

Maderas-Cienc Tecnol 22(2):2020  
Ahead of Print: Accepted Authors Version

DOI:10.4067/S0718-221X2020005XXXXXX

1  
2 **INCIDENCIA DE LA IMPREGNACIÓN DE MADERA CON ALCOHOL**  
3 **POLIVINILICO Y POLIETILENGLICOL EN ALGUNAS**  
4 **PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE PINO OOCARPA**

5  
6 INCIDENCE OF THE IMPREGNATION OF WOOD WITH POLY VINYL  
7 ALCOHOL AND POLYETHYLENE GLYCOL ON SOME PHYSICAL AND  
8 MECHANICAL PROPERTIES OF OOCARPA PINE

9  
10 **Jhon F. Herrera-Builes<sup>1\*</sup>, Rubén A. Ananías<sup>2</sup>, Jairo A. Osorio<sup>1</sup>**

11 <sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín, Colombia.

12 <sup>2</sup>Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Maderas,  
13 Concepción, Chile.

14 \*Autor para correspondencia: [jferrer@unal.edu.co](mailto:jferrer@unal.edu.co)

15 **Recibido:** Abril 23, 2019

16 **Aceptado:** Febrero 18, 2020

17 **Posted online:** Febrero 19, 2020

18 **RESUMEN**

19 La presente investigación se desarrolló con la madera *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. Var.  
20 *Ochoterenai* de plantación forestal de Colombia, la cual presenta inconvenientes importantes  
21 que limitan su uso, debido a su poca estabilidad dimensional y resistencia mecánica. Los  
22 tratamientos con impregnación de polímeros pueden reducir las deformaciones, y mejorar las  
23 propiedades físicas y mecánicas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la  
24 impregnación de polietilenglicol con peso molecular 600 y 1500, alcohol polivinílico y  
25 adición de zeolita, sobre la densidad, estabilidad dimensional, flexión estática y compresión  
26 paralela al grano. Las muestras se impregnaron con baño caliente a 95 °C, durante 8 horas, y  
27 luego impregnados a temperatura ambiente, por 16 horas. La evaluación de la madera se  
28 llevó a cabo bajo las Normas Técnicas Colombianas NTC 290, 663, 784 y otros estándares de  
29 la literatura. Los mejores resultados se obtuvieron con la impregnación de polietilenglicol  
30 1500; la densidad aumentó entre el 21 % y 24 %; la eficiencia anti-hinchazón fue de 60 %; en  
31 flexión estática aumentó el módulo ruptura 20 %, el módulo de elasticidad 39 % en  
32 compresión paralela al grano aumentó 8 %. La madera cambia de categoría a madera  
33 estructural, mejorando sus propiedades físicas y mecánicas. El tratamiento con  
34 polietilenglicol 600 proporcionó una menor eficacia anti-hinchazón (14 %), y menor mejora  
35 en densidad (8 %) y en las propiedades mecánicas (1 % a 7 %).

36  
37 **Palabras claves:** Densidad, eficiencia anti-hinchazón, flexión estática, módulo de elasticidad,  
38 *Pinus oocarpa*, polímeros, tratamiento químico de madera.

43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88

### ABSTRACT

This research was performed with *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. Var. *Ochoterenai* of Forest Plantation of Colombia, which presents some important troubles that limiting its use, due to its low dimensional stability and mechanical resistance. Polymer impregnation treatments could reduce deformation and improve physical and mechanical properties of the wood. The aim of this research was evaluated the effect of polyethylene glycol impregnation with molecular weight 600 and 1500, polyvinyl alcohol and zeolite addition, on density, dimensional stability, static flexion and compression parallel to Grain. The samples were impregnated in hot bath at 95 °C for 8 hours, and then impregnated at room temperature for 16 hours. The assessment of the wood was carried out under the Colombian Technical Standards NTC 290, 663, 784 and other standards. The best results were obtained with the impregnation of polyethylene glycol 1500 where the density increased between 21 % and 24 %; the anti-swelling efficiency was 60 %; in static flexion the modulus rupture increased 20 %, modulus of elasticity 39 % and compression parallel to grain increased 8 %. Wood changed to the structural lumber category, improving in its mechanical and physical properties. Treatment with polyethylene glycol 600 provided lower anti-swelling efficiency (14%), and lower improvement in density (8%), and in mechanical properties (1% to 7%).

