

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPTO. DE INGENIERÍA EN MADERAS

DIRECTOR : WILLIAM GACITUA E., Ph.D.  
CO-DIRECTOR : CECILIA BUSTOS A., Ph.D.



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**Efecto de las grietas de debobinado en chapas de  
*Eucalyptus nitens* para la fabricación de tableros  
contrachapados.**

Tesis presentada en el Departamento de Ingeniería en Maderas de la  
Universidad del Bío-Bío para la obtención del grado de  
Magister en Ciencia y Tecnología de la Madera

Trabajo de Habilitación Profesional presentado en conformidad  
a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Civil en Industrias de la Madera

**ANDRES ALBERTO ACEVEDO MORAGA**

CONCEPCIÓN - CHILE

MAYO 2012

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto del proceso de debobinado, bajo condiciones ajustadas de tasa de compresión, en el tipo de grietas de debobinado y calidad de chapas de *Eucalyptus nitens* para la fabricación de tableros contrachapados. Se utilizaron trozas provenientes de tres alturas en árboles de familias segregadas de *Eucalyptus nitens* procedentes de una plantación ubicada en la zona de Mulchén, Chile.

Con las chapas ya elaboradas, se analizaron las grietas de debobinado que aparecieron durante el proceso, donde la morfología, propagación y propiedades mecánicas de chapas y tableros se obtuvieron mediante análisis de imágenes microscópicas y ensayos mecánicos. Mediante nanocaracterización se obtuvo las propiedades de la “Región de Interfase”, donde se midió en forma independiente el módulo de elasticidad reducido de la pared celular y del adhesivo fenólico. Mediante la ecuación de la regla de las mezclas se calculó el módulo de elasticidad en la región de interfase, para correlacionar con las propiedades mecánicas en tracción de tableros contrachapados.

Se logró corroborar que con la tasa de compresión más ajustada, se obtiene una chapa más apretada, rígida y de buenas propiedades mecánicas, con grietas de debobinado de menores dimensiones con lo que la propagación de estas grietas a la superficie de la chapa se reduce cuando los tableros están en servicio. Las propiedades de la interfase mejoran a medida que se usan las chapas fabricadas con esta metodología, reforzando el concepto de que una buena interfase es capaz de transmitir esfuerzos entre chapas mejorando así las propiedades mecánicas del producto final.

Mediante el uso de familias segregadas de *Eucalyptus nitens* y con trozas provenientes de alturas superiores a los 3 metros, es posible obtener chapas de buena calidad y apariencia para la fabricación de tableros contrachapados.

## ABSTRACT

On this study we evaluated the effect of the peeling process, under adjusted nosebar pressure conditions, the type of lathe checks and quality of *Eucalyptus nitens* veneer for plywood manufacture. Using logs from three different heights in trees of segregated *Eucalyptus nitens* families from a plantation located in the area of Mulchen, Chile.

With the veneers, we analyzed the lathe checks that appeared during the peeling process, where the morphology, propagation and mechanical properties of veneer and plywood were obtained by microscopic image analysis and mechanical tests. Nanocharacterization was performed by the properties of the "interphase region", where the reduced elastic modulus of the cell wall and the phenolic adhesive was evaluated. Using the rule of mixture equation the modulus of elasticity in the interphase region was evaluated to correlate with the tensile mechanical properties of plywood.

It was observed that adjusting the nosebar pressure setting, a more tight veneer is produced with good mechanical properties and with smaller lathe checks, reducing the propagation of these cracks to the surface of the veneer when boards are in service. An improved interphase is generated when these veneers are used to manufacture boards using this methodology, reinforcing the concept that a good interphase is capable of transfer stresses between the veneers, and improving the mechanical properties of the final product.

Using segregated *Eucalyptus nitens* families and logs from heights over 3 meters, measured from the base of the tree, it is possible to obtain good quality veneers and better surface quality for plywood manufacturing.

## **PREFACIO**

Este estudio se encuentra enmarcado en el proyecto FONDEF D07i1101 de CONICYT, que lleva por nombre “Segregación de clones de *Eucalyptus nitens* mediante micro y nanotecnologías para la fabricación de productos de ingeniería de alto valor”, bajo el interés que existe en las industria forestal-maderera de nuestro país por darle un mayor uso, no tan sólo para pulpaje sino que también para nuevos productos de ingeniería, que otorguen mayor valor agregado al *Eucalyptus nitens*.

Esta tesis se realizó en el contexto de articulación entre la habilitación profesional de la carrera de Ingeniería Civil en Industrias de la Madera y el Magister en Ciencia y Tecnología de la Madera, del Departamento de Ingeniería en Maderas y bajo el alero del Centro de Biomateriales y Nanotecnología (CBN) de la Universidad del Bío Bío. Se presenta en la modalidad de tesis articulada, es decir, basada en la presentación de artículos científicos, en los capítulos 1, 2, 3 y 4 (artículo 1 ,2 ,3 y 4, respectivamente). Los resultados de estos capítulos han sido sometidos en la Revista Maderas Ciencia y tecnología, indizada en las bases de datos ISI Thomson Reuters (*Web of Sciencie*):

### **Artículo 1**

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P.; GACITUA, W. 2012. Efecto de la Tasa de Compresión en la morfología de grietas de debobinado en chapas de *Eucalyptus nitens*. Sometido a Revista Madera, Ciencia y Tecnología.

### **Artículo 2**

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P.; GACITUA, W. 2012. Efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos UV en la propagación superficial de grietas de debobinado en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*.. Sometido a Revista Madera, Ciencia y Tecnología.

### **Artículo 3**

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P.; GACITUA, W. 2012. Influencia de las grietas de debobinado en las propiedades mecánicas de chapas y tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*

### **Artículo 4**

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P.; GACITUA, W. 2012. Caracterización de la interfase adhesivo-madera mediante nanoindentaciones en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*

Otros resultados de esta investigación, también fueron expuestos en las primeras Jornadas de Presentaciones científicas de estudiantes de Postgrado del Departamento de Ingeniería en Maderas, realizadas en agosto de 2011 en la Universidad del Bío Bío.

*A mi hija Mariana, mi novia Valentina, mis padres Elisa y Luis, mis hermanas Loreto y Catalina, profesores guía y amigos.*

**INDICE**

CONTENIDO	115
Resumen	i
Abstract	ii
Prefacio	iii
Índice	vi
Lista de tablas	vii
Lista de figuras	viii
Introducción	1
<u>Capítulo N° 1: Efecto de la Tasa de Compresión en la morfología de grietas de debobinado para chapas de <i>Eucalyptus nitens</i></u>	11
<u>Capítulo N° 2: Efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos UV en la propagación superficial de grietas de debobinado en tableros contrachapados de <i>Eucalyptus nitens</i>.</u>	30
<u>Capítulo N° 3: Influencia de las grietas de debobinado en las propiedades mecánicas de chapas y tableros contrachapados de <i>Eucalyptus nitens</i></u>	51
<u>Capítulo N° 4: Caracterización de la interfase adhesivo-madera mediante nanoindentaciones en tableros contrachapados de <i>Eucalyptus nitens</i></u>	77
Conclusión General	98
Bibliografía General	99
Anexo 1	
Procedimiento para el análisis de imágenes mediante software <i>Image Pro Plus 6.2</i>	102
Anexo 2	
Tabla 1: Resultados tracción perpendicular chapas	103

## LISTA DE TABLAS

### TABLAS CAPITULO N° 1:

TABLA 1-1: Espesores de chapa nominal y real de *Eucalyptus nitens* para las tres tasas de compresión usadas en el torno de debobinado “Cremona”.

### TABLAS CAPITULO N° 2:

TABLA 2-1: Procedencia, raza y codificación de familias de *Eucalyptus nitens*.

TABLA 2-2: Etapas del ciclo (12 horas) de envejecimiento UV.

### TABLAS CAPITULO N° 3:

TABLA 3-1: Grupos, codificación y procedencia de familias segregadas de *Eucalyptus nitens*.

TABLA 3-2: Condiciones de prensado para tableros contrachapados.

### TABLAS CAPITULO N° 4:

TABLA 4-1: Módulo de elasticidad reducido ( $E_r$ ) promedio para pared celular y adhesivo.

TABLA 4-2: Resultados de fracción de volumen promedio en pared celular y adhesivo.

TABLA 4-3: Espesor promedio de interfase para Familias y alturas.

TABLA 4-4: Módulo de elasticidad promedio de la interfase para distintas Familias y alturas.

## **LISTA DE FIGURAS**

### **FIGURAS INTRODUCCION:**

FIGURA Int.-1: Lado apretado y lado suelto de la chapa, aparición de grietas de debobinado (Marchal *et al.* 2009).

FIGURA Int. -2: Proceso básico de obtención de una chapa de madera (Marchal *et al.* 2009)

FIGURA Int. -3: Vista lateral de chapas se observa bajo el microscopio. (Palubicky *et al.* 2009)

FIGURA Int. -4: Vista de la “Región de Interfase” y nanoindentaciones en pared celular (Gindl *et al.* 2005)

### **FIGURAS CAPITULO N° 1:**

FIGURA 1-1: Esquema de obtención de una chapa de madera (Marchal *et al.* 2009).

FIGURA 1-2: Vista lateral de chapas observada bajo microscopio (Palubicki *et al.* 2009).

FIGURA 1-3: Consecuencia del desplazamiento radial de la madera en el espesor de chapa a nivel de la punta debido a las fuerzas de corte (Marchal *et al.* 2009).

FIGURA 1-4: Dispositivo en forma de semi-circunferencia para la observación de grietas de debobinado en las probetas de chapas.

FIGURA 1-5: Longitud de muestreo y medición de grietas de debobinado.

FIGURA 1-6: Medición largo Grietas de debobinado en dos tramos (magnif. 10x).

FIGURA 1-7: Comparación tres tasas de compresión con respecto al largo de grietas (mm), considerando un intervalo de confianza del 95%.

FIGURA 1-8: Tipo de grietas observadas, a) grietas en dos tramos. b) grietas lineales.

FIGURA 1-9: Comparación del área de grietas (mm<sup>2</sup>) en la longitud de chapa de interés analizada (8.58 mm) para las tres tasas de compresión, considerando un intervalo de confianza del 95%.

FIGURA 1-10: a) Grietas en el espesor de chapas de *Eucalyptus nitens* (ej. grieta abierta) b) tratamiento de las imágenes con *Image Pro plus* para la medición área Grietas de debobinado.

FIGURA 1-11: a) Grietas en el espesor de chapas de *Eucalyptus nitens* (ej. grieta cerrada). b) tratamiento de las imágenes con *Image Pro Plus* para la medición área grietas de debobinado.

FIGURA 1-12: Medición número grietas de debobinado en el largo de chapa de 8.56 mm.

FIGURA 1-13: Número de grietas por cada 8.56 mm, para tres tasas de compresión, considerando un intervalo de confianza del 95%.

## **FIGURAS CAPITULO N° 2:**

FIGURA 2-1: (a) zona de envejecimiento para probetas de plywood; (b) cámara de envejecimiento UV.

FIGURA 2-2: Curvas de intensidad de radiación en comparación a radiación de luz solar (Fuente: Manual QUV/spray ).

FIGURA 2-3: (a) selección de área representativa; (b) medición de parámetros (escala de grises).

FIGURA 2-4: Selección y medición de ancho-área de grietas, magnificación de ancho de grieta (Image pro Plus 6.2).

FIGURA 2-5: Intervalo de confianza para el ancho promedio de grietas superficiales de tableros (mm), para Grupo-familia y altura (confianza: 95%).

FIGURA 2-6: Porcentaje de grietas respecto al área representativa (%) v/s grupo-familia-altura.

FIGURA 2-7: Intervalo de confianza para ancho promedio de grietas superficiales (mm) de tableros, para las 3 tasas de compresión (TC1=0.5%; TC2= 3.5%; TC3= 5.0 %) (Confianza: 95%).

FIGURA 2-8: Imagen comparación del efecto de la TC en el porcentaje de grietas superficiales. Las letras a, b y c representan las tasas de compresión de 0.5%, 3.5% y 5.0%, respectivamente.

FIGURA 2-9: (a) Propagación de grieta de debobinado hacia la superficie en el espesor de la chapa (b) Propagación de grietas de debobinado en perspectiva, agrietamiento superficial en la cara del tablero.

### **FIGURAS CAPITULO N° 3:**

FIGURA 3-1: Ensayo de tracción según la dirección normal a las fibras (Paris *et al.* 2006).

FIGURA 3-2: Dimensiones probeta tipo “hueso de perro” para chapa y tablero.

FIGURA 3-3: (a) Sistema de mordazas hidráulicas para sujeción de probetas; (b) Ensayo de tracción de probetas (TestXpert II V3.1).

FIGURA 3-4: Área de falla (a) Probeta de chapa; (b) Probeta de tablero, (TestXpert II V3.1).

FIGURA 3-5: Curvas respuesta para chapas de tablero perpendicular (TestXpert II V3.1).

FIGURA 3-6: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular a la fibra para chapas de *Eucalyptus nitens*.

FIGURA 3-7: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa); Grupo 1, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

FIGURA 3-8: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 2, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

FIGURA 3-9: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 3, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

FIGURA 3-10: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 4, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

FIGURA 3-11: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 5, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

FIGURA 3-12: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 6, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

FIGURA 3-13: Intervalo de confianza (95%) para el módulo de elasticidad paralelo a las caras del tablero. Grupo 1 -2 - 3 – 4 -5 -6 – familia – altura.

FIGURA 3-14: Intervalo de confianza (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular a la primera lamina del tablero.

FIGURA 3-15: (a) Falla tablero sometido a esfuerzo perpendicular, (b) Falla tablero sometido a esfuerzo paralelo.

FIGURA 3-16: Grafica general de adherencia, según método de envejecimiento, norma PS1-09. Ciclo de envejecimiento Vacío-presión (VP) y Ebullición (EB).

FIGURA 3-17: Adherencia según método de envejecimiento, Grupo – familia – altura. (verde=Ebullición; rojo=Vacío Presión).

#### **FIGURAS CAPITULO N° 4:**

FIGURA 4-1: Esquema interfase adhesivo-madera (Müller *et al.* 2009; Gindl 2007).

FIGURA 4-2: (a) Microscopía de sonda (SPM) la imagen de las paredes celulares de madera con indentaciones (Konnerth *et al.* 2007); (b) Intentaciones en línea de cola en la zona de interfase adhesivo-madera (Konnerth y Gindl 2007).

FIGURA 4-3: Obtención de probetas de interface para indentaciones (Magnif. 8x).

FIGURA 4-4: Pirámide truncada para mejorar superficie de indentación (Jakes *et al.* 2008).

FIGURA 4-5: (a) Ciclo de indentación; (b) Pendiente curva descarga, obtención ( $E_r$ ).

FIGURA 4-6: Interfase entre chapas de *Eucalyptus nitens* (Magnificación 50x).

FIGURA 4-7: Medición del fracción de volumen de adhesivo ( $V_a$ ) en la región de interfase.

FIGURA 4-8: Nanoindentaciones en el lumen de fibras impregnadas con fenol-formaldehído.

FIGURA 4-9: Nanoindentaciones en la pared celular de fibras en la interfase.

FIGURA 4-10: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo reducido ( $E_r$ ) de la pared celular para familias y alturas.

FIGURA 4-11: Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo reducido ( $E_r$ ) de adhesivo para familias y alturas.

FIGURA 4-12: Predicción del módulo de elasticidad de la interfase de tableros contrachapados fabricados con *Eucalyptus nitens*. Efecto de familias y alturas.

## INTRODUCCION

El *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden es una especie de rápido crecimiento en el territorio chileno destinada principalmente al desarrollo de pulpa. Sin embargo, debido a los permanentes cambios que presenta el mercado de la madera y la necesidad de obtener mayores retornos económicos de los cultivos forestales, se requiere obtener otros productos provenientes de estas plantaciones, como trozas para madera aserrada y chapas (Muñoz *et al.* 2005). Esta alta tasa de crecimiento esta ligada a las condiciones climáticas y de suelo en las zonas de cultivo, el rápido desarrollo del árbol arrastra consigo la acumulación de esfuerzos o tensiones internas en la madera. Estas tensiones son llamadas tensiones de crecimiento (Ananías *et al.* 2009; Caniza *et al.* 2007; Rozas *et al.* 2005; Smith *et al.* 2003; Touza 2001). Las tensiones de crecimiento se manifiestan como grietas a los pocos minutos u horas después de que el árbol es talado.

La concentración de esfuerzo de tensión se originan alrededor de los vasos de la madera de *Eucalyptus nitens* propagándose por la lámela media más débil, produciéndose microgrietas para luego transformarse en mesogrietas visibles a simple vista (Gacitúa *et al.* 2007).

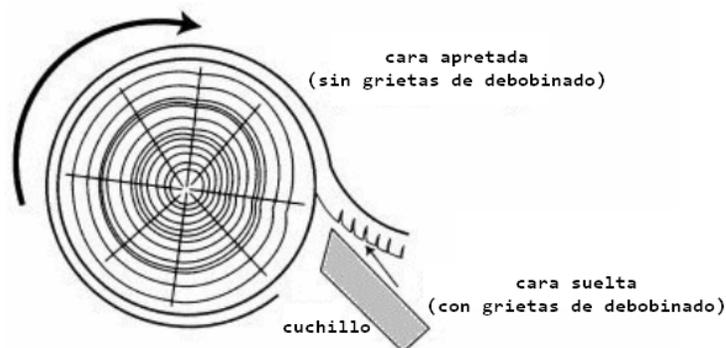
Las grietas son el gran problema de la madera de *Eucalyptus nitens* y es la razón por la cual no se a masificado su utilización en productos de ingeniería de alto valor a escala industrial, ya que aún no hay soluciones concretas para este inconveniente. En Chile la elaboración de productos de ingeniería ha ido en aumento, especialmente la de tableros contrachapados de *Pino radiata* con aproximadamente de 1.0 MM de  $m^3$  en el año 2008 (Infor 2009). En *Eucalyptus nitens*, solo se han realizado pocas pruebas a nivel industrial en la fabricación de este tipo de tableros, debido principalmente a los problemas mencionados anteriormente.

Este tablero contrachapado es un producto de ingeniería de uso estructural, constituido por chapas de madera, unidas con adhesivo fenólico o ureico, mediante un sistema de prensado en caliente. El objetivo es crear un panel estable, con buenas propiedades físico mecánicas, con diversidad de calidades y apariencias (USDA 1999).

El tablero se construye con un número impar de chapas, con las fibras adyacentes en forma perpendicular. Las laminas externas, y todas las laminas impares, tiene la dirección de la fibra orientada en forma paralela a la longitud del panel. Las chapas en la dirección de la fibra igualan la tensión, reducen las quebraduras y minimizan los cambios dimensionales y torsiones del panel (Bodig y Jayne 1993).

Uno de los procesos críticos en la fabricación de tableros contrachapados es la obtención de una chapa de calidad, es el debobinado de la troza (Figura 1). Alguno de los parámetros usados para la descripción de la calidad de la chapa de este proceso son variaciones de espesor, rugosidad de la superficie, chapa espiralada y las grietas de debobinado (Marchal *et al.* 2009).

En el proceso de debobinado (Figura 2) de los trozos se utiliza un cuchillo debobinador, que realiza el corte en la madera, y la barra de presión, que mantiene la chapa presionada sobre el cuchillo para dar estabilidad al corte y un espesor constante a la chapa (Marchal *et al.* 2009). En el proceso de obtención de la chapa, la cara donde está la barra de presión se llama cara apretada y la cara donde se produce el corte por el cuchillo se llama cara suelta, en esta última se producen las grietas de debobinado por el proceso de corte.



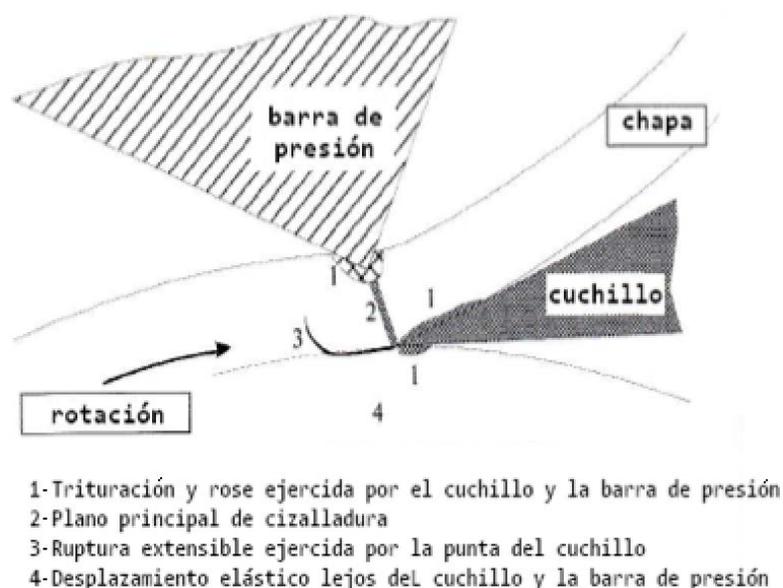
**Figura 1:** Lado apretado y lado suelto de la chapa, aparición de grietas de desbobinado (Marchal *et al.* 2009).

Las grietas de desbobinado aparecen por las fuerzas de corte, cuando el cuchillo desbobinador corta la madera produciendo una ruptura extensible de la fibra ejercida por la punta de la herramienta de corte (Figura 2) (Marchal *et al.* 2009). El fenómeno de las grietas de desbobinado han sido estudiadas por varios investigadores (DeVallance *et al.* 2007; Denaud *et al.* 2006; Marchal *et al.* 2009; Palubicki *et al.* 2009), ya que es una de las tres principales variables en el desbobinado que afectan la calidad de la chapas, junto con la rugosidad y variaciones en el espesor (Marchal *et al.* 2009).

Las dos características principales que describen las grietas de desbobinado, son la profundidad en el espesor y los intervalos de grietas a lo largo de la chapa, dependiendo de la combinación de velocidades de rotación y vibración del torno. La presión que ejerce la barra de presión en el proceso y la calidad del filo del cuchillo de desbobinado afectan la aparición de grietas (Palubicki *et al.* 2009; Marchal *et al.* 2009; Denaud *et al.* 2007); además del tipo de materia prima y la calidad del macerado de las trozas.

Distintas metodologías se han desarrollado para realizar la medición de estos parámetros a escala de laboratorio, una de éstas fue en línea para detectar las grietas de desbobinado, su frecuencia mediante mediciones acústicas, de vibración del torno, ajustando

la barra presión, y concluyendo que las grietas de debobinado son proclives aparecer cuando se varia este parámetro de presión de la barra (Denaud *et al.* 2007).



**Figura 2:** Proceso básico de obtención de una chapa de madera (Marchal *et al.* 2009)

También se han desarrollado métodos de análisis de imágenes para la medición de grietas de debobinado en la chapa. Según este método, la cámara se encuentra de lado a la chapa de madera, que permite ver la geometría de las grietas en la sección transversal de la chapa (Figura 3). Las grietas se abren por doblar la chapa en un rodillo de diámetro específico, y están expuestos de tal manera que se garantice una buena visibilidad de las grietas. El método es automático, y ofrece información importante sobre la morfología de las grietas de debobinado, es decir, las distancias entre las grietas y sus profundidades (Palubicki *et al.* 2009).



**Figura 3:** Vista lateral de chapas se observa bajo el microscopio. (Palubicky *et al.* 2009)

Las grietas de debobinado, tienen directa relación con las fallas de madera en los ensayos de cizalle en tableros contrachapados, ya que alrededor de las grietas se producen concentraciones de esfuerzos, dando lugar a una posible falla del tablero, afectando por consiguiente sus propiedades mecánicas. La presencia de grietas también aumenta la cantidad de adhesivo usado en el proceso de encolado, dado que el adhesivo fluye por la grietas, por lo que el gramaje debe ser mayor (Denaud *et al.* 2007; Palubicki *et al.* 2009). Si no se aumenta la cantidad de adhesivo, la calidad de la adhesión de las chapas disminuye, teniendo como consecuencia la disminución de las propiedades mecánicas del tablero en servicio.

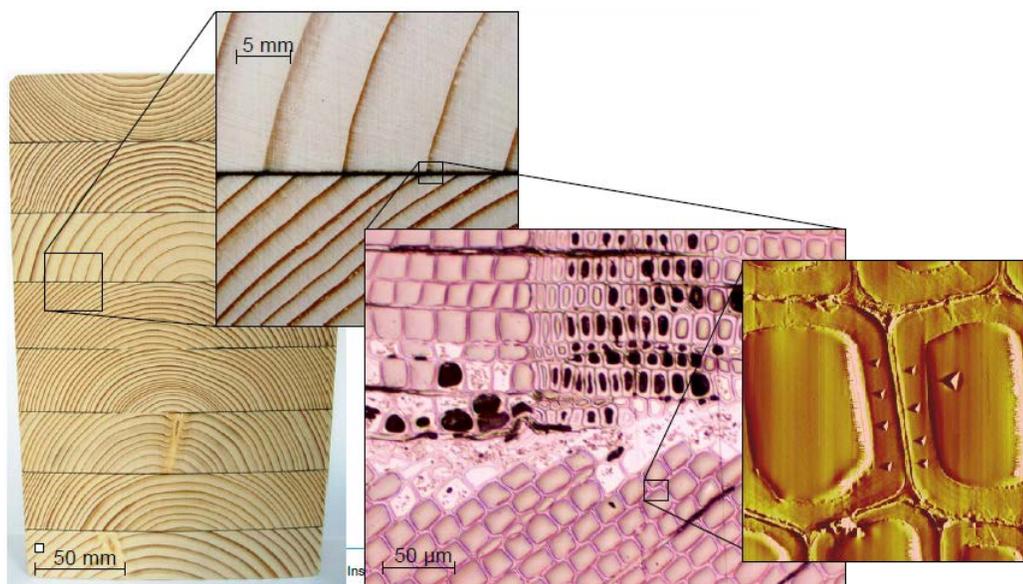
Debido a que la madera es un material anisotrópico, poroso y con muchos rasgos anatómicos complejos, es que se han desarrollado algunas metodologías y sistemas de análisis que permiten medir y evaluar la calidad de la penetración del adhesivo en la madera, específicamente la penetración del adhesivo en la chapa para la fabricación de tableros contrachapados. Los principales elementos anatómicos en coníferas son las traqueidas longitudinales, mientras que en las latifoliadas son las fibras longitudinales y elementos vasos. Los lúmenes de las células son lo suficientemente grandes como para proporcionar un buen camino para el flujo de adhesivo en fase líquida. La interconexión de las punteaduras es a menudo suficiente para permitir el flujo de resina en coníferas. La

presencia de tilosis en latifoliadas impide el flujo de resinas de alto peso molecular, inhibiendo la penetración y el flujo de adhesivo.

El compuesto de adhesivo y células de madera es llamado "Región de Interfase" (Kamke y Lee 2007) (Figura 4). La geometría de esta región de interfase depende de la anatomía de la madera en cuestión, la permeabilidad, porosidad, viscosidad del adhesivo, la presión ejercida para unir las chapas de madera, etc. La región de interfase es una capa irregular, esta debe transferir esfuerzos de componente a componente (chapa a chapa para tableros contrachapados). La configuración estructural de la interfase, su volumen y forma, determinará la magnitud de las concentraciones de esfuerzos, el comportamiento esfuerzo-deformación en uniones adhesivas es influenciada significativamente por la región de interfase (Konnerth *et al.* 2008; Gindl *et al.* 2005).

