

# Efecto de la granulometría de la partícula de madera sobre las propiedades mecánicas y térmicas en tableros madera-cemento

## Effect of the wood particle size on the mechanical and thermal properties of wood-cement boards

Erazo, Oswaldo <sup>1</sup>; Moreno, Pablo <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

<sup>2</sup>Centro de Biomateriales y Nanotecnología, Departamento de Ingeniería en Madera, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

[\\*pmoreno@ubiobio.cl](mailto:*pmoreno@ubiobio.cl)

### Resumen

*La tecnología del concreto busca mejorar el rendimiento de las mezclas cementicias bajo un enfoque particular en la ecoeficiencia. La incorporación de materiales lignocelulósicos a los tableros resulta ser una alternativa viable debido a que es un recurso orgánico que cumple con las exigencias ambientales que cada vez se hacen más estrictas. El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de proporciones de cemento:madera y tamaños de partículas de madera de *Pinus radiata* sobre las propiedades mecánicas y conductividad térmica de los tableros de cemento-madera. Se prepararon tableros con dos proporciones de cemento madera 1:0,55 y 1:1, y dos tamaños de longitud de partículas 4-6 mm y 11-15 mm. Los tableros fueron sometidos a los ensayos mecánicos de flexión y compresión y se determinó la conductividad térmica. Se tomaron muestras para observar las fases de los tableros mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido y un estereomicroscopio. La proporción 1:1 con el tamaño de partícula 4-6 mm resultó ser el tratamiento con el mejor resultado en resistencia a flexión y compresión. Asimismo, la baja conductividad térmica presentada en los tableros permite que sea usada como aislante térmico.*

**Palabras claves:** tableros cemento madera, *Pinus radiata*, propiedades mecánicas, conductividad térmica, módulo de elasticidad.

### Abstract

*Concrete technology aims to improve the cementitious mixtures performance by using an eco-efficiency approach. The incorporation of lignocellulosic materials to the cement composites is a promising alternative. Moreover, these materials meet the criteria of the increasingly stricter environmental laws. The objective of this research was to evaluate the influence of proportions of cement: wood and *Pinus radiata* wood particle sizes on the mechanical and thermal properties of cement-wood boards. Wood-cement boards with two type of wood:cement ratio, 1:0.55 and 1:1 and two wood particle lengths, 4-6 mm and 11-15 mm were prepared. The boards were subjected to mechanical bending and compression tests and the thermal conductivity. Board phases were observed by using a scanning electron microscope and a stereomicroscope. Results show the 1: 1 ratio and 4-6 mm particle size was the best treatment concerning resistance to bending and compression. The low values found in thermal conductivity allow boards to be used as a thermal insulator.*

**Keywords:** Wood cement boards, *Pinus radiata*, mechanical properties, thermal conductivity, elastic modulus

## 1 Introducción

La necesidad de usar materiales resistentes y amigables con el ambiente ha llevado a muchos investigadores a buscar alternativas que permitan satisfacer y al mismo tiempo cumplir con los requerimientos cada vez más exigentes en las normas de calidad y resistencia de los materiales.

Cada material tiene determinadas propiedades, las cuales son consideradas en función de su fin último. De esta manera, al combinarse dos o más materiales se obtendrá un material compuesto, de mayor resistencia que las de sus componentes individuales. En los materiales compuestos se pueden definir dos fases. La primera es la fase continua, constituida por la matriz, su principio es unir. La segunda es una fase dispersa, compuesta por la fibra que cumple la función de refuerzo.

Los materiales compuestos tienen un amplio rango de uso; en la industria aeronáutica, construcción, automovilística, deporte, medicina, entre otras. En la construcción, se utiliza arena, piedra y cemento para preparar concreto y morteros. Sin embargo, existe mucha controversia desde el punto de vista ambiental con estos tipos de materiales. Actualmente, la tecnología del concreto se ha esforzado por mejorar el rendimiento con un enfoque particular en la ecoeficiencia (Hisseine y col., 2018), la cual incluye la incorporación de materiales lignocelulósicos a los tableros.

Estos paneles son producidos con partículas de madera en diferentes dimensiones, cemento y agua. Además, se pueden agregar otros componentes para maximizar la calidad del proceso y las propiedades del producto (Silva y col., 2005, Ashori y col., 2011). La adición de fibras a la matriz de cemento mejora la resistencia a la tracción, tenacidad, impacto, ductilidad, capacidad de absorción de energía y la resistencia al agrietamiento, controla las microfisuras en la matriz desde el principio de su apertura (Ahmad y col., 2018, Mazlan y col., 2016, Ferro y col., 2014, Onuaguluchi y col., 2014) y reduce la contracción plástica (Hisseine y col., 2018).

