenado causa a menudo una reducción de la masa volumétrica que va de lo severo a lo moderado. El efecto dura de 5 a 10 años, después de lo cual M_v vuelve a lo normal. La fertilización con nitrogenado produce generalmente traqueidas más cortas.
- 3) La fertilización aumenta la proporción de madera temprana y tiene poco efecto sobre la proporción de madera tardía.
- 4) La fertilización con nitrogenado debería ser poca y frecuente. Una aplicación intensa causa la formación de algunos anillos anuales de madera juvenil, provocando problemas de secado y de trabajabilidad.
- 5) El valor agregado debido al volumen de madera suplementaria anula el efecto negativo del cambio de las propiedades de la madera.

De manera general, la utilización de nitrogenado:

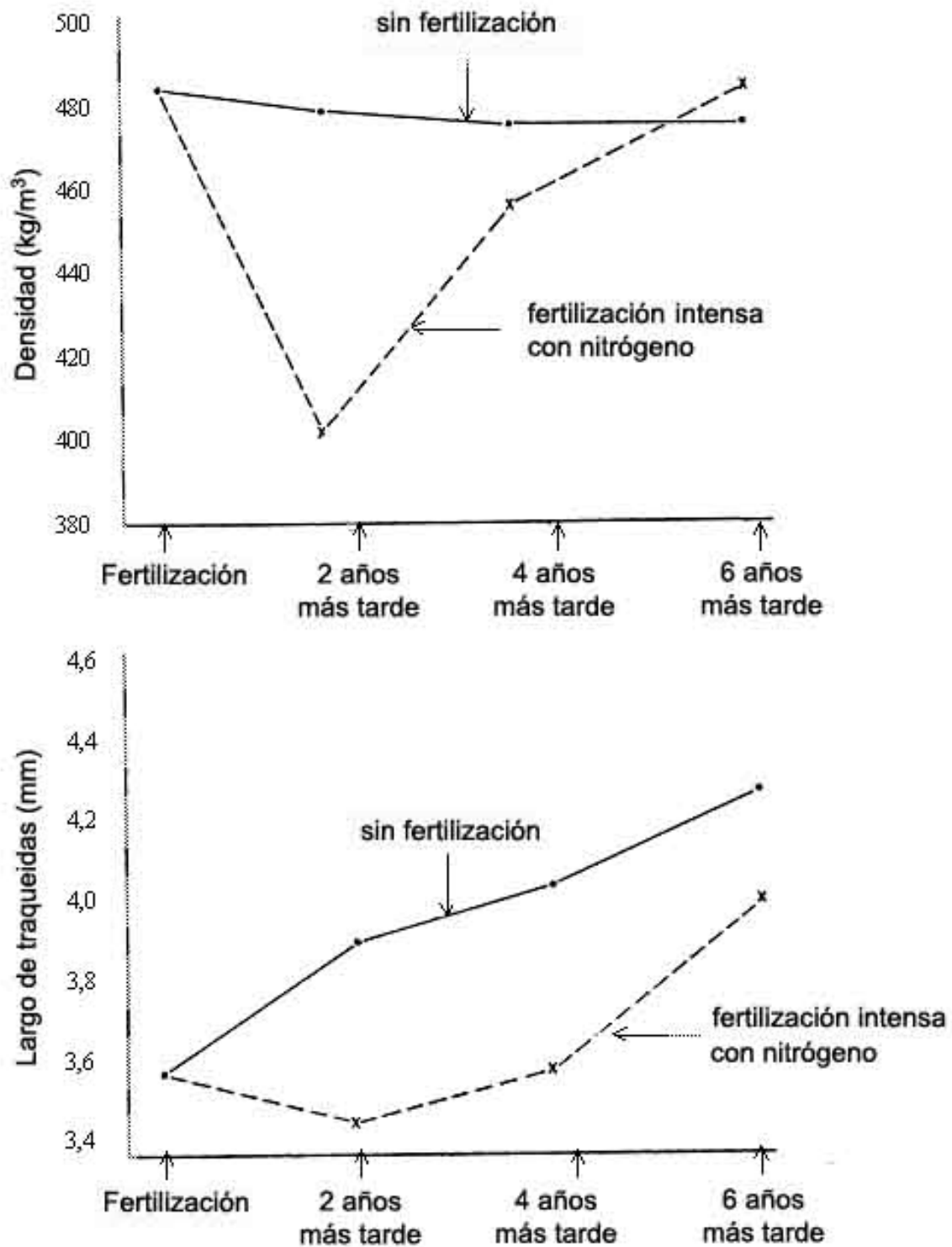


Figura 8.17 Efecto de una fertilización intensa con nitrógeno sobre la densidad de la madera y el largo de traqueidas en *Pinus taeda* (adaptado de Zobel y van Buijtenen 1997).

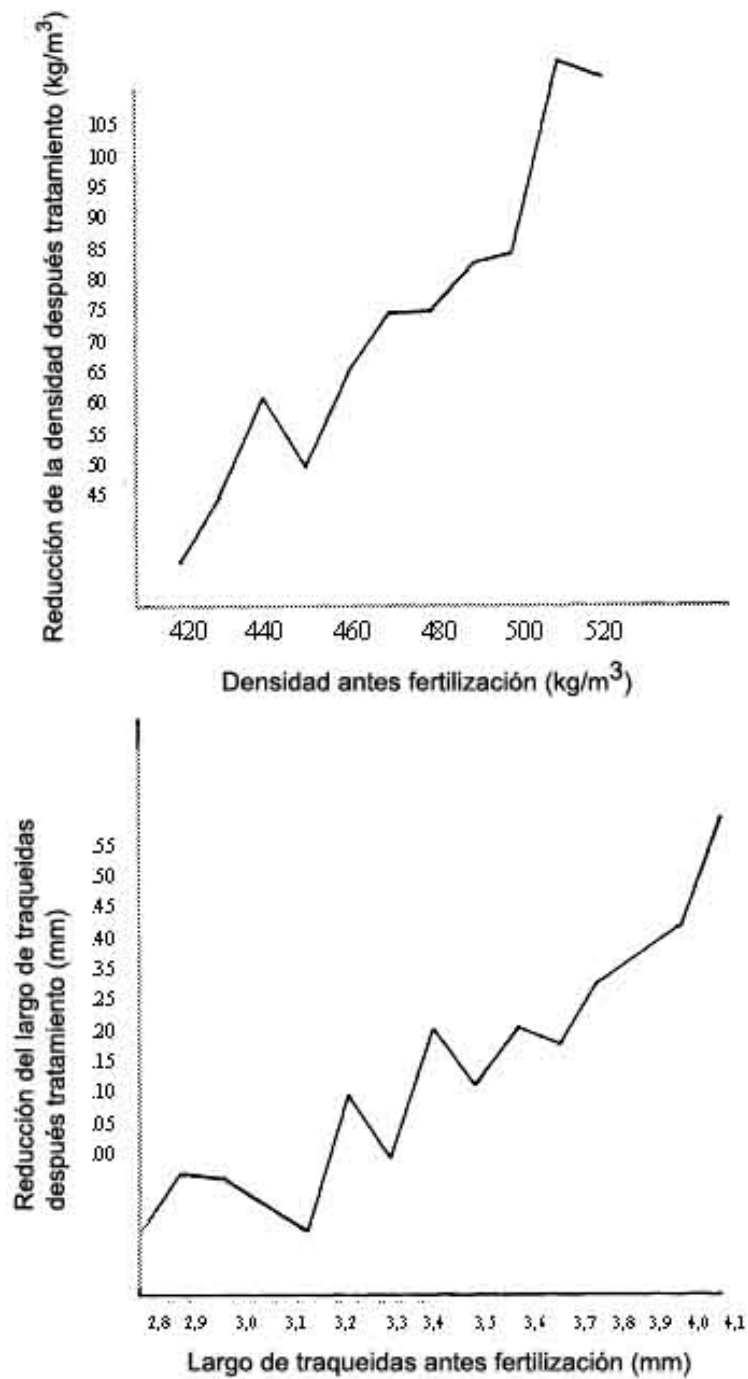


Figura 8.18 Efecto de una fertilización intensa con nitrógeno sobre los cambios de la densidad de la madera y el largo de traqueidas en *Pinus taeda* (adaptado de Zobel y van Buijtenen 1997).