Como adherente la madera es estructural, química y mecánicamente más compleja que los metales o plásticos, la mayor fuente de esta complejidad es la química de madera y heterogeneidades mecánicas (Jakes *et al.* 2008). De esta manera, para comprender y predecir el comportamiento de la adhesión y la región de la interfase adhesivo - madera requiere el conocimiento de las interacciones que ocurren a nivel de nanoescala.

La tecnología de nanoindentación se ha utilizado para evaluar las propiedades de la región de interfase en madera (Figura 4), la nanoindentación es un método para la prueba de dureza en muy pequeña escala, que se ha aplicado al estudio de las propiedades mecánicas de una gran variedad de materiales (Konnerth *et al.* 2006).



**Figura 4:** Vista de la “Región de Interfase” y nanoindentaciones en pared celular (Gindl *et al.* 2005)

Estudios de la región de interfase adhesivo-madera mediante nanoindentaciones (Gindl *et al.* 2005; Jakes *et al.* 2008; Konnerth *et al.* 2008; Moon *et al.* 2007), se han realizado para comprender el comportamiento mecánico y la influencia del adhesivo en la penetración de la pared celular en la interfase. Mapeos realizados en regiones de interfase han dado como resultado que el módulo de elasticidad del adhesivo es inferior a los módulos de las paredes celulares de la madera, mientras que la dureza del adhesivo fue ligeramente superior en comparación con las paredes celulares (Konnerth *et al.* 2006).

La región de interfase es significativa al momento de medir las propiedades mecánicas, ya que se toma como una lamina anexa, con propiedades mecánicas diferentes y comportamiento distinto a los esfuerzos sometidos por el contrachapado, dependiendo también del tipo de adhesivo usado en la región de interfase (Konnerth *et al.* 2006).

Las propiedades mecánicas de un material laminado son importantes debido a que estos son sometidos a diversos esfuerzos tales como flexión, tracción, cizalle y compresión entre otros, los cuales hacen que el material deba tener una resistencia a estos esfuerzos. Es por eso que la predicción de los esfuerzos es una herramienta útil, ya que representaran las condiciones mecánicas de un elemento estructural y como este responderán a ciertos tipos de esfuerzos (Bodig y Jayne 1993).

**Problemática:**

Bajo nivel de aprovechamiento de la madera de *Eucalyptus nitens* para la fabricación de productos de ingeniería de alto valor. Hasta el momento no se ha logrado fabricar un tablero contrachapado de calidad con *Eucalyptus nitens*, que sea competitivo con otros tableros contrachapados de otras maderas, respecto a las propiedades mecánicas del tablero, por no existir condiciones de proceso que minimicen las grietas en las chapas, ocasionadas por las tensiones de crecimiento, debobinado y secado de la chapa.

**Hipótesis:**

Es posible desarrollar y validar condiciones de proceso, que minimicen la aparición de grietas de debobinado y maximicen las propiedades mecánicas de chapas provenientes de familias segregadas de *Eucalyptus nitens*, para fabricar de tableros contrachapados de calidad.

**Objetivo General:**

Desarrollar y validar una condición de proceso de debobinado, mediante el ajuste de la tasa de compresión que permita minimizar las grietas de debobinado, para la fabricación de un tablero contrachapado de alta calidad usando familias segregadas de *Eucalyptus nitens*.

**Objetivos Específicos:**

- Evaluar el efecto de tres tasas de compresión (TC) en la morfología de grietas de debobinado para chapas de *Eucalyptus nitens*.
- Determinar el efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos ultravioleta, en la propagación de grietas de debobinado y el agrietamiento superficial.
- Evaluar el efecto de las grietas de debobinado en las propiedades mecánicas de chapas y tableros contrachapados.
- Evaluar las propiedades de la región de interfase madera–adhesivo de tableros contrachapados fabricados con familias segregadas de *Eucalyptus nitens*.

## **Capítulo N° 1: Efecto de la tasa de compresión en la morfología de grietas de debobinado para chapas de *Eucalyptus nitens***

Andrés Acevedo, Mg. <sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D. <sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc. <sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Maderas, Universidad del Bío-Bío.

E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción, Chile.

E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

### **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres tasas de compresión (TC) en la morfología de grietas de debobinado en chapas de *Eucalyptus nitens* para la fabricación de tableros contrachapados. Chapas secas se obtuvieron desde un proceso de debobinado, con 1.8 mm de espesor a tres tasas de compresión TC1=0.5 %; TC2=3.5 % y TC3=5 %, las que se consiguieron ajustando la barra de presión y el cuchillo del torno debobinador marca Cremona de una planta de contrachapados del sur de Chile. Se obtuvieron probetas en forma aleatoria de los tres tipos de chapas procesadas. Fotografías fueron tomadas en el espesor de las chapas para el posterior procesamiento de imágenes. En el análisis morfológico de las grietas se evaluó: largo, área y frecuencia en las probetas para las tres tasas de compresión estudiadas. El análisis morfológico de imágenes mostró que existe una disminución del largo y profundidad de las grietas, así como también del área de grietas, cuando se aumenta la tasa de compresión. Diferencias significativas fueron halladas entre los niveles 0.5 % y 5 % de tasa de compresión. Esto implica que al aumentar la tasa de compresión, a través de un ajuste que involucra una menor distancia entre la barra de presión y el cuchillo debobinador, se obtienen chapas de mejor calidad, más rígidas y con una reducción del agrietamiento superficial en el tablero final.

**Palabras claves:** Grietas de debobinado, tasa de compresión, chapas, debobinado, *Eucalyptus nitens*.

## Nosebar pressure effect in the lathe check morphology to *Eucalyptus nitens* veneers.

Andrés Acevedo, Mg. <sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D. <sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc. <sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wood Engineering Department, Bío-Bío University.

E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción, Chile.

E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of three nosebar pressure (TC) in the morphology of the lathe checks in *Eucalyptus nitens* veneers for the manufacture of plywood. Dried veneers were obtained from a peeling process, 1.8 mm thick three nosebar pressure TC1 = 0.5%, TC2 and TC3 = 3.5% = 5%, which were obtained by adjusting the pressure bar and peeling knife of Cremona lathe in a plywood plant in southern Chile. Samples were obtained randomly from the three types of veneers processed. Photographs were taken in the veneer thickness for subsequent image processing. In the morphological analysis of the cracks was evaluated: length, area and frequency in the samples for the three nosebar pressure studied. Morphological analysis of images showed that a decrease in the length and depth of the lathe check, as well as the area, when the nosebar pressure increases. Significant differences were found between 0.5% and 5% levels of nosebar pressure. This implies that increasing the nosebar pressure, through a setting that involves a smaller distance between the pressure bar and peeling knife, you get better quality veneers, more rigid and with a reduction of surface cracking in the final plywood.

**Keywords:** Lathe checks, nosebar pressure, veneers, peeling process, *Eucalyptus nitens*.

## INTRODUCCIÓN

El *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden es una especie forestal de rápido crecimiento, que está siendo plantada de manera creciente en Chile y destinada principalmente a la producción de celulosa. Sin embargo, debido a los permanentes cambios que presenta el mercado de la madera y la necesidad de obtener mayores retornos económicos de los cultivos forestales, resulta aconsejable desarrollar otros productos provenientes de estas plantaciones, como trozas para madera aserrada y chapas para otorgarle mayor valor agregado (Muñoz *et al.* 2005).

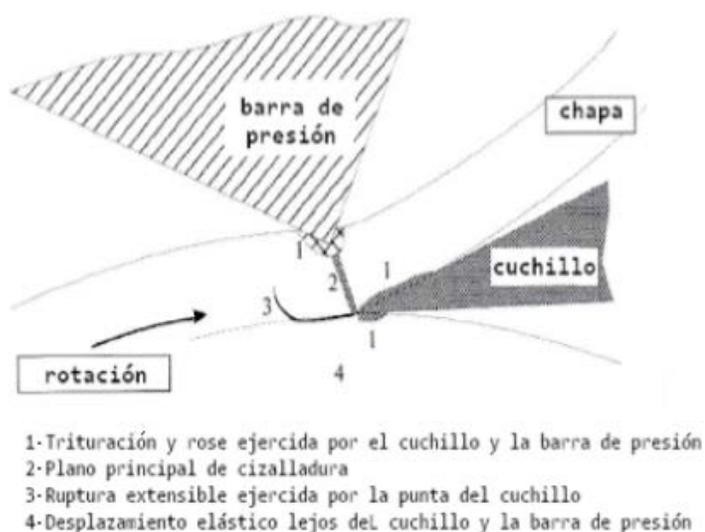
El debobinado es un proceso a través del cual se obtiene una chapa continua de madera mediante un corte en el sentido paralelo a los anillos de crecimiento. La troza es montada entre dos fijadores centrales y ésta gira en contra de un cuchillo fijo del mismo largo de la troza. En este proceso, el corte y la separación de las fibras de madera dificultan la obtención de chapas. La separación de la madera, durante el corte en tornos de debobinado, causa variaciones de espesor, rugosidad de la superficie, chapa espiralada y grietas de debobinado entre otras (Marchal *et al.* 2009).

En el proceso de debobinado participan el cuchillo debobinador, que es el que realiza el corte en la madera, y la barra de presión que es la que mantiene la chapa presionada sobre el cuchillo para dar estabilidad al corte y dar también el espesor constante a la chapa (Marchal *et al.* 2009). En la obtención de la chapa, la superficie donde actúa la barra de presión se llama cara apretada y la superficie donde se produce el corte por el cuchillo se llama cara suelta; en esta última se producen las grietas de debobinado, las cuales también se asocian a las fuerzas de corte. Cuando el cuchillo corta la madera éste produce una ruptura extensible de la fibra ocasionada por la punta de la herramienta de corte (figura 1). Este fenómeno ha sido estudiado por varios investigadores (DeVallance *et*

*al. 2007; Denaud et al. 2007; Marchal et al. 2009; Palubicki et al. 2009*), debido a que es una de las principales variables en el debobinado, que afectan la calidad de la chapas y la calidad del tablero (*Marchal et al. 2009*).

Existen dos características principales que describen las grietas de debobinado, estas son, la profundidad en el espesor y los intervalos o frecuencia de las grietas a lo largo de la chapa (*Palubicki et al. 2009; Marchal et al. 2009; Denaud et al. 2007*). Estas características dependen de la combinación de velocidades de rotación y vibración del torno, la fuerza que ejerce la barra de presión en el proceso y la calidad del filo del cuchillo de debobinado, además del tipo de materia prima y la calidad del macerado de las trozas.

Distintas metodologías se han desarrollado para medir estos parámetros a escala de laboratorio; por ejemplo, una metodología en línea para detectar las grietas de debobinado y su frecuencia mediante mediciones acústicas y de vibración del torno, ajustando la presión de la barra presión y concluyendo que las grietas de debobinado son proclives a aparecer cuando se varía la de presión de la barra (*Denaud et al. 2007*).



**Figura 1:** Esquema de obtención de una chapa de madera (*Marchal et al. 2009*).

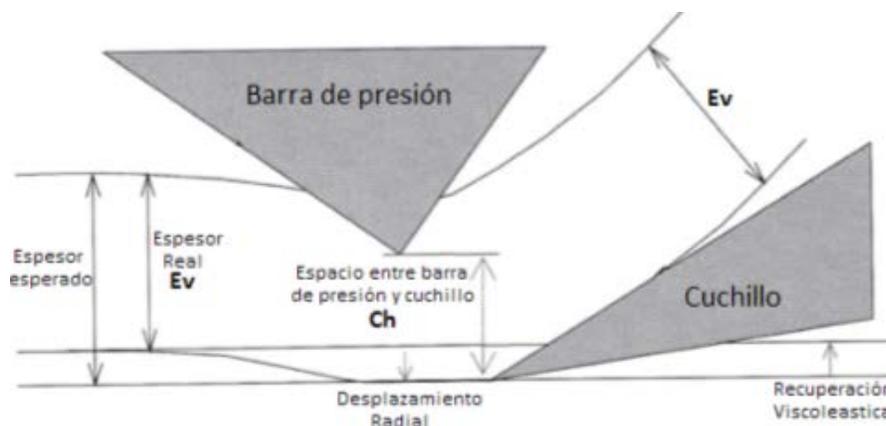
Métodos de análisis de imágenes han sido desarrollados, para la medición de grietas de debobinado en la chapa. Instalando una cámara a un lado de la chapa, lo que permite visualizar la geometría de las grietas en la sección transversal (figura 2). Las grietas se abren al doblar la chapa en un rodillo de un diámetro específico, de tal manera que se garantice una buena visibilidad de las grietas. El método es automático y ofrece información valiosa sobre la morfología de las grietas de debobinado, es decir, distancias entre éstas, largo, frecuencia y profundidad (Palubicki *et al.* 2009).



**Figura 2:** Vista lateral de chapas observada bajo microscopio (Palubicki *et al.* 2009).

Por otra parte, la temperatura de macerado y la tasa de compresión (TC) son parámetros importantes que deben ser medidos y controlados en la producción de chapas, ya que condiciona la calidad superficial de éstas, además de la resistencia mecánica de los tableros posteriormente fabricados (Devlieger *et al.* 1986).

En esta investigación se evaluó el efecto de la variable “tasa de compresión” la cual se define como la diferencia entre el espesor de la chapa ( $E_v$ ) y la distancia real entre la barra de presión y el cuchillo debobinador (Ch), siendo común denominador el espesor de la chapa ( $E_v$ ); ecuación 1, figura 3.



**Figura 3:** Consecuencia del desplazamiento radial de la madera en el espesor de chapa a nivel de la punta debido a las fuerzas de corte (Marchal *et al.* 2009).

## MATERIALES Y MÉTODO

### Materia Prima:

La materia prima, consistió en nueve trozas de *Eucalyptus nitens* de 13 años de edad, obtenidas de arboles de la familia codificada como 2820 con procedencia *Toorongo* y raza *South CentVic*, estas trozas provienen de un predio de Forestal Mininco S.A. en la zona de Mulchén, ubicado en la región del Bío-Bío, Chile. El suelo del predio es de tipo arcilloso y el diámetro menor de las trozas debobinadas fue de 28 cm. (diámetro punta fina sin corteza), todas las trozas utilizadas provienen de la primera sección de los árboles entre la base hasta los 3 m. El dimensionado de la troza para el proceso de debobinado fue de 2.73 m. donde se utilizaron 3 trozas para cada tasa de compresión posteriormente calculadas.

### Tasa de Compresión:

La tasa de compresión porcentual utilizada en el torno debobinador, fue calculada usando la ecuación 1.

$$TC = \frac{E_V - Ch}{E_V} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

TC = Tasa de Compresión (%)

$E_V$  = Espesor de la chapa (mm)

Ch = Distancia entre cuchillo y barra de presión (mm)

De esta manera, la selección de cada tasa de compresión, estableciendo un espesor de chapa nominal de 1.8 mm (espesor de chapa promedio latifoliadas, INFODEMA S.A.), otorgó las siguientes distancias entre cuchillo y barra de presión (Tabla 1).

**Tabla 1:** Espesores de chapa nominal y real de *Eucalyptus nitens* para las tres tasas de compresión usadas en el torno de debobinado “Cremona”.

	Tasa de Compresión	Espesor de Chapa Nominal	Espesor Real de Chapa	Distancia entre cuchillo y barra de presión
	%	mm	mm	mm
TC1	0.5	1.8	1.88	1.87
TC2	3.5	1.8	1.85	1.79
TC3	5.0	1.8	1.82	1.73

### Fabricación chapas :

El proceso de fabricación de chapas y tableros se realizó en la planta de tableros INFODEMA S.A. en Valdivia región de los Ríos. Las condiciones de proceso utilizadas en planta fueron las siguientes:

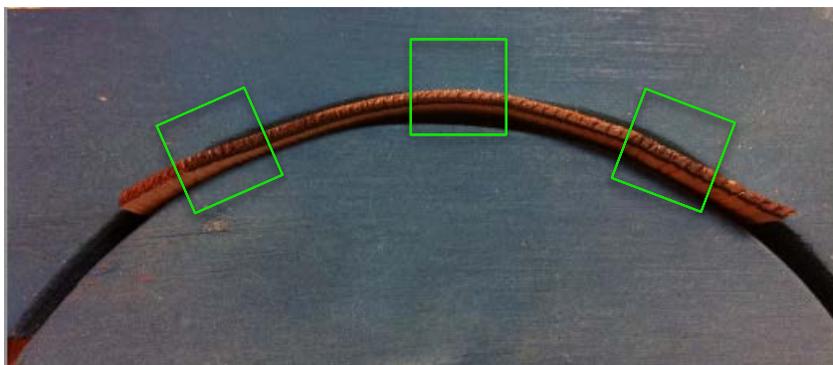
- Descortezado: manual
- Macerado en piletas: 10 h a 80 °C.

- Debobinado:
  - Angulo del cuchillo 21°
  - Angulo de incidencia 0 °
  - Velocidad de rotación 60 m/s
- Secador de malla a 190 °C y 2.1 m/s de velocidad.
- Por cada tasa de compresión utilizada en el proceso se realizó el seguimiento en línea de las chapas hasta el secado de ésta.

Las chapas obtenidas fueron dimensionadas e identificadas en función de cada tasa de compresión y se controló el espesor y la calidad visual de la chapa, descartando aquellas con exceso de rajaduras y agrietamiento. Estas rajaduras se produjeron en los extremos de las trozas de *Eucalyptus nitens* al liberar las tensiones de crecimiento y se prolongaron hacia las chapas. Después del secado se monitoreó la temperatura y el contenido de humedad de las chapas, según normativas de planta.

### **Análisis de morfología y frecuencia de grietas**

Un cortador laser marca LASERJET 2500 se utilizó para cortar las chapas y obtener probetas rectangulares de 3 x 20 cm, con el fin de observar las grietas de debobinado en el espesor. Para cada tasa de compresión se fabricaron 20 probetas de estas chapas, obtenidas aleatoriamente. Mediante el uso de una herramienta de fabricación propia en forma de semi-circunferencia (figura 4), de radio 15 cm, se observaron las grietas de debobinado; se utilizó dicho radio de curvatura para evitar daño adicional en la chapa producto del montaje en este dispositivo.



**Figura 4:** Dispositivo en forma de semi-circunferencia para la observación de grietas de debobinado en las probetas de chapas.

### **Evaluación de la morfología y frecuencia de grietas:**

#### *a) Captura de Imágenes:*

Las imágenes fueron capturadas usando un estereomicroscopio NIKON SMZ1000, equipado con cámara digital MicroPublisher 3.3 RTV y software de captura de imágenes QCapture Suite. Se obtuvieron 3 fotografías del centro y extremos por cada probeta de chapa (figura 4). En la captura de imágenes se utilizó una magnificación de 10x. En las imágenes capturadas se midió: frecuencia, largo y área de las grietas.

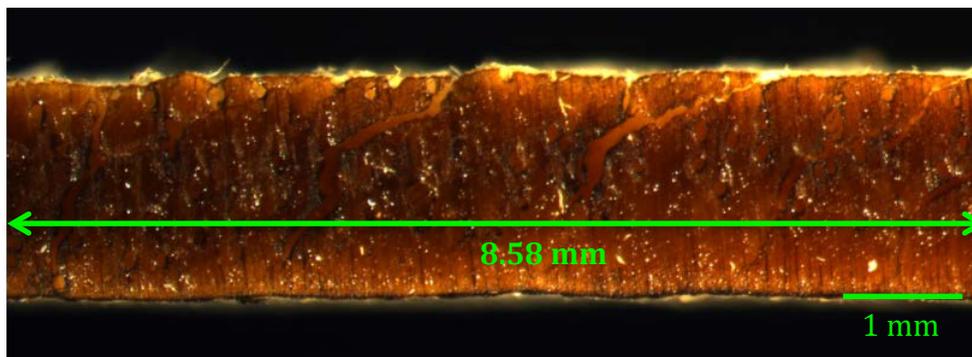
#### *b) Análisis de Imágenes: (Anexo N° 1)*

Utilizando el software de análisis de imágenes Image Pro Plus 6.2, se realizaron las mediciones antes mencionadas. Usando una regla micrométrica de 1 mm, se calibró el software para las mediciones de longitud (mm) y área (mm<sup>2</sup>) de las grietas en estudio.

#### *c) Largo de grietas:*

El largo de cada una de las grietas fue medido en toda la longitud de muestreo (figura 5), para cada fotografía (8.58 mm). Se diseñó una metodología de medición, que consistió en dividir la grieta en dos tramos (Tramo A y B), tramos conectados que dan la morfología característica de las grietas de debobinado (figura 6). El tramo A corresponde a

la cara suelta de la chapa, que es donde se produce el corte con el cuchillo debobinador. El largo total de la grieta es la sumatoria del tramo A y B.



**Figura 5:** Longitud de muestreo y medición de grietas de debobinado.

*d) Área de grietas:*

Usando el software de análisis de imágenes, se midió el área de cada una de las grietas que aparecen en la imagen (ver figura 9); la sumatoria total del área de grietas es evaluada posteriormente.

*e) Frecuencia de grietas:*

En el largo de la sección de chapa analizada, para cada fotografía es de 2044 píxeles, que corresponden a 8.58 mm (figura 5). Contando la cantidad de grietas en el largo observado. Dependiendo de la posición de la grieta, puede considerarse la mitad de una grieta que se observe al final de la fotografía.

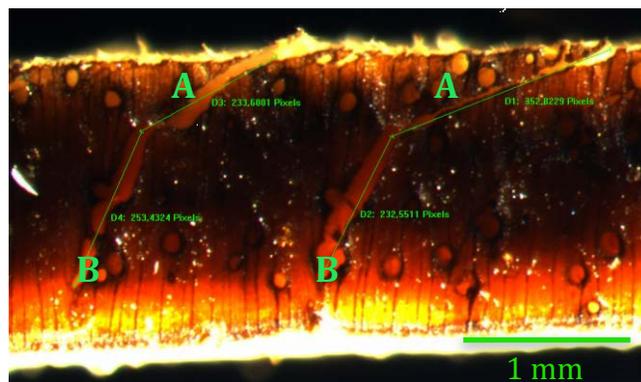
### **Análisis estadístico**

Un Análisis de Varianza (ANOVA) fue llevado a cabo mediante el software STATISTICA 8.0 para el análisis de los resultados. Se utilizaron graficas de barras

considerando un intervalo de confianza al 95% para evaluar la dispersión de los datos y comparar las diferencias significativas.

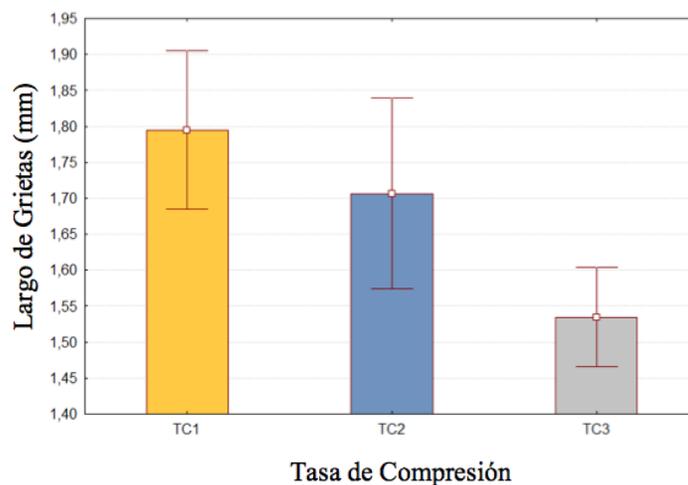
## RESULTADOS Y DISCUSIONES

La morfología de las grietas en las chapas es dependiente de la tasa de compresión empleada. El análisis de imágenes en la medición de largo de grietas, se distinguió que existe una disminución en el largo de estas a medida que se aumenta la tasa de compresión, existiendo un acortamiento en los dos tramos de medición, pero especialmente en el tramo A (figura 6). Esta disminución de largo tiende a formar una grieta lineal en chapas obtenidas mediante la tasa de compresión de 5% (figura 8-b).



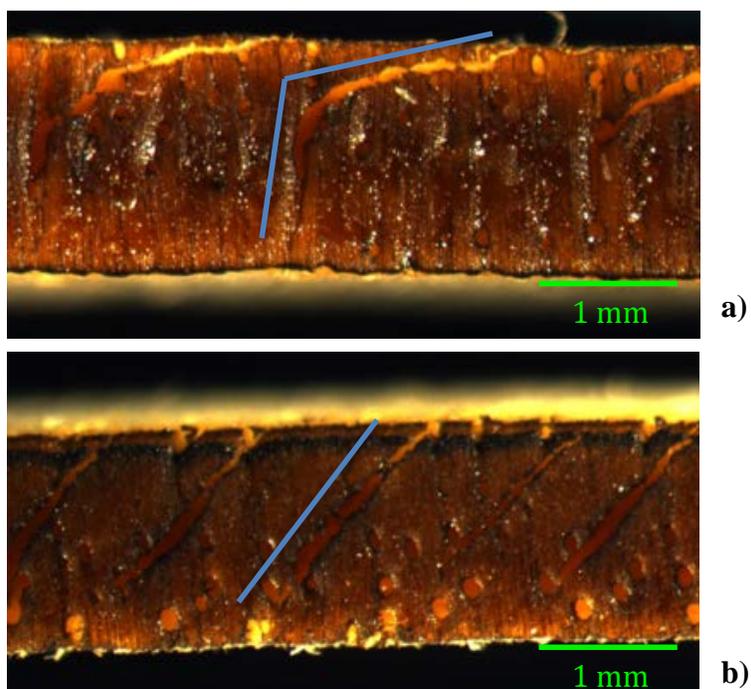
**Figura 6:** Medición largo Grietas de debobinado en dos tramos (magnificación 10x).

La figura 7 muestra el largo promedio de las grietas de debobinado con un intervalo de confianza al 95%. El largo de grietas tendió a disminuir a medida que se aumentó la tasa de compresión. El largo promedio de las grietas de debobinado fue de 1.79, 1.70 y 1.53 mm, para las tasas de compresión TC1, TC2 y TC3, respectivamente.



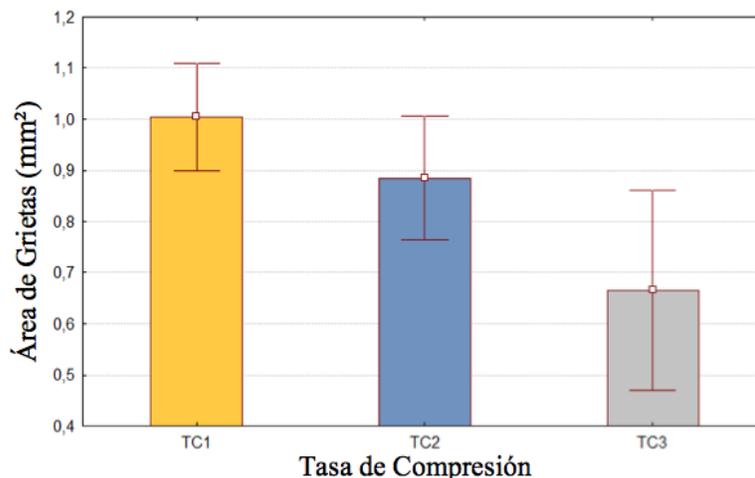
**Figura 7:** Comparación tres tasas de compresión con respecto al largo de grietas (mm), considerando un intervalo de confianza del 95%.

