

INFLUENCIA DE LA MADERA JUVENIL DE PINO RADIATA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE TABLEROS OSB*

IMPACT OF RADIATA PINE JUVENILE WOOD ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF OSB PANELS

Robert PECHO¹; Rubén A. ANANIAS²; Aldo BALLERINI³; Alain CLOUTIER⁴.

RESUMEN

En este trabajo se estudia la influencia de la madera juvenil de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) sobre las propiedades mecánicas de tableros de hojuelas orientadas OSB.

La madera para los ensayos es recogida de 10 árboles en pie de 26 años creciendo en plantaciones manejadas de la Octava región, Chile. La determinación de madera juvenil se realiza observando la variación radial de los anillos de crecimiento de la madera, usando un analizador de anillos en base a rayos X. Los detalles de la estructura anatómica son determinados sobre cortes microtomados, mediante análisis de imágenes usando un software comercial. El diseño experimental considera como factores variables la proporción de madera juvenil (0, 30, 70 y 100 % de madera juvenil) y el tipo de corte de las hojuelas (radial y tangencial). El programa de prensado utilizado es temperatura de 195 °C, una presión máxima de 40 bars y un tiempo de prensado de 230 segundos.

Los resultados muestran que la proporción de madera juvenil condiciona las propiedades de los tableros OSB. En particular el IB (con 0.46 MPa para madera juvenil y 0.70 MPa para madera adulta) y el MOE (madera juvenil de 3271 y de 5159 MPa para madera madura) disminuyen significativamente con el incremento de la proporción de madera juvenil. Los valores del MOR de 34 MPa en madera juvenil y 36 MPa en el caso de madera madura, en cambio, son independientes de la proporción de madera juvenil.

Palabras Claves: madera juvenil, propiedades mecánicas, tableros OSB, pino radiata

ABSTRACT

The aim of this project was to study the impact of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) juvenile wood on the mechanical properties of oriented strandboards (OSB).

The wood samples were obtained from 26 years old plantation trees growing in the Eighth Region of Chile. The determination of the juvenile wood zone was based on the radial variation of the growth rings width using an X-ray growth ring analyzer. The characterization of the

*Recibido: 30 julio 2004. Aceptado: 07 octubre 2004. Maderas-Ciencia y Tecnología: 6(1):45-59

¹Universidad Agraria de la Selva Tingo María-Perú (e): rpecho2002@hotmail.com

²Universidad del Bío-Bío. ananias@ubiobio.cl

³Universidad del Bío-Bío. aballeri@ubiobio.cl

⁴Université Laval. Alain.cloutier@bf.ulaval.ca

anatomical structure was performed by image analysis of microtomed sections using a commercial software. The experimental design considers as independent variables the proportion of juvenile wood (0; 30; 70 and 100%) and the orientation of the strands (radial and tangential). The pressing conditions were: temperature of 195°C, 40 bars maximum pressure, and pressing time of 230 seconds.

The results show that the proportion of juvenile wood determines the properties of OSB panels. Specifically, internal bond (0.464 MPa for juvenile wood and 0.698 MPa for mature wood) and modulus of elasticity (3271 MPa for juvenile wood and 5159 for mature wood) decrease significantly with the increase of the juvenile wood proportion. On the other hand, the modulus of rupture (29.3 MPa for juvenile wood and 36.2 MPa for mature wood) was independent of the proportion of juvenile wood.

Keywords: juvenile wood, mechanical properties, OSB panels, radiate pine

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología para la producción de tableros de hojuelas orientadas (OSB) ofrece una buena oportunidad para el aprovechamiento de la madera. La industria de tableros permite la utilización de maderas tradicionalmente no comerciales, ya que no existen mayores exigencias respecto del diámetro o rectitud de las trozas, subproductos del proceso de aserrijo y de otros procesos, principalmente cantoneras y tapas. Además, la madera que están utilizando las actuales empresas de OSB en el mundo proviene de bosques de corta rotación, lo que sin duda es una gran ventaja ante el contrachapado, su más cercano competidor, que debe esperar un tiempo muy alto de rotación de sus bosques para alcanzar los diámetros que necesita (FAO 1968; Roffael y Schneider 2003).

Como es de suponer, la presencia de la madera juvenil adquiere mayor relevancia cuando se trabaja en base a especies de corta rotación, ya que la mayor parte del volumen está constituido por este tipo de madera, o cuando se utiliza en forma integral el fuste del árbol (Delmastro *et al.* 1982; Tasissa y Burkhardt 1998). Sin embargo, diversos estudios han demostrado que las diferencias con respecto a las propiedades de la madera juvenil (baja densidad, baja resistencia mecánica, entre otras) son a menudo limitadas cuando se utilizan en materiales compuestos, mejorando las variables de fabricación tales como la geometría y la compactación de los constituyentes (Geimer y Crist 1980; Stefaniak 1981; Dimitri *et al.* 1981; Pugel *et al.* 1990; Bailléres *et al.* 1996; Diaz-Vaz 2003; Pugel *et al.* 2004).

Como indicado más arriba la madera juvenil presenta características y propiedades, por lo general, diferentes de aquellas que se encuentran en la madera adulta. Estas diferencias permiten separar ambos tipos de madera, aun cuando no se observa en forma nítida un límite entre ambas, sino más bien una transición suave. Dos consideraciones que se deben tener en cuenta en la determinación de la madera juvenil, son el efecto de la edad del cambium y el método mismo de evaluación. Para la determinación de la madera juvenil, se emplea la variación de algunas características, tales como los cambios del ángulo fibrilar, de la contracción longitudinal y del porcentaje de madera tardía, las variaciones del largo de las traqueidas y la densidad (Zobel y Van Buijtenen 1989; Kucera 1994; Lee y Wang 1996).