Los compuestos cementosos tienen muchas aplicaciones, principalmente como aislamiento térmico y acústico, revestimientos resistentes al fuego, etc., y tienen ventajas, como baja densidad en comparación con el concreto. Además, tienen mejor rendimiento para resistir la intemperie, incendios, ataque de hongos e insectos en comparación con tableros hechos solo con madera (Ronquim y col., 2014).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia de dos proporciones de cemento:madera, 1:0.35 y 1:1, y dos tamaños de partículas de madera de *Pinus radiata* sobre las propiedades mecánicas y la conductividad térmica de los tableros de cemento-madera.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Materia prima

Se utilizó astillas de madera de Pino radiata de 3-4 cm de largo y espesores variados. Las astillas se tamizaron (Figura 1), obteniéndose dos tipos de dimensiones: Partículas de 10 - 15 mm de largo y Partículas de 4-6 mm de largo, con diámetros de 0.2-0.3 mm y 0.1-0.2 mm, respectivamente. El contenido de humedad (CH) de las partículas fue de 10%.

Se utilizó Cemento *Bío Bío Especial* para la elaboración de los tableros (Fichas Técnicas Cemento Bío Bío, 2019). Es un cemento obtenido por molienda conjunta de clinker, puzolana y yeso. Este cemento, de acuerdo a la norma NCh 148Of.69, es clasificado como Puzolánico debido a su composición y resistencia (Normas Chilenas Nch148Of.1969).

### 2.2 Elaboración de los Morteros

La cantidad total de mezcla cemento:madera se preparó de acuerdo con el número de tableros y las dimensiones de los moldes establecidos para los ensayos de flexión, compresión y conductividad térmica. Se ensayaron dos relaciones de cemento:madera (1:0.35 y 1:1), y una parte de agua. Se utilizó un encofrado de madera de pino radiata divididos en cinco compartimientos prismáticos, que permiten confeccionar probetas para los ensayos de flexión de 160 mm de largo, 40 mm de ancho y 40 mm de espesor. Para los ensayos de conductividad térmica se elaboraron 6 moldes de madera de pino radiata de 300 mm x 300 mm de largo y ancho y 40 mm de espesor. Las caras internas de los moldes son completamente planas y forman entre sí ángulos de 90°.

#### 2.2.1 Mezclado

La mezcla de cemento y las partículas de madera se homogenizaron durante 2 minutos, luego gradualmente se le agregó agua y mediante un agitador eléctrico la mezcla se homogenizó, evitando la formación de grumos. El tiempo total de mezclado fue de 4 minutos.

#### 2.2.2 Preparación de los tableros

Se vertió en los moldes una primera capa de mezcla, nivelándose con una espátula. Luego, se agregó una segunda capa y se enrasó. Seguido de cada capa, los moldes se colocaron en una mesa de compactación por 45 segundos.

#### 2.2.3 Conservación

Los moldes fueron cubiertos con un material no absorbente para evitar la evaporación del agua y fueron llevados a la cámara húmeda con condiciones de humedad relativa superior o igual a 90% y temperatura de 23°C ± 2°C. Las

probetas fueron desmoldadas después de 24 horas y permanecieron en la cámara húmeda durante 28 días para evaluar las propiedades física-mecánicas.

### 2.3 Determinación de la densidad

Las probetas fueron medidas para el cálculo de volumen (largo, ancho y espesor) y se pesaron para determinar la densidad mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde:

$\rho$ : densidad, expresada en kilogramos por metros cúbicos ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $m$ : masa de la probeta (kg),  $v$  = volumen ( $\text{m}^3$ ).

### 2.4 Ensayo de Flexión

La prueba de flexión se realizó en una máquina de ensayo universal Controls Model 65-L0019/C, 10 kN según la norma NCh158Of.67, que consiste en apoyar una de las caras laterales del moldaje sobre los rodillos de la máquina de ensayo. La velocidad de carga fue de 0.5 mm/min. Antes de realizar el ensayo se trazó una línea en el centro de la pieza como guía para colocar el punto de aplicación de la fuerza central. La distancia ( $L$ ) entre los apoyos fue de 100 mm.

La resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad se calcularon de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\text{MOR} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2)$$

Donde:

$\text{MOR}$ : Resistencia a la Flexión, expresada en Mega Pascal (MPa),  $F$ : fuerza máxima de ruptura, expresada en Newton (N),  $L$ : claro, distancia entre los soportes, expresadas en milímetros (mm),  $b$ : ancho de la probeta (mm);  $h$ : espesor de la probeta (mm).

$$\text{MOE} = \frac{\Delta F \cdot L^3}{4 \cdot \Delta \delta \cdot b \cdot h^3} \quad (3)$$

Donde:

$\text{MOE}$ : Módulo de Elasticidad, expresada en Mega Pascal (MPa),  $\Delta F$ : Diferencia de fuerza en el campo de deformación elástica, (N),  $\Delta \delta$ : Deformación de la probeta a  $\Delta F$  (mm),  $b$ : ancho de la probeta (mm);  $h$ : espesor de la probeta (mm).