Las chapas con una tasa de compresión 0.5% presentaron mayor cantidad de grietas, con una morfología en dos segmentos-orientaciones (figura 8-a). En comparación a las chapas sometidas a una tasa de compresión de 5%, se observó mayor número de grietas lineales (figura 8-b), es decir, a mayor TC el largo de grietas disminuye.



**Figura 8:** Tipo de grietas observadas, a) grietas en dos tramos. b) grietas lineales.

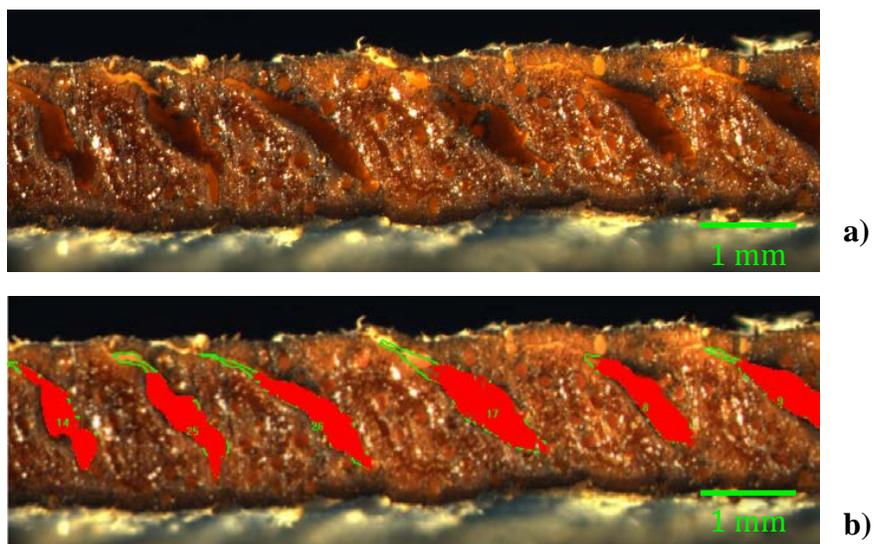
La figura 9, muestra el área de las grietas de debobinado con respecto a la tasa de compresión utilizada. Tal y como se observa, el área de las grietas tendió a disminuir a medida que aumentó la tasa de compresión. Los resultados para el área promedio de grieta de debobinado fueron TC1 con 1.076 mm<sup>2</sup>, TC2 con 0.887 mm<sup>2</sup> y TC3 con 0.671 mm<sup>2</sup>.



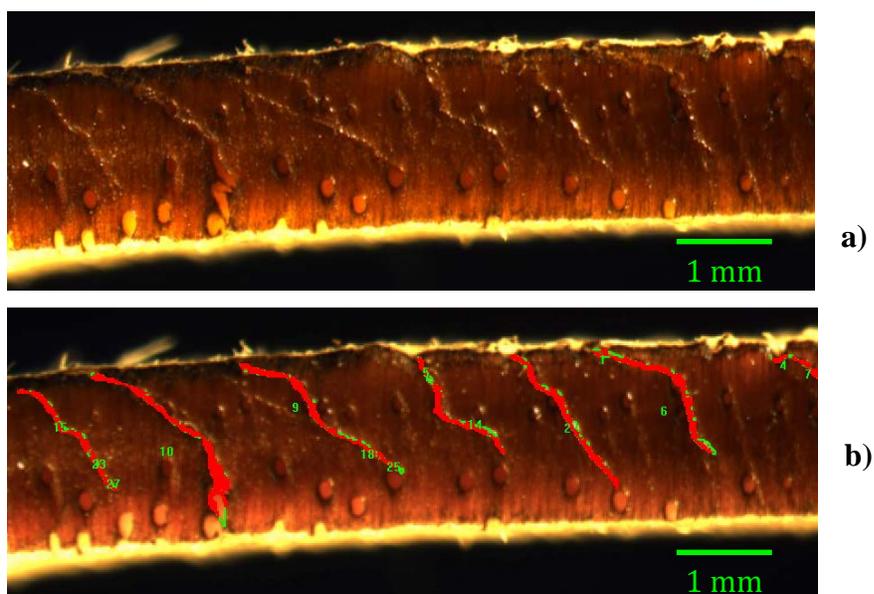
**Figura 9:** Comparación del área de grietas (mm<sup>2</sup>) en la longitud de chapa de interés analizada (8.58 mm) para las tres tasas de compresión, considerando un intervalo de confianza del 95%.

A una tasa de compresión de 0.5%, las grietas fueron abiertas (figura 10), a diferencia con la tasa de compresión de 5%, la cual generó grietas más cerradas (figura 11); ya que se obtuvo una chapa con fibras menos apretadas, las que tienden a perder menos agua por compresión provocada por la barra de presión en el torno de debobinado, situación que podría deberse a la mayor cantidad de evaporación de agua durante el secado de la chapa, existiendo una pérdida de agua más violenta y por ende aumenta el ancho de las grietas en tasas de compresión menores. También se observó que existen grietas más abiertas cuando aumentó cantidad de vasos en el espesor de la chapa. Tal como lo discutió

Gacitúa *et al.* (2007), los vasos son elementos que concentran esfuerzos alrededor de ellos, generando colapso de células y microgrietas.

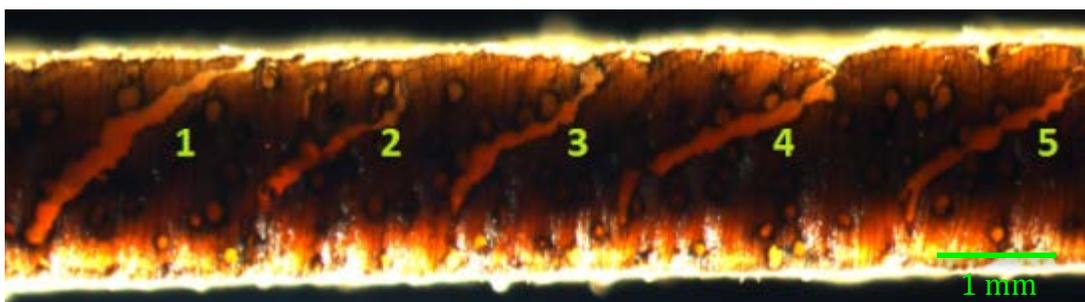


**Figura 10:** a) Grietas en el espesor de chapas de *Eucalyptus nitens* (ej. grieta abierta) b) tratamiento de las imágenes con *Image Pro plus* para la medición área Grietas de debobinado.

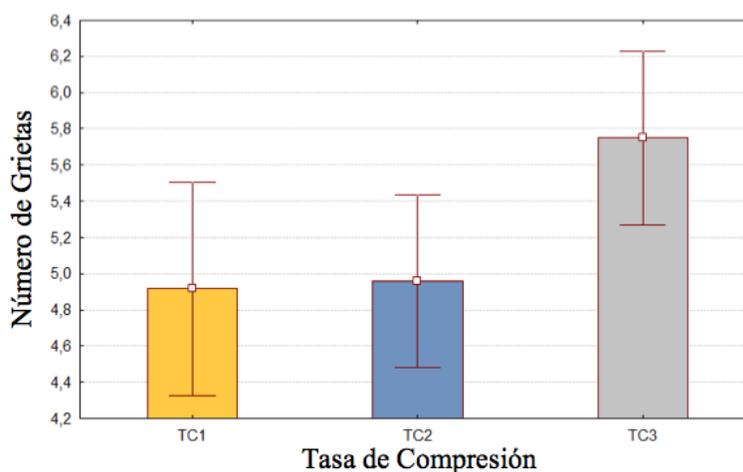


**Figura 11:** a) Grietas en el espesor de chapas de *Eucalyptus nitens* (ej. grieta cerrada). b) tratamiento de las imágenes con *Image Pro Plus* para la medición área grietas de debobinado.

El análisis de frecuencia de grietas de debobinado medida en un segmento de chapa de 8.58 mm de longitud (figura 12), mostró una tendencia al aumento del número de grietas entre TC1 con 4.89 grietas y TC2 con 4.96 grietas, no existiendo diferencia significativa entre estas frecuencias según el ANOVA ( $p>0.05$ ) y tampoco respecto al número de grietas de TC3 con 5.77 grietas (figura 13).



**Figura 12:** Medición número grietas de debobinado en el largo de chapa de 8.56 mm



**Figura 13:** Número de grietas por cada 8.58 mm, para tres tasas de compresión, considerando un intervalo de confianza del 95%.

Por consiguiente, el análisis morfológico de las grietas producidas por en el proceso de debobinado, mostró que existe una tendencia a disminuir el largo en los tramos A y B,

además de haber mayor número de grietas lineales y cortas, a medida que se aumenta la tasa de compresión. Al aumentar la tasa de compresión se obtiene una chapa más apretada, y la fractura del material o propagación de la grieta no se completa a través del espesor de la chapa, al obtener menores valores en área y dimensiones de grietas de debobinado para tasas de compresión mayores, las chapas son más rígidas y de mejor calidad visual.

Según resultados de estudios anteriores sobre tasas de compresión y temperaturas de macerado en *Pino oregón* y *Cipres lusitanico* (Devlieger *et al.* 1986), con tasas de compresión altas (entre 12% y 16%) y temperaturas de macerado superiores a 70 °C, el agrietamiento en chapas disminuye y mejoran las propiedades mecánicas en ellas.

En análisis morfológico para este estudio de tasa de compresión, no existe una diferencia significativa entre la TC1 - TC2 y tampoco entre TC2 - TC3 (ANOVA,  $p>0.05$ ), pero sí entre la TC1 y TC3 (ANOVA,  $p<0.05$ ). Por lo que para posteriores pruebas, se recomienda aumentar la tasa de compresión para evaluar la morfología de grietas de debobinado, ampliando el rango entre las tasas de compresión estudiadas.

En el proceso de debobinado, existe un daño mecánico por compresión, producido por el efecto del roce de la barra de presión, que no es significativo para latifoliadas (Lutz 1978), respecto a la apariencia superficial de chapa en lo que se refiere a rugosidad, rajadura y ondulación. No obstante la rajadura en los cantos de la chapa no se pudo minimizar debido a que las trozas de *Eucalyptus nitens* poseían partiduras en los extremos, defecto representativo de esta especie por la liberación de tensiones de crecimiento (Ananías *et al.* 2009; Caniza *et al.* 2007; Smith *et al.* 2003; Touza 2001). Este defecto podría minimizarse utilizando sobre-largos en los trozos hasta la etapa previa al debobinado, donde se podría ajustar el largo del trozo dejando sus caras libres de rajaduras.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, relacionados con el efecto de la tasa de compresión en la calidad de chapas de *Eucalyptus nitens*, se puede concluir que para obtener chapas de esta especie con menor largo y área de grietas de debobinado, una de las modificaciones factibles de aplicar en proceso es el aumento de la tasa de compresión, es decir, ajustar a menor distancia la barra de presión y el cuchillo debobinador.

En la evaluación de área de grietas se observó que con la tasa de compresión 0.5% y 3.5%, las grietas de debobinado estaban más abiertas, es decir, tenían más área respecto a la sección transversal de chapa en estudio.

Respecto de la morfología de grietas, al usar una tasa de compresión menor (bajo apriete) genera mayor cantidad de grietas en forma de “L”, medidas en dos tramos de mayor largo. Por el contrario para una chapa obtenida con una tasa de compresión mayor se obtienen grietas más cortas y rectas, eliminando el efecto L de dos tramos.

Al utilizar una tasa de compresión menor, se encontró una menor frecuencia de grietas pero de mayores dimensiones y área, a diferencia de las chapas obtenidas con una tasa de compresión mayor que según estos resultados tienen una mayor frecuencia de grietas, pero de menor dimensión y área, no existiendo grandes zonas de colapso en el material para este tipo de chapa.

Para las condiciones de proceso utilizadas en esta investigación es recomendable la utilización de una tasa de compresión mayor en la obtención de chapas de *Eucalyptus nitens* para obtener chapas con menor ondulación y menor daño superficial producido por el agrietamiento, siguiendo las condiciones de proceso usadas en esta investigación.

## AGRADECIMIENTOS

*Los autores de este documento agradecen al Proyecto Fondef D07i1101 por proveer el equipamiento para desarrollar la investigación, Forestal Mininco por la donación de la materia prima, empresa Oxiquim S.A. por proporcionar resina y empresa Infodema por facilitar sus instalaciones donde se desarrollaron las pruebas.*

## REFERENCIAS

- ANANIAS, R.; DIAZ, C.; LEANDRO, L. 2009. Estudio preliminar de la contracción y el colapso en *Eucalyptus nitens*. *Maderas Ciencia y Tecnología*. 11 (3): 251-260.
- CANIZA, F.; LOPEZ, J.; MONTENEGRO, P.; ASSAME, S.; APARICIO, J. 2007. Variación de las tensiones de crecimiento en tres clones de *Eucalyptus grandis* según el estado de competencia individual. XXII Jornadas Forestales de entre Ríos, Concordia. Octubre de 2007: 1-9.
- DENAUD, L.; BLERON, L.; RATLE, A.; MARCHAL, R. 2007. Online control of wood peeling process: Acoustical and vibratory measurements of lathe checks frequency. *INRA, EDP Sciences 67 (2007): 569-575.*
- DEVALLANCE, D. V.; FUNCK, J. W.; REEB, J. E. 2007. Douglas-fir plywood gluebond quality as influenced by veneer roughness, lathe checks, and annual ring characteristics. *Forest Products Journal*. 57 (1/2): 21-28.
- DEVLIEGER, F.; CUEVAS, H.; INZUNZA, L. 1986. Efecto de las variables de debobinado en *Pino oregon* y *Cipres lucitanico*. *Bosque 7(2): 115-120*
- LUTZ, J. 1978. *Wood Veneer: Log Selection, Cutting and Drying*. Forest Service, US Department of Agriculture. Washington D.C.
- MARCHAL, R.; MOTHE, F.; DENAUD, L. E.; THIBAUT, B.; BLERON, L. 2009. Cutting forces in wood machining – Basics and applications in industrial processes. A review. *Holzforschung (63):157-167.*
- MUÑOZ, F.; ESPINOSA, M.; HERRERA, M.; CANCINO, J. 2005. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. *Bosque 26 (1): 93-99.*

PALUBICKI, B.; MARCHAL, R.; BUTAUD, J. C.; DENAUD, L. E.; BLÈRON, L.; COLLET, R.; KOWALUK, G. 2009. A Method of Lathe Checks Measurement; SMOF device and its software. Eur. J. Wood Prod.

SMITH, I.; LANDIS, E.; GONG, M. 2003. Fracture and Fatigue in Wood. John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-471-48708-2

TOUZA, M. 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la selvicultura y estrategias de aserrado. Maderas Ciencia y Tecnología 3 (1-2): 68-89.

## **Capítulo N° 2: Efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos UV en la propagación superficial de grietas de debobinado en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*.**

Andrés Acevedo, Mg. <sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D. <sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc. <sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Maderas, Universidad del Bío-Bío.  
E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción, Chile.  
E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

### **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un envejecimiento acelerado, mediante rayos ultravioleta y condiciones ambientales controladas, sobre la propagación de grietas de debobinado y agrietamiento superficial. Al simular las condiciones de servicio en exterior de tableros contrachapados fabricados con chapas provenientes de tres alturas de trozas procedentes de familias segregadas de *Eucalyptus nitens* y bajo condiciones de debobinado controladas. Usando una cámara de envejecimiento acelerado UV (rayos ultravioleta) capaz de reproducir el espectro de radiación emitido por el sol bajo condiciones climáticas controladas de humedad relativa, condensación y temperatura, de acuerdo a la norma ASTM G154-06. Mediante análisis de imágenes se evaluó el nivel de agrietamiento superficial porcentual en el área envejecida de las probetas, además del ancho de grietas en la superficie de los tableros. El análisis de imágenes del área envejecida de las probetas mostró que el ancho de grietas y área de agrietamiento disminuye con respecto a la altura de la troza, existiendo diferencias significativas en agrietamiento, entre familias segregadas de *Eucalyptus nitens*. Además las grietas de debobinado en las chapas se propagan hacia la superficie, siendo estas responsables del agrietamiento en las caras de tableros contrachapados. Basado en los resultados del estudio, el envejecimiento acelerado mediante UV es un buen indicador para evaluar la propagación de grietas de debobinado y el agrietamiento superficial en muestras de tableros contrachapados expuestos al exterior.

**Palabras claves:** Grietas de debobinado, envejecimiento UV, tableros contrachapados, *Eucalyptus nitens*.

## Ultraviolet ray aging effect on lathe check surface propagation in *Eucalyptus nitens* plywood

Andrés Acevedo, Mg.<sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D.<sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc.<sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wood Engineering Department, Bío-Bío University.

E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción, Chile.

E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of accelerated aging, with UV rays and controlled environmental conditions in lathe check propagation and surface cracking, simulating the conditions of outside service of plywood made with veneers from three heights of logs families segregated of *Eucalyptus nitens* and under conditions of controlled peeling process. To perform the test using an accelerated aging chamber UV (ultraviolet rays) can reproduce the spectrum of radiation emitted by the sun under controlled climatic conditions of relative humidity, condensation and temperature according to ASTM G154-06. By image analysis assessed the level of surface cracking in the area percentage of the specimens aged in addition to the width of cracks on the plywood surface. Image analysis of the aging of the specimen area showed that the crack width and crack area decreases with respect to the height of the log, showing significant differences in cracking between segregated families of *Eucalyptus nitens*. Besides lathe checks in the veneers spread to the surface, these being responsible for the cracking in the plywood surface. Based on the results of the study, UV-accelerated aging is a good indicator for evaluating the late check propagation and surface cracking in samples exposed to the exterior plywood.

**Keywords:** Lathe checks, UV aging, plywood, *Eucalyptus nitens*.

## INTRODUCCIÓN

Los agentes responsables de los cambios físicos en la superficie de la madera, como decoloración y agrietamiento, ocasionados por el medio ambiente son, la radiación solar (luz ultravioleta, visible e infrarroja), humedad (rocío, lluvia, nieve) y temperatura. El conjunto de estos elementos, como su interacción, son puntos clave que intervienen en el proceso de envejecimiento y agrietamiento superficial de la madera. Al mismo tiempo, también influyen características propias de la madera, tales como densidad, composición física, química y anatómica influyen sobre estos cambios (Rodríguez *et al.* 2003). La degradación en la madera es un proceso de semanas, meses e incluso años, dependiendo si está en estado natural, o es usado algún tipo de recubrimiento o la posición en la que esté expuesto el material al viento y lluvia.

La radiación ultravioleta, es el principal causante de la degradación de las superficies de madera y recubrimientos (Garay 2009). La luz ultravioleta transmitida por el sol inicia reacciones fotoquímicas en la superficie de la madera resultando deterioros visibles como un cambio de color por degradación de la lignina y fallas en la adhesión entre madera y recubrimientos, aumento de rugosidad de la superficie. La acción de esta degradación, tiene como resultados visibles: pérdida de brillo, cambio de matiz, laminación (ampollas), craqueo o agrietamiento y amarilleamiento (Parker 1965). El cambio de color de la madera, es básicamente una reacción de superficie, no obstante, puede afectar de forma más profunda, por las reacciones derivadas de la degradación, La degradación de la madera por luz ultravioleta en tableros contrachapados, se produce a profundidades de 0.05 – 2.5 mm (Feist y Hon 1984) por lo que afecta principalmente a la chapa superficial y parte de la secundaria, dañando también la unión adhesiva que mantiene pegada las chapas.

Para tableros contrachapados, la calidad de la chapa y de la adhesión, son constantes importantes cuando se habla de degradación en el tablero (Lutz 1978), especialmente para tableros de uso estructural sometidos a condiciones de uso exterior.

Por otro lado, los defectos de la chapa más recurrentes son: rugosidad, chapa espiralada, variaciones en el espesor y grietas de debobinado (Devallance *et al.* 2007; Devlieger *et al.* 1986; Marchal *et al.* 2009). Además, influyen en la calidad del tablero la adhesión entre las chapas, tipo de adhesivo, gramaje, prensado del tablero, etc.

Existe agrietamiento en la madera durante la exposición a la intemperie, mencionando la lixiviación y el efecto plastificante del agua que facilitan el agrandamiento de las microgrietas. Estudios previos (Feist y Hon, 1984, Rodríguez y Fuentes 2003) revelan la destrucción de la lamela media y de varias capas de la pared celular en este tipo de agrietamiento. Las fibras individuales y microfibrillas, resultan ser los elementos más estables después de la degradación por exposición al exterior. De acuerdo a Feist y Hon (1984) dentro de las capas de la pared celular, varias de ellas tuvieron fallas por la pérdida de cohesión entre las capas. Este proceso destructivo por acción atmosférica fue limitado a la capa superficial (2-3 mm) en madera sólida.

En estudios de agrietamientos, para madera de pino amarillo al ser sometida a envejecimiento artificial durante 500 h., se observó que en la sección transversal las células fueron separadas de la zona de la lamela media, y en casos extremos la pared celular colapsó (Rodríguez y Fuentes 2003).

Kuéera y Sell (1987) realizaron ensayos de envejecimiento acelerado y análisis anatómico en madera aserrada de Haya (*Fagus sylvatica L.*). Dentro de sus observaciones mencionan la fragilidad de los radios medulares de la cara tangencial, lo que generó áreas de ruptura, atribuyéndolo principalmente al ancho del radio medular y al movimiento

natural de la madera (hinchamiento y contracción). La cara transversal presentó agrietamientos, pero no con la misma intensidad. Algunas probetas mostraron agrietamientos de 8 a 10 mm y en casos excepcionales de hasta varios centímetros de largo. A nivel microscópico, se produjeron rupturas de las capas internas de la pared celular, generalmente la lamina media, presentándose de igual forma en vasos y fibras.

Las grietas de debobinado que aparecen por el proceso de corte mecánico, son grietas que están presentes en la chapa las cuales hacen que ésta sea más propensa a quebrarse y generar espacios por donde el adhesivo fluye en el proceso de prensado; así, el origen del agrietamiento de las chapas en las superficies de los tableros contrachapados podría estar relacionado con grietas de debobinado así como las microgrietas presentes en las chapas.

En estudios realizados para la especie de *Eucalyptus nitens*, las microgrietas se producen por la concentración de esfuerzos alrededor de los vasos, las grietas se propagan por la lamela media que es más quebradiza, hasta convertirse en meso grietas visibles al ojo humano (Gacitúa *et al.* 2007).

El problema de agrietamiento superficial en tableros contrachapados, cuando están en servicio, es un tema que preocupa a la industria de tableros y recubrimientos ya que disminuye la vida útil del producto. El objetivo de este estudio fue evaluar las causas de este agrietamiento superficial, para mejorar procesos en el que se fabriquen tableros más resistentes y con nuevas especies como el *Eucalyptus nitens*.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Fabricación de tableros:

Fueron utilizados arboles de *Eucalyptus nitens* de 13 años de edad, provenientes de un predio de Forestal Mininco S.A., de suelo arcilloso de la zona de Mulchén, ubicado en la región del Bío-Bío, Chile. Se fabricaron tableros contrachapados a escala industrial en la planta de INFODEMA S.A. (Acevedo *et al.* 2011), en la ciudad de Valdivia, Chile. Los tableros se fabricaron con madera proveniente de seis grupo-familia de *Eucalyptus nitens*, siendo denominados grupo 1 a 6 (tabla 1), y con trozas cortadas a tres alturas provenientes de altura A (base hasta 3 m altura), altura B (3 m - 6 m) y altura C (6 m – 9 m). Solo con las familias codificadas como 2831 del Grupo 1 y 2744 del Grupo 6 se fabricaron tableros con trozas de la altura C, ya que solo para estas familias se logro obtener trozas de altura superior a los 6 m, con diámetros superior a los 28 cm para el proceso de debobinado.

Con tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*, fabricados con 5 chapas de 1.8 mm de espesor, utilizando adhesivo fenol formaldehído (Oximix 2217, proporcionado por Oxiquim S.A.), se evaluó la cara superficial; las chapas se obtuvieron de un proceso de debobinado controlado, utilizando una tasa de compresión TC=5.0% (Acevedo *et al.* 2011).

Fue incluido el análisis de agrietamiento superficial por exposición UV, tableros fabricados con trozas basales desde arboles de la familia 2820 de procedencia Toroongo y raza South CentVic, a diferentes tasas de compresión (0.5%, 3.5% y 5.0%). La familia procedencia que se utilizó para pruebas de tasa de compresión, correspondió a la familia que dio mejores resultados en términos de bajo agrietamiento en estudios previos (Valenzuela *et al.* 2011).

**Tabla 1:** Procedencia, raza y codificación de familias de *Eucalyptus nitens*.

Grupo N°	Código	Familia	Procedencia	Raza
TC	1-2-3	2820	Toorongó	South CentVic
1	1 2	2831	Toorongó	South CentVic
2	2 1	2727	Rubicon Snobs Ck Rd	North CentVic
3	3 1	2777	Macalister	North CentVic
4	4 1	2846	Toorongó Plateau	South CentVic
5	5 1	2790	MT Tanglefoot	South CentVic
6	6 1	2744	Rubicon	North CentVic

### Probetas

Probetas (3 replicas) de dimensiones 7.2 x 15 cm, se cortaron desde tableros fabricados en planta, esto es para cada tasa de compresión y grupo-familia; las probetas se fijaron en una cámara de envejecimiento UV (QUV LU-0819.2, modelo QUV/spray), dejando expuesta a la exposición de rayos UV y humedad la cara de mejor apariencia visual; se considero la cara menos rugosa y con menos presencia de vasos cortados transversalmente, siendo las dimensiones del área expuesta de 6.5 x 10 cm. (figura 1-a).



(a)



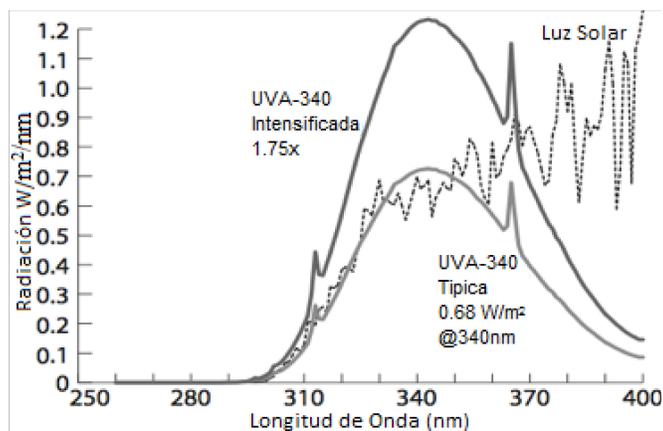
(b)

**Figura 1:** (a) zona de envejecimiento para probetas de plywood; (b) cámara de envejecimiento UV.

## Cámara de Envejecimiento UV

Utilizando una cámara de envejecimiento acelerado marca QUV LU-0819.2 modelo QUV/spray con Solar Eye (control de radiación) y lámparas UVA-340 (figura 1-b).