En diferentes especies, la mayoría de los autores consideran como madera juvenil la zona comprendida entre los 5 a 10 primeros años cercanos a la médula (Delmastro *et al.* 1982; Valenzuela y Nakayama 1991; Salvo, 1999). Valenzuela y Nakayama 1991, considera en *Pinus radiata* D. Don, creciendo en Chile, como zona juvenil a los anillos comprendidos entre 1 y el 5 y madera adulta desde el anillo 7, basándose en los cambios de densidad y en la longitud de las traqueidas. En cambio, Salvo 1999 en base del ancho de los anillos de *Pinus radiata* D Don de 20, 25 y 30 años de edad, muestra la presencia de: madera juvenil desde del anillo 1 al 9; madera transición, entre el anillo 10 y 15; madera adulta, desde el anillo 16 hasta la corteza.

Por otro lado la madera de la copa, consiste principalmente de madera juvenil mientras que el trozo basal del mismo árbol contiene una predominancia de madera adulta. En *Pinus taeda*, se ha observado que la madera juvenil es un cilindro desde la base hasta la cima del árbol. Asumiendo que la copa viva es la que regula la formación de madera juvenil en el árbol, entonces las traqueidas de la madera temprana tienen grandes lumenes, espesor de pared celular delgado y una débil estructura, una reducción en la formación de la madera temprana debe contribuir a una mejora en la calidad de la madera, la reducción de la proporción de madera juvenil puede minimizar la madera temprana. Una reducción en el ancho del anillo siempre afecta la madera temprana más que a la madera tardía, favoreciendo el impacto del porcentaje de madera tardía en el ancho del anillo con la edad cambial. (Panshin y De Zeeuw 1980; Taylor y Moore 1981; Megraw 1986; Hodge y Purnell 1993; Ying *et al.* 1994; Larson *et al.* 2001).

En *Abeto douglas*, Wasniewski (1989), encuentra un 10% de aumento en el MOE y MOR de tableros de hojuelas al azar distribuidas con el incremento de la edad de los árboles de 1 a 50 años. Estos mismos parámetros aumentan a un 30 a 40 % usando subproductos de madera aserrada. Betanzo y Salinas (1998) muestran que los tableros OSB confeccionados con madera madura presentan mejor resistencia al cizalle. Además, Brochman *et al.* (2004), indican que el mayor espesor de las hojuelas mejora la estabilidad dimensional y las características mecánicas de los tableros OSB.

Además, Wasniewski (1989) muestra que el efecto de la edad de los árboles, es notable en la densidad del tablero, en particular en los gradientes de densidad horizontal, que son asociados a hojuelas más delgadas y de inferior densidad que el material más joven. Un decrecimiento en la expansión lineal de los tableros de hojuelas al azar con el incremento de la edad de la madera, es atribuido al cambio del ángulo fibrilar. El incremento en el hinchamiento de los tableros con la edad de los árboles, lo relaciona con diferencias en los parámetros de producción, así como con el espesor de las hojuelas. Igualmente, Betanzo y Salinas (1998) indican que los tableros OSB fabricados con madera juvenil son más estables dimensionalmente.

Como discutido anteriormente, las investigaciones sobre la influencia de la madera juvenil en las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes productos compuestos, es bastante limitada y no describe adecuadamente su efecto sobre los tableros de hojuelas orientadas. En Chile el pino radiata tiene potencialidades para usarse como materia prima en la construcción de tableros OSB, pero una parte importante de su producción es de madera juvenil. En el contexto anterior los objetivos de este trabajo son: Evaluar el impacto de la madera juvenil en las propiedades mecánicas de los tableros OSB y caracterizar anatómicamente la madera de pino radiata, particularmente el ancho de los anillos de crecimiento y el espesor de la pared celular.

METODOLOGÍA

Los árboles para el presente estudio proceden de un rodal de *Pinus radiata* D. Don, de 26 años de edad, de una superficie de 3,8 ha, sometido a un manejo intensivo, ubicado en el fundo "El Patagual", comuna de Coronel, perteneciente a una empresa maderera de la VIII Región (Chile).

Se eligen 10 árboles en forma aleatoria bajo criterios de dominancia (dominantes y codominantes), rectitud del fuste (fuste recto) y sanidad (sin presencia de daños). A cada árbol seleccionado se le marca el lado norte, se mide el diámetro a la altura del pecho (DAP), con una forcípula y se le determina la dominancia en forma visual. Luego del talado, de cada árbol a la altura del pecho se extrae una troza de una longitud de 1.30 m, se mide diámetro mayor y menor (Cuadro 1). Las trozas son llevadas al laboratorio Silvotecnológico de la Universidad de Concepción, allí se obtienen una pieza central de 50 mm de espesor y dos semibasas norte y sur. A continuación las dos semibasas son llevadas al Pabellón de Tecnología de la Madera (Universidad del Bío-Bío), donde se obtienen las probetas para el estudio de las características anatómicas y las hojuelas necesarias para este trabajo. Adicionalmente una probeta del corte central es preparada para la caracterización de los anillos de crecimiento.

Cuadro 1: Dominancia, diámetro y longitud de las trozas

Nº Árbol	Dominancia	Diámetro Mayor (m)	Diámetro Menor (m)	Largo (m)	Diámetro MJ (m)	ΔDiámetro MA (m)	Volumen (m³)
1	Dominante	0.43	0.41	1.30	0.18	0.25	0.141
2	Dominante	0.49	0.46	1.30	0.24	0.25	0.179
3	Dominante	0.40	0.39	1.30	0.17	0.23	0.124
4	Dominante	0.47	0.45	1.30	0.20	0.27	0.168
5	Dominante	0.45	0.44	1.30	0.20	0.25	0.157
6	Dominante	0.48	0.46	1.30	0.22	0.26	0.176
7	Codominante	0.44	0.41	1.30	0.19	0.25	0.146
8	Dominante	0.44	0.42	1.30	0.20	0.24	0.149
9	Dominante	0.45	0.44	1.30	0.20	0.25	0.160
10	Dominante	0.46	0.44	1.30	0.22	0.24	0.163

MJ: madera juvenil. MA: madera adulta

La medición de los anillos de crecimiento desde médula a corteza se realiza mediante análisis de imágenes con apoyo de un software comercial (Windendro). Adicionalmente una probeta central de cada árbol es utilizada para medir el ancho y la densidad de los anillos de crecimiento mediante un analizador de anillos de crecimiento en base a rayos X (Quintek). Estas mediciones permiten apoyar la identificación de madera juvenil y adulta. La medición del espesor de la pared celular se realiza en cortes microtomados de la cara transversal, mediante análisis de imágenes con apoyo de un software comercial (Wincell).