**Keywords:** Anti-swelling efficiency, density, modulus of elasticity, *Pinus oocarpa*, polymers, static flexion, wood chemical treatments.

89  
90

## INTRODUCCIÓN

91 La madera de pino ocarpa que se investigó es de origen de plantación, se desarrolla en pisos  
92 térmicos templado y frío, con disponibilidad de 24000 hectáreas (Lamprecht 1990; Cipreses  
93 de Colombia 2017); debido a la disminución de la riqueza forestal, las plantaciones de  
94 especies de rápido crecimiento se han convertido en recursos forestales madereros  
95 importantes para la industria. Pero, por su inestabilidad dimensional, sus bajas propiedades  
96 mecánicas y poca resistencia a la descomposición frente agentes biológicos, limitan su  
97 utilización con fines estructurales (González y Honorato 2005; Unsal 2011; Mattos *et al.*  
98 2015; Li *et al.* 2015; Dong *et al.* 2016).

99 Un tratamiento alternativo a los métodos de modificación química de la madera es la  
100 impregnación de polímeros, los cuales pueden reducir los fenómenos de la contracción e  
101 hinchazón de la madera y mejorar las propiedades físicas y mecánicas (Rowell 2006; Giridhar  
102 *et al.* 2017; Berube *et al.* 2017; Behr *et al.* 2017; Xiao *et al.* 2018; Gardner y Bozo 2018;  
103 Yang *et al.* 2018; Yu *et al.* 2018).

104 Uno de los tratamientos es la impregnación de productos para el engrosamiento de la pared  
105 celular, donde los productos químicos son depositados dentro de la misma; se utilizan  
106 diferentes productos químicos, sales de sodio, bario y magnesio, azúcares, resinas sintéticas, y  
107 la alternativa de gran relevancia como es el polietilenglicol (PEG) material de origen sintético  
108 con características principales la biocompatibilidad, solubilidad en agua, no tóxico y bajo  
109 costo, el cual penetra en las paredes y lúmenes de la madera (Cooper *et al.* 1991; Lutz y Hoth  
110 2006; Bardet *et al.* 2006; Kocabaş 2014; Kang *et al.* 2017).

111 Y el otro es la adición de monómeros, polímeros u oligoelementos como el caso del alcohol  
112 polivinílico (PVA), para el relleno de cavidades de células grandes de la madera que pueden

113 condensarse y reticularse; para de esta manera modificar las propiedades de la madera y  
114 disminuir la contracción total o parcialmente (Krause *et al.* 2003; Hill 2006; Rowell 2006;  
115 Chiozza *et al.* 2018). Son varios los estudios con diferentes especies que han corroborado los  
116 aumentos de la estabilidad dimensional en la madera, mediante la impregnación de mezclas  
117 de agente hinchante de la pared celular de PEG 600 y PEG 1000 (Paz y Sanabria 2000;  
118 Jeremic *et al.* 2007; Bjurhager *et al.* 2010; Meints *et al.* 2018; Ermeydan 2018). El  
119 tratamiento con la impregnación de PVA como agente de reticulación en la red porosa de la  
120 madera y polimerización en su estructura, causa un aumento en las propiedades mecánicas de  
121 flexión estática y compresión paralela al grano (Devi *et al.* 2003; Yildiz *et al.* 2005; Cai *et al.*  
122 2007; Li *et al.* 2010; Holloway *et al.* 2010; Zheng *et al.* 2014; Tan *et al.* 2015; Sun *et al.*  
123 2016; Kwak *et al.* 2018; Ma *et al.* 2018; Solikhin *et al.* 2018; Gadhav *et al.* 2019), y una  
124 mejoría en la estabilidad dimensional (Alma *et al.* 1996; Sun *et al.* 2016; Olaniran *et al.*  
125 2019).

126 El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de algunas propiedades físicas  
127 (densidad seca la aire, densidad básica y eficiencia anti-hinchazón) y propiedades mecánicas  
128 (resistencia a la compresión paralela al grano, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad  
129 en la flexión) de la madera *Pinus oocarpa* después del tratamiento de impregnación con  
130 mezclas de PVA y PEG. Se espera que esta investigación contribuyan al conocimiento de  
131 maderas de rápido crecimiento de origen de plantaciones forestales, para ser utilizadas como  
132 alternativas en materia prima estructural, y con ello hacer un aporte significativo al  
133 crecimiento del sector forestal de Colombia.