Este envejecimiento acelerado mediante rayos UV, fue realizado usando como pauta la norma ASTM G154: *Standard practice for Operating fluorescent light Apparatus for UV exposure of nonmetallic materials*. La radiación de la luz del sol al mediodía de verano es alrededor de  $0.68 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ , que corresponde a la mayor radiación que podría estar expuesta la madera naturalmente. Para alcanzar un envejecimiento en menos tiempo y resultados más rápidos se calibro la luz del equipo a  $0.95 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  durante el ciclo de envejecimiento (figura 2), siendo un 40% mayor al espectro natural.



**Figura 2:** Curvas de intensidad de radiación en comparación a radiación de luz solar. (Fuente: Manual QUV/spray )

Las probetas fueron envejecidas en conformidad con las normas (ASTM G154-06) durante 96 horas con ciclos de 12 h., cada ciclo fue repetido 8 veces (tabla 2).

**Tabla 2:** Etapas del ciclo (12 horas) de envejecimiento UV.

Etapas	Temperatura	Tiempo
1.) Luz UV	60 °C (+-3 °C)	8 horas
2.) Spray (agua)	20 °C (+-3 °C)	0.25 horas
3.) Condensación	40 °C (+-3 °C)	3.75 horas

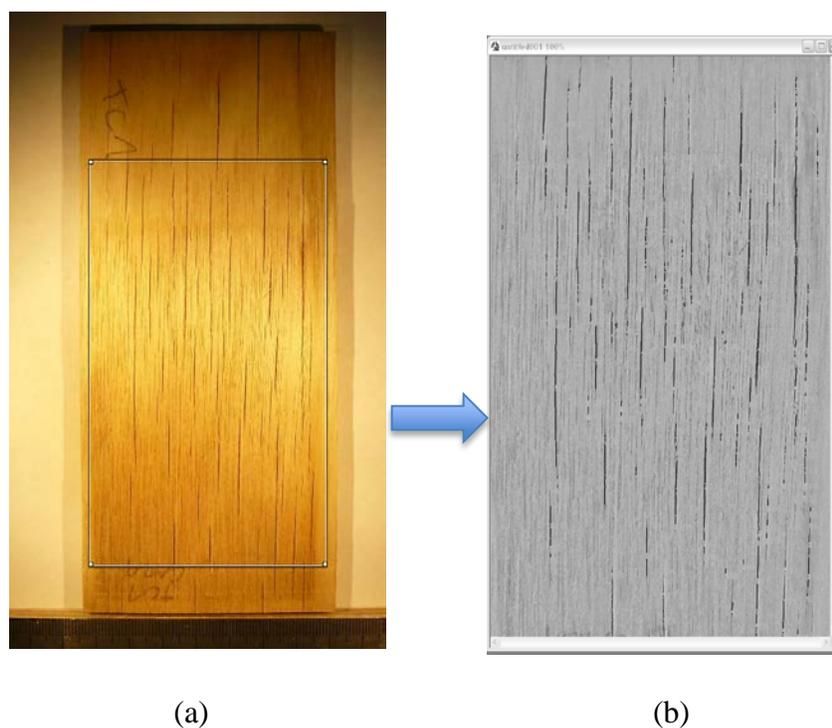
Finalizado el ciclo envejecimiento, las probetas terminaron completamente saturadas, debido al proceso de spray y condensación final, que se aplicó según la norma; por lo tanto, y para una mejor observación de las grietas superficiales en los tableros, se procedió a secar las probetas hasta una humedad de 12%, base seca (condiciones de secado: 63 °C por 12 horas).

#### **Captura de imágenes:**

El proceso de acondicionamiento de las probetas, fue a un contenido de humedad del 12%, se procedió a la captura de imágenes para su posterior análisis. Las imágenes fueron capturadas en color y sin magnificación, mediante una cámara digital de alta resolución (PANASONIC DMC-FZ8) empotrada en un trípode para impedir cambios en la posición y altura en la toma de fotografías digitales, la captura de imágenes se realizó usando iluminación constante, mediante ampollitas de luz corriente (amarilla), con iluminación en 360°; se obtuvieron imágenes de 2048 × 1536 pixeles para cada una de las probetas.

### Selección de área representativa y análisis de imágenes:

Con las imágenes ya cargadas en un ordenador, se procedió al análisis de imágenes mediante el software *Image Pro Plus 6.2*. Seleccionando un área representativa de 601 x 901 píxeles o 6.5 x 10 cm., que corresponde al área envejecida en la superficie del tablero (figura 3-a).

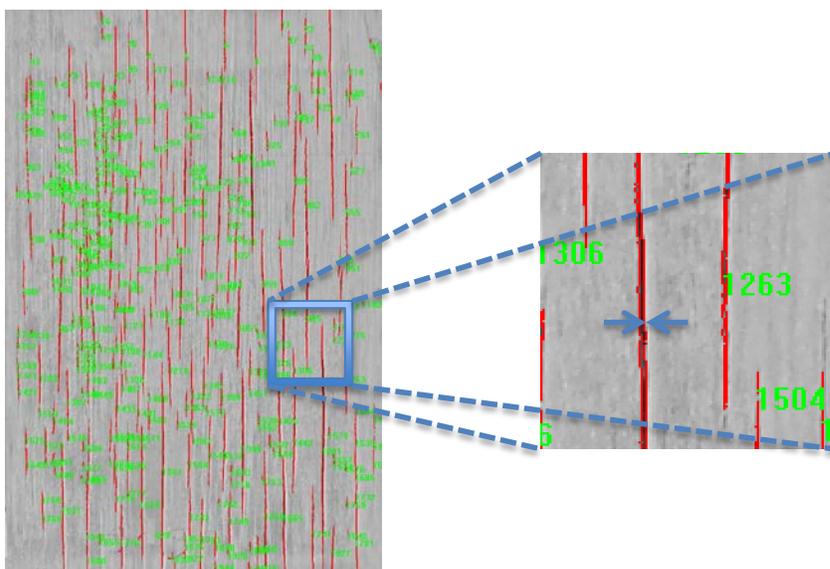


**Figura 3:** (a) selección de área representativa; (b) medición de parámetros (escala de grises).

Con el área representativa ya delimitada, se procede a aplicar un filtro de contraste, para dejar el área seleccionada en escalas de grises facilitando así la medición y el análisis de las grietas (figura 3-b).

### Medición de ancho y porcentaje de grietas:

Con el área representativa ya filtrada en escala de grises, se procede a identificar las grietas, midiendo el ancho (píxeles) y área de grietas ( $\text{pix}^2$ ) en el área representativa seleccionada mediante la aplicación de filtros de contraste y relieve usando el software *Image Pro Plus 6.2*, automáticamente en la opción “select measurement” se selecciona la opción de ancho y área (figura 4), exportando los resultados a una planilla Excel para el posterior cálculo de promedio de anchos y sumatoria de áreas de grietas.



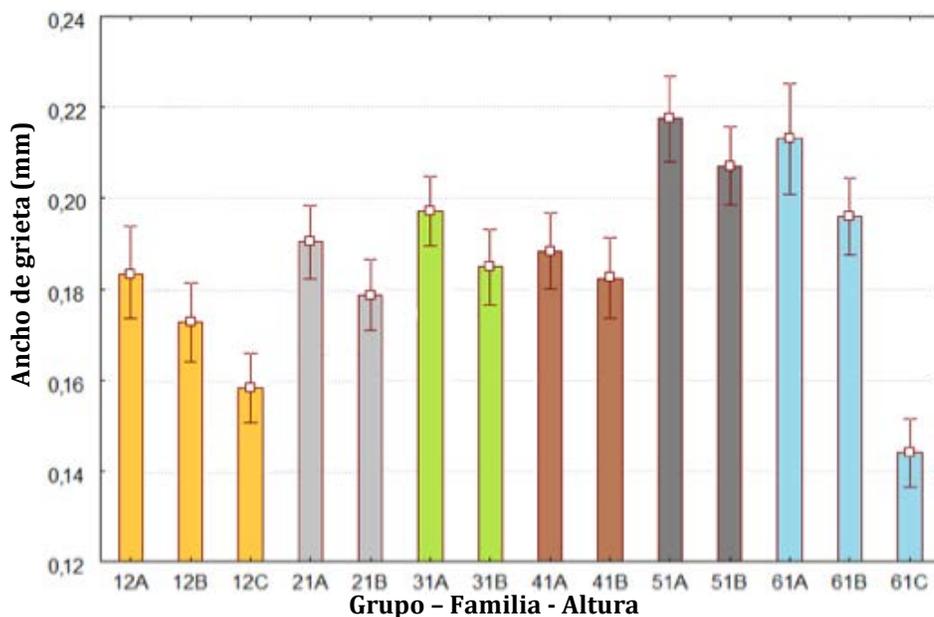
**Figura 4:** Selección y medición de ancho-área de grietas, magnificación de ancho de grieta (*Image pro Plus 6.2*).

Luego, se obtiene el ancho promedio de grietas ( $\text{pix}$ ). Para el parámetro porcentaje de grietas, se mide el área total de grietas ( $\text{pix}^2$ ), es decir, se suman las áreas entregadas por el software, y se divide por el área total envejecida ( $601 \times 901 \text{ pix}$  ó  $6.5 \times 10 \text{ cm}$ ). Todas las mediciones están en píxeles, las cuales se transformaron a milímetros usando una regla milimétrica fotografiada con la misma magnificación.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

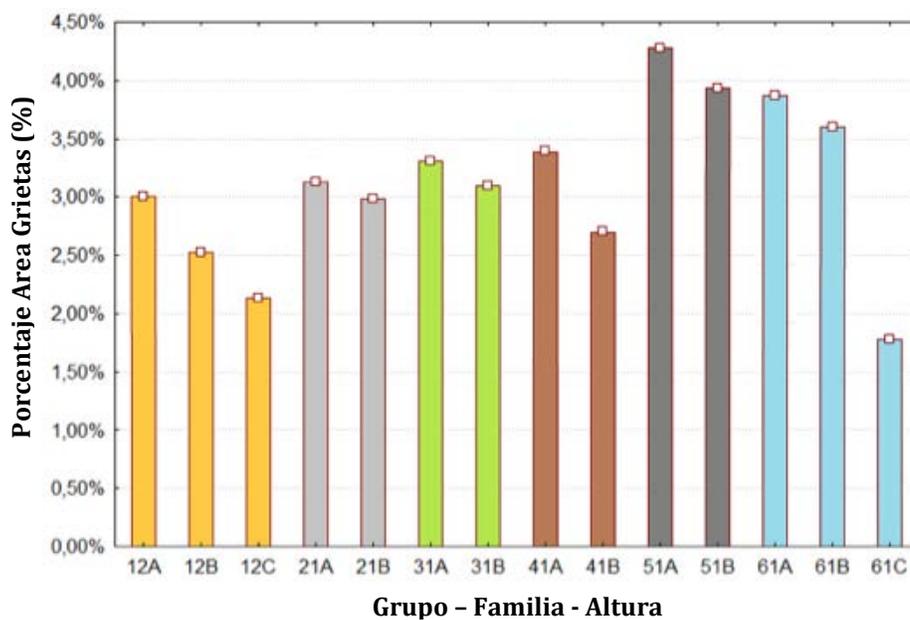
El análisis de imágenes realizado a la superficie de los tableros con respecto al ancho de grietas (mm), para las 6 grupos, familias y alturas de *Eucalyptus nitens* se muestra en la figura 5. Se observa disminución en el ancho promedio de las grietas en tableros de la familia 2831 del Grupo 1 (1 2) con respecto a la altura de la troza, donde existe una diferencia significativa (ANOVA,  $p < 0.05$ ) entre el ancho de grieta tablero proveniente de la troza C (3 – 9 m) respecto a la troza A (base – 3 m). Para familias de los Grupos 2 (2 1), 3 (3 1) y 4 (4 1) se observa tendencia a disminuir los valores con respecto al aumento de la altura, pero no se observan diferencias significativas (ANOVA,  $p > 0.05$ ) entre las familias de estos tres grupos.

Existe un mayor ancho de grietas para tableros de familias del Grupo 5 (5 1) y 6 (6 1), familias 2790 y 2744 respectivamente, donde los tableros provenientes de alturas A(base – 3m) y B(3 – 6 m) están sobre el valor promedio para el ancho de grieta total. Por otro lado, se observó que el resultado de promedio de ancho de grieta para tablero proveniente de la troza C(6 – 9 m) para la familia 2744 perteneciente al Grupo 6 (6 1C) tiene los valores más bajos, pudiendo deberse a que la sector chapa usada en la superficie tenía mayor densidad, menor frecuencia y largo de grietas de debobinado, por lo que estas se propagaron en baja proporción a la cara del tablero.



**Figura 5:** Intervalo de confianza para el ancho promedio de grietas superficiales de tableros (mm), para Grupo-familia y altura (confianza: 95%).

Los resultados para el porcentaje de grietas en los 6 grupos o familias-procedencias y diferentes alturas en el árbol, son mostrados en la figura 6.

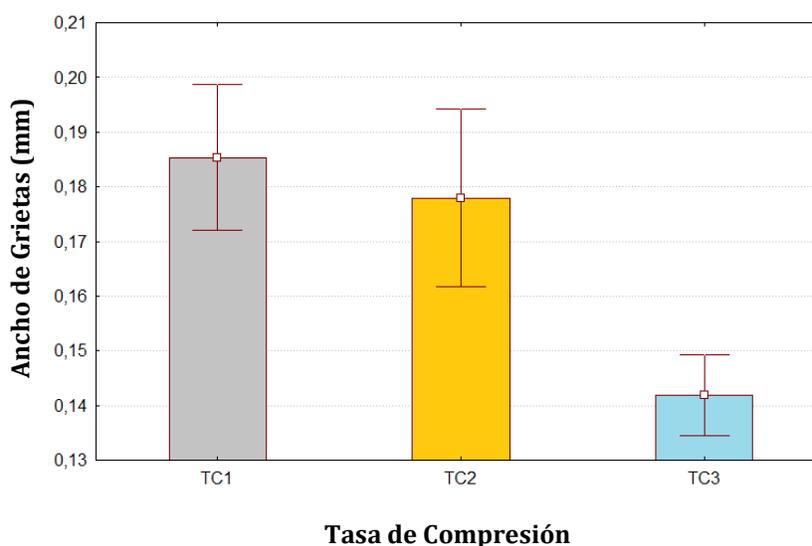


**Figura 6:** Porcentaje de grietas respecto al área representativa (%) v/s grupo-familia-altura.

De los resultados de porcentaje de agrietamiento (figura 6), se observa que para todos los grupos el porcentaje total de agrietamiento superficial en el tablero baja respecto a la altura de donde se obtuvieron las chapas para fabricarlo, siendo los resultados más bajos para la familia 2831 del Grupo 1 altura B y C (12B – 12C), además del las muestras pertenecientes a tableros de la familia 2744 del Grupo 6 altura C (6 1C), donde el porcentaje de agrietamiento promedio es el menor del total de ensayos realizados.

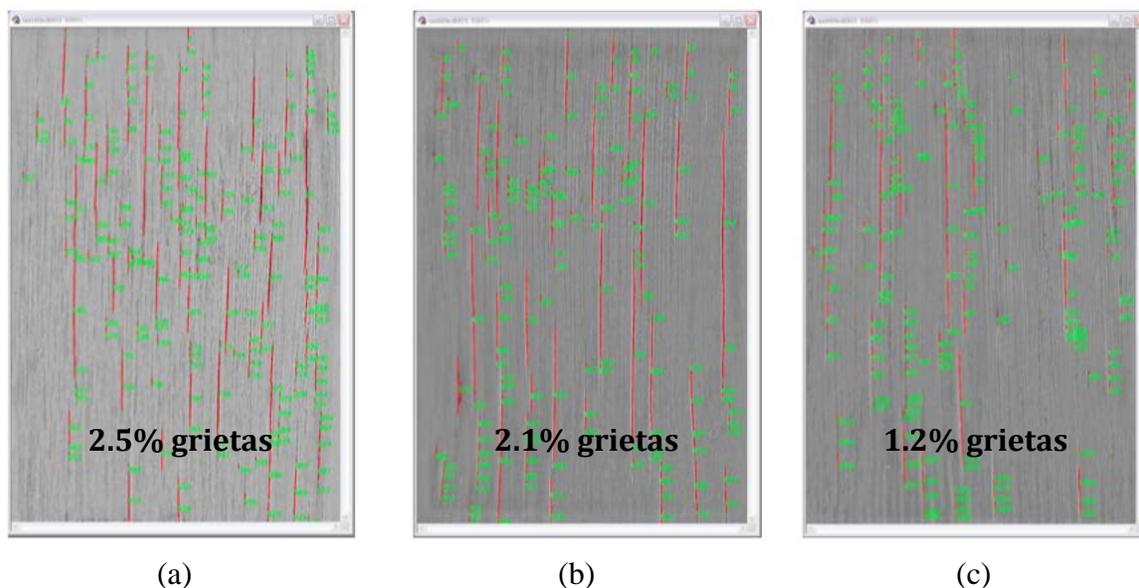
Los resultados corroboran que al obtener chapas de alturas superiores a los 3 m. en arboles de *Eucalyptus nitens* los tableros contrachapados tienen menor nivel de agrietamiento superficial (Shelbourne *et al.* 2002; Leandro *et al.* 2008 Valenzuela *et al.* 2011), por lo que hay menor nivel de propagación de grietas de debobinado, por tener menores dimensiones en largo, área y profundidad.

Los resultados del efecto de la tasa de compresión (TC1, TC2 y TC3) sobre el ancho de las grietas superficiales en tableros, se muestran en la figura 7.



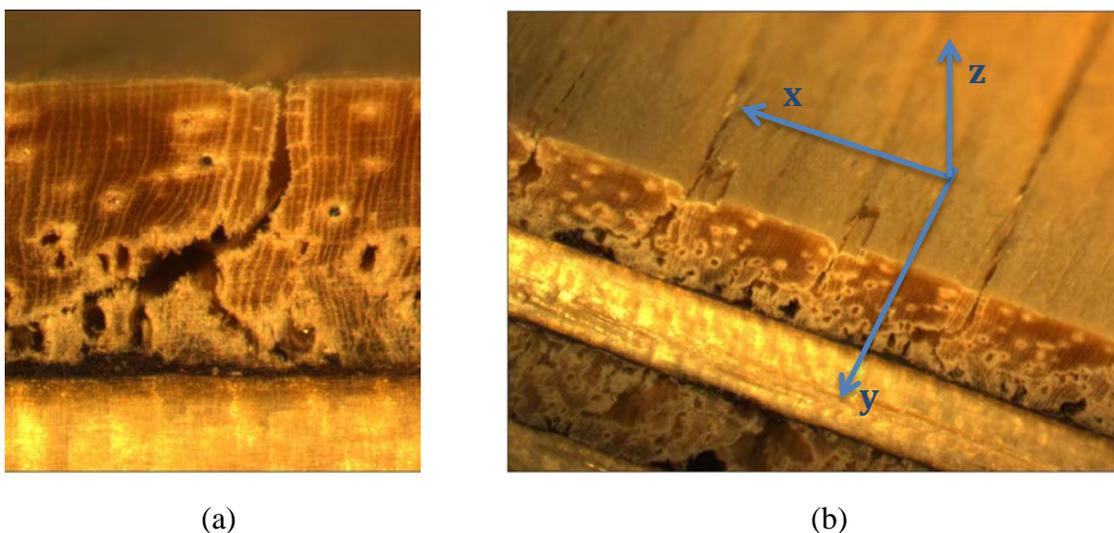
**Figura 7:** Intervalo de confianza para ancho promedio de grietas superficiales (mm) de tableros, para las 3 tasas de compresión (TC1=0.5%; TC2= 3.5%; TC3= 5.0 %) (Confianza: 95%).

Los resultados para el porcentaje de grietas respecto del área representativa (área envejecida) para las tres tasas de compresión se muestran en la figura 8, evaluadas mediante el software de análisis de imágenes Image Pro Plus 6.2.



**Figura 8:** Imagen comparación del efecto de la TC en el porcentaje de grietas superficiales. Las letras a, b y c representan las tasas de compresión de 0.5%, 3.5% y 5.0%, respectivamente.

Imágenes de las grietas de debobinado propagadas hacia la superficie de la chapa se obtuvieron utilizando un estereomicroscopio NIKON SMZ1000, equipado con cámara digital MicroPublisher 3.3 RTV y software de captura de imágenes *QCapture Suite*. En la captura de imágenes se utilizó una magnificación de 8x. Esta propagación de las grietas produce el agrietamiento superficial de la cara del tablero (figura 9)



**Figura 9:** (a) Propagación de grieta de debobinado hacia la superficie en el espesor de la chapa (b) Propagación de grietas de debobinado en perspectiva, y agrietamiento superficial en la cara del tablero.

De acuerdo a estos hallazgos es posible establecer que es mejor utilizar chapas de *Eucalyptus nitens*, obtenidas a mayores alturas en el árbol, el agrietamiento superficial de los tableros disminuye, condición que permite fabricar tableros de mejor calidad a partir de esta especie. El inconveniente desde el punto de vista de explotación del recurso, radica en la dificultad de obtener trozas diámetros mayores a 30 cm (requerimiento de plantas de debobinado) a medida que aumenta la altura de aprovechamiento comercial. Las trozas utilizadas provienen de arboles de *Eucalyptus nitens* de 13 años de edad, para obtener trozas de mayor diámetro se necesitarían arboles de edades más avanzadas.

Los resultados de envejecimiento UV, para las muestras de tableros provenientes del proceso de debobinado donde la tasa de compresión (TC1, TC2 y TC3) fue la variable independiente, el ancho de grieta promedio disminuyó significativamente cuando aumentó la tasa de compresión. La TC1 entregó un porcentaje de agrietamiento de 2.5% y la TC2 un 2.1%, valores que no difieren significativamente entre si, por otro lado la TC3 mostró un

porcentaje de agrietamiento 1.2 %, el cual difiere significativamente de las otras dos tasas de compresión.

Con las imágenes obtenidas mediante microscopia (figura 9), se encontró que las grietas de debobinado se propagan en el espesor de la chapa y hacia la superficie de un tablero contrachapado, cuando este es sometido a un envejecimiento acelerado mediante UV, produciendo un daño superficial en la primera chapa del tablero siendo resultados similares a los encontrados por (Rodríguez *et al.* 2003; Garay 2009) respecto al agrietamiento superficial en madera, cuando es expuesto a intemperie y rayos ultravioleta.

Usar maderas de mayor densidad es una ventaja ante el deterioro UV, ya que a mayor densidad el deterioro y agrietamiento es menor. A mayor densidad, menor cantidad de material erosionado, esto mismo es aplicable a la proporción de madera tardía y temprana dentro de una pieza de madera cuando se debobina una troza para la obtención de chapas. La superficie tangencial, propiamente la zona de radios medulares, es susceptible a agrietarse cuando es sometida a los efectos de la intemperie maderas (Rodríguez *et al.* 2003), originando rupturas desde la lamela media hasta las capas secundarias de la pared celular (Gacitúa *et al.* 2007).

Por esto una chapa contiene sectores de madera tardía y madera temprana produciéndose un agrietamiento no homogéneo, por lo que en un mismo tablero hay zonas más agrietadas en la cara que están expuestas a la intemperie y rayos UV.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, relacionados con el efecto de un envejecimiento UV en la calidad de tableros de familias segregadas de *Eucalyptus nitens*, se puede concluir que mediante el análisis de fotografías e imágenes es una buena herramienta de medición del agrietamiento superficial en tableros contrachapados.

El envejecimiento acelerado mediante rayos UV y condiciones ambientales controladas, solo afecta a la primera chapa, esto es para las condiciones de envejecimiento usadas en este estudio; por lo tanto, el uso de una chapa de mejor calidad en las caras reduciría el agrietamiento.

Obtener chapas provenientes de trozas a mayor altura en el árbol (sobre los 3 metros) permite obtener menores niveles de agrietamiento en la superficie de tableros contrachapados fabricados con *Eucalyptus nitens*.

Las familias segregadas usadas en este estudio tuvieron un buen comportamiento ante el envejecimiento UV, especialmente los tableros procedentes de alturas mayores a los 3 metros pertenecientes a la familia 2831 (Grupo N° 1), pues tienen niveles de agrietamiento bajo, disminuye la propagación de grietas de debobinado por tener áreas y dimensiones menores. La propagación de grietas de debobinado y por ende el agrietamiento superficial en las caras de tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens* es un problema que puede ser minimizado, utilizando una tasa de compresión de 5%. Con una chapa más apretada, la frecuencia y profundidad de grietas de debobinado es menor, por lo que, el agrietamiento superficial disminuye considerablemente.

Las grietas de debobinado son las causantes del agrietamiento superficial en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens* por el efecto de propagación de éstas, según los resultados obtenidos en este estudio, esto combinado con las grietas características de esta

especie, producidas por la liberación de tensiones de crecimiento y propagación de microgrietas, hacen primordial que se realicen más pruebas e investigación en chapas y tableros provenientes de madera de *Eucalyptus nitens*.

El envejecimiento acelerado mediante rayos ultravioleta es un buen método para evaluar la propagación de grietas de debobinado y el agrietamiento superficial en muestras de tableros contrachapados, cuando son sometidos a condiciones emuladas de intemperie.

## AGRADECIMIENTOS

*Los autores de este documento agradecen al Proyecto Fondef D07i1101 por proveer el equipamiento para desarrollar la investigación, Forestal Mininco por la donación de la materia prima, empresa Oxiquim S.A. por proporcionar resina y empresa Infodema por facilitar sus instalaciones donde se desarrollaron las pruebas.*

## REFERENCIAS

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P; GACITUA, W. 2011. Efecto de la Tasa de Compresión en la morfología de grietas de debobinado en chapas de *Eucalyptus nitens*. Sometido a Revista Madera, Ciencia y Tecnología. Parte 1.

ASTM G154. 2006. Standard practice for Operating fluorescent light Apparatus for UV exposure of nonmetallic materials.

DEVALLANCE, D. V.; FUNCK, J. W.; REEB, J. E. 2007. Douglas-fir plywood gluebond quality as influenced by veneer roughness, lathe checks, and annual ring characteristics. Forest Products Journal. 57 (1/2): 21-28.

DEVLIEGER, F.; CUEVAS, H.; INZUNZA, L. 1986. Efecto de las variables de debobinado en *Pino oregon* y *Cipres lucitanico*. Bosque 7(2): 115-120

FEIST, W. C. ; HON DAVID, N. 1984. "Chemistry of Weathering and Protection". In Rowell, Roger M., ed. The Chemistry of solid Wood. Advances in chemistry series 207, Washington, DC: American Chemical Society; Chapter 11.

GACITÚA, W.; BALLERINI, A.; LASSERRE, J. P.; BAHR, D. 2007. Nanoindentaciones y ultraestructura en madera de *Eucalyptus nitens* con micro y meso grietas. Maderas Ciencia y Tecnología 3 (9): 259-270

GARAY, R. M. 2009. Efectos de dos Protectores Superficiales en las Propiedades de Tableros de Madera después de un Año de Exposición a la Intemperie. Información Tecnológica. 20(4): 123-130.