Los tableros OSB, se fabrican combinando madera juvenil y adulta tanto de corte radial como de corte tangencial. Se confeccionan un total de 36 tableros tal como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2: Condiciones de fabricación y número de tableros.

Porcentaje de Madera Juvenil (%MJ)	Tipo Corte	Número de Repeticiones	Total Tableros	Distribución de la MJ en el tablero OSB		
				Cara	Centro	Cara
100%MJ	Radial	4	32	MJ	MJ	MJ
	Tangencial	4		MJ	MJ	MJ
70%MJ	Radial	4		MJ	MA	MJ
	Tangencial	4		MJ	MA	MJ
30%MJ	Radial	4		MA	MJ	MA
	Tangencial	4		MA	MJ	MA
0%MJ	Radial	4		MA	MA	MA
	Tangencial	4		MA	MA	MA

MJ = Madera Juvenil

MA = Madera Adulta

Además se fabrican 4 tableros testigos (combinación de madera juvenil y adulta, tanto de corte radial y tangencial), que sirven de referencia para validar el proceso de fabricación de los tableros. Las características de los tableros OSB fabricados experimentalmente son las siguientes: razón de encolado: 5 %; espesor del tablero: 12 mm y área del tablero: $0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$. Las características técnicas del adhesivo son: porcentaje de sólido: 50.5 %; viscosidad: 450 cP y pH: 10.96. La conformación del colchón tiene un peso total de 2000 g para las tres capas del tablero se realiza como muestra la figura 1:

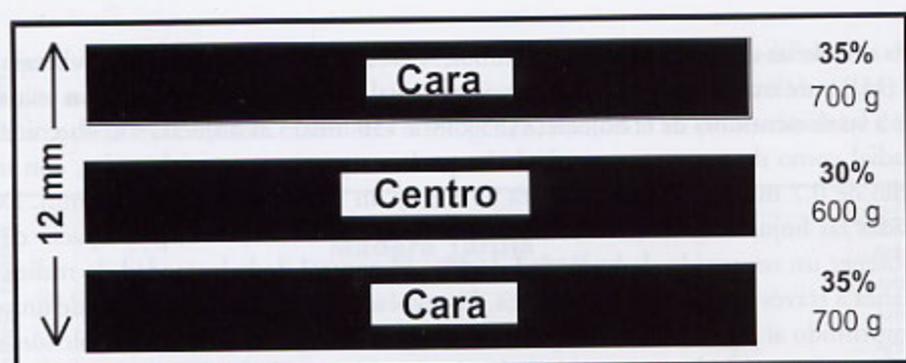


Figura 1: Conformación del colchón en las capas de los tableros OSB

El ciclo de prensado para el presente trabajo, se define sobre la base de trabajos anteriores (Freire 2001; Pino 2002), éste se especifica en la figura 2:

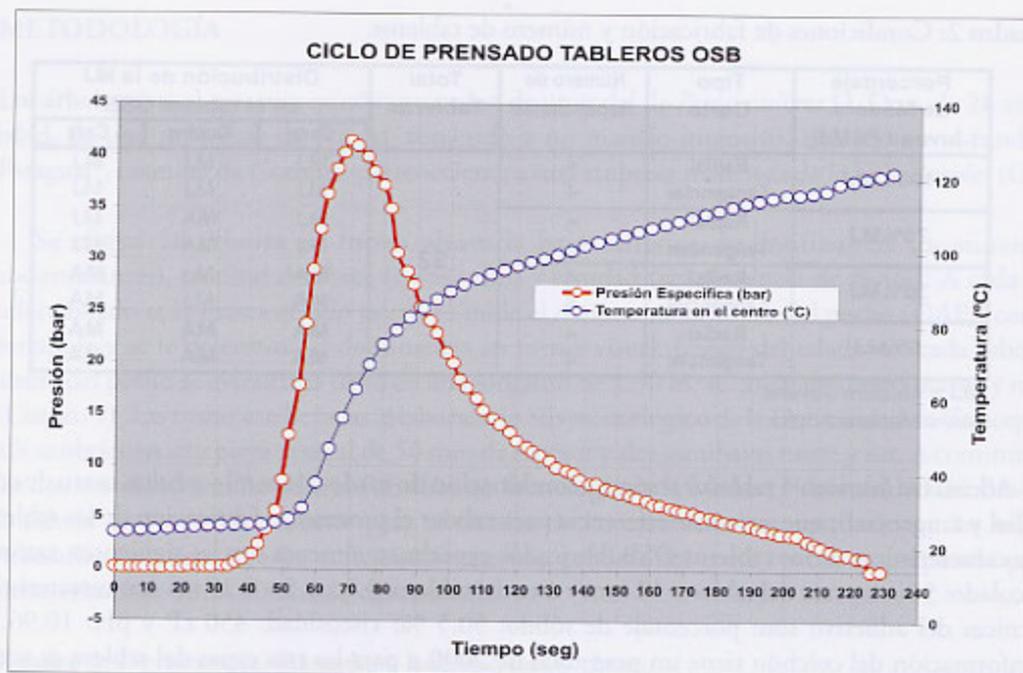


Figura 2: Ciclo de prensado utilizado en el estudio

Cada una de las dos semibasas de cada árbol, se escuadran para obtener las probetas de madera juvenil (MJ) y de madera adulta (MA), en corte radial (Rd) y tangencial (Tg). La escuadría es de acuerdo a las dimensiones de la hojelera (55 x 90 x 150 mm). Las hojuelas son obtenidas tanto de corte radial como de corte tangencial, de las probetas previamente elaboradas, con un espesor promedio de 0.7 mm, ancho de 25 hasta 55 mm y un largo promedio de 90 mm. Después de clasificadas las hojuelas se llevan a estufa a una temperatura de 70°C, por espacio de 24 horas hasta obtener un contenido de humedad de 4%. El control de la humedad se realiza en forma instantánea a través de una balanza térmica. El encolado se realiza con la ayuda de una pistola de aire comprimido al interior de la máquina encoladora. Para la formación del colchón se utilizan cajones formadores, debidamente seccionados, la tapa del cajón formador sirve además, para aplicar un pre prensado a las hojuelas. La primera y tercera capa de las hojuelas son orientadas en forma paralela, en cambio las hojuelas del centro se ubican en forma perpendicular a las caras. Una vez preparado el colchón, este es llevado a la prensa a una temperatura en los platos de 195°C, luego se colocan las dos barras de 12 mm, para regular el espesor del tablero. Seguidamente se inicia el proceso de prensado de acuerdo al ciclo indicado en la figura 2.