134

135

136

137

## MATERIALES Y METODOS

### 138 **Muestras de madera**

139 La madera *Pinus oocarpa* que se investigó fue proporcionada por la Empresa de Cipreses de  
140 Colombia S.A., proviene de las plantaciones del núcleo ubicado en el municipio de Yolombó  
141 (Antioquia, república de Colombia) finca La Carolina, lote Las Nubes y rodal R2  
142 (coordenadas X=891818, Y=1227491). Se recolectaron treinta (30) árboles de 25 años de  
143 edad, con fuste útil de diámetro de 45 cm, de los cuales se tomaron las dos primeras trozas de  
144 250 cm de largo, se cortó de cada troza un tablón central de 10 cm de espesor de madera de  
145 duramen; luego de cada tablón se cortaron listones de 6,0 cm x 6,0 cm x 250 cm eliminando  
146 la médula, de los cuales se obtuvieron las probetas necesarias para cada uno de los ensayos.

147 Para las propiedades físicas de densidad seca al aire y densidad básica y de estabilidad  
148 dimensional se utilizaron 500 muestras de 3,0 cm x 3,0 cm x 10 cm. Para las pruebas de  
149 propiedades mecánicas se dispuso de 500 muestras de 2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm para los  
150 ensayos de flexión estática; y para el ensayo de compresión paralela otras 500 muestras de 5  
151 cm x 5 cm x 20 cm. Se trató de que las muestras para estos ensayos estuvieran libres de  
152 nudos y defectos, con los anillos de crecimiento bien direccionados, enmarcando de forma  
153 clara las orientaciones radiales y tangenciales de la muestra.

### 154 **Tratamiento de la madera**

155 Para el tratamiento de la madera se utilizó alcohol polivinílico (PVA)  $(\text{CH}_2\text{CHOH})_n$  );  
156 polietilenglicol (PEG)  $(\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H})$  de dos pesos moleculares PEG 600 y PEG 1500,  
157 proporcionados por la empresa Bell Chem Internacional SA (Medellín, Colombia); y zeolita  
158 proporcionado por la empresa Zeocol (Armenia, Colombia). La madera se sometió a  
159 diferentes tratamientos alternativos de impregnación con los agentes alcohol polivinílico  
160 (PVA) y polietilenglicol PEG de pesos moleculares 600 y 1500, los cuales se disolvieron en

161 agua a concentraciones de 20 % y 40 % (p/v), así como la adición en algunos tratamientos de  
162 zeolita (mineral rico en sílice) al 3 % y al 7 %. Para comparación de los efectos de los  
163 tratamientos aplicados, se mantuvieron muestras sin tratar (control). En la Tabla 1 se  
164 presentan los grupos de tratamientos alternativos de impregnación. La madera se sumergió en  
165 agua a una temperatura de 95 °C, en un tanque metálico de laboratorio, con dimensiones de  
166 60 cm x 60 cm x 60 cm, equipado con resistencia eléctrica y medidor de temperatura durante  
167 8 horas, y luego se pasó rápidamente a otro tanque que contenía la mezcla impregnante a  
168 temperatura ambiente, y se dejó sumergido por 16 horas. Después de la impregnación las  
169 muestras se secaron al aire libre hasta 12 % de contenido de humedad.

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184  
 185

**Tabla 1:** Grupos de tratamientos alternativos de impregnación de la madera de la especie forestal *Pinus oocarpa*.

Grupos	PEG		PVA	Zeolita	Número de probetas ensayadas
	Peso molecular	(%)	(%)	(%)	
Control	0	0	0	0	60
Tratamiento 1	600	20	20	0	60
Tratamiento 2	600	20	40	0	60
Tratamiento 3	600	40	20	0	60
Tratamiento 4	600	40	40	0	60
Tratamiento 5	1500	20	20	0	60
Tratamiento 6	1500	20	40	0	60
Tratamiento 7	1500	40	20	0	60
Tratamiento 8	1500	40	40	0	60
Tratamiento 9	600	20	20	3	60
Tratamiento 10	600	20	40	3	60
Tratamiento 11	600	40	20	3	60
Tratamiento 12	600	40	40	3	60
Tratamiento 13	600	20	20	7	60
Tratamiento 14	600	20	40	7	60
Tratamiento 15	600	40	20	7	60
Tratamiento 16	600	40	40	7	60
Tratamiento 17	1500	20	20	3	60
Tratamiento 18	1500	20	40	3	60
Tratamiento 19	1500	40	20	3	60
Tratamiento 20	1500	40	40	3	60
Tratamiento 21	1500	20	20	7	60
Tratamiento 22	1500	20	40	7	60
Tratamiento 23	1500	40	20	7	60
Tratamiento 24	1500	40	40	7	60