KUÈERA, L.; SELL, J. 1987. The weathering of wood rays in beech wood area. Holz als Roh- und Werkstoff. 45: 89-93

LEANDRO, L.; ANANÍAS, R.; CLOUTIER, A. ; DÍAZ-VAZ, J.E.; BERMEDO, M.; SANHUEZA, R.; LASSERRE.; J.P. 2008a. Estudio preliminar de las grietas internas dentro de los anillos de madera inicial y su relación con algunas características de la estructura anatómica y la densidad en *Eucalyptus nitens*. *Interciencia* 33(11): 829-834.

LUTZ, J. 1978. Wood Veneer: Log Selection, Cutting and Drying. Forest Service, US Department of Agriculture. Washington D.C.

MARCHAL, R.; MOTHE, F.; DENAUD, L. E.; THIBAUT, B.; BLERON, L. 2009. Cutting forces in wood machining – Basics and applications in industrial processes. A review. *Holzforschung* (63):157-167.

PARKER, H. 1965. Tecnología de recubrimiento de superficies. Wayne Detroit University, Michigan.

MANUAL QUV/SPRAY, Q-LAB CORPORATION. 2006, Accelerated Weathering Tester. Especifications LU-0819.2

RODRIGEZ, R.; FUENTES, F. 2003. Factores que intervienen en el proceso de envejecimiento de la madera. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 9(1): 95-100

SHELBOURNE, C.; NICHOLAS, I.; MCKINLEY, R.; LOW, C.; MCCONNOCHIE, R.; LAUSBERG, M. 2002. Wood density and internal checking of young *Eucalyptus nitens* in New Zealand as affected by site and height up the tree. *New Zeal. J. Forest. Sci.* 32: 357-379.

VALENZUELA, P.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P.; GACITUA, W. 2011. Segregación de familias de *Eucalyptus nitens* según el grado de agrietamiento asociado a nanoindentaciones en capa S2, lamela media y características anatómicas, Parte B. Sometido a *Revista Madera, Ciencia y Tecnología*.

### **Capítulo N° 3: Influencia de las grietas de debobinado en las propiedades mecánicas de chapas y tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens***

Andrés Acevedo, Mg.<sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D.<sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc.<sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Maderas, Universidad del Bío-Bío.

E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción. Chile.

E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

#### **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue evaluar mediante ensayos de tracción y adherencia, el efecto de las grietas de debobinado en las propiedades mecánicas de chapas y tableros contrachapados provenientes de familias segregadas de *Eucalyptus nitens*. Determinando el módulo de elasticidad en tracción ( $E$ ), evaluando si las chapas a partir de arboles segregados, es dúctil o quebradiza. Posteriormente se evaluó el mismo parámetro mecánico en los tableros fabricados. Mediante los ensayos de tracción se observó que existe una tendencia a mejorar las propiedades mecánicas respecto a la altura de troza donde se obtuvo la chapa para la fabricación del tablero, siendo estos resultados directamente proporcionales a la disminución de las dimensiones de las grietas de debobinado observadas. Basado en los resultados del estudio, se pudo hacer una correlación entre resistencia mecánica de chapas y morfología de las grietas de debobinado, siendo estas las que afectan significativamente las propiedades mecánicas en tracción de chapas y tableros. El tipo de familia de *Eucalyptus nitens* y la altura del árbol desde donde se obtuvieron las chapas, también son factores que afectan significativamente la resistencia de chapas y tableros.

**Palabras clave:** Grietas de debobinado, chapa, tablero contrachapado, propiedades mecánicas, *Eucalyptus nitens*.

## **Lathe checks influence in mechanical properties of veneers and plywood of *Eucalyptus nitens***

Andrés Acevedo, Mg. <sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D. <sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc. <sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wood Engineering Department, Bío-Bío University.

E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción, Chile.

E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate by tensile and adhesion, the effect of lathe check on the mechanical properties of veneer and plywood from segregated *Eucalyptus nitens* families. We determined the tensile modulus of elasticity (E) to assess whether the plates segregated from trees, is ductile or brittle. Were evaluated for the same mechanical parameters on the boards manufactured. By tensile tests was observed that there is a tendency to improve the mechanical properties compared to the height of which yielded log sheet for the manufacture of the board, and these results directly proportional to the decrease in the size of the cracks observed unwinding. Based on the results of the study, it could make a correlation between sheet strength and morphology of the lathe checks, these being significantly affect the mechanical properties of veneer sheets and traction. The type of *Eucalyptus nitens* family and the height of the tree from which the plates were obtained, are also factors that significantly affect the resistance of boards and planks.

**Keywords:** Lathe checks, veneer, plywood, mechanical properties, *Eucalyptus nitens*.

## INTRODUCCIÓN

El *Eucalyptus nitens* es una especie de rápido crecimiento en el territorio chileno, donde se ha observado una tasa de crecimiento de 30 a 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (INFOR 2010), destinada principalmente a producción de celulosa. Sin embargo, debido a los permanentes cambios que presenta el mercado de la madera y la necesidad de obtener mayores retornos económicos de los cultivos forestales, se requiere obtener otros productos provenientes de estas plantaciones, como trozas para madera aserrada y chapas de buenas propiedades mecánicas (Muñoz *et al.* 2005).

Las grietas y las tensiones de crecimiento en la madera de *Eucalyptus nitens*, son la razón por la cual no se ha masificado su utilización en productos de ingeniería de alto valor a escala industrial, ya que aún no hay soluciones concretas para este inconveniente, donde la liberación de tensiones de crecimiento en la troza cortada, problemas con el aserrío y posterior secado, donde se observa alto nivel de agrietamiento, colapsos y por ende pérdidas en el rendimiento (Ananías *et al.* 2009).

Los tableros contrachapados, producto de ingeniería de uso estructural, esta constituido por chapas de madera unidas con adhesivo fenólico mediante un sistema de prensado en caliente. El objetivo es crear un panel estable con propiedades físico mecánicas dentro de normas, con diversidad de calidades y apariencias (USDA 2010). El tablero se construye con un número impar de chapas, con las fibras de estas adyacentes en forma perpendicular. Las laminas externas, y todas las laminas impares, tiene la dirección de la fibra orientada en forma paralela al largo del panel. Las chapas en la dirección de la fibra igualan la tensión, reducen las quebraduras y minimizan los cambios dimensionales y torsiones del panel (Bodig y Jayne 1993).

Las propiedades mecánicas y de adhesión en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*, han sido estudiadas, arrojando buenos resultados, pero con procesos de debobinado y secado controlados (Arcos 2005; Lisperguer 2005; Maragaño 2005). La rugosidad, diferencias en el espesor y grietas de debobinado son un inconveniente en las chapas de madera, son las grietas de debobinado las responsables de una menor resistencia mecánica de las chapas (Daoui *et al.* 2011).

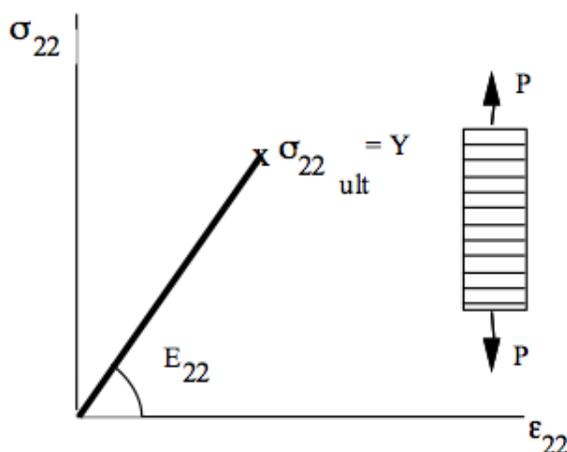
La influencia de la calidad de la chapa en tableros contrachapados es una variable importante al evaluar el módulo de elasticidad ya que el conjunto, número y posición de las chapas dan la resistencia mecánica al tablero, además, la calidad de la adhesión entre las chapas depende del tipo y calidad de adhesivo fenólico usado, el gramaje y penetración de éste en la chapa.

El módulo de elasticidad, es una propiedad mecánica importante que determina la calidad del producto para ser utilizado en la construcción y se define como la rigidez que tiene un cuerpo para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas. Bajos valores de módulo de elasticidad implican una importante limitante en la madera. El módulo de elasticidad de una sección de madera es una medida de su resistencia a un cambio de forma o de tamaño bajo la acción de varias fuerzas (Bustos *et al.* 2005).

En chapas con las fibras en el sentido transversal el fenómeno es más complicado, estando la resistencia transversal gobernada por muchos factores que incluyen las propiedades aisladas de la fibra y de la madera (figura 1), la resistencia de la unión en la interface, la presencia y distribución de vasos en el *Eucalyptus nitens*, la distribución interna de esfuerzos y deformaciones debida a la interacción entre las fibras, entre otros. De cualquier forma, puede casi con generalidad establecerse que la resistencia transversal (sobre todo en tracción) del conjunto es inferior a la de la matriz, de forma que las fibras

crean un efecto negativo sobre el conjunto. El hecho que la matriz desempeñe un papel importante, en la resistencia del conjunto frente a sollicitaciones transversales a las fibras, justifica que aparezca alguna zona no-lineal en el diagrama  $\sigma-\varepsilon$ , pero ésta se genera próxima a la rotura.

El mecanismo de falla en este ensayo se produce por rotura por tracción de la matriz y/o por despegue de los constituyentes si la interface entre fibra y matriz no es muy fuerte. Solo en el caso de comportamiento fuertemente ortótropo de la fibra podría producirse rotura de la misma, separándose longitudinalmente (Paris *et al.* 2006).



**Figura 1:** Ensayo de tracción según la dirección normal a las fibras (Paris *et al.* 2006).

La ley fundamental sobre de elasticidad, corresponde a la Ley de elasticidad de Hooke, originalmente formulada para casos de estiramiento longitudinal, establece que el alargamiento unitario ( $\varepsilon$ ) de un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada. Para el estudio de las propiedades mecánicas de un material, es fundamental trazar el diagrama de carga aplicada, versus la deformación correspondiente que se realiza

en forma progresiva, el cual usualmente se presenta como esfuerzo unitario (tensión) vs. deformación, donde existen variaciones dentro de una misma especie. Un punto característico de gran importancia, es el límite de proporcionalidad, en donde termina la dependencia lineal, zona dentro de la cual al cesar la carga el cuerpo recupera sus dimensiones preliminares.

En este estudio se evaluó las propiedades mecánicas en tracción perpendicular y paralela a la fibra de chapas y tableros provenientes de familias segregadas de *Eucalyptus nitens* (Valenzuela *et al.* 2011), se obtuvieron trozas a tres alturas en el árbol y se procesaron chapas mediante el uso de una tasa de compresión controlada de 5%, tasa de compresión que en ensayos previos, entregó una chapa de mejor calidad (Acevedo *et al.* 2011; p. 1).

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Materia Prima**

Trozas de familias segregadas de *Eucalyptus nitens*, 50 en total (Tabla 1) (Valenzuela *et al.* 2011), provenientes de rodales de 13 años de edad, fueron cortadas desde un predio perteneciente a la empresa Forestal Mininco S.A., de suelo arcilloso en la zona de Mulchén, ubicado en la región del Bío – Bío, Chile. La longitud de los trozos y diámetro altura de pecho (DAP) fueron 2.73 y 0.28 m, respectivamente.

Las chapas obtuvieron de tres alturas en el árbol: altura A (base a 3 m), altura B (3 – 6 m) y altura C (6 – 9 m).

**Tabla 1:** Grupos, codificación y procedencia de familias segregadas de *Eucalyptus nitens*.

Grupo	Codif.	Familia	Procedencia	Raza
Grupo 1	1 1	2828	Toorongo	South CentVic
	1 2	2831		
Grupo 2	2 1	2727	Rubicon Snobs CK Rd	North CentVic
	2 3	2730		
Grupo 3	3 1	2777	Macalister	North CentVic
	3 2	2778		
	3 3	2784		
Grupo 4	4 1	2846	Toorongo Plateau	South CentVic
	4 2	2854		
Grupo 5	5 1	2790	MT Tanglefoot	South CentVic
	5 2	2793		
	5 3	2794		
Grupo 6	6 1	2744	Rubicon	North CentVic

**Nota:** Ejemplos; el código 11 representa: primer número (1) Grupo 1 y segundo número (1) familia 1 en la tabla (2828); el código 53 representa: primer número (5) Grupo 5 y segundo número (3) familia 3 en la tabla (2794).

Luego de la tala de los árboles y dimensionado de las trozas en el predio, se aplicó en el extremo transversal de las trozas un recubrimiento impermeabilizante comercial para impedir la pérdida de humedad y propagación de rajaduras. Posteriormente, y dentro de un período de 36 horas, se trasladaron las trozas a la planta de INFODEMA S.A., esto para evitar la propagación de rajaduras en los extremos de las trozas y el agrietamiento por la liberación de tensiones de crecimiento.

### **Fabricación de chapas y tableros**

Los tableros fabricados fueron fabricados en su totalidad con chapas provenientes de tres alturas en el árbol: altura A (base a 3 m), altura B (3 – 6 m) y altura C (6 – 9 m), no obstante, solo para familias del grupo 1 – 3 - 5 - 6 se logró obtener chapas de la tercera

troza (troza C), ya que para familias del grupo 2 y 4 no habían trozas con el diámetro mínimo para el debobinado. Así también, en algunos casos solo se logro obtener muestras de chapa pertenecientes a trozas C en una cantidad que no permitió fabricar tableros en un número suficiente necesario para los análisis mecánicos.

El proceso de fabricación de chapas y tableros se realizo en la planta de tableros INFODEMA S.A., ubicada en la ciudad de Valdivia región de los Ríos, Chile. A continuación se detallan las condiciones usadas en planta, las que fueron exactamente iguales para los seis grupos de familias segregadas de *Eucalyptus nitens* estudiados:

- Descortezado: manual
- Macerado: 10 h. a 80 °C
- Debobinado: Angulo del cuchillo 21°, vel. debobinado 60 m/s
  - Tasas de Compresión: TC = 5 %
- Selección de chapas: chapas separadas por familia y por altura para la fabricación del tablero.
- Secado: Secador de malla 190 °C a 2.1 m/s
- Pre armado, Encolado, Prensado en frío
- Prensado: según condiciones en tabla 2

**Tabla 2:** Condiciones de prensado para tableros contrachapados.

Prensa	8 platos		
Esp. Prensado	9 mm		
N° Chapas	5 laminas		
Temperatura	<b>Set-point</b>	<b>Real</b>	<b>Unidad</b>
	103	118	°C
Presión	<b>Inicio</b>	<b>Modificada</b>	<b>Unidad</b>
	110-130	30-150	bar
Tiempo de Prensado	6		min
Factor de Prensado	0.67		min/mm

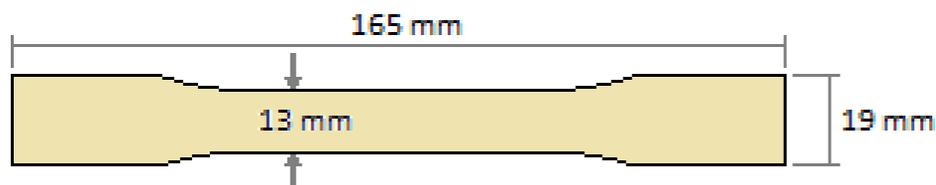
Para la fabricación de tableros se usaron 5 chapas de buena calidad, sin ondulaciones y rajaduras extremas, seleccionadas visualmente en la salida del proceso de debobinado.

Para la adhesión de las chapas se usó un adhesivo fenol formaldehído proporcionado por Oxiquim S.A., fue un adhesivo comercial codificado como OXIMIX 2217. Las condiciones ambientales para el encolado fueron de 17 °C y la humedad relativa de un 78 %; el gramaje utilizado fue de 160 a 180 g/m<sup>2</sup>.

### Fabricación de probetas

Probetas tipo “hueso de perro” (figura 2), fueron preparadas usando la norma de fabricación y ensayo “ASTM 638: Método de prueba estándar para las propiedades en tracción de plásticos”. Se adoptó esta norma por la conveniencia de geometría de la probeta, para obtener el nivel de agrietamiento y lograr evaluar como las grietas de debobinado están relacionadas con la menor resistencia de las chapas ante un esfuerzo mecánico, en este caso de tracción perpendicular y paralela a las fibras en la chapa.

Las probetas de tracción de chapas fueron cortadas mediante un equipo laser marca LASERJET 2500. Las probetas provenientes de tableros fueron fabricadas usando métodos de corte estandarizados.



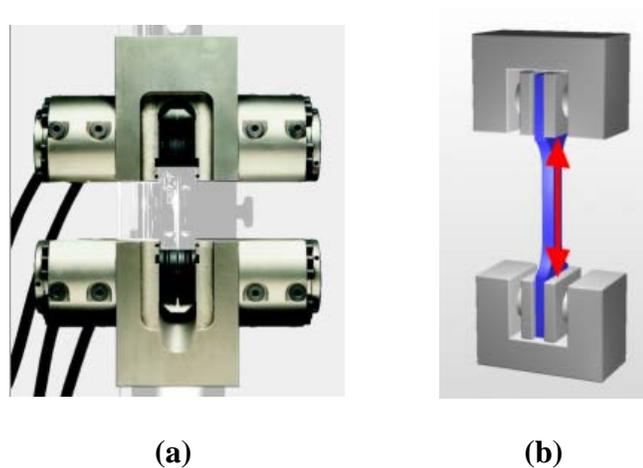
**Figura 2:** Dimensiones probeta tipo “hueso de perro” para chapa y tablero.

### **Ensayo de tracción**

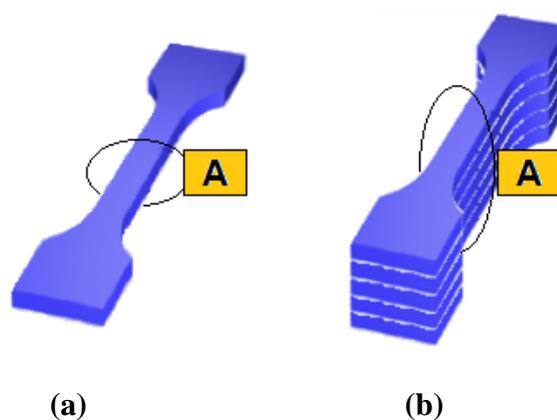
Los ensayos mecánicos de tracción de chapas y tableros se realizaron en una maquina de ensayo estática marca Zwick Roell de 10 KN ubicada en dependencias de Oxiquim S.A.

Un total de 12 probetas fueron preparadas por cada familia y altura. En probetas provenientes de chapas en sentido perpendicular a la fibra se utilizó una velocidad de ensayo de 3 mm/min, esto debido a la fragilidad que tenían las probetas hueso de perro ocasionada por las grietas de debobinado presentes en el sentido paralelo a la fibra. Para los ensayos de tracción en probetas de tableros perpendiculares y paralelos (dirección de la chapa superficial), la velocidad de ensayo fue de 5 mm/min, al tratarse de probetas mecánicamente estables.

El sistema de mordazas utilizado en el ensayo fue de tipo neumático, por lo que la sujeción de las probetas era óptimo disminuyendo considerablemente el movimiento de las probetas al comienzo del ensayo (figura 3-a). La distancia entre las mordazas fue de 96 mm (figura 3-b).



**Figura 3:** (a) Sistema de mordazas hidráulicas para sujeción de probetas; (b) Ensayo de tracción de probetas (Software TestXpert II V3.1).



**Figura 4:** Área de falla (a) Probeta de chapa; (b) Probeta de tablero, (Software TestXpert II V3.1).

El área de falla para las probetas provenientes de chapas (figura 4-a) y tableros fue calculado (figura 4-b), donde el área de falla para las probetas provenientes de la chapas fue de  $23.5 \text{ mm}^2$  ( $1.8 \times 13 \text{ mm}$ ) y el área de falla para las probetas provenientes de tableros fue de  $117 \text{ mm}^2$  ( $9 \times 13 \text{ mm}$ ).

## Adherencia

La calidad de la unión fue evaluada realizando ensayos de adherencia para tableros contrachapados. Un total de 15 probetas por familia representativa de cada grupo, considerando altura de procedencia del tablero, fueron preparadas.

Ensayos de envejecimiento acelerado, dos en total, según la norma PS1-09, fueron realizados. Las probetas se sometieron a “ebullición” y “vacío-presión”, posteriormente mediante un ensayo de desgarro, el porcentaje de falla de madera fue evaluado para los dos tipos de envejecimiento acelerado.

## Análisis de Datos

Mediante el software TestXpert II V3.1, se analizaron las curvas respuesta de los ensayos mecánicos en tracción, de probetas hueso de perro provenientes de chapas y tableros (figura 5), donde se obtuvo el módulo de elasticidad ( $E$ ) para las curvas de fuerza (N) vs. desplazamiento (mm), mediante la pendiente de la curva en la zona elástica. Luego se multiplico por el factor de largo probeta y área de falla.

Ecuación módulo de elasticidad usada,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P}{d} * \frac{L}{A} \quad (1)$$

Donde:

$E$  = Módulo de elasticidad (GPa)

$\sigma$  = Esfuerzo ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

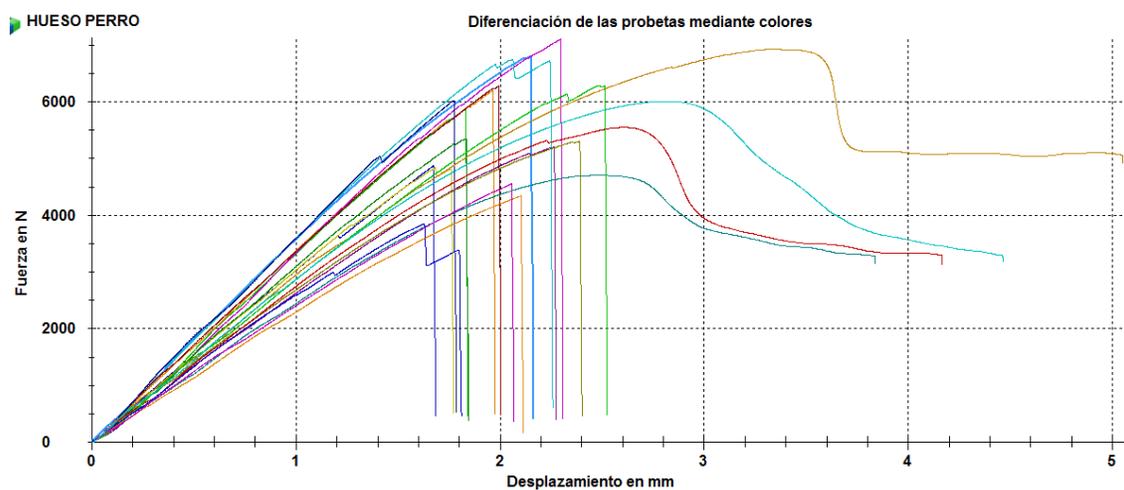
$\varepsilon$  = Deformación unitaria (adimensional)

$P$  = Fuerza (N)

$d$  = Desplazamiento (mm)

$L$  = Largo (mm)

$A$  = Área de Falla ( $\text{mm}^2$ )



**Figura 5:** Curvas respuesta para chapas de tablero perpendicular (TestXpert II V3.1).

El análisis estadístico fue realizado con ayuda del software “Statistica 8.0” de la empresa Stat-Soft Inc., se evaluó los resultados de tracción de chapas y tableros, donde se ignoraron puntos atípicos y se realizó el ANOVA para evaluar diferencias estadísticas entre grupos, familias y alturas de los ensayos mecánicos de tracción en chapas y tableros.

Utilizando graficas de barras incluyendo figuras con el intervalo de confianza al 95% para determinar las diferencias significativas entre los resultados obtenidos.

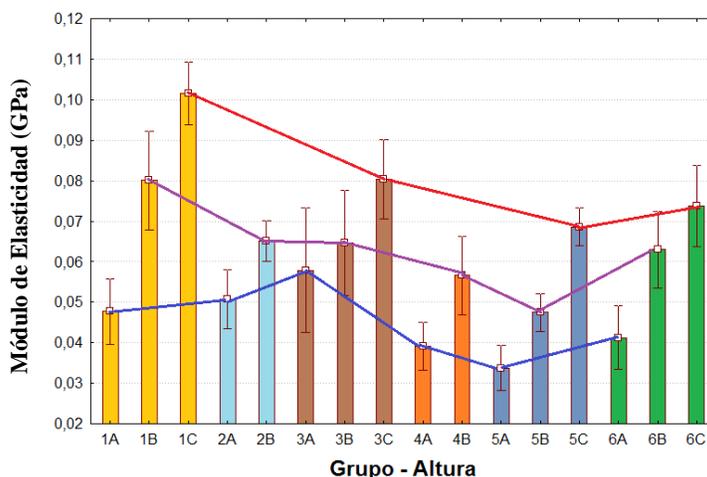
Mediante imágenes obtenidas de la zona de ruptura en tableros perpendiculares y paralelos, utilizando un estereomicroscopio NIKON SMZ1000, equipado con cámara digital MicroPublisher 3.3 RTV y software de captura de imágenes *QCapture Suite*. En la captura de imágenes se utilizó una magnificación de 25x.

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

De los resultados provenientes de ensayos mecánicos en tracción perpendicular (chapas y tableros) se evaluó el efecto las de familias y alturas estudiadas.

### **Tracción perpendicular chapas.**

Las propiedades mecánicas en tracción para todos los grupos-familia (figura 6) y altura de obtención de las chapas, tienden a mejorar al aumentar la altura de muestreo, situación observada en. Existen diferencias estadísticamente significativas para el grupo 1, donde se observa que las chapas de la familia 2831 de procedencia *Toorongó* y raza *South CentVic*, procedentes de la altura C (6-9 m), tiene propiedades mecánicas sobresalientes en comparación a las demás, así también en las chapas procedentes de la altura C de los otros grupos, que también tienen tendencia a mejorar las propiedades mecánicas a mayor altura, resultados coherentes con los de Shelbourne *et al.* 2002; con menor agrietamiento a mayor altura.



**Figura 6:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular a la fibra para chapas de *Eucalyptus nitens*.

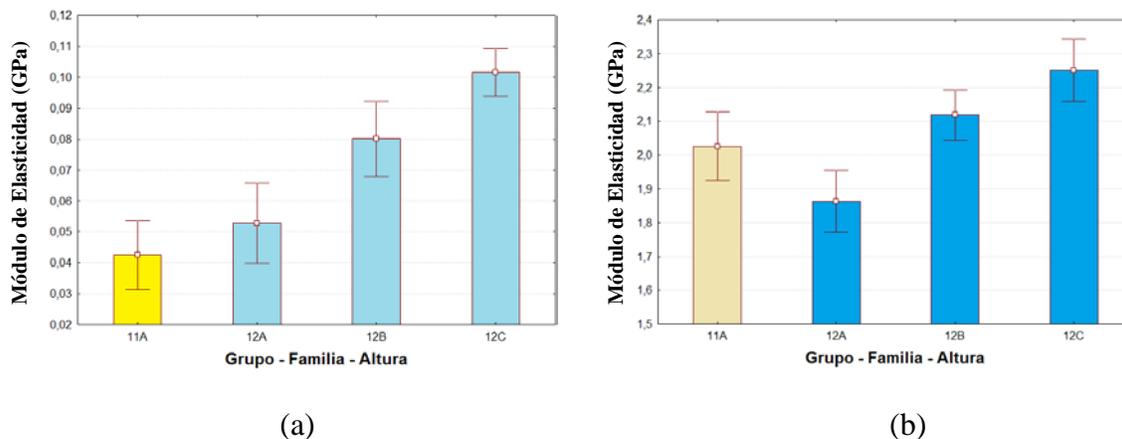
Según los resultados observados de los ensayos de tracción perpendicular de chapas (figura 6), existe variabilidad en los resultados, lo que se puede atribuir a un agrietamiento no homogéneo (Devlieger *et al.* 1986; Leandro *et al.* 2008), variabilidad anatómica y de densidad en las chapas de *Eucalyptus nitens* ya que las probetas se obtuvieron de sectores aleatorios de la chapa. Por lo que existen zonas de mayor densidad en la chapa y sectores alto agrietamiento.