### 2.5 Ensayo de compresión

Por cada probeta usadas en el ensayo de flexión se obtuvieron dos secciones. Estas se sometieron al ensayo de compresión siguiendo la norma NCh158Of.67, el cual se realizó a una sección de 40 x 40 mm y velocidad de carga de 0.3 mm/min.

La carga máxima entre la sección (30 x 30 cm) permitió obtener la resistencia a la compresión en unidades de MPa.

### 2.6 Ensayo de Conductividad

El ensayo de conductividad térmica se realizó siguiendo la Norma Chilena NCh850.Of.2008 sobre aislación térmica-determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas-aparato de placa caliente. El ensayo define el uso del método de la placa de guarda caliente para medir la transferencia de calor en estado estacionario. Es un método absoluto de medición de las propiedades de transferencia de calor, solo requiere las mediciones de longitud, temperatura y potencia eléctrica.

Se utilizó un conductímetro de dos especímenes, el cual tiene un montaje central de placa cuadrada que consiste en un calentador y placas de superficie metálica denominada unidad de calentamiento, las cuales son aplastadas por los especímenes. El flujo de calor se transfiere a través de los especímenes hacia los montajes planos isotérmicos redondos o cuadrados separados, denominados unidades de enfriamiento. Las placas tienen dimensiones de 30 cm x 30 cm.

Para llevar a cabo el ensayo de conductividad térmica se requieren el uso de un par de especímenes con la misma mezcla cemento: madera, espesores similares (hasta un 2% de diferencia) y las superficies de las caras deben estar completamente homogéneas para hacer el máximo contacto con las placas.

Antes del ensayo, los tableros fueron colocados en una estufa con ventilación forzada a 60°C durante 24 horas para eliminar la presencia de humedad. Se realizaron mediciones a lo largo y ancho (2 medidas) y espesor (4 medidas) con un pie de metro digital MITUTOYO. Asimismo, durante el ensayo se registró varios pesos (Tabla 1). A cada tablero se le hizo pequeñas incisiones de 0.2 mm máximo de profundidad con un esmeril angular para colocar las termocuplas en ambas caras de este (figura 1).

**Tabla 1.** Valores promedios de las dimensiones para el par de probetas ensayadas para cada tratamiento y su densidad seca.

N° Trat.	Volumen ( $\text{m}^3$ )	Densidad seca ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
T1	0,0026	1141
T2	0,0030	1623
T3	0,0029	1038
T4	0,0034	1484

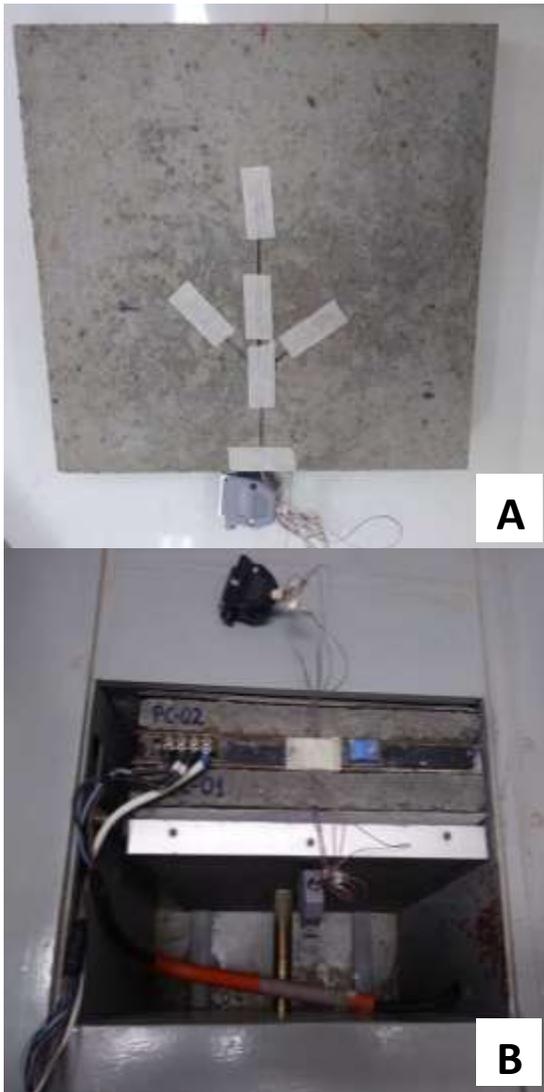


Fig. 1. A. Fijación de los sensores medición a una cara del espécimen. B. Especímenes colocados en el conductímetro.

La conductividad térmica se calculó con la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{\phi \cdot d}{A(T_1 - T_2)} \quad (4)$$

Donde:

$\lambda$ : Conductividad térmica (W/m K),  $\phi$ : potencia promedio, suministrada a la sección de medición en la unidad de calentamiento (W),  $d$ : espesor promedio de los especímenes (m),  $A$ : área de medición (m<sup>2</sup>),  $T_1$ : temperatura promedio, del lado caliente de los especímenes, kelvin (K),  $T_2$ : temperatura promedio, del lado frío de los especímenes (K).