- 1) Produce traqueidas de madera temprana que tienen paredes celulares más gruesas.
- 2) Produce traqueidas de madera tardía que tienen paredes celulares más delgadas.
- 3) Aumenta la homogeneidad de la madera en el anillo anual.

Fertilización en las latifoliadas

En general:

- 1) La fertilización tiene poco efecto sobre las propiedades de las maderas latifoliadas.
- 2) La fertilización con nitrogenado puede reducir la dimensión de las células, el espesor de las paredes y la masa volumétrica, como el caso de las coníferas, pero éste efecto no está claro.
- 3) El aumento del crecimiento compensa ampliamente algunas pérdidas potenciales de calidad.

8.2.4 Poda

Aunque sea poco utilizada en Canadá, la poda es ampliamente practicada en varias regiones del mundo (Chile, Nueva – Zelanda, Nord – Oeste del Pacífico, África del Sur) para obtener trozas de aserrado claras sin nudo, que dan productos de calidad superior y tienen un valor elevado.

Poda (pruning): Cortar las ramas inferiores de manera de poder controlar la altura de la copa viva.

- 1) Se retira las ramas de la parte baja de la copa viva.
- 2) Se retira la fuente de hormonas de crecimiento.
- 3) Se desplaza la copa viva hacia lo alto, deteniendo la producción de madera juvenil por debajo de la copa viva.

- 4) Se producirá menos volumen, pero una madera de mejor calidad.
- 5) Se procede por etapas sucesivas, dejando siempre por lo menos el 50% de la copa viva.

- 6) La poda es recomendada durante el período no vegetativo
- 7) La madera adulta de segundo crecimiento es de tan buena calidad como la madera adulta de primer crecimiento.
- 8) Algunas especies, tales como la Picea de Sitka, tienen tendencia a producir ramas adventicias alrededor de las ramas cortadas. Esas especies no son propicias para la poda artificial.
- 9) Es importante podar cuando la corteza está todavía delgada, es decir, cuando el árbol es joven.
- 10) Efecto de la poda sobre la curva de masa volumétrica desde la médula hacia la corteza (density trend-line).



Réferencias

- Baillères, H.; Durand, P.Y. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. *Bois et Forêts des Tropiques* 263(1) : 17-29.
- Beaulieu, J. 1998. Heritability and genetic correlations of tracheid length with growth and wood traits in eastern white spruce (*Picea glauca*) (Communication personnelle).
- Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Mothe, F.; Poliquin, J.; Doucet, J. 1990. Densité et largeur des cernes des populations d'épinettes blanches de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent. *Can. J. For. Res.* 20 : 121-129.
- Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Mothe, F. 1987. Wood density of natural white spruce populations in Quebec. *Can. J. For. Res.* 17 : 675-682.
- Haygreen, J.G.; Bowyer, J.L. 1989. *Forest Products and Wood Science : An Introduction*. Second Edition. Iowa State University Press, Ames. 500 p.
- Jozsa, L.A.; Middleton, G.R. 1997. Les caractéristiques déterminant la qualité du bois : Nature et conséquences pratiques. Forintek Canada Corp. Publication spéciale SP-34F. 42 p.
- Larson, P.R. 1969. Wood formation and the concept of wood quality. *Yale Univ. School of Forestry Bulletin* 74, 54 pp.
- Zhang, S.Y.; Gingras, J.F. 1998. Aménagement forestier pour la qualité du bois et la plus grande valeur du produit fini. *Le Progrès Forestier*, Automne. pp. 49-54.
- Zobel, B.J.; van Buijtenen, J.P. 1989. *Wood Variation : Its Causes and Control*. Springer-Verlag, Berlin. 349 p.