Se observa también en la figura 6 que para la altura A (base - 3 m) las propiedades mecánicas son menores respecto a las propiedades de las chapas provenientes de trozas en la altura B (3 – 6 m) y altura C (6 – 9 m).

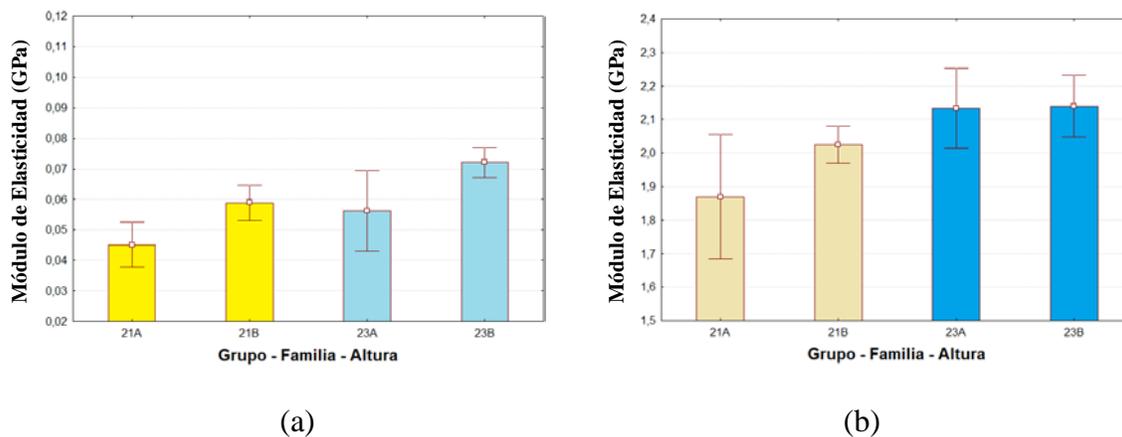
### **Tracción perpendicular en chapas y tableros.**

Para el análisis de tracción perpendicular en chapas en los 6 grupos con las respectivas familias y alturas, se realizó la comparación entre tracción perpendicular de chapa (Anexo N° 2) y tracción perpendicular en tableros, donde se observa el mismo comportamiento entre familias y alturas, es decir, las propiedades mecánicas aumentan

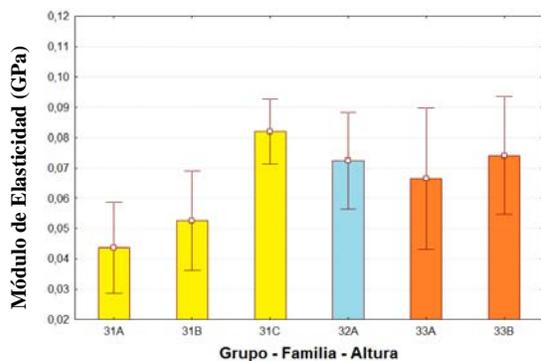
desde la base hacia la copa de los arboles de *Eucalyptus nitens*, resultados que coinciden con la investigación realizada por Valenzuela *et al.* 2011, respecto a niveles de agrietamiento y propiedades nanomecánicas en células de *Eucalyptus nitens*.



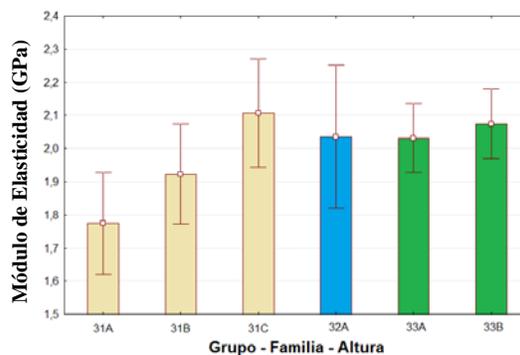
**Figura 7:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa); Grupo 1, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.



**Figura 8:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 2, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

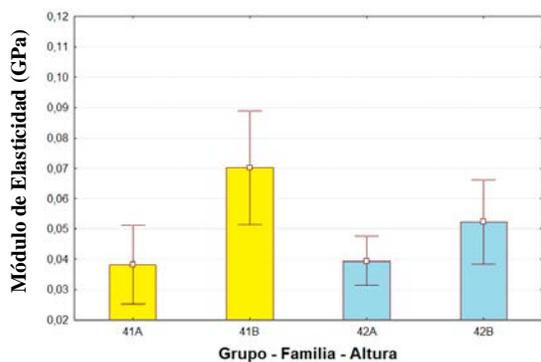


(a)

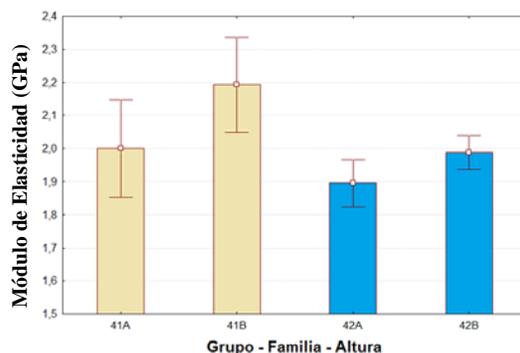


(b)

**Figura 9:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 3, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

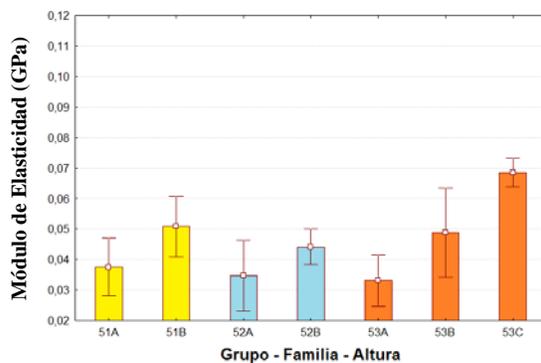


(a)

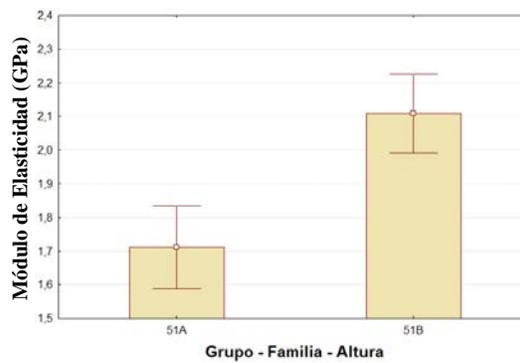


(b)

**Figura 10:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 4, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

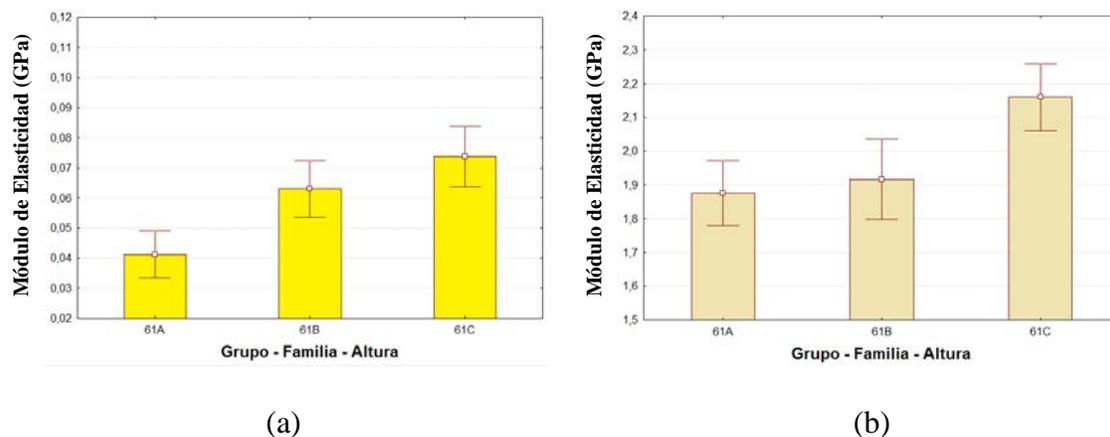


(a)



(b)

**Figura 11:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 5, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.



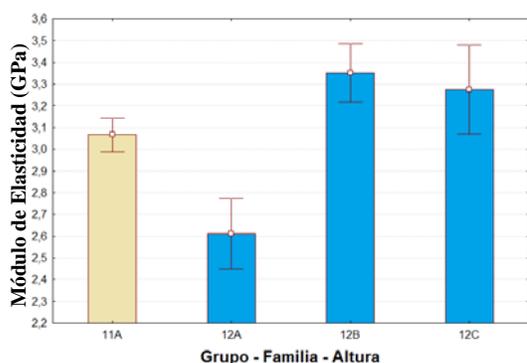
**Figura 12:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular (GPa). Grupo 6, efecto familia – altura; (a) Chapa, (b) Tablero.

Se observa el mismo comportamiento de módulo de elasticidad en tracción de chapas en sentido perpendicular (Figuras 7-8-9-10-11-12, (a)) respecto a la altura de procedencia y familia en comparación a los resultados de tracción perpendicular de tableros (Figuras 7-8-9-10-11-12, (b)), por lo que la resistencia de las chapas tienen directa relación con las propiedades en tableros, además se evaluó el sentido perpendicular en las chapas, hay tres chapas en el sentido transversal por lo que las propiedades del tablero son menores. Para la familia 31, grupo 3-familia 1, no se observó diferencia significativa entre los resultados de módulo de elasticidad de chapas, ni tampoco la tendencia a mejorar las propiedades mecánicas respecto a las chapas obtenidas de trozas a mayor altura.

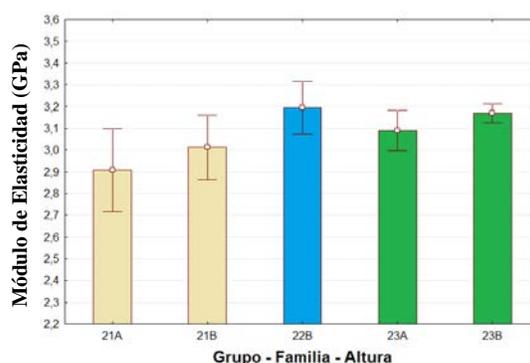
**Tracción paralela a las caras del tablero.**

Al analizar los resultados de tracción paralela a la fibra (primera chapa) de tableros contrachapados, se observa que para las familias de los grupos estudiados hay una tendencia a aumentar las propiedades mecánicas respecto a la altura; las probetas obtenidas en este sentido solo tienen 2 chapas en el sentido perpendicular, dirección en la que las grietas de debobinado tienen un gran efecto negativo sobre la resistencia de la chapa.

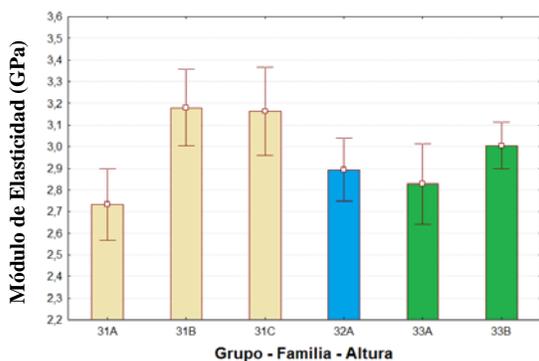
En los resultados del grupo 1 se observan mejores propiedades en tableros del sentido perpendicular en la altura B(3 – 6 m) y C(6 – 9 m); ver figura 13.



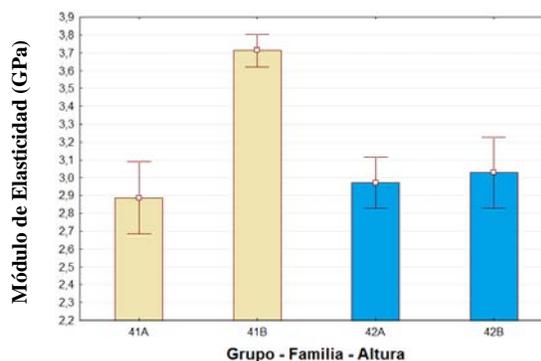
(a)



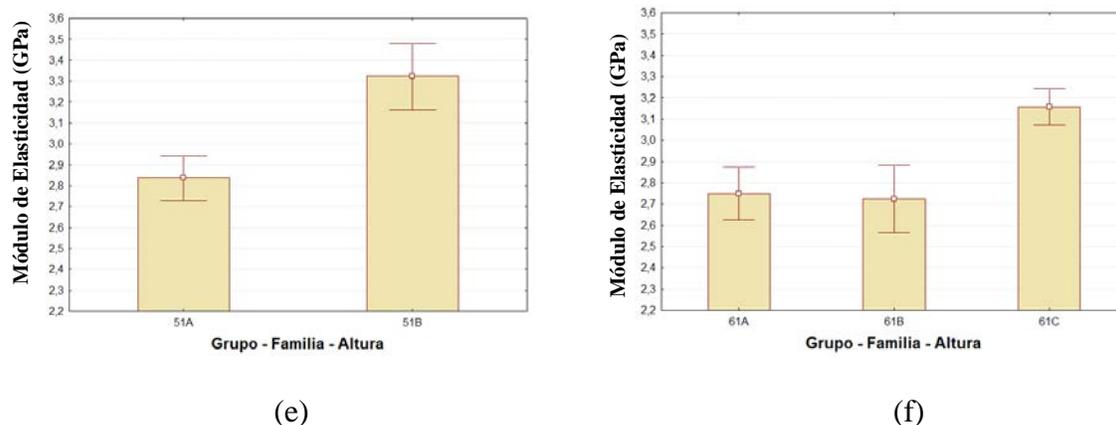
(b)



(c)



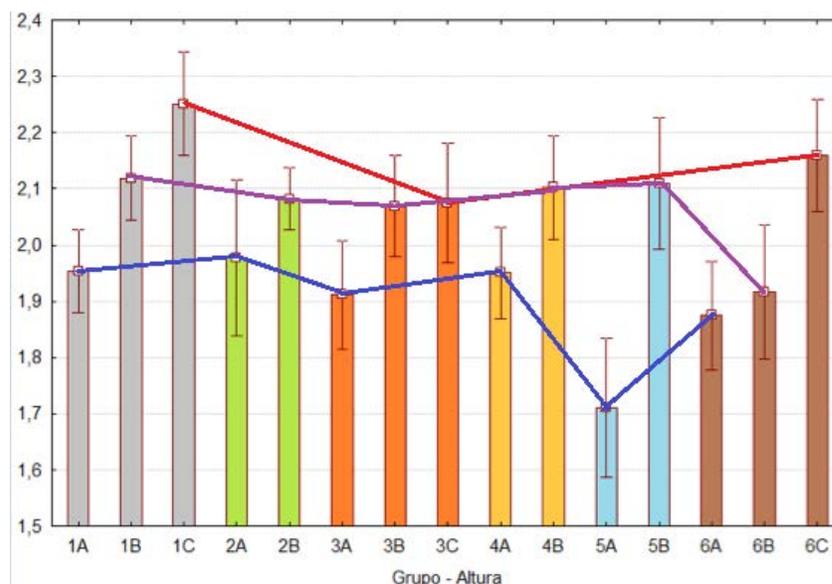
(d)



**Figura 13:** Intervalo de confianza (95%) para el módulo de elasticidad paralelo a las caras del tablero. Grupo 1 -2 - 3 -4 -5 -6 – familia – altura.

### Tracción perpendicular a las caras del tablero.

La propiedades mecánicas de tableros fabricados con *Eucalyptus nitens* aumentan a medida que aumenta la altura del árbol desde donde se obtienen las chapas, resultado concordante con los resultados de propiedades mecánicas medidas perpendicular a la fibra en la chapa.

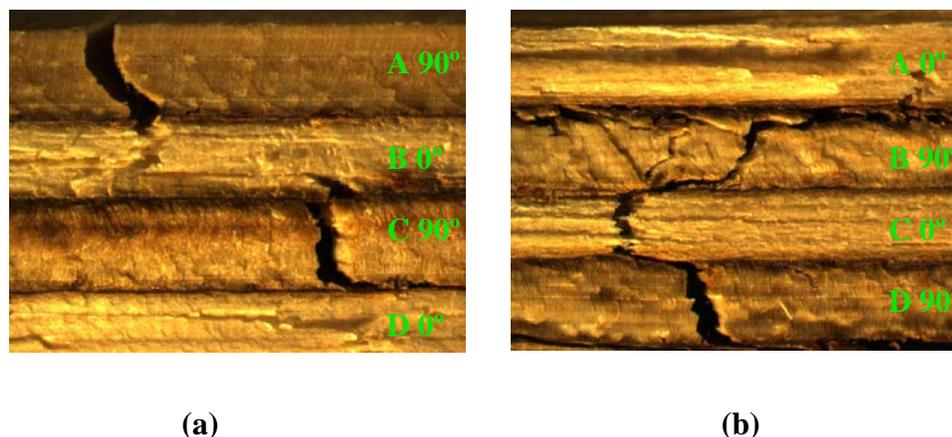


**Figura 14:** Intervalo de confianza (95%) para el módulo de elasticidad perpendicular a la primera lamina del tablero.

En los resultados de tracción perpendicular de tableros (figura 14), también se observa una gran variabilidad en los resultados. No hay diferencias significativas que permitan afirmar que las familias de un grupo determinado tienen mejor resistencia mecánica, si es notorio que chapas de alturas superiores en un árbol de *Eucalyptus nitens* entregan mejores resultados de módulo de elasticidad perpendicular para los tableros aquí analizados.

Los resultados de tracción perpendicular de las probetas provenientes del tablero 12C (familia 2831 – altura 6-9m) fueron los mejores (figura 14), los que concuerdan con el bajo nivel de agrietamiento de chapas medido previamente (Acevedo *et al.* 2011 p. 1). Las chapas provenientes de la troza C tiene mejores propiedades mecánicas, hallazgo que se correlaciona con las menores dimensiones de grietas de debobinado en alturas sobre los 3 metros desde la base del árbol.

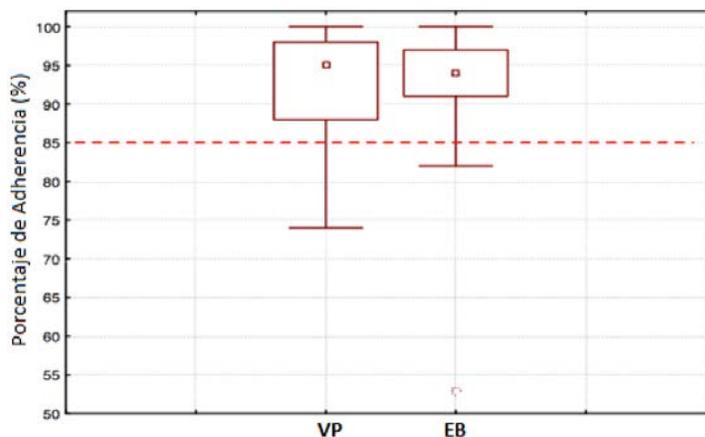
Imágenes de la zona de ruptura fueron obtenidas, procedentes tableros sometidos a esfuerzo perpendicular y paralela a la primera lamina. Se observa que la concentración de esfuerzos y propagación de la falla se produce desde las grieta de debobinado (figura 15), por lo que grietas de dimensiones más reducidas darían mayor resistencia a las chapas de tableros contrachapados (Acevedo *et al.* 2011, p.1).



**Figura 15:** (a) Falla tablero sometido a esfuerzo perpendicular, (b) Falla tablero sometido a esfuerzo paralelo.

### Adherencia

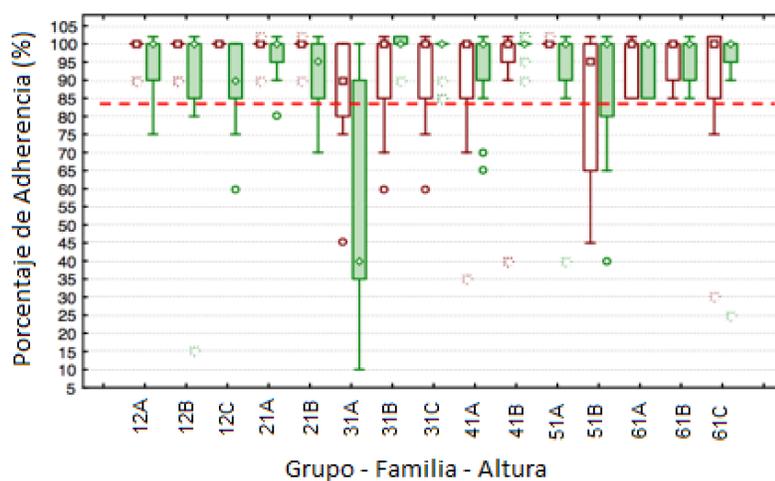
Pruebas rápidas fueron realizadas a la salida de la prensa, usando el “test de gubia”, no observándose problemas de adherencia ni sopladados en los tableros. Mediante este test, se determinó una adherencia sobre el 90% de falla madera. Posteriormente se realizaron pruebas de adherencia de acuerdo a PS1-09 para los tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens* en laboratorios de Oxiquim S.A.



**Figura 16:** Grafica general de adherencia, según método de envejecimiento, norma PS1-09. Ciclo de envejecimiento Vacío-presión (VP) y Ebullición (EB).

Para las pruebas de vacío presión y ebullición el porcentaje de adherencia (%) fue satisfactorio, con valores de falla madera sobre el 85% (figura 16), por lo que globalmente los tableros cumplieron con la normativa requerida (PS1 - 09).

Los resultados promedio de adherencia muestran que todas las familias cumplen con un porcentaje de adherencia mayor al 85% que indica la normativa; solo se observa una baja adherencia en tableros provenientes de la altura A del grupo 3 (familia 2777) de procedencia *Macalister* raza *NorthCentvic*, resultado que concuerda con las mayores dimensiones de grietas de debobinado medidas en sus chapas (figura 17).



**Figura 17:** Adherencia según método de envejecimiento, Grupo – familia – altura. (verde=Ebullición; rojo=Vacío Presión).

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y objetivos planteados respecto al efecto de las grietas de debobinado en las propiedades mecánicas en chapas y tableros contrachapados de *Eucalytus nitens*, se encontraron a medida que aumento la altura en el árbol desde donde se obtuvieron las chapas, mejores propiedades mecánicas en tracción de chapas y tableros. Las chapas y tableros provenientes la altura C (6-9 m) de la familia 2831, entregaron los mejores resultados de módulo elasticidad. Esto es razonable, ya que para esta misma familia, el estudio morfológico previo de grietas de debobinado entrego grietas más cortas y de menor área para este tipo de material.

La gran dispersión de los resultados se puede atribuir a un agrietamiento no homogéneo presente en este tipo de latifoliadas, variabilidad anatómica y de densidad en las chapas de *Eucalyptus nitens*. En condiciones de proceso ajustadas y controladas se obtuvieron tableros 100% *Eucaliptus nitens* de excelente calidad de adhesión utilizando adhesivo fenólico comercial Oximix 2217.

Finalmente se puede afirmar que es posible fabricar chapas y tableros de *Eucalyptus nitens* que compitan con otras especies y puedan ser comercializadas, bajo condiciones de selección de familias, posición en altura desde donde se cortan las chapas y proceso de fabricación.

## AGRADECIMIENTOS

*Los autores de este documento agradecen al Proyecto Fondef D07i1101 por proveer el equipamiento para desarrollar la investigación, a Forestal Mininco por la donación de la materia prima, a la empresa Oxiquim S.A. suministrar el adhesivo y la empresa Infodema por facilitar sus instalación donde se desarrollaron las pruebas*

## REFERENCIAS

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P; GACITUA, W. 2011. Efecto de la Tasa de Compresión en la morfología de grietas de debobinado en chapas de *Eucalyptus nitens*. Sometido a Revista Madera, Ciencia y Tecnología. Parte 1.

ANANÍAS, R.; DIAZ, C.; LEANDRO, L. 2009. Estudio preliminar de la contracción y el colapso en *Eucalyptus nitens*. Maderas Ciencia y Tecnología. 11 (3): 251-260.

ARCOS, P.; ALLEN, J. 2005. Fabricación de OSB y contrachapado a partir de *Eucalyptus nitens*: Análisis del comportamiento en el proceso. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Industrias Forestales. Universidad del Bío – Bío. Concepción, Chile.

ASTM D-638. 2003. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. 15p.

BUSTOS, C.; GOTELLI, G.; GACITUA, W. 2005. Mecánica de la Madera, Notas Docentes. Departamento de Ingeniería en Maderas. Universidad del Bío – Bío. Concepción, Chile.

BODIG, J.; JAYNE, B. 1993. Mechanics of Wood and Fiber Composites. Krieger Publishing Company. Melbourne, Florida.

DAOUI, A.; DESCAMPS, C.; MARCHAL, R.; ZERIZER, A. 2011. Influence of veneer quality on beech LVL mechanical properties. *Maderas Ciencia y Tecnología* 13(1): 69-83

DEVLIEGER, F.; CUEVAS, H.; INZUNZA, L. 1986. Efecto de las variables de debobinado en *Pino oregon* y *Cipres lucitanico*. *Bosque* 7(2): 115-120

INFOR; PIT NITENS. 2010. Ficha técnica. Madera de *Eucalyptus nitens* una latifoliada sustentable. [www.pitnitens.cl](http://www.pitnitens.cl)

LEANDRO, L.; ANANÍAS, R.; CLOUTIER, A. ; DÍAZ-VAZ, J.E.; BERMEDO, M.; SANHUEZA, R.; LASSERRE.; J.P. 2008a. Estudio preliminar de las grietas internas dentro de los anillos de madera inicial y su relación con algunas características de la estructura anatómica y la densidad en *Eucalyptus nitens*. *Interciencia* 33(11): 829-834.

LISPERGUER, J.; ROZAS, C. 2005. Paneles unidos de canto y contrachapados fabricados con madera juvenil de *Eucalyptus nitens*. *Bosque* 26(3): 75-79

NIST (National Institute of Standards and Technology). 2009. Product Standard PS 1-09. Structural Plywood.

MARAGAÑO, L. 2005. Tableros de Contrachapados de *Eucalyptus nitens*: Efecto de las diferentes dosificaciones de adhesivo en las propiedades físico-mecánicas. Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero en Maderas. Universidad Austral. Valdivia, Chile

MUÑOZ, F.; ESPINOSA, M.; HERRERA,, M.; CANCINO, J. 2005. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. *Bosque* 26 (1): 93-99.