El principio del método supone de condiciones de estado estacionario para conseguir un valor correcto. Es fundamental permitir tiempo suficiente para que el aparato y

el espécimen consigan el equilibrio térmico. En promedio, el tiempo hasta alcanzar el equilibrio en cada par de especímenes fue de tres días.

### 2.7 Micromorfología de los morteros

La adherencia del tamaño de las partículas de maderas en la matriz de cemento se estudió mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido (SEM), marca Jeol y un estereomicroscopio, marca LEICA. Para el SEM, se prepararon tres muestras de cada condición de aproximadamente 5 mm x 5 mm x 6 mm, las cuales fueron colocadas sobre portamuestras y llevadas a un Sputter con la finalidad de ser recubiertas con oro para darle la propiedad de mayor conducción y obtener imágenes con buena resolución. Las muestras usadas en el estereomicroscopio no fueron tratadas y se observaron directamente.

### 2.8 Diseño y Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial  $2^k$  con dos factores (Tabla 2). Los datos se procesaron con el programa estadístico SPSS para Windows v.21. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para encontrar las posibles diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos; proporción y tamaño de partículas de madera. Los tratamientos se hicieron por triplicados. No obstante, para el ensayo de conductividad se elaboró un par de probetas por cada condición según lo establecido en la norma.

Tabla 2. Factores considerados en el diseño experimental.

Tratamiento	Factor 1 Tamaño (largo) de Partícula (mm)	Factor 2 Proporción
T1	10-15	1:0.35
T2		1:1
T3	4-6	1:0.35
T4		1:1

## 3 Discusión y Resultados

### 3.1 Densidad

La densidad constituye uno de los parámetros primordiales que influye en las propiedades mecánicas de los materiales compuestos. En la Tabla 3 se presentan los valores promedios de la densidad de los tableros. Se observa que la proporción cemento:madera 1:0.35 con sus dos tamaños de partículas presenta densidades similares. Sin embargo, para la proporción 1:1 en sus diferentes tamaños de partículas, las densidades son diferentes y superiores a la primera condición. Los valores reportados en esta investigación son superiores a los encontrados en morteros de *Eucalyptus grandis* con densidades de 1,16 a 1,25 g/cm<sup>3</sup> (Ronquim y

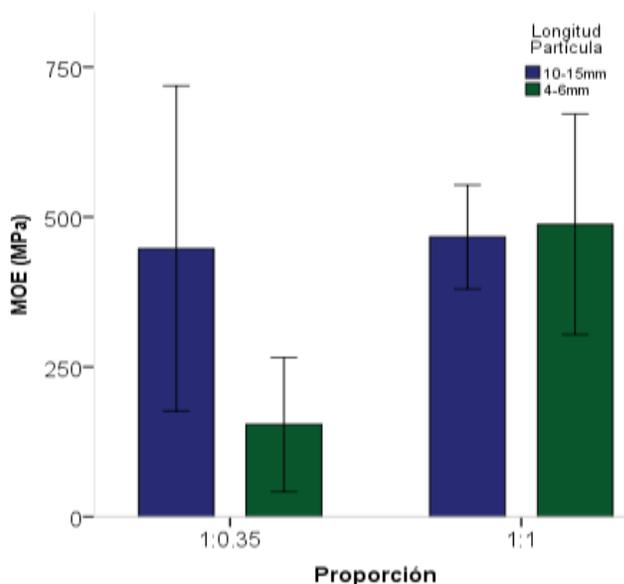
col., 2014) y con residuos de *Azelia africana*, con densidades de 1,09 a 1,32 g/cm<sup>3</sup> (Sotande y col., 2012).

**Tabla 3.** Densidad de los tableros para el ensayo de flexión.

Tratamiento	Densidad (g/m <sup>3</sup> )
T1	1,33
T2	1,43
T3	1,31
T4	1,55

### 3.2 Ensayo de Flexión

En la figura 2 se muestra los valores del módulo de elasticidad (MOE) de los tableros. Los valores promedios del MOE varían para las condiciones evaluadas. La proporción 1:1, con sus dos tamaños de partículas presentó los mayores valores de MOE. Se evidencia que a menor tamaño de partícula mayor su MOE. Además, se observa claramente que a medida que se agrega más cantidad de madera, el MOE se incrementa. Por otro lado, al evaluar las proporciones 1:0.35 se observa que las partículas de 10-15 mm de longitud reforzó considerablemente al tablero, los valores promedios del MOE lo demuestran. Sin embargo, lo contrario sucede con las partículas de menores dimensiones, las cuales al ser agregadas en menor cantidad parecen no ejercer un efecto significativo en la rigidez de los tableros.