186

187 **Propiedades físicas**

188 La madera *Pinus oocarpa* tratada con los métodos alternativos a la modificación química,  
189 mediante la impregnación de polímeros como el grupo control, fue sometida a los ensayos de  
190 densidad siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana NTC 290 (NTC 2006).  
191 La estabilidad dimensional, se realizó siguiendo los lineamientos del ensayo de Rowell y  
192 Youngs (1981); en un ciclo completo el cual consistió en pasar la madera de estado seco a  
193 húmedo y luego húmedo a seco y sucesivamente hasta completar 3 ciclos. El secado se llevó a  
194 cabo en horno a  $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta peso constante, el ciclo de húmedo se realizó mediante  
195 remojo de las probetas durante 24 horas, midiendo el cambio de dimensiones de las muestras;  
196 se estimó el coeficiente de hinchamiento volumétrico (S) y la eficiencia anti-hinchazón (ASE,  
197 *antiswell efficiency*) se consideró luego de los tres ciclos como una medida de la estabilidad  
198 dimensional de la madera. Para calcular ASE se utilizaron las siguientes ecuaciones 1 y 2:

199 
$$S \% = 100(V_2 - V_1)/V_1 \quad (1)$$

200 Donde,  $V_2$  es el volumen de las probetas saturadas y  $V_1$  volumen de las probetas secas al  
201 horno.

202 
$$ASE \% = 100(S_s - S_m)/S_s \quad (2)$$

203 Donde,  $S_s$  es el coeficiente S promedio de las probetas sin modificar y  $S_m$  coeficiente  
204 promedio de las probetas modificadas.

205 **Propiedades mecánicas**

206 La madera *Pinus oocarpa*, tratada con los métodos alternativos como el grupo control, se  
207 sometió a pruebas a flexión estática siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica  
208 Colombiana NTC 663 (NTC 2006), y la compresión paralela al grano bajo la Norma Técnica  
209 Colombiana NTC 784 (NTC 2006). La determinación de las propiedades mecánicas se  
210 realizó en las instalaciones del Laboratorio de Productos Forestales, de la Universidad

211 Nacional de Colombia sede Medellín, en una máquina universal Tinius Olsen (Willow Grove  
212 Pensilvania, USA) con capacidad de 15 toneladas, accesorios para cada ensayo y la madera en  
213 condición seca al aire (contenido de humedad cercano al 12 %).

#### 214 **Análisis estadístico**

215 Se realizó un diseño experimental completamente al azar, con veinticinco (25) tratamientos y  
216 veinte (20) repeticiones por tratamiento. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) para cada  
217 variable. Finalmente, se utilizaron pruebas de comparación de rangos múltiples para  
218 determinar cuáles medias eran significativamente diferentes de otras. La información se  
219 procesó teniendo como base la metodología descrita por Gómez (1989).

220

## 221 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 222 **Propiedades físicas**

#### 223 **Densidad de la madera**

224 En la Tabla 2 se observa un resumen de las densidades obtenidas en la madera *Pinus oocarpa*,  
225 tratada con los métodos alternativos, como grupo control.

226 Los mayores aumentos de densidad (seca la aire y básica), se presentaron con la aplicación de  
227 los tratamientos con mezclas de los agentes impregnantes de polietilenglicol (PEG) con peso  
228 molecular de 1500 y alcohol polivinílico (PVA) para las concentraciones de 20 % y 40 %, y  
229 con la adición de zeolita (7%); sin presentar diferencias significativas entre ellos. El valor más  
230 alto de mejora de densidad seca al aire fue de 24 % y para la densidad básica de 15 %. Estos  
231 resultados están en concordancia con los aumentos de densidad en otras maderas impregnadas  
232 con polímeros (Alma *et al.* 1996; Ohmae *et al.* 2002; Bjurhager *et al.* 2010). El aumento de  
233 la densidad de la madera *Pinus oocarpa*, se debe al reemplazo del agua por parte de los  
234 polímeros en las paredes celulares y en los lúmenes.

235 **Tabla 2:** Densidades obtenidas en la madera de la especie forestal *Pinus oocarpa*, tratada con  
 236 los métodos alternativos.