El formateado se realiza una vez que los tableros han alcanzado la humedad del ambiente, luego se rotulan y se cantean para quedar con la dimensión final de 40 x 40 cm. Finalmente, la evaluación de las propiedades mecánicas tracción perpendicular (IB), módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR) de los tableros OSB, se realizan de acuerdo a la norma canadiense N° 0437 Series-93.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 3, se presentan los resultados del ancho de la madera temprana medida para cada uno de los árboles, se aprecia una variabilidad en el ancho de los anillos de médula a corteza entre los diferentes árboles, variando en promedio desde 12 hasta 2 mm.

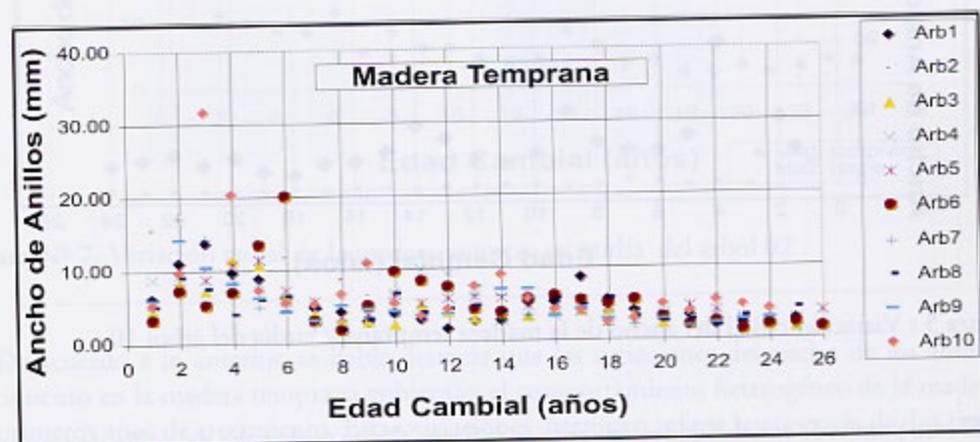


Figura 3: Variabilidad radial de la madera de primavera.

En la figura 4, se entregan los resultados del ancho de la madera tardía medidos para cada uno de los árboles en estudio, se observa un comportamiento del ancho de los anillos de crecimiento de médula a corteza en la madera tardía más homogéneo, oscilando en promedio entre 3 y 1 mm.

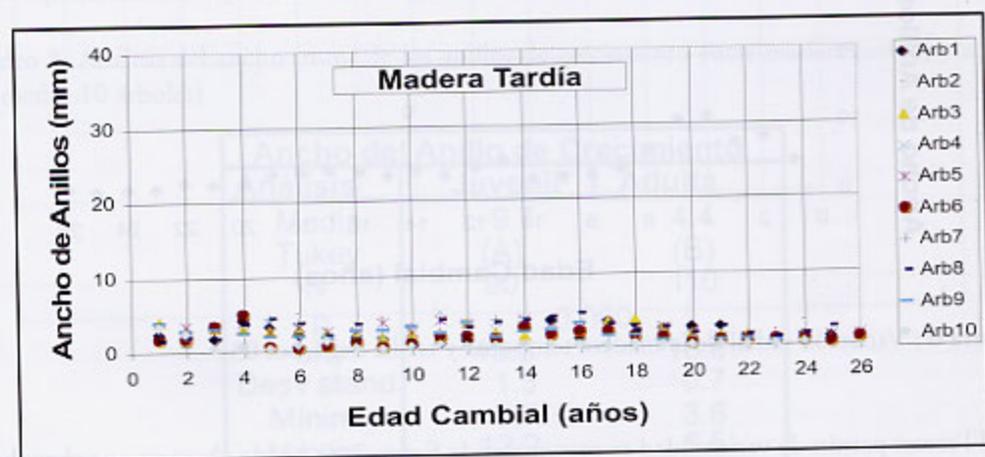


Figura 4: Variación radial del ancho de la madera tardía.

De acuerdo con lo anterior, se aprecia una variabilidad del ancho de los anillos de la madera temprana, particularmente en los primeros nueve anillos, se observan tres tipos de variabilidad entre estos 9 primeros anillos. El primer patrón de variabilidad se presenta en la figura 5, esto es, el ancho del anillo de crecimiento de médula a corteza para el árbol 10, en este caso en los tres primeros años el ancho de la madera temprana aumenta en forma acelerada hasta llegar a un

máximo de más de 30 mm, en el anillo 3 (madera juvenil), luego desciende en forma brusca hasta llegar a un mínimo de 5 mm en el anillo 7.

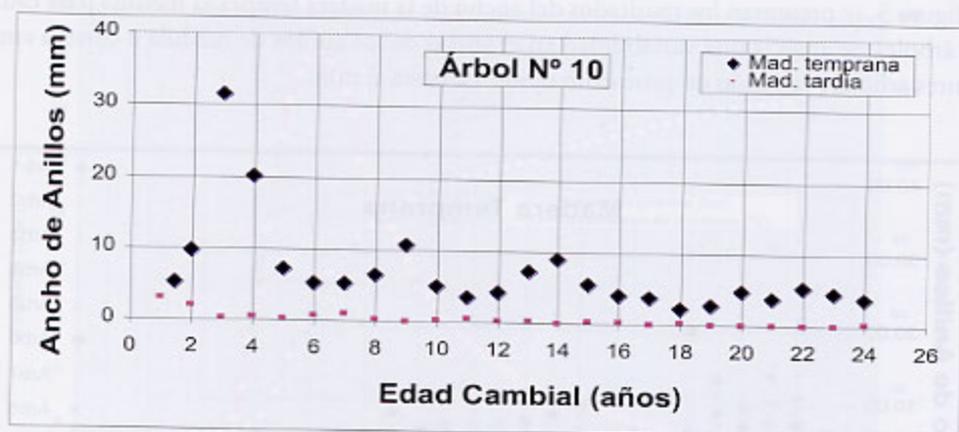


Figura 5 : Variación radial del ancho de la madera temprana y tardía del árbol 10 .