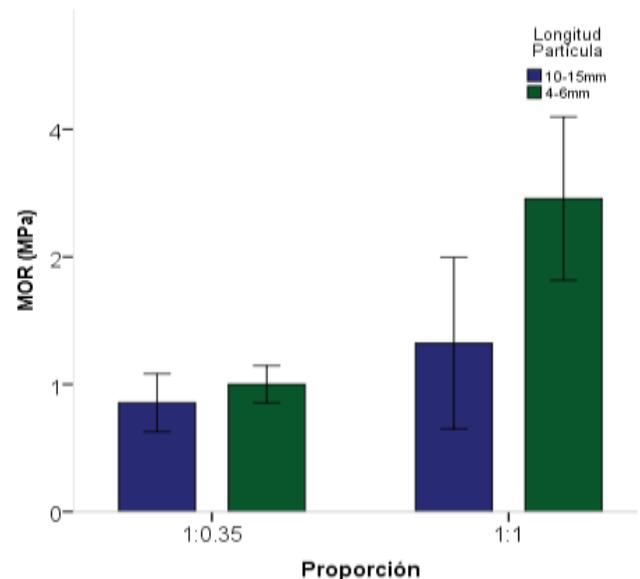


**Fig. 2.** Módulo de elasticidad en flexión para los tableros.

En el ANOVA realizado se encontró que el modelo explica una parte significativa de la variación observada en la variable MOE. Además, presentó un valor de R<sup>2</sup> de 0,84, esto significa que los efectos incluidos en el modelo están explicando el 84% de la varianza del MOE. Por otra parte, el factor proporción resultó estadísticamente significativa  $F$  ( $p=$

0,000 < 0,05), lo que indica que efectivamente la cantidad de partículas y tamaño afectan al MOE de los tableros.

En relación con la resistencia a la flexión o MOR de los tableros, la proporción 1:1 presentó los mayores valores de MOE (figura 3), teniendo el valor más alto de 2,95 MPa los tableros con partículas de 4-6 mm, mientras que el MOR de los tableros con partículas de 10-15 mm fue de 1,59 MPa. De igual forma, los tableros elaborados con menor cantidad de madera reportaron valores de MOR mucho menor 1,03 MPa y 1,20 MPa en partículas de 10-15 mm y 4-6 mm, respectivamente. Este comportamiento puede explicarse a que las partículas no tuvieron una buena adherencia con el cemento produciendo un mecanismo de falla denominado pull-out (Coutts y Kightly, 1982) y consecuente menor resistencia. También, se hace evidente que, a menor proporción de madera, menor fue la resistencia. Los valores de resistencia a la flexión están por debajo a los reportados por Wolfe y Gjinolli, 1996, los cuales varían en un rango de 7 a 20 MPa. En el ANOVA se encontró que existen diferencias estadísticamente significativa  $F$  ( $p=$  0,000 < 0,05), lo que refleja que la cantidad y tamaño de partículas afectan al MOE de los tableros.



**Fig. 3.** Resistencia a la flexión para los morteros.

### 3.3 Ensayo de Compresión

La figura 4 muestra la variación de valores de la resistencia a la compresión. Los resultados de la proporción de partículas 1:0.35 son ligeramente inferiores a los encontrados en la proporción 1:1. Por lo tanto, a mayor cantidad de partículas se mejora la resistencia de los morteros, ya que actúan como refuerzo evitando la compresión del tablero. Sin embargo, estos valores están por debajo a los encontrados en morteros hechos solo con cementos (Karade y col., 2003). Por otro lado, los valores que se indican en este estudio están en el rango de los valores reportados en una investigación con diferente tamaño de aserrín de *Eucaliptus grandis* y cemento

(Garcez y col., 2016). Los extractivos en la madera puede retardar la hidratación del cemento, haciendo que disminuya su resistencia a la compresión (Nazerian y col., 2011).

Para conocer el efecto de los factores sobre la variable respuesta, resistencia a la compresión se realizó un ANOVA, encontrándose que la proporción y el tamaño de las partículas presentan diferencias estadísticamente significativas, lo que indica que estos factores producen variabilidad en la conformación de los tableros.

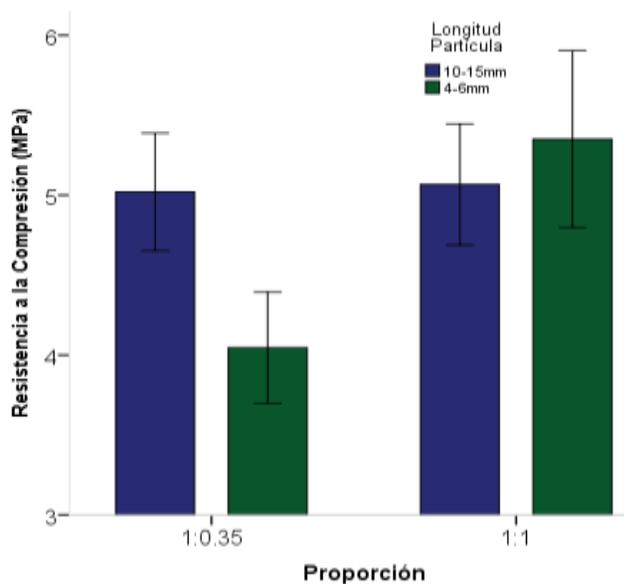


Fig. 4. Resistencia a la Compresión para los morteros.

