

PROPIEDADES NANOMECÁNICAS DEL *Pinus radiata* D. Don PARA USOS EN PRODUCTOS DE ALTO VALOR

Oswaldo Erazo¹ (oswaldo.erazo1802@alumnos.ubiobio.cl); **Pablo Moreno**¹
(pmoreno@ubiobio.cl); **Paulina Valenzuela**¹ (nvalenzu@ubiobio.cl);
William Gacitúa¹ (wgacitua@ubiobio.cl)

¹Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Maderas, Centro de Biomateriales y Nanotecnología, Concepción, Chile

Resumen

El pino radiata (*Pinus Radiata* D. Don), especie de rápido crecimiento en Chile, presenta una resistencia mecánica menor que otras coníferas usadas como madera estructural, incluso muy por debajo de algunas maderas chilenas que poseen altos grados estructurales. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de un tratamiento termo-higromecánico del tipo *creep* sobre las propiedades nanomecánicas del pino radiata. Se adaptaron probetas tipo I de acuerdo a la norma ASTM D638-14, de madera proveniente de plantaciones de rápido crecimiento de la región del Bío-Bío, Chile. El tratamiento termo-higromecánico se realizó bajo condiciones controladas de carga, humedad y temperatura. Se establecieron ocho tratamientos con dos niveles de carga (durante 30 minutos), dos condiciones de temperatura y dos tiempos de post-tratamiento para la evaluación de las propiedades mecánicas finales del material tratado, básicamente el módulo de elasticidad en tensión determinado en una máquina de ensayo universal. A través de un nanoindentador se caracterizó a escala nanométrica las propiedades de dureza y módulo de elasticidad de la capa S2 de la pared celular y lamela media. Los resultados mostraron un incremento en el módulo de elasticidad para las maderas tratadas, con máximos valores en las probetas sometidas a temperatura. Las propiedades nanomecánicas de dureza arrojaron mayores cambios particularmente a nivel de lámina media. El tratamiento termo-higromecánico puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas de la madera e incrementar su grado estructural.

Palavras-chave: Propiedades nanomecánicas, processo de *creep*, uso estructural

Abstract

Pinus radiata, a fast growth species in Chile, has lower mechanical properties than other conifers used on structural applications, even much lower than other Chilean species having high structural grades. This work aimed to study the effect of a thermo-hydromechanical treatment on nanomechanical properties of the cellular structure of radiata pine from fast-growing plantations in the Bío-Bío region, Chile. Type I adapted specimens, according to ASTM D638-14, were prepared. A thermo-hydromechanical process with eight treatments including two loading levels (during 30 min), two temperatures conditions, and two post-treatment times, where the response variable was the tensile modulus. Hardness and elastic modulus of cell wall (S2 layer) and middle lamella were characterized using nanoindentations. The results showed an increase in

tensile modulus up to 25% for the treated wood, with maximum values in the specimens subjected to temperature. The nanomechanical properties of hardness yielded major changes, particularly at the middle lamella level. The thermo-hydrromechanical treatment can significantly improve the mechanical properties of wood and potentially increase its structural degree.

Keywords: Nanomechanical properties, *Creep* process, Structural use.

1 Introdução

El pino radiata es una especie que ha sido investigada con diferentes propósitos; producción de pellets, adhesivos, construcción, productos de ingeniería, pulpa nanocelulosas, entre otras. Esto ha impulsado el establecimiento de plantaciones en el mundo, principalmente Nueva Zelanda (BURDON et al. 2017; WALKER, 2013), Chile (CONAF, 2019), Australia (CRUZ et al., 2017; WALSH y STRANDGARD, 2014) y España (HERMOSO et al. 2007).

Chile cuenta con 2,289 millones de hectáreas de plantaciones forestales (INFOR, 2019), de las cuales, el 68% de las plantaciones de Chile son de *Pinus radiata* CONAF (CONAF, 2019). Esto representa una fuente de materia prima para la industria de celulosa, papel y la construcción. En esta última, la madera requiere ser clasificada estructuralmente y agrupada según su capacidad para resistir cargas o esfuerzos, lo que conlleva a diseñar estructuras de madera más seguras y confiables.

Sin embargo, la producción de madera en tiempos cortos ha desarrollado correlaciones genéticas adversas en sus propiedades mecánicas y su calidad, debido a la alta proporción de madera juvenil (BURDON Y MOORE, 2018). El pino radiata, por lo general, tiene baja rigidez, mayor contracción longitudinal y menor densidad que otras coníferas usadas como madera estructural (MOORE, 2012). Cave y Walker (1994) concluyeron que el ángulo de la fibrilla era el principal factor que explicaba la disminución de la rigidez (E) del pino radiata. Además, el efecto del peso específico de la madera sobre el módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR), el cual disminuye en la madera juvenil (GARAY et al., 2009), genera una fuente de variación adicional en la propiedad de flexión estática (ZHANG, 1997), principal propiedad para la evaluación de la madera con fines estructurales (COWN et al., 1999).

La disposición jerárquica de la estructura de la pared celular de la madera define en gran medida sus propiedades mecánicas. La técnica de la nanoindentación permite determinar las propiedades mecánicas de la capa S2 de la pared celular y la lamela media a nanoescala (MOON et al., 2006). De esta forma se puede obtener la dureza (H) y el módulo elástico (E) en función del ángulo de fibrilla de la celulosa (GINDL y SCHÖBERL, 2004), ubicación del anillo de crecimiento (TZE et al., 2007), madera temprana versus tardía (WIMMER et al., 1997) y otras.

Moon et al., (2009) encontraron que la dureza en la madera tardía de pino radiata a escala nanométrica era 5 veces mayor que la dureza a nivel macro, debido a las diferencias en