El otro patrón de variabilidad se presenta en la figura 6, este es el ancho del anillo de crecimiento de médula a corteza para el árbol 03. Los dos primeros años el ancho de la madera temprana aumenta lentamente para luego subir hasta llegar a un máximo de un poco más de 11 mm en el anillo 4, luego el ancho desciende hasta un mínimo de alrededor de 3 mm en el anillo 9.

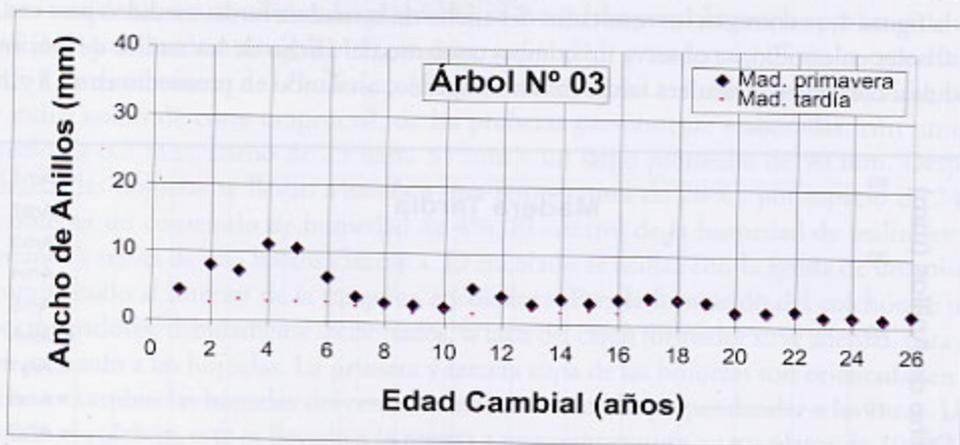


Figura 6 : Variación radial de la madera temprana y tardía del árbol 03 .

El tercer patrón de variabilidad se presenta en la figura 7, se puede observar que el ancho del anillo de crecimiento de médula a corteza para el árbol 02, es diferente a las anteriores, en este caso el ancho de la madera temprana desciende desde 15 mm en el primer anillo hasta llegar a un mínimo de un poco más 5 mm en el anillo 7.

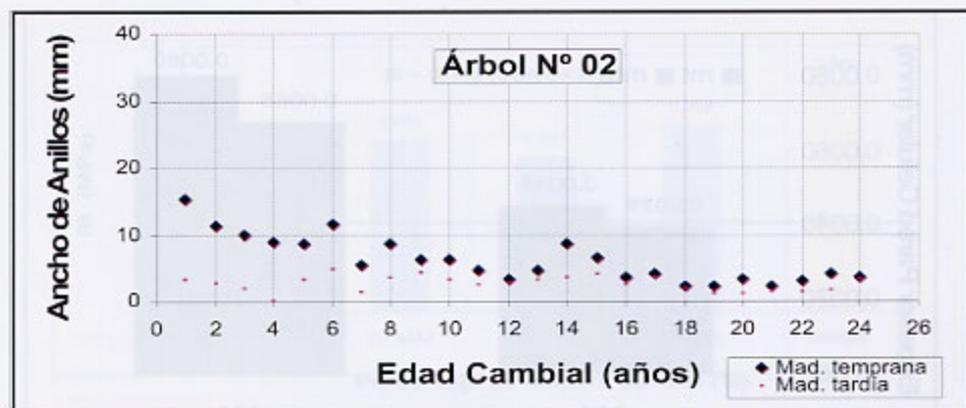


Figura N° 7: Variación radial de la madera temprana y tardía del árbol 02 .

De acuerdo a lo anterior, es dable destacar que las variaciones del ancho de los anillos de crecimiento en la madera temprana gobiernan el comportamiento heterogéneo de la madera en los primeros años de crecimiento. Estas variaciones permiten inferir la presencia de dos tipos de madera: madera juvenil con una fuerte variación en el ancho de la madera temprana durante los primeros 9 años del árbol y a continuación madera adulta con madera temprana homogénea durante toda la vida del árbol.

El análisis del ancho de los anillos de crecimiento que se presenta en el cuadro 3, muestra que la madera juvenil tiene los anillos de crecimiento de la madera temprana significativamente más anchos que la madera adulta.

Cuadro 3: Análisis del ancho (mm) de los anillos de crecimiento entre madera juvenil y adulta (promedio 10 árboles)

Ancho del Anillo de Crecimiento		
Análisis	Juvenil	Adulta
Media	9.7	4.4
Tukey	(A)	(B)
N	90	110
p	0.000	
c.v.	13.3	16.6
Desv stand	1.3	0.7
Mínim	7.7	3.6
Máxim	12.2	5.5

Por otra parte el espesor de la pared celular se muestra en la figura 8, en todos los casos resulta la madera temprana (mt) con menor espesor que la madera tardía (mta). Además, las traqueidas de la madera juvenil (MJ) presentan un menor tamaño en el espesor de la pared celular que la madera adulta (MA). Según el análisis estadístico, la madera tardía presenta un significativamente mayor espesor de pared celular que la madera temprana. Este comportamiento es asociado a la actividad cambial (Burton 1974a y b; Krestschmann et al. 1993).