### 3.4 Conductividad térmica

En la Tabla 4 se presenta los valores de la conductividad térmica de los tableros, siendo el T2 el que mayor valor tiene (0.688 W/mK). El valor más bajo se encontró en el T3. Se observa, que la proporción 1:0.35 tienen los menores valores de conductividad térmica. A excepción de los agregados livianos, la pasta de cemento tiene una conductividad térmica de 0.5–0.6 W/mK (Castro y col., 2019) y 0.44–0.56 W/mK (Stolz y col., 2019). Estos valores son superiores a lo encontrados en este estudio, con la excepción del tratamiento T2. No obstante, estos valores siguen estando muy por encima de los encontrados en tableros de cemento-madera de *Pinus banksiana*, el cual fue de 0.11 W/mK (Tittlein y col., 2012).

Tabla 4. Conductividad térmica de los tableros.

Trat.	Ø (W)	d (m)	A (m <sup>2</sup> )*2	T <sub>1</sub> (K)	T <sub>2</sub> (K)	λ (W/m K)
T1	3.87	0.029	0.0225	300.09	293.68	0.390
T2	4.64	0.034	0.0225	299.82	294.77	0.688
T3	3.58	0.033	0.0225	299.95	291.80	0.323
T4	3.72	0.039	0.0225	300.65	294.78	0.502

En líneas generales, los valores indican que al agregar partículas de madera a los tableros se reduce la conductividad térmica, debido a la alta porosidad de la madera.

Como se indicó anteriormente, el T2 presentó una conductividad muy alta, la cual puede deberse a la presencia de mayor contenido de humedad en los morteros durante la medición de transferencia de calor. Varios factores influyen en las propiedades térmicas de los compuestos a base de cemento: tipo y proporción de agregados; contenido de vacíos de aire; distribución del tamaño de poro y geometría; contenido de humedad, edad, relación agua:cemento, tipos de aditivos, entre otros (Kim y col., 2003, Khan 2002).

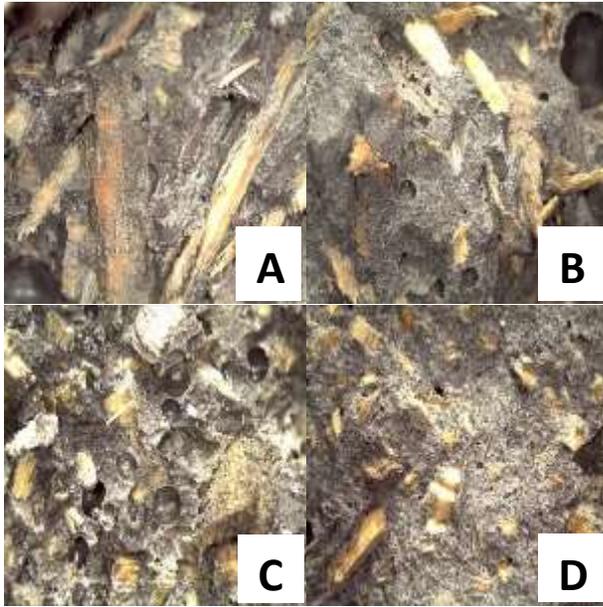
Sin embargo, la fracción de volumen agregado, grado de saturación (Kim y col., 2003) y porosidad (Khan 2002) fueron los principales factores que más afectan a la conductividad de los compuestos a base de cemento.

Respecto al contenido de aire, la conductividad térmica está en proporción inversa a la relación de porosidad, en consecuencia, está directamente relacionada con la masa específica aparente (Akutsu y col., 1988). Una baja conductividad térmica permite mejorar el aislamiento en edificaciones, la alta conductividad térmica es útil para reducir las consecuencias perjudiciales de los gradientes de temperatura en estructuras masivas (Xu y col., 2000)

### 3.5 Micromorfología de los tableros

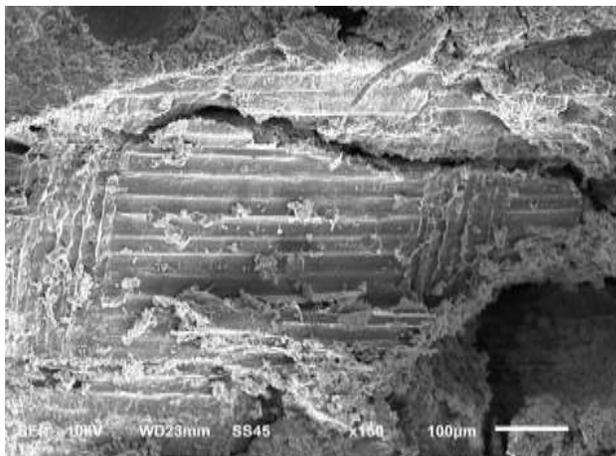
En la Figura 5 se muestran las fases de los tableros. Las partículas de madera (figura 5 A-D) se encuentran distribuidas en la matriz de cemento. No se observa ningún tipo de aglomeración de partículas. La dispersión de estas es muy regular, lo que indica que la mezcla se realizó de manera eficiente. Además, se evidencia la adhesión de las partículas de madera en el cemento. Se puede distinguir fácilmente cómo el cemento recubre a las piezas de madera. No se observa ningún tipo de fractura en la matriz.