PARIS, F.; CAÑAS, J.; MARIN, J. 2006. Introducción al análisis y al diseño de Materiales Compuestos. Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

SHELBOURNE, C.; NICHOLAS, I.; MCKINLEY, R.; LOW, C.; MCCONNOCHIE, R.; LAUSBERG, M. 2002. Wood density and internal checking of young *Eucalyptus nitens* in New Zealand as affected by site and height up the tree. *New Zeal. J. Forest. Sci.* 32: 357-379.

USDA; FOREST SERVICE; FOREST PRODUCTS LABORATORY. 2010. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. Centennial Edition. Madison, Wisconsin.

VALENZUELA, P.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J.P.; GACITUA, W. 2011. Segregación de familias de *Eucalyptus nitens* según el grado de agrietamiento asociado a nanoindentaciones en capa S2, lamela media y características anatómicas, Parte B. Sometido a Revista Madera, Ciencia y Tecnología.

## **Capítulo N° 4: Caracterización de la interfase adhesivo-madera mediante nanoindentaciones en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens***

Andrés Acevedo, Mg. <sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D. <sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc. <sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Maderas, Universidad del Bío-Bío.

E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción. Chile.

E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

### **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue evaluar nanomecánicamente las propiedades de los componentes de la región de interfase madera–adhesivo de tableros contrachapados fabricados con dos familias segregadas de *Eucalyptus nitens* y provenientes de tres alturas del árbol; familias que fueron codificadas como familia **12** (2831) de procedencia *Toorongo* y raza *South CentVic*, y familia **61** (2744) de procedencia *Rubicon* y raza *North CentVic* respectivamente. Muestras de la región de interfase fueron diseñadas, con las que se evaluó las propiedades mecánicas de la pared celular y el adhesivo fenólico utilizando un nanoindentador Triboscope Hysitron. Posteriormente, mediante análisis de imágenes se evaluó la fracción en volumen de la pared celular y del adhesivo para mediante la regla de las mezclas determinar el módulo de elasticidad de la capa interfásial. El módulo de elasticidad reducido ( $E_r$ ) de la pared celular en la familia 2831 tiende a aumentar a medida que aumenta la altura de obtención de la chapa en el árbol, aumentando como consecuencia el módulo de elasticidad de la región de interfase; similar comportamiento se detectó al analizar los resultados obtenidos al fabricar tableros con la familia 2744. La metodología propuesta permite evaluar mecánicamente la región de interfase de tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*.

**Palabras clave:** Interfase, propiedades mecánicas, tablero contrachapado, nanoindentaciones, *Eucalyptus nitens*.

## Nanocharacterization of the wood-phenol formaldehyde interphase in *Eucalyptus nitens* plywood.

Andrés Acevedo, Mg. <sup>1</sup>, Cecilia Bustos, Ph.D. <sup>1</sup>, Jean Pierre Lasserre, M.Sc. <sup>2</sup>, William Gacitua, Ph.D. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wood Engineering Department, Bío-Bío University.

E-mail: [andaceve@alumnos.ubiobio.cl](mailto:andaceve@alumnos.ubiobio.cl), [cbustos@ubiobio.cl](mailto:cbustos@ubiobio.cl), [wgacitua@ubiobio.cl](mailto:wgacitua@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Forestal Mininco S.A., Concepción, Chile.

E-mail: [jean.lasserre@forestal.cmpc.cl](mailto:jean.lasserre@forestal.cmpc.cl)

### ABSTRACT

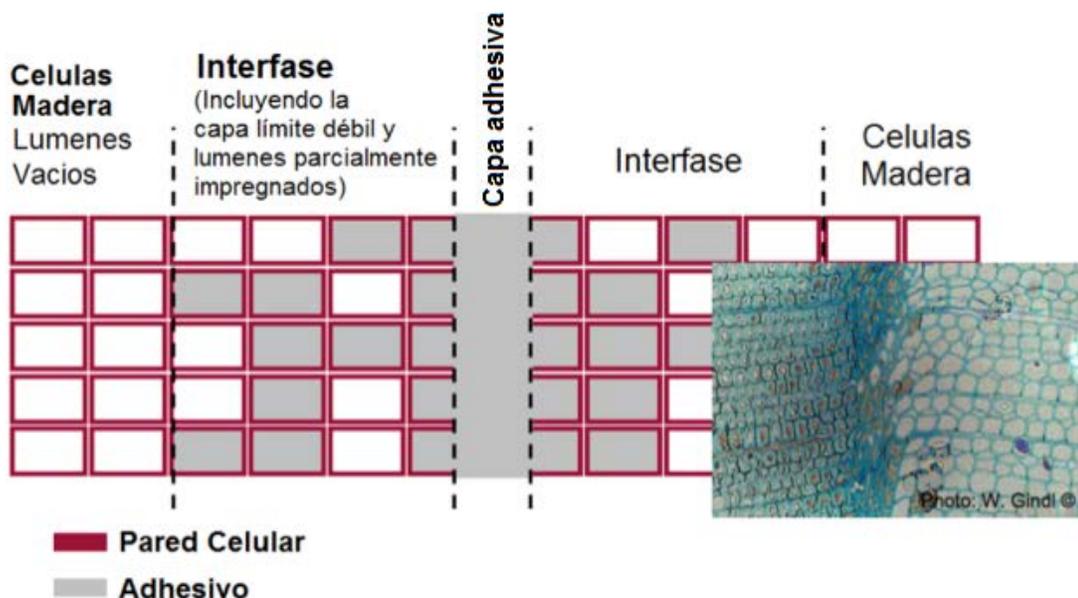
The objective of this study was to evaluate nanomechanical properties of the interface region components of wood-adhesive for plywood manufactured with two families of *Eucalyptus nitens* and segregated from three heights log; families were coded as Family 12 (2831) *Toorongó* provenance and *South CentVic* race, and family 61 (2744) of origin and race *Rubicon North CentVic* respectively. We obtained samples from the interface with which they evaluated the mechanical properties of the cell wall and the phenolic adhesive using an Hysitron nanoindenter Triboscope. Subsequently, by image analysis, it was evaluated the volume fraction of the cell wall and the adhesive by the rule of mixtures to determine the elastic modulus of the interphase layer. It was observed that the reduced elastic modulus ( $E_r$ ) of the cell wall of the 2831 family tends to increase when the height where the veneer is obtained, increased, and also increase the modulus of elasticity of the interphase region; similar behavior was detected by analyzing the results to produce boards with the family 2744. The proposed methodology allows to evaluate mechanically the interface region in *Eucalyptus nitens* plywood.

**Keywords:** Interface, mechanical properties, plywood, nanoindentation, *Eucalyptus nitens*.

## INTRODUCCIÓN

La elaboración de productos de ingeniería laminados de alto rendimiento, que cumplan con los requisitos estructurales, requieren un conocimiento exhaustivo de las propiedades del material. A pesar de la importancia de la unión adhesiva, tanto para aplicación industrial y el conocimiento científico, varios aspectos de la adhesión de madera aún no son bien entendidos.

La zona interfasial de adhesión en la madera se compone de un adherente (células de madera), una capa adhesiva y una zona denominada interfase (figura 1), donde el adhesivo y el adherente se mezclan unos con otros (Konnerth y Gindl 2006). La geometría de la interfase afecta la penetración del adhesivo, ésta varía como resultado de factores tales como anatomía de la madera, permeabilidad, porosidad, viscosidad de la resina, calidad de la superficie, presión ejercida en el prensado, entre otros (Kamke *et al.* 2007).

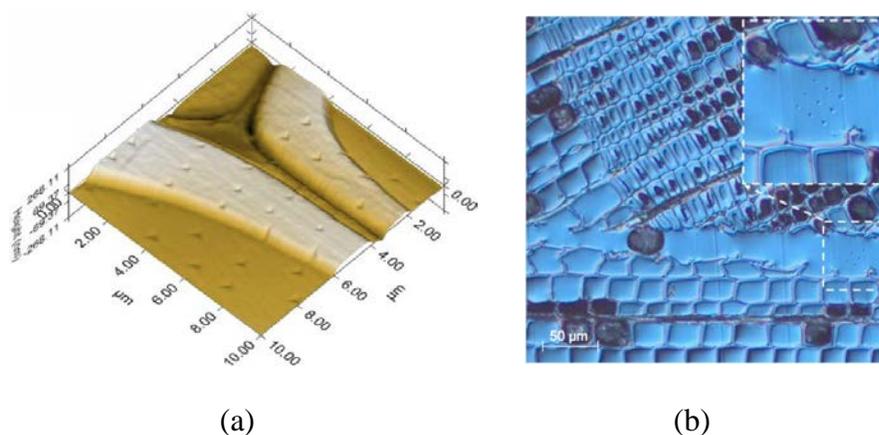


**Figura 1:** Esquema interfase adhesivo-madera (Müller *et al.* 2009; Gindl 2007).

En las uniones adhesivas en madera, la interfase se compone en un alto porcentaje de fibras, que a menudo son significativamente dañadas como resultado de la preparación de la superficie (Singh *et al.* 2002). En la fabricación de chapas, la superficie de éstas sufren daño mecánico en el debobinado, cambios químicos y físicos en el proceso de macerado de la troza y secado de las chapas.

El fenómeno denominado “Capa límite mecánica débil” (Dunky y Niemz 2002), que agrupa parte de las células dañadas por el proceso de corte, con lúmenes impregnados de adhesivo y vacíos, conforman la interfase en las uniones adhesivas de madera. Las uniones adhesivas bajo carga deben transferir esfuerzos de componente a componente a través de la región de la interfase. La estructura de la interfase, su volumen y forma, determinará la magnitud de las concentraciones de esfuerzos y, finalmente, tendrá un impacto significativo sobre el rendimiento del adhesivo (Kamke *et al.* 2007).

El comportamiento esfuerzo-deformación de las uniones adhesivas es significativamente influenciado por la interfase (Gindl *et al.* 2004), y puede actuar como un factor importante cuando se produce la falla. El adhesivo, que penetra la superficie de la madera llenando las cavidades microscópicas de células de madera representa un mecanismo de adhesión significativo (Suchsland 1958; Fengel y Kumar 1970; Furuno y Goto 1975; Saiki *et al.* 1984; Buckley *et al.* 2002).



**Figura 2:** (a) Microscopía de sonda (SPM) la imagen de las paredes celulares de madera con indentaciones (Konnerth *et al.* 2007); (b) Intentaciones en línea de cola en la zona de interfase adhesivo-madera (Konnerth y Gindl, 2007).

Mediante la técnica de nanoindentación se ha logrado caracterizar células de madera (pared celular) en interfases con adhesivo (figura 2a). Esta técnica también ha sido usada para estudiar y caracterizar interfases entre metal y compuestos de fibra de vidrio (Gao y Mader 2002; Li *et al.* 2002; Kim y Hod- zic 2003; Gregory y Spearing 2005; Urena *et al.* 2005), polímeros (VanLandingham *et al.* 2001) y células de madera (Wimmer *et al.* 1997; Gacitúa *et al.* 2007; Gindl *et al.* 2004). La técnica de nanoindentación mostró, a nivel de la pared celular, que la penetración del adhesivo en la pared celular conduce a cambios significativos en las propiedades mecánicas de las regiones afectadas. El uso de fenol-resorcinol-formaldehído y la melamina-urea-formaldehído en uniones con madera, permitieron aumentar significativamente la dureza de la pared celular después de la penetración (Gindl *et al.* 2004; Konnerth y Gindl 2006).

El conocimiento preciso e independiente de las propiedades mecánicas de los componentes de la región de interfase, como células de madera y adhesivo, se logran caracterizando la interfase mediante nanoindentaciones (figura 2b); con esto se consigue

entender en conjunto el comportamiento mecánico de la interacción adhesivo-madera y en última instancia la transferencia de tensión a través de la unión en su conjunto.

Las propiedades mecánicas de la zona interfásial, en la cual se conjugan propiedades de la madera a nivel celular y propiedades del adhesivo, la ecuación “regla de las mezclas” (Ec. 1) permite predecir el módulo elástico de un compuesto ( $E_c$ ), que está formado por una fibra (pared celular) y una matriz (adhesivo) cuyas fases contribuyen en forma independiente y en función de la fracción de volumen de cada una de ella ( $V$ ). La regla de las mezclas establece que (Paris *et al.* 2006):

$$E_c = V_f * E_f + V_m * E_m \quad (1)$$

Donde:

$E_c$ : Módulo de elasticidad del compuesto (GPa)

$V_f$ : Fracción de volumen de la fibra (%)

$E_f$ : Módulo de elasticidad de la fibra (GPa)

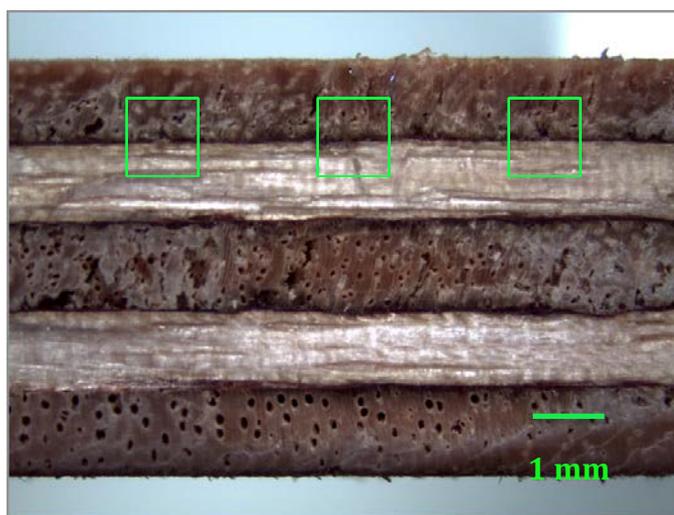
$V_m$ : Fracción de volumen de la matriz (%)

$E_m$ : Módulo de elasticidad de la matriz (GPa)

En el presente estudio se busca predecir mecánicamente la región de interfase, mediante la ecuación de la regla de las mezclas. La predicción usa como información fuente las propiedades nanomecánicas (Módulo de elasticidad axial) medidas mediante nanoindentaciones en la pared celular y adhesivo, además de la fracción de volumen en la región de interfase evaluada usando análisis de imágenes digitales representativas tomadas desde la zona de interfase al unir chapas de *Eucalyptus nitens* con adhesivo fenol-formaldehído. Utilizando las mismas imágenes para la predicción, se determinó la penetración transversal del adhesivo en las chapas de *Eucalyptus nitens*.

## MATERIALES Y MÉTODO

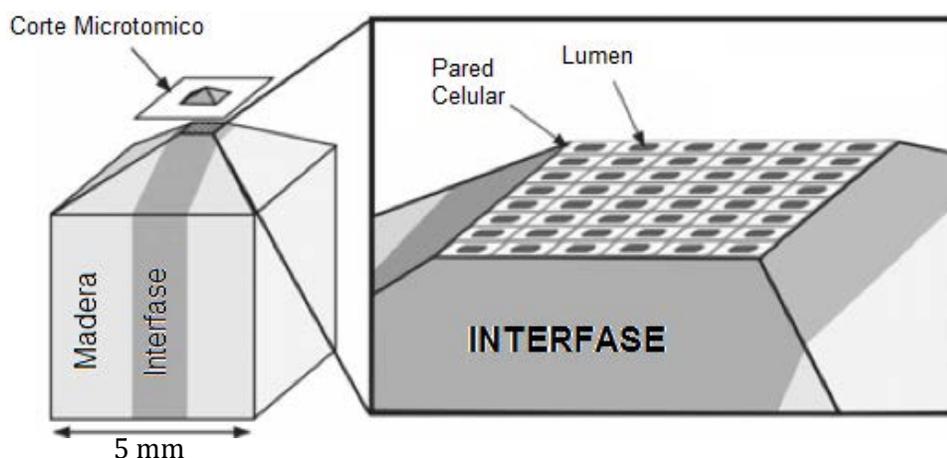
Cubos de madera, de 10 mm de lado, fueron extraídos desde la zona de la unión adhesiva de tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens* provenientes dos familias (2831 y 2744) identificadas como grupo 1 y grupo 6, en el trabajo de Valenzuela *et al.* 2011. En esta investigación las muestras fueron codificadas como, familia **12** (2831) de procedencia *Toorongo* y raza *South CentVic*, y familia **61** (2744) de procedencia *Rubicon* y raza *North CentVic* respectivamente. Los arboles usados en este estudio fueron proporcionados por la empresa Forestal Mininco S.A. Los tableros fueron fabricados con adhesivo fenol formaldehído proporcionado por Oxiquim S.A. y chapas provenientes desde tres alturas de troza: troza A (base a 3 m), troza B (3 a 6 m) y troza C (6 a 9 m) (Acevedo *et al.* 2011. Parte 1-3). Las probetas para la caracterización de la interfase se obtuvieron de la primera línea de cola del tablero (figura 3). Se utilizaron 4 probetas por cada línea de cola para la posterior caracterización usando nanoindentación de las distintas fases.



**Figura 3:** Obtención de probetas de interfase para indentaciones. (Magnificación 8x)

### Preparación de probetas

A partir de cada cubo de la interfase, se procedió a preparar las muestras, reduciendo sus dimensión a un cubo de lado 5 mm, para ser adherido en un porta-muestra cilíndrico. Se corto cada cubo en forma de pirámide truncada en una sección perpendicular a las fibras (figura 4) para reducir el área de contacto para el posterior proceso de corte cuchillo de diamante en un micrótopo rotatorio LEICA RM2265, procedimiento que facilitó la observación y localización de las células en la región de interfase.



**Figura 4:** Pirámide truncada para mejorar superficie de indentación (Jakes *et al.* 2008).

### Nanoindentaciones

Las propiedades mecánicas de la interfase entre chapas de la primera línea de cola ya preparada (figura 4), fueron medidas con un nanoindentador Hysitron TI900 usando una punta de diamante de tipo pirámide triangular Cube Corner. Determinando los módulos de elasticidad reducido ( $E_r$ ), de las células de madera en la dirección axial a las fibras y del adhesivo fenólico circundante (Oximix 2217).

Para la determinación del módulo de elasticidad, se nanoindentaron 3 fibras (capa S2

de la pared celular), se realizaron 5 nanoindentaciones en la resina fenólica, llenando los lúmenes de las fibras en la interfase.

Fue utilizado un ciclo de carga con 100  $\mu\text{N}$  fuerza nominal por 70 segundos (figura 5a), la respuesta resultante fue la curva de carga vs. Desplazamiento, donde se obtuvo el módulo de elasticidad reducido (figura 5b). La carga máxima ( $P_{\text{max}}$ ), la profundidad a la carga máxima ( $h$ ) y la pendiente de la curva de descarga ( $S$ ), que es la pendiente de la curva de descarga (figura 5b), se obtuvieron ( $S = dP/dh$  en  $\text{mN/nm}$ ). La geometría del indentador y  $h$ , el área de indentación ( $A$ ) también se calculó. Luego, el módulo reducido ( $E_r$ ) se determina de acuerdo a la siguiente ecuación (Gacitúa *et al.* 2008):

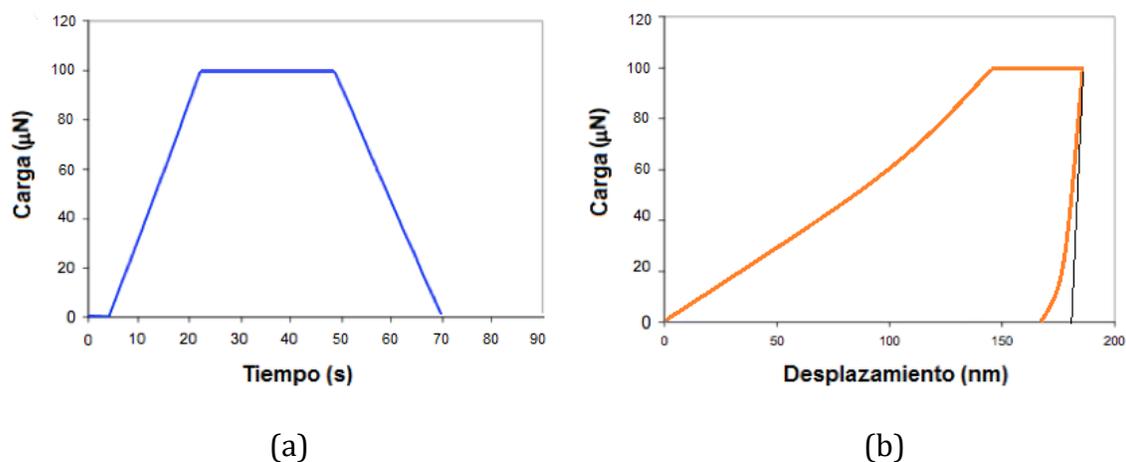
$$E_r = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{S}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Donde:

$E_r$  : Módulo de elasticidad reducido.

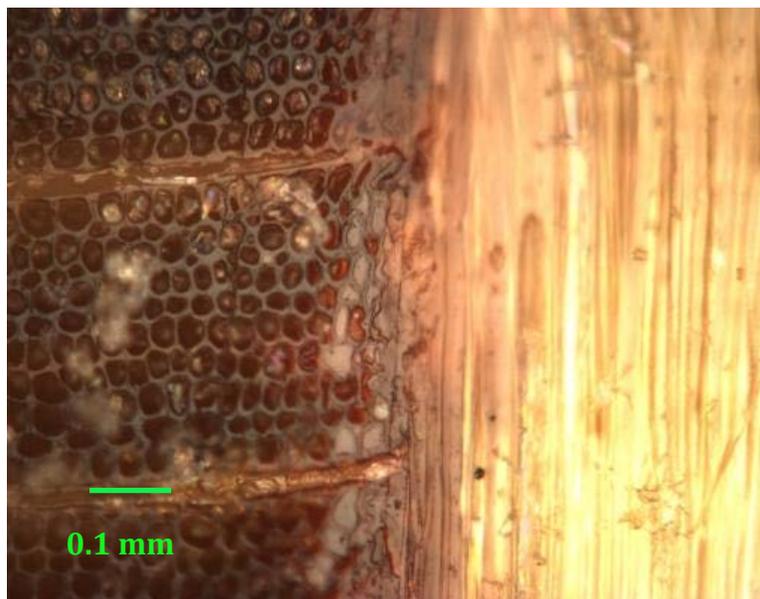
$S$  : Pendiente de la curva de descarga.

$A$  : Área de indentación.



**Figura 5:** (a) Ciclo de indentación; (b) Pendiente curva descarga, obtención ( $E_r$ ).

Los materiales que presentan deformación plástica durante la carga, en la descarga inicial tiene un comportamiento elástico. Por lo tanto, la pendiente inicial de la curva de descarga está directamente relacionada con el módulo de elasticidad.

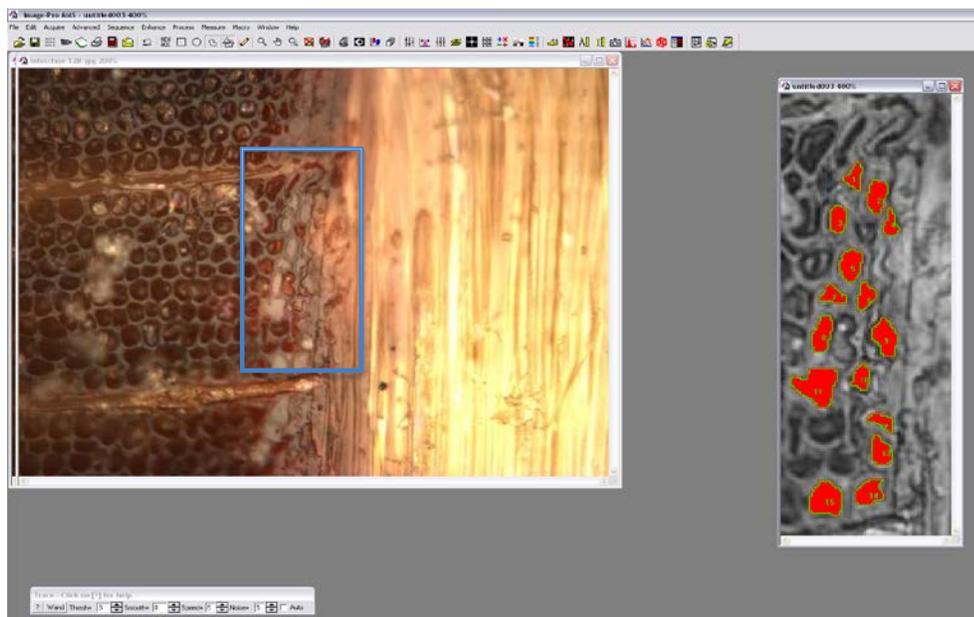


**Figura 6:** Interfase entre chapas de *Eucalyptus nitens* (Magnificación 50x).

#### **Medición de fracción de volumen y espesor de la interfase.**

Usando un objetivo marca Mitutoyo con una magnificación de 50x, montado en el interior del nanoindentador TI900 se obtienen 5 fotografías de la región de interfase para las muestras indentadas (figura 6). Utilizando el software de análisis de imágenes Image Pro Plus 6.2, se seleccionó un área de interés de  $1 \times 2 \text{ mm}^2$ , para evaluar el área de lúmenes impregnados con adhesivo (figura 7) y el área de pared celular; asumiendo una longitud o profundidad de 1 mm para el área observada, se obtuvo la fracción de volumen porcentual respecto al área de interés seleccionada, donde la sumatoria de fracción de volumen de la pared celular ( $V_{pc}$ ) y la fracción de volumen del adhesivo ( $V_a$ ) es igual a 100 %.

La fracción de volumen de la pared celular ( $V_{pc}$ ) y la fracción de volumen del adhesivo ( $V_a$ ), fue evaluada para una determinada área de interés, así como el espesor de la región de interfase. Usando el visor de 50x, efectuando un barrido visual en toda la unión adhesiva, 15 mediciones fueron realizadas para el espesor de la interfase (mm) o profundidad máxima de penetración del adhesivo en cada una de las fotografías tomadas. Con estos datos se obtuvo el espesor promedio para cada una de las interfases de los tableros estudiados.