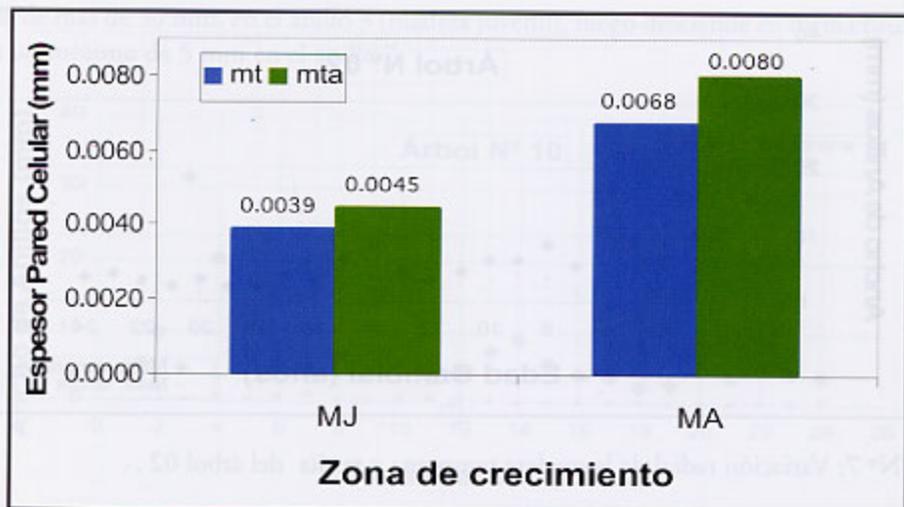


Figura 8: Espesor de la pared celular (promedio 10 árboles)

Mj: madera juvenil. MA madera adulta. mp: madera temprana. mv: madera tardía

En el cuadro 4, se presentan los resultados del efecto del tipo de corte de las hojuelas, sobre las propiedades mecánicas de los tableros OSB construidos con diferentes porcentajes de madera juvenil. Se observa que estos se encuentran muy por encima de lo requerido por la norma Canadiense N° 0437 Series-93.

Cuadro 4: Efecto del tipo de corte de las hojuelas en las propiedades mecánicas y los valores requeridos por la norma Canadiense CSA O437 Series-93.

PROPIEDAD	Tipo de Corte		Requerido
	Radial	Tangencial	
IB (MPa)	0.666 0.15	0.532 0.10	0.345
MOR (MPa)	38.7 7.7	30.2 6.1	12.4
MOE (MPa)	4522 821	4262 779	1500

La tracción perpendicular (IB), en el tipo de corte, presenta diferencias estadísticas significativas ($p = 0,000 < 0,05$). Según el test de rango múltiple de Tukey al 95%, se observa que los tableros construidos con hojuelas de corte radial presentan los mayores valores de IB respecto al corte tangencial, debido probablemente a un mejor acomodo interno de las hojuelas de corte radial que es favorecida por su estructura anatómica.

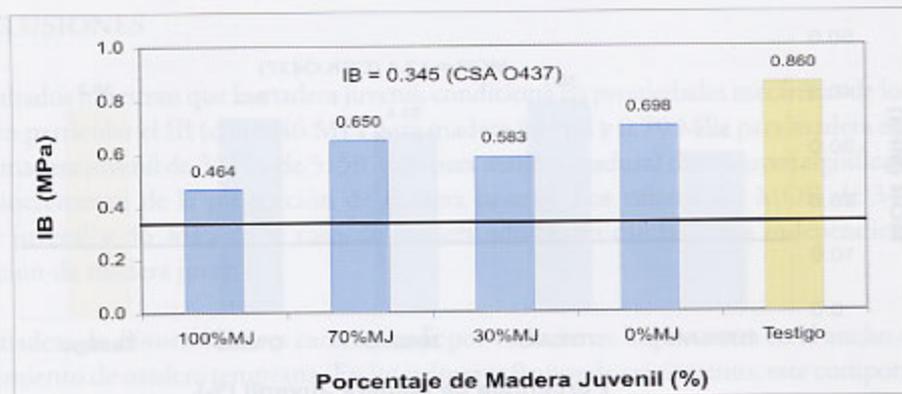


Figura 9: Variación de la tracción perpendicular (IB) de los tableros con respecto al porcentaje de madera juvenil.

En la figura 9, se presenta la tracción perpendicular (IB) de los tableros construidos con diferentes porcentajes de madera juvenil. La IB presentan diferencias estadísticas significativas, cuyo valor de $p = 0,0000 < 0,05$. De acuerdo al test de rango múltiple de Tukey con $\alpha = 0,05$, se encuentra que la tracción perpendicular de los tableros construidos con el 0%MJ es diferente estadísticamente a los demás porcentajes de madera juvenil, su valor de tracción es 0.70 MPa. Entre el 70%MJ y 30%MJ no existen diferencias estadísticas significativas. Y finalmente el 100%MJ es el más bajo, con un valor de 0.46 Mpa. En cambio el tablero testigo alcanza un valor de 0.86 MPa. Cuando la madera juvenil se encuentra en el centro del tablero (100%MJ y 30%MJ) los tableros presentan una mejor cohesión interna.

Por otra parte los ensayos de flexión estática son determinados por el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), en la dirección perpendicular de la capa superficial de los tableros. El tipo de corte afecta significativamente al MOR de los ($p = 0,0077 < 0,05$). Al realizar el test de rango múltiple de Tukey con $\alpha = 0,05$, se encuentra que los tableros construidos con hojuelas de corte radial presentan valores más altos que los fabricados con hojuelas de corte tangencial. Probablemente la presencia de los anillos de crecimiento de madera de verano influye de manera más importante en este tipo de corte.

La figura 10, se refiere al módulo de ruptura de los tableros construidos con diferentes porcentajes de madera juvenil. De acuerdo al análisis estadístico estos no presentan diferencias estadísticas significativas ($p = 0,0813 > 0,05$). Estos valores de ruptura se comportan de manera bien homogénea. Sin embargo, los mayores módulos de ruptura corresponden a los tableros construidos con 70%MJ, los cuales alcanzan valores de 38.7 MPa; y contrariamente los tableros construidos con 100%MJ, logran sólo 29.3 MPa. El valor del testigo 38.2 MPa, es similar a todos los tableros construidos con diferentes porcentajes de madera juvenil. La resistencia máxima de la flexión es recibida en las caras de los tableros, lo que está íntimamente relacionado con la densidad en las caras de los tableros.