Las imágenes SEM muestran la textura de la superficie de las astillas de madera. En el tratamiento T1, la superficie de la madera está intacta y de apariencia lisa (Figura 6). Sin embargo, lo contrario sucede con la superficie de la madera del tratamiento T3, la cual es completamente irregular (figura 7). Aunque no se realizó otros estudios, se sugiere que se generó una pequeña descomposición de algunos componentes de la madera, los cuales ayudan a explicar el comportamiento de la madera en este tipo de tableros compuestos.

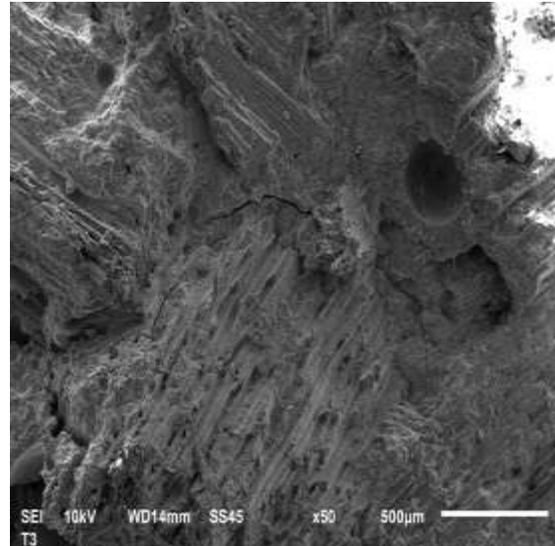


**Fig. 5.** Imágenes 10X obtenidas en el estereomicroscopio. A-D, morteros cemento-madera en diferentes proporciones y tamaño de partícula de madera.

Además, en las imágenes SEM se observó la interfaz entre matriz y madera de forma muy clara; en algunas zonas del tablero se muestra que las interfases están separadas, e incluso existen algunas grietas en las mismas, lo que contribuye a disminuir las propiedades mecánicas del tablero. Una unión fuerte entre la fibra y la matriz da como resultado un material frágil con alta resistencia; y lo contrario sucede cuando la unión es débil, se tiene un material que carece de resistencia (Coutts y col., 1984). A nivel micro, las fibras tienden a inhibir la aparición de grietas, a nivel macro, las fibras proporcionan un puente efectivo e imparten fuentes de tenacidad y ductilidad (Thanon y col., 2010).



**Fig. 6.** Imágenes SEM. Tratamiento 1, proporción 1:0.35.



**Fig. 7.** Imágenes SEM. Tratamiento 3, proporción 1:1

#### 4 Conclusiones

Los tratamientos evaluados con diferentes tamaños de partículas y proporciones de madera mostraron diferencias significativas en su densidad y propiedades mecánicas, compresión y flexión. La proporción 1:1 con el tamaño de partícula 4-6 mm resultó ser el tratamiento con el mejor resultado en resistencia a flexión y compresión. Se hace evidente que la adición de partículas de madera al compuesto cemento mejora sus propiedades. Asimismo, la baja conductividad térmica presentada en los tableros permite que sea usada como aislante térmico. Es importante resaltar que a las mezclas preparadas no se le agregaron ningún aditivo para acelerar el fraguado del cemento, ni incrementar la unión cemento-madera. Esto permite corroborar que la madera es un potencial recurso a ser incorporado en los sistemas cementicios, especialmente en aquellas estructuras que no requieren ser sometidas a grandes esfuerzos, además de ser económica y sustentable.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración y asesoramiento del Centro de Biomateriales y Nanotecnología (CBN) y el Laboratorio de Ciencias de la Construcción (LABCON) de la Universidad del Bío Bío, Chile.

#### Referencias

Ahmad H, Fan M, 2018, Interfacial properties and structural performance of resin-coated natural fibre rebars within cementitious matrices, *Cement Concrete Composites*, 87:44-52.