**Figura 7:** Medición del fracción de volumen de adhesivo ( $V_a$ ) en la región de interfase.

Usando la regla de las mezclas se obtuvieron las propiedades mecánicas de la interfase; los factores evaluados fueron los siguientes:

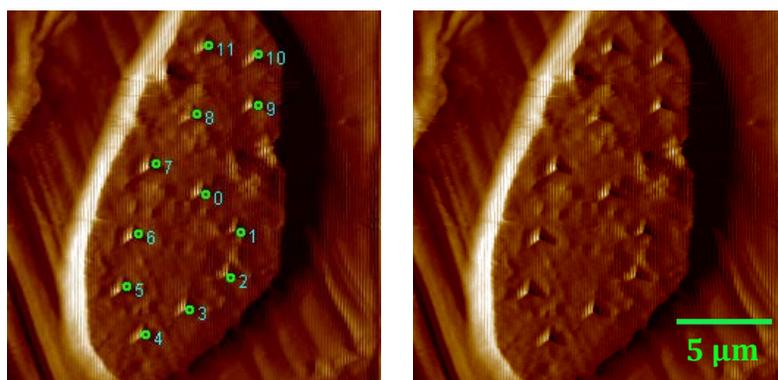
$$E_i = V_{pc} * E_{pc} + V_a * E_a \quad (3)$$

Donde:

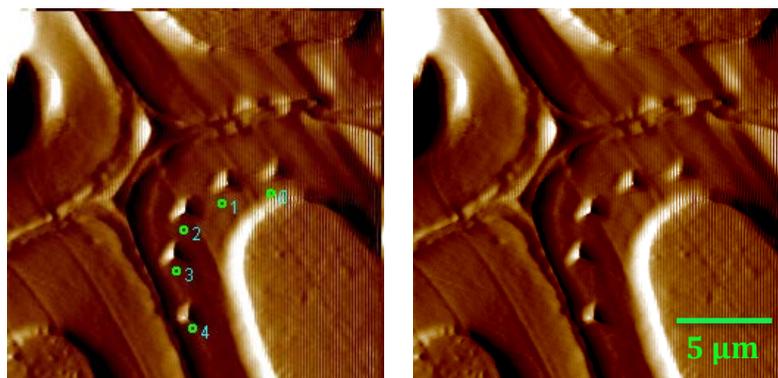
- $E_i$ : Módulo de elasticidad de la interfase (GPa)
- $V_{pc}$ : Fracción de volumen de la pared celular (%)
- $E_{pc}$ : Módulo de elasticidad de la pared celular (GPa)
- $V_a$ : Fracción de volumen del adhesivo (%)
- $E_a$ : Módulo de elasticidad del adhesivo (GPa)

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las figuras 8 y 9 muestran las nanoindentaciones en la pared celular de células de interfase y en el adhesivo fenólico (Oximix 2217).



**Figura 8:** Nanoindentaciones en el lumen de fibras impregnadas con fenol-formaldehído.



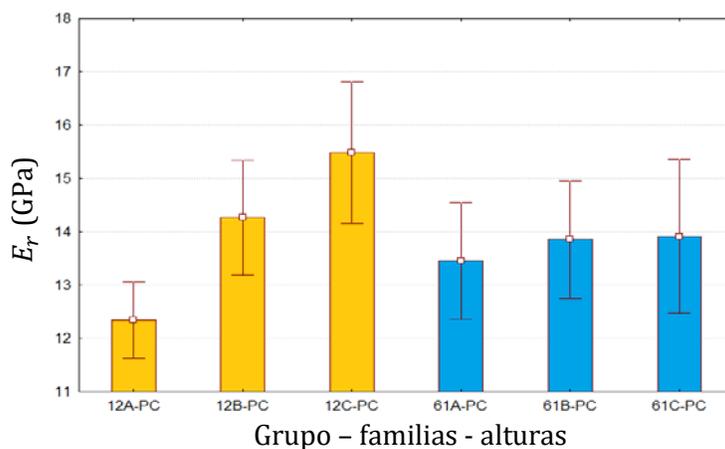
**Figura 9:** Nanoindentaciones en la pared celular de fibras en la interfase.

Los resultados de módulo de elasticidad reducido ( $E_r$ ) para la pared celular y adhesivo (tabla 1) y la comparación grafica (figura 10 y figura 11). Muestran que el módulo reducido (figura 10) de las células de las chapas pertenecientes a la familia 12 (2831) aumenta desde la base a la copa del árbol. Una tendencia similar, pero con un incremento menos marcado y no significativo se observó para la familia 61 (2744). Así, las células de la interfase del tablero 12C, fabricado con chapas cortada desde trozas de la altura C (6 a 9 m), presentó el mayor módulo de elasticidad reducido. Al observar los resultados de  $E_r$  para adhesivo fenólico en la interfase (figura 11), se pudo establecer que no existen diferencias significativas (ANOVA,  $p > 0.05$ ) en las 2 familias y alturas evaluadas.

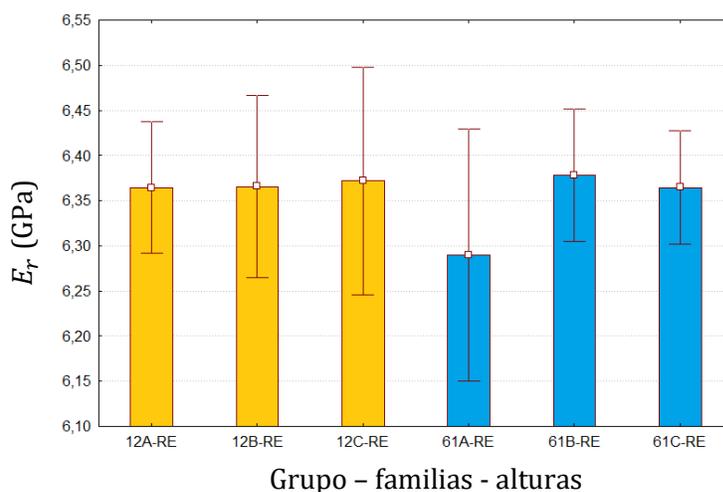
Los resultados obtenidos de módulo de elasticidad reducido ( $E_r$ ) promedio para pared celular son superiores al del adhesivo. Resultados similares, obtuvieron autores que evaluaron estos parámetros (Gindl *et al.* 2005, Konnerth *et al.* 2006). El modulo de elasticidad reducido de la pared celular es doblemente mayor al del adhesivo.

**Tabla 1:** Módulo de elasticidad reducido ( $E_r$ ) promedio para pared celular y adhesivo.

Familias	Pared Celular (GPa)	Adhesivo (GPa)
12 A	12.35	5.80
12 B	14.27	5.82
12 C	15.48	5.83
61 A	12.39	5.76
61 B	12.76	5.70
61 C	12.82	5.82



**Figura 10:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo reducido ( $E_r$ ) de la pared celular para familias y alturas.



**Figura 11:** Intervalo de confianza de la media (95%) para el módulo reducido ( $E_r$ ) de adhesivo para familias y alturas.

Del análisis de imágenes, el porcentaje de área para la pared celular y lúmenes impregnados por adhesivo fue calculado (tabla 2); las células de la familia 12 tienen mayor espesor de pared celular con lo que la fracción de volumen ( $V_{pc}$ ) fue mayor para esta familia.

**Tabla 2:** Resultados de fracción de volumen promedio en pared celular y adhesivo.

Familias	$V_{pc}$ (%)	$V_a$ (%)
12 A	30	70
12 B	32	68
12 C	31	69
61 A	28	72
61 B	27	73
61 C	24	76

De acuerdo a los resultados de espesor promedio de interfase (tabla 3), se observa que no hay una diferencia significativa (ANOVA,  $p>0.05$ ) entre familias y alturas. Esto indica que la movilidad del adhesivo en la estructura porosa de la madera, es dependiente de factores como viscosidad del adhesivo, porosidad de la madera y condiciones de aplicación (Kamke *et al.* 2007). Según estos resultados la penetración del adhesivo no difiere cuando se utilizan distintas familias de *Eucalyptus nitens* para la fabricación de tableros contrachapados.

**Tabla 3:** Espesor promedio de interfase para Familias y alturas.

Familias	Espesor Promedio (mm)	Desv. Estándar (mm)
12 A	0.144	0.040
12 B	0.125	0.031
12 C	0.129	0.055
61 A	0.096	0.023
61 B	0.132	0.033
61 C	0.105	0.013

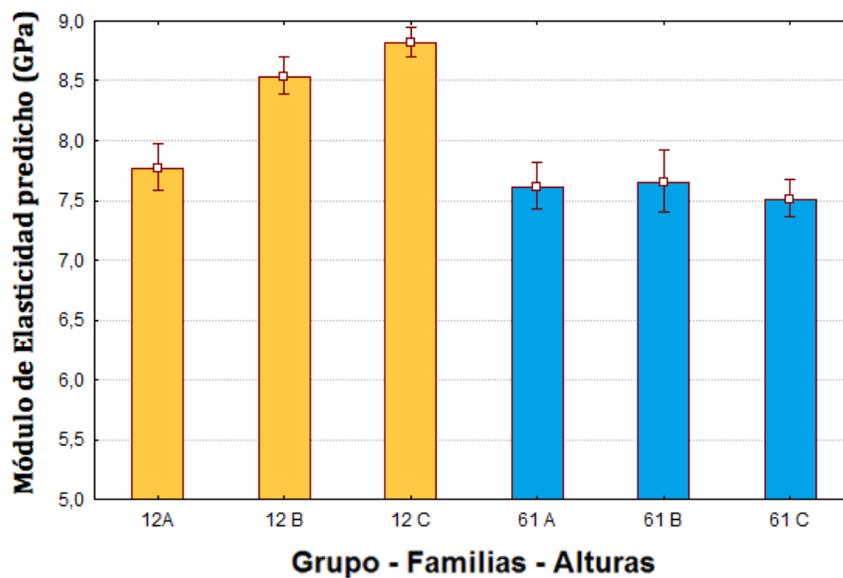
Finalmente mediante la ecuación de la regla de las mezclas se calculo el módulo de elasticidad de la interfase promedio (tabla 4), utilizando como información fuente el módulo de elasticidad reducido ( $E_r$ ) y fracción volumétrica ( $V$ ) de cada fase, en cada una

de las áreas de interés estudiadas (pared celular y adhesivo llenando lúmenes de las fibras en la interfase). Se observa que los resultados de módulo de elasticidad (GPa) estimado, para la capa interfase en la primera línea de cola, de un contrachapado fabricado con chapas procesadas desde arboles de la familia 12 (2831), son significativamente mayores según ANOVA ( $p < 0.05$ ), en comparación a los de la familia 61 (2744). Además, al comparar los módulos de elasticidad predichos para la interfase de uniones fabricadas con chapas provenientes de distintas alturas para la familia 61 (2744), no se encontraron diferencias significativas (figura 12), según ANOVA ( $p > 0.05$ ).

La familia 12 (2831) presentó un aumento en el módulo de elasticidad estimado de la interfase, usando la regla de las mezclas, al analizar la altura del árbol desde la cual se cortaron las chapas. Esto se relaciona directamente con las propiedades mecánicas de estos tableros (tracción paralela y perpendicular) determinadas por Acevedo *et al.* 2011 (parte 3). Este hallazgo refuerza el concepto de que una buena interfase es capaz de transmitir esfuerzos entre chapas mejorando así las propiedades mecánicas del producto final (Fengel y Kumar 1970; Furuno y Goto 1975; Saiki *et al.* 1984; Buckley *et al.* 2002).

**Tabla 4:** Módulo de elasticidad promedio de la interfase para distintas Familias y alturas.

Familias	$E_i$ (GPa)
12 A	7.765
12 B	8.527
12 C	8.823
61 A	7.614
61 B	7.651
61 C	7.503



**Figura 12:** Predicción del módulo de elasticidad de la interfase de tableros contrachapados fabricados con *Eucalyptus nitens*. Efecto de familias y alturas .

## CONCLUSIONES

Existe un aumento en el módulo de elasticidad reducido ( $E_r$ ) evaluado en la pared celular de la familia **12** (2831) de procedencia *Toorong* y raza *South CentVic* al analizar la primera línea de cola de tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens* fabricados con chapas obtenidas a distintas alturas del árbol, resultando la interfase de esta línea de cola la de mejor propiedades.

Los resultados de módulo de elasticidad reducido para el adhesivo llenando lúmenes en la zona de interfase no mostraron diferencias significativas al comparar las familias y alturas de obtención de chapas en estudio.

Las células de la interfase provenientes de la familia 12 son de pared celular más gruesa aumentando el valor de fracción volumétrica para pared celular en este estudio.

Respecto a la predicción del módulo de elasticidad de la interfase madera-adhesivo de los tableros fabricados, este aumenta respecto a la altura de obtención de la troza con la que se fabrico el tablero, en concordancia con los resultados de indentaciones de las células provenientes a la familia 12 (2831).

No se encontró diferencia significativa en los resultados de penetración de adhesivo y espesor de interfase para los tableros provenientes de las dos familias y alturas estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

*Los autores de este documento agradecen al Proyecto Fondef D07i1101 por proveer el equipamiento para desarrollar la investigación, a Forestal Mininco por la donación de la materia prima, a la empresa Oxiquim S.A. suministrar el adhesivo y la empresa Infodema por facilitar sus instalación donde se desarrollaron las pruebas.*

## REFERENCIAS

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P; GACITUA, W. 2011. Efecto de la Tasa de Compresión en la morfología de grietas de debobinado en chapas de *Eucalyptus nitens*. Sometido a Revista Madera, Ciencia y Tecnología. Parte 1.

ACEVEDO, A.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J. P; GACITUA, W. 2011. Influencia de las grietas de debobinado en las propiedades mecánicas de chapas y tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*. Parte 3.

BUCKLEY, C.; PHANOPOULOS, C.; N.; KHALEQUE, A.; ENGLELN, M.; HOLWILL, A.; MICHETTE, D. 2002. Examination of the penetration of polymeric di-phenyl-di-isocyanate (pMDI) into wood structure using chemical- state x-ray microscopy. *Holzforschung* 56(2):215–222.

DUNKY, M.; NIEMZ, P. 2002. *Holzwerkstoffe und Leime, Technologie und Einflussfaktoren*. Springer-Verlag, Berlin.

FENGEL, D.; KUMAR, R.N. 1970. Electron microscopic studies of glued wood joints. *Holzforschung* 24:177–181.

FURUNO, T.; GOTO, T. 1975. Structure of the interface between wood and synthetic polymer. VII. *Mokuzai Gakkaishi* 21: 289–296.

GACITUA, W.; BALLERINI, A.; LASSERRE, J. P.; BAHR, D. 2007. Nanoindentaciones y ultraestructura en madera de *Eucalyptus nitens* con micro y meso grietas. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 9 (3): 259 – 270.

GACITUA, W.; BAHR, D.; WOLCOTT, M. 2008. Damage of the Cell Wall During Extrusion and Injection Molding of Wood Plastic Composites. *Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology November 10-12, 2008 Concepción, CHILE*

GAO, S.L.; MADER, E. 2002. Characterisation of interphase nanoscale property variations in glass fibre reinforced poly- propylene and epoxy resin composites. *Compos. Sci. Technol.* 33: 559–576.

GINDL, W.; SCHOBERL, T. 2004. The significance of the elastic modulus of wood cell walls obtained from nanoindentation measurements. *Compos. Sci. Technol.* 35: 1345–1349.

GREGORY, J.R.; SPEARING, S.M. 2005. Nanoindentation of neat and in situ polymers in polymer-matrix composites. *Compos. Sci. Technol.* 65: 595–607.

JAKES, J.; STONE, D.; FRIHART, CH. 2008. Nanoindentation methods for Wood-adhesive bond lines. *Proceedings 31st anual Meeting of Adhesión Society, Austin, TX.*

KAMKE, F.; LEE, J. 2007. Adhesive penetration in Wood – A review. *Wood and Fiber Science* 39 (2): 205 – 220.

KIM, J.K.; HODZIC, A. 2003. Nanoscale characterisation of thickness and properties of interphase in polymer matrix composites. *J. Adhes.* 79:383–414.

KONNERTH, J.; GINDL, W. 2006. Mechanical characterisation of wood-adhesive interphase cell walls by nanoindentation. *Holzforschung* 60 (2006): 429-433.

KONNERTH, J.; GINDL, W. 2007. Nanoindentation for Characterizing Wood & Related Systems. Institute of Food Science and Technology. BOKU University – Vienna. Department of Material Science and Process Engineering.

KONNERTH, J.; VALLA, A.; GINDL, W. 2007. Nanoindentation mapping of a wood-adhesive bond. *Applied Physics A – Materials Science & Processing* 88 (2007): 371-375.

LI, F.P.; WILLIAMS, J.G.; ALTAN, B.S.; MISKIOGLU, I.; WHIPPLE, R.L. 2002. Studies of the interphase in epoxy-aluminum joints using nanoindentation and atomic force microscopy. *J. Adhes. Sci. Technol.* 16: 935–949.

MÜLER, U.; VEIGEL, S.; FOLLRICH, J.; GABRIEL, J.; KONNERTH, J.; GINDL, W. 2009. Performance of IC polyurethane in comparison to other wood adhesive. Competence Centre for Wood Composites and Wood Chemistry. Lake Tahoe, USA.

PARIS, F.; CAÑAS, J.; MARIN, J. 2006. *Introducción al análisis y al diseño de Materiales Compuestos.* Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

SAIKI, H. 1984. The effect of the penetration of adhesives into cell walls on the failure of wood bonding. *Mokuzai Gakkaishi* 30(1): 88–92.

SINGH, A.P.; ANDERSON, C.R.; WARNES, J.M.; MATSUMURA, J. 2002. The effect of planing on the microscopic structure of *Pinus radiata* wood cells in relation to penetration of PVA glue. *Holz Roh Werkst.* 60: 333–341.

SUCHSLAND, O. 1958. U̇ber das Eindringen des Leimes bei der Holzverleimung und die Bedeutung der Eindringtiefe fu̇r die Fugfestigkeit. *Holz Roh. Werkst.* 16:101–108.

URENA, A.; RAMS, J.; ESCALERA, M.D.; SANCHEZ, M. 2005. Characterization of interfacial mechanical properties in carbon fiber-aluminium matrix composites by the nanoindentation technique. *Compos. Sci. Technol.* 65: 2025–2038.

VANLANDINGHAM, M.R.; VILLARRUBIA, J.S.; GUTHRIE, W.F.; MEYERS, G.F. 2001. Nanoindentation of polymers: an overview. *Macromol. Symp.* 167: 15–43.

VALENZUELA, P.; BUSTOS, C.; LASSERRE, J.P.; GACITUA, W. 2011. Segregación de familias de *Eucalyptus nitens* según el grado de agrietamiento asociado a nanoindentaciones en capa S2, lamela media y características anatómicas, Parte B. Sometido a *Revista Madera, Ciencia y Tecnología*.

WIMMER, R.; LUCAS, B.N. 1997. Comparing mechanical properties of secondary cell wall and cell corner middle lamella in spruce wood. *IAWA J.* 18: 77–88.

WIMMER, R.; LUCAS, B.N.; TSUI, T.Y.; OLIVER, W.C. 1997. Longitudinal hardness and Young's modulus of spruce tracheid secondary walls using nanoindentation technique. *Wood Sci. Technol.* 31: 131–141.

## CONCLUSIÓN GENERAL

Fue posible validar que mediante un proceso de debobinado ajustado, usando una tasa de compresión mayor (5 %), una menor distancia entre la barra de presión y el cuchillo debobinador, se obtienen chapas más apretadas, rígidas y de buenas propiedades mecánicas.

Empleando un envejecimiento acelerado mediante rayos UV fue posible desarrollar una metodología para evaluar la propagación de grietas de debobinado en las caras de tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*, con esta metodología fue posible confirmar que existe un nivel de agrietamiento menor en chapas provenientes de alturas mayores de troza en familias segregadas usadas en esta investigación.

Las propiedades mecánicas tableros tiende a mejorar respecto a la altura de procedencia de la chapa, especialmente para alturas superiores a los 5 metros, debido a la presencia de grietas de debobinado de menores dimensiones. Junto con una buena unión entre chapas (interfase), las propiedades mecánicas de tableros mejoran.

Mediante el uso de la nanotecnología fue posible caracterizar las propiedades mecánicas de la “región de interfase” en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*, donde se obtuvo el módulo de elasticidad reducido de pared celular y adhesivo fenólico, se ratifico que las células que componen la interfase de tableros provenientes de familias segregadas y de alturas superiores en el árbol, poseen  $E_r$  mayores.

Utilizando familias segregadas de *Eucalyptus nitens* y de trozas provenientes de alturas superiores en el árbol, fue posible fabricar chapas con menos tendencia al agrietamiento usando la metodología de tasa de compresión ajustada, con las que se logro fabricar tableros contrachapados de buenas propiedades mecánicas.

## **BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

ANANIAS, R.; DIAZ, C.; LEANDRO, L. 2009. Estudio preliminar de la contracción y el colapso en *Eucalyptus nitens*. Maderas Ciencia y Tecnología. 11 (3): 251-260.

BODIG, J.; JAYNE, B. 1993. Mechanics of Wood and Fiber Composites. Krieger Publishing Company. Melbourne, Florida.

CANIZA, F.; LOPEZ, J.; MONTENEGRO, P.; ASSAME, S.; APARICIO, J. 2007. Variación de las tensiones de crecimiento en tres clones de *Eucalyptus grandis* según el estado de competencia individual. XXII Jornadas Forestales de entre Ríos, Concordia. Octubre de 2007: 1-9.

DENAUD, L.; BLERON, L.; RATLE, A.; MARCHAL, R. 2007. Online control of wood peeling process: Acoustical and vibratory measurements of lathe checks frequency. INRA, EDP Sciences 67 (2007): 569-575.

DEVALLANCE, D. V.; FUNCK, J. W.; REEB, J. E. 2007. Douglas-fir plywood gluebond quality as influenced by veneer roughness, lathe checks, and annual ring characteristics. Forest Products Journal. 57 (1/2): 21-28.

ECKOLD, G. 1994. Design and manufacture of composite structures. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge.

GACITUA, W.; BALLERINI, A.; LASSERRE, J. P.; BAHR, D. 2007. Nanoindentaciones y ultraestructura en madera de *Eucalyptus nitens* con micro y meso grietas. Maderas Ciencia y Tecnología 3 (9): 259-270

GINDL, W.; SRETENOVIC, A.; VINCENTI, A.; MULLER, U. 2005. Direct measurement of strain distribution along a wood bond line. Part 2: Effects of adhesive penetration on strain distribution. Holzforschung (59):307–310.

INFOR 2009. Boletín Estadístico - Producción, Comercio y Consumo aparente de Tableros y Chapas 1962 – 2008. Centro de Información Forestal, Instituto Forestal – Sede Metropolitana.

JAKES, J.; STONE, D.; FRIHART, C. 2008. Nanoindentation methods for wood-adhesive bond lines. Proceedings 31st annual Meeting of the Adhesion Society, Inc. 2008 February 17-20; Austin, TX. Blacksburg, VA: the Adhesion Society: 3p.; 2008

KAMKE, F.; LEE, J. 2007. Adhesive Penetration in Wood – A Review. *Wood and Fiber Science*, 39 (2): 205-220.

KONNERTH, J.; GINDL, W. 2006. Mechanical characterisation of wood-adhesive interphase cell walls by nanoindentation. *Holzforschung* (60): 429-433.

KONNERTH, J.; HARPER, D.; LEE, S-H.; RIALS, T.; GINDL, W. 2008. Adhesive penetration of wood cell walls investigated by scanning thermal microscopy (SThM). *Holzforschung* (62): 91-98.

MARCHAL, R.; MOTHE, F.; DENAUD, L. E.; THIBAUT, B.; BLERON, L. 2009. Cutting forces in wood machining – Basics and applications in industrial processes. A review. *Holzforschung* (63):157-167.

MOON, R.; JAKES, J.; BEECHER, J.; FRIHART, C.; STONE, D. 2007. Relating Nanoindentation to Macroindentation of Wood. *Advanced Biomass Science and Technology for Bio-Based Products*. Developed from a symposium sponsored by: Chinese Academy of Forestry & USDA Forest Service, Southern Research Station. Beijing, China.

MUÑOZ, F.; ESPINOSA, M.; HERRERA, M.; CANCINO, J. 2005. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. *Bosque* 26 (1): 93-99.

PALUBICKI, B.; MARCHAL, R.; BUTAUD, J. C.; DENAUD, L. E.; BLÈRON, L.; COLLET, R.; KOWALUK, G. 2009. A Method of Lathe Checks Measurement; SMOF device and its software. *Eur. J. Wood Prod.*

ROZAS, C.; SANCHEZ, R.; PINEDO, P. 2005. Drying of *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus globulus* for Block, Furniture and Flooring. *Maderas Ciencia y Tecnología* 7 (2): 109-120..

SMITH, I.; LANDIS, E.; GONG, M. 2003. *Fracture and Fatigue in Wood*. John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-471-48708-2

STANZL-TSCHEGG, S. E.; NAVI, P. 2009. Fracture behaviour of wood and its composites. A review. *Holzforschung* (63):139-149

TOUZA, M. 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la selvicultura y estrategias de aserrado. *Maderas Ciencia y Tecnología* 3 (1-2): 68-89.

USDA. 1999. Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin.

VASQUEZ, G.; GONZALES-ALVAREZ, F.; LOPEZ-SUEVOS, F.; ANTORRENA, G. 2003. Effect of veneer side wettability on bonding quality of *Eucalyptus globulus* plywoods prepared using a tannin-phenol-formaldehyde adhesive. *Bioresource Technology* 87 (2003): 349-353

## ANEXOS

### Anexo N° 1:

Procedimiento para el análisis de imágenes mediante software *Image Pro Plus 6.2* :

Procedimiento selección de área representativa en la imagen:

- 1.- Open File > (imagen)
- 2.- Área representativa en pixeles (W=601; H:901), área envejecida.
- 3.- Edit > Convert to: Gray Scale 16

Procedimiento elección de filtros para imágenes medición de áreas y anchos de grietas.

- 1.- Process > Filters > Enhancement > Flatten > Options > Background: Bright (2 VECES)
- 2.- Process > Filters > Enhancement > Despeckle: 3x3, passes: 1, sensitivity: 2.
- 3.- Process > Filters > Enhancement > Sharpen: 7x7, passes: 1, sensitivity: 2.
- 4.- Process > Filters > Edge > Laplace: 3x3, passes: 1, sensitivity: 2.
- 5.- Measure > Count/Size...> Select Ranges...> Histogram Based
- 6.- Count/Size > Measure > Select Measurements > area & size (width) > OK
- 7.- Count/Size > Count > Measure
- 8.- File > Export Data > To Excel

Procedimiento medición largo grietas:

- 1.- Área representativa en pixeles (W=601; H:901), área envejecida.
- 2.- Edit > Duplicate/Crop to AOI
- 3.- Count/Size > Count > Measure
- 4.- File > Export Data > To Excel

Anexo N° 2

Tabla 1: Resultados tracción perpendicular chapas (probetas tipo hueso de perro).

Grupo	Código	Familia	Altura	E (GPa)	Desv. Est.
Grupo 1	1.1 A	2828	A	0.043	0.016
	1.2 A	2831	A	0.053	0.018
	1.2 B		B	0.080	0.016
	1.2 C		C	0.102	0.011
Grupo 2	2.1 A	2727	A	0.044	0.009
	2.1 B	2730	B	0.048	0.003
	2.3 A		A	0.058	0.017
	2.3 B	B	0.071	0.006	
Grupo 3	3.2 A	2777	A	0.077	0.029
	3.3 A	2778	A	0.066	0.032
	3.3 B		B	0.074	0.025
	3.1 A	2784	A	0.044	0.014
	3.1 B		B	0.053	0.018
	3.1 C		C	0.082	0.015
Grupo 4	4.1 A	2790	A	0.038	0.010
	4.1 B	2854	B	0.070	0.026
	4.2 A		A	0.039	0.011
	4.2 B	B	0.052	0.017	
Grupo 5	5.1 A	2790	A	0.038	0.012
	5.1 B		B	0.051	0.008
	5.2 A	2793	A	0.030	0.019
	5.2 B		B	0.044	0.007
	5.3 A	2794	A	0.036	0.017
	5.3 B		B	0.049	0.014
	5.3 C		C	0.069	0.004
Grupo 6	6.1 A	2744	A	0.041	0.011
	6.1 B		B	0.063	0.012
	6.1 C		C	0.064	0.014