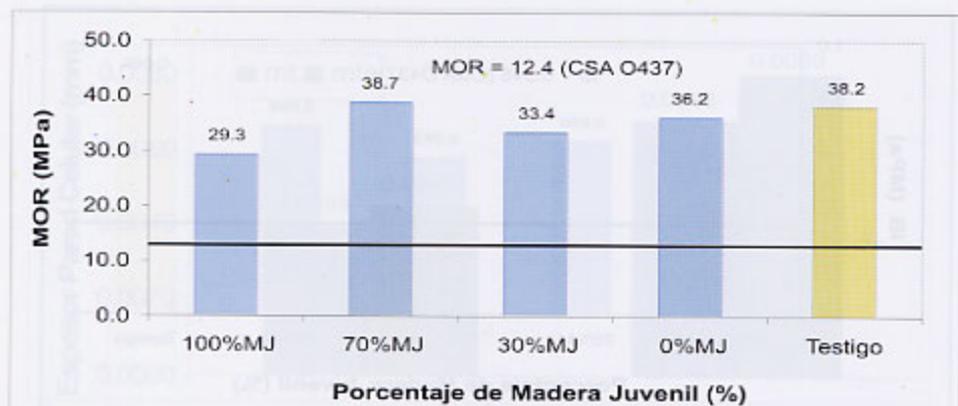


Figura 10: Variación del módulo de ruptura perpendicular (MOR) con respecto al porcentaje de madera juvenil.

Los valores del módulo de elasticidad de los tableros construidos con diferentes porcentajes de madera juvenil son presentados en la figura 11. De acuerdo al análisis estadístico, el tipo de corte no influye significativamente en el MOE ($p = 0,3744 > 0,05$). Sin embargo, el tipo de corte radial presenta mayores valores de elasticidad, en comparación con los tableros fabricados con hojuelas de corte tangencial. El MOE presenta diferencias estadísticas significativas con la proporción de madera juvenil ($p = 0,0005 < 0,05$). Y al realizar el test de rango múltiple de Tukey con $\alpha = 0,05$, se encuentra que el módulo de elasticidad de los tableros construidos con el 0%MJ y el 70%MJ no presentan diferencias estadísticas significativas, y sus valores son los más altos. En cambio el 30%MJ es inferior al 0%MJ y 70%MJ, pero es mayor en comparación al 100%MJ. Y finalmente el 100%MJ es el que presenta los menores valores de elasticidad en comparación con los demás tableros construidos con diferentes porcentajes de madera juvenil.

Comparados los resultados del módulo de elasticidad de los tableros construidos con diferentes porcentajes de madera juvenil con el testigo, se observa que no existen diferencias, siendo estos resultados bien homogéneos. El 0%MJ y 70%MJ presentan mayores valores de elasticidad, probablemente debido a una mejor densificación en la superficie de los tableros. El 70%MJ presenta madera juvenil en el centro del tablero, mientras que el 0%MJ está construido solo de madera adulta, favoreciendo la flexión de los tableros.

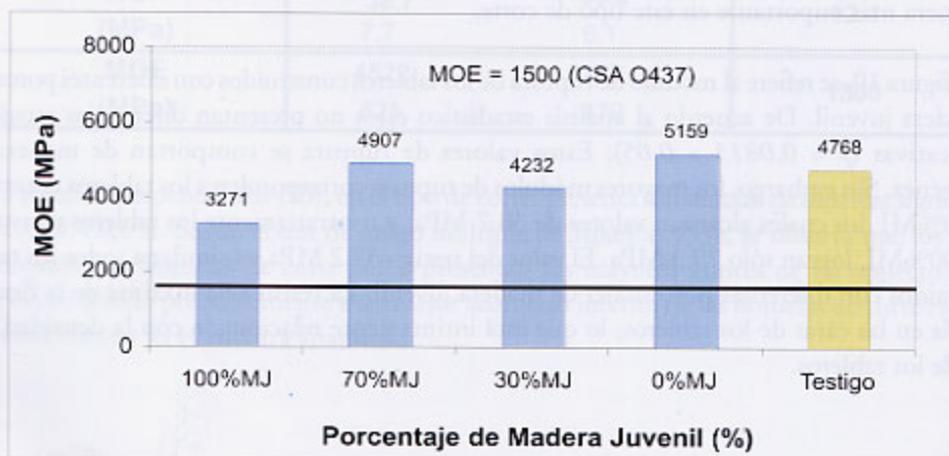


Figura 11: Variación del módulo de elasticidad perpendicular (MOE) con respecto al porcentaje de madera juvenil.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la madera juvenil, condiciona las propiedades mecánicas de los tableros OSB. En particular el IB (con 0.46 MPa para madera juvenil y 0.70 MPa para madera adulta) y el MOE (madera juvenil de 3271 y de 5159 MPa para madera madura) disminuyen significativamente con el incremento de la proporción de madera juvenil. Los valores del MOR de 34 MPa en madera juvenil y 36 MPa en el caso de madera adulta, en cambio, son independientes de la proporción de madera juvenil.

La madera de *Pinus radiata* es caracterizada por variaciones importantes en el ancho del anillo de crecimiento de madera temprana. En los primeros 9 años de crecimiento, este comportamiento permite distinguir la madera juvenil de la madera adulta.