- Akutsu M, Sato N, 1988, Thermophysical properties of building materials and components, in Building Technology, I. de P. T. (IPT) São Paulo, Ed.
- Ashori A, Tabarsa T, Azizi K, Mirzabeygi R, 2011, Wood-wool cement board using mixture of eucalypt and poplar, Journal Industrial Crops Products, 34(1): 1146-1149.
- Castro J, Rony R, Barbieri A, Pereira F, Brigolini G, Fiorotti, R. 2019, On the relationship between morphology and thermal conductivity of cement-based composites, Cement Concrete Composites, 104: 1-12.
- Coutts R, Kightly P, 1982, Microstructure of autoclaved refined wood-fibre cement mortars, Journal Material Science, 17:1801-1806.
- Coutts R, Kightly P, 1984, Bonding in wood fiber-cement composites, Journal Materials Science, 19(10): 3355-3359.
- Ferro G, Tulliani J, Jagdale P, Restuccia L, 2014, New concepts for next generation of high-performance concretes, Procedia Material Science, 3: 1760-1766.
- Fichas Técnicas Cemento-BioBio, 2019. [Online]. Available: [http://www.especificar.cl/fichas/cementos#informacion\\_tecnica](http://www.especificar.cl/fichas/cementos#informacion_tecnica).
- Garcez M, Garcez E, Machado A, Gatto D, 2016, Cement-Wood Composites: Effects of Wood Species, Particle Treatments and Mix Proportion, International Journal of Composites Materials, 6(1): 1-8.
- Hisseine O, Omran A, Tagnit-Hamou A, 2018, Influence of Cellulose Filaments on Cement Paste and Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering. 30 (6): 1-14.
- Karade S, Irle M, Hafer K, 2003, Assessment of wood-cement compatibility: A new approach, Holzforschung, 57(6): 672-680.
- Khan M, 2002, Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models, Building and Environmental, 37(6): 607-614.
- Kim K, Jeon S, Kim J, Yang S, 2003, An experimental study on thermal conductivity of concrete, Cement and Concrete Research, 33(3):363-371.
- Mazlan D, Din M, Tokoro C, Ibrahim I, 2016, Cellulose nanocrystals addition effects on cement mortar matrix properties, International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, 3: 2394-2827.
- Nazerian M, Gozali E, Dahmardeh M, 2011, The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement paste and cement-bonded particleboard, Journal of Applied Sciences, 11(12):2186-2192.
- Normas Chilenas NCh148Of.1969, Cemento Terminología, clasificación y especificaciones generales. Especificaciones. Norma Chilena Oficial.
- Normas Chilenas NCh158Of.67, Cementos-Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento. Norma Chilena Oficial.
- Normas Chilenas NCh185Of.2008, Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas- Aparato de placa caliente." Norma Chilena Oficial.
- Onuaguluchi, Panesar D, Sain M, 2014, Properties of nanofibre reinforced cement composites, Construction and Building Materials, 63:119-124.
- Ronquim R, Ferro S, Icimoto F, Campos I, Bertolini M, Christoforo L, Rocco F, 2014, Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composite with Lignocellulosic Grading Waste Variation, International Journal of Composite Materials, 4(2): 69-72.
- Silva G, Latorraca J, Teixeira D, Júnior G, 2005, Wood and bark composite production of *Eucalyptus urophylla* and cement Portland, Scientiae Forestalis. 68: 59-67.
- Sotande O, Oluwadare A, Ogedoh O, Adeogun P, 2012 Evaluation of cement-bonded particle board produced from *Azalia Africana* wood residues, Journal of Engineering Science and Technology, 7(6): 732-743.
- Stolz J, Boluk Y, Vivek B, 2019, Wood ash as a supplementary cementing material in foams for thermal and acoustic insulation, Construction Building Materials, 215(10):104-113.
- Thanon E, Ramli M, 2010. Development of high strength flowable mortar with hybrid fiber, Construction Building Materials, 24(6): 1043-1050.
- Tittlein P, Cloutier A, Bissonnette B, 2012, Design of a low-density wood-cement particleboard for interior wall finish, Cement Concrete Composites, 34 (2): 218-222.
- Wolfe R, Gjinolli A, 1996, Cement-Bonded wood composites as an engineering material. The use of Recycled wood and paper in building applications, Proceedings No. 7286. Forest Products Society, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
- Xu Y, Chung D, 2000, Cement of high specific heat and high thermal conductivity, obtained by using silane and silica fume as admixtures, Cement Concrete Research, 30(7):1175-1178.

**Recibido:** 20 de noviembre de 2020

**Aceptado:** 05 de febrero de 2021

**Erazo, Oswaldo:** Ingeniero Forestal, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela (2007). Maestría en Tecnología de Productos Forestales, Universidad de Los Andes (2013). Es candidato a Doctor en Ingeniería de Materiales, Universidad del Bío Bío, Chile. Es Docente de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Correo electrónico: [erazooswaldo@ula.ve](mailto:erazooswaldo@ula.ve)

**Moreno, Pablo:** Ingeniero Forestal Universidad de Los Andes Venezuela (1994). Maestría en Tecnología de Productos Forestales, Universidad de Los Andes (2001). Doctor en Ciencias e Industria de la Madera, Universidad del Bío-Bío (2013). Es investigador de la Facultad de Ingeniería, Carrera Ingeniería Civil en Maderas, Universidad del Bío-Bío, Chile.