Tres patrones diferentes de variabilidad de los anillos de crecimiento de la madera temprana son observados durante los primeros 9 años de crecimiento del pino radiata: a) aumento y disminución brusco, b) aumento y disminución suave y c) disminución del ancho de madera temprana.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa de Magister en Ciencia y Tecnología de la Madera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Bío Bío, por el financiamiento de una parte de este estudio. Al personal del Laboratorio de Materiales Compuestos de la Universidad del Bío-Bío por su apoyo técnico. Y al Laboratorio Silvotecnológico de la Universidad de Concepción por la donación de la madera utilizada en este estudio

BIBLIOGRAFÍA

- BAILLÉRES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER-DJIMBI, M. 1996. "Plantaciones de árboles de calidad y de rápido crecimiento de productos forestales en los trópicos". VOLUMEN 3, TEMA 12. August 26-31. IUFRO WP S5: 01-04
- BETANZO, K.; SALINAS, F. 1998. "Estudio del comportamiento de elementos combinados de madera juvenil y madura de Pino insignis (*Pinus radiata* D. Don)". Seminario de Titulación Ingeniería de Ejecución en Maderas UBB. Concepción, Chile.
- BROCHMAN, J.; EDWARDSON, C.; SHMULSKY, R. 2004. "Influence of resin type and flake thickness on properties of OSB". *Forest Products Journal*. 54, N° 3: 51-55.
- BURTON, J.; SHOULDERS, E. 1974A. "Wide rings, short rotations, and dense wood in loblolly pine plantations. In: Proceedings, TAPPI forest biology conference; 1974 September 18-20; Seattle, WA.: 81-84.
- BURTON, J.; SHOULDERS, E. 1974B. "Fast-grown, dense loblolly pine sawlogs: a reality". *Journal of forestry*. 72: 637-641.

- CANADIAN STANDARD ASSOCIATION. 1994. Normes relatives aux panneaux de particules orientées et aux panneaux de grandes particules. CSA-O437 Séries 93. 85pp.
- DELMASTRO, R.; DIAZ-VAZ, J.; SCHLATTER, J. 1982. "Variabilidad de las características técnicas hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don) revisión bibliográfica", Investigación y Desarrollo Forestal, Documento de Trabajo (34).
- DIAZ-VAZ, J. 2003. "Anatomía de maderas". Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 151 pp.
- DIMITRI, L.; BISMARCK, C.; BOTTCHEER, P.; SCHULZE, J. 1981. "Production and use of poplar small-wood particleboard manufacture". *Holzucht* 35 (1/2): 1-7.
- FAO. 1968. "Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. 250 pp.
- FREIRE, L. 2002. "Evaluación de ciclos de prensados en la fabricación de tableros OSB-02 de álamo y pino". Seminario de Titulación Ingeniería de Ejecución en Maderas. UBB. Concepción, Chile 104 pp.
- GEIMER, R.; CRIST, J. 1980. "Structural flakeboard from short-rotation intensively cultured hybrid populus clones". *Forest Products Journal*. 36 (6): 42-48.
- HODGE, C.; PURNELL, R. 1993. "Genetic parameter estimates for wood density, transition age, and radial growth in slash pine". *Canadian Journal of Forest Research*. 23: 1881-1891.
- KRESTSCHMANN, D.; MOODY, R.; PELLERIN, R.; BENDTSEN, A.; CAHILL, J.; MCALISTER, R.; SHARP, D. 1993. "Effect of various proportions of juvenile wood on laminated veneer lumber". *Forest Products Journal*. 31 pp.
- KUCERA, B. 1994. "A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood in Norway spruce". *Wood and Fiber Science*. 26(1): 152-167.
- LARSON, P.; KRETCHMANN, D.; CLARK, A.; ISEBRANDS, J. 2001. "Formation and properties of juvenile wood in southern pines: A Synopsis". *Forest Products Laboratory*. 42 pp.
- LEE, C.; WANG, S. 1996. "A new technique for the demarcation between Juvenile and mature wood in *cryptomeria japonica*". *IAWA*. 17 (2): 125-131.
- MEGRAW, R. 1986. "Effect of silvicultural practices on wood quality". In. *Proceedings, TAPPI research and development conference; September 28-October 1; Raleigh, NC: 27-34.*
- PANSHIN, A.; DE ZEEUW, C. 1980. "Textbook of wood technology". Fourth Edition. Editorial McGraw-Hill Book Company. 722 p.
- PUGEL, A.; PRICE, E.; HSE, C. 1990A. "Composites from southern pine juvenile wood. Part I, Panel fabrication and initial properties". *Forest Products Journal*. 4(1): 29-33.

- PUGEL, A.; PRICE, E.; HSE, C.; SHUPE T. 2004. "Composites from southern pine juvenile wood. Part 3, Juvenile and mature wood furnish mixtures". Forest Products Journal. 54 N° (1): 47-52.
- ROFFAEL, E.; SCHNEIDER, T. 2003. "Investigation on partial substitution of strands in oriented strand boards (OSB) by different lignocellulosic raw materials. Institute for Wood Biology and Wood Technology". Georg August University of Göttingen Busgenweg. 16 pp.
- SALVO, L. 1999. "Características macroscópicas de la anatomía de la madera de *Pinus radiata* D. Don, provenientes de la zona de Arenales Bulnes-Mulchen para 20, 25 y 30 años de edad". Proyecto de Título Ingeniería Civil en Industrias Forestales. UBB. Concepción, Chile. 72 pp.
- STEFANIAK, J. 1981. "Use of juvenile wood in production of particleboard: Properties of particleboard produced from pine branch wood". Prace Komijsji Technol. Drewna. 10: 95-116.
- TASSISA, G.; BURKHERT, H. 1998. "Juvenile-mature wood demarcation in loblolly pine trees". Wood and Fiber Science 30(2): 119-127.
- TAYLOR, E; MOORE, J. 1981. "A comparison of earlywood and latewood tracheid lengths in loblolly pine". Wood and Fiber. 13: 159-165.
- VALENZUELA, L.; NAKAYAMA, Y. 1991. "The bending work of radiata pine grown in Chile", Mokuzai Gakkaishi. 37 (5): 396-404.
- WASNIEWSKI, J. 1989. "Evaluation of juvenile wood and its effect on douglas fir structural composite panel". In Proc. 23rd Particleboard and Composite Materials Symposium, Washington State University. 16 pp.
- YING, L.; KRETSCHMANN, D.; BENDTSEN, B. 1994. "Longitudinal shrinkage in fast-grown loblolly pine plantation wood". Forest Products Journal. 44 (1): 58-62.
- ZOBEL, B.; VAN BIJSTENEN, J. 1989. "Wood variation its causes and control", Springer Series in Wood Science, New York. Cap. Número 3 y 5.

Keywords: MLP, fungus, orthogonal polynomial model