Condiciones	Densidad seca al aire (kg·m <sup>-3</sup> )	Densidad básica (kg·m <sup>-3</sup> )
Control sin tratamiento	630,47 ± 57,67 <b>a</b>	521,30 ± 47,93 <b>a</b>
Tratamiento 1	689,54 ± 35,30 <b>b</b>	559,91 ± 20,21 <b>abcd</b>
Tratamiento 2	688,76 ± 21,84 <b>b</b>	563,37 ± 6,33 <b>bcd</b>
Tratamiento 3	684,36 ± 33,10 <b>b</b>	561,65 ± 19,49 <b>bcd</b>
Tratamiento 4	687,74 ± 25,26 <b>b</b>	562,15 ± 21,02 <b>bcd</b>
Tratamiento 5	687,16 ± 5,28 <b>b</b>	562,98 ± 10,56 <b>bcd</b>
Tratamiento 6	691,15 ± 5,58 <b>b</b>	575,14 ± 14,79 <b>bcd</b>
Tratamiento 7	703,76 ± 7,08 <b>b</b>	580,41 ± 10,45 <b>bcd</b>
Tratamiento 8	709,85 ± 5,19 <b>b</b>	583,01 ± 9,47 <b>bcd</b>
Tratamiento 9	689,91 ± 3,44 <b>b</b>	559,08 ± 15,64 <b>abcd</b>
Tratamiento 10	689,28 ± 31,54 <b>b</b>	560,67 ± 8,34 <b>bcd</b>
Tratamiento 11	687,02 ± 4,25 <b>b</b>	561,47 ± 18,43 <b>bcd</b>
Tratamiento 12	687,92 ± 25,20 <b>b</b>	560,59 ± 4,58 <b>bcd</b>
Tratamiento 13	684,11 ± 7,38 <b>b</b>	557,66 ± 4,65 <b>abc</b>
Tratamiento 14	685,75 ± 5,53 <b>b</b>	556,11 ± 3,76 <b>ab</b>
Tratamiento 15	685,52 ± 1,66 <b>b</b>	556,63 ± 3,89 <b>ab</b>
Tratamiento 16	686,92 ± 2,68 <b>b</b>	556,81 ± 3,77 <b>ab</b>
Tratamiento 17	763,57 ± 12,36 <b>c</b>	597,45 ± 14,71 <b>ef</b>
Tratamiento 18	762,64 ± 12,07 <b>c</b>	596,99 ± 14,51 <b>ef</b>
Tratamiento 19	763,34 ± 11,92 <b>c</b>	597,85 ± 13,80 <b>ef</b>
Tratamiento 20	762,86 ± 9,25 <b>c</b>	596,37 ± 13,15 <b>ef</b>
Tratamiento 21	765,98 ± 2,95 <b>c</b>	597,31 ± 11,16 <b>ef</b>
Tratamiento 22	766,13 ± 8,21 <b>c</b>	597,43 ± 10,09 <b>ef</b>
Tratamiento 23	766,43 ± 8,32 <b>c</b>	598,78 ± 9,87 <b>ef</b>
Tratamiento 24	766,63 ± 8,29 <b>c</b>	601,69 ± 16,43 <b>f</b>
En el cuerpo de la tabla se muestran los valores promedio ± Intervalo de confianza al 95% de veinte probetas por tratamiento. Las letras iguales en las columnas indican la no diferencia significativas entre tratamientos, de acuerdo a la prueba de Rangos Múltiples de Tukey (P ≤ 0,05)		

237

238

239 **Estabilidad dimensional**

240 En la Tabla 3 se presentan los valores promedio de eficiencia anti-hinchazón (ASE) obtenidos

241 en la madera *Pinus oocarpa*, tratada con los métodos alternativos.

242 Los mayores valores se obtuvieron con los tratamientos de impregnación de PEG con peso  
243 molecular de 1500, tanto para las concentraciones de 20 % y 40 %, y PVA para  
244 concentraciones de 20 % y 40 %, y con la adición de zeolita en las concentraciones de 3 % y  
245 7 %. La eficiencia anti-hinchazón ASE radial fue del 56 % al 59 %; sin presentar diferencias  
246 significativas entre ellos, pero sí con los demás tratamientos. En relación con las mayores  
247 eficiencias anti-hinchazón ASE tangencial, se lograron con los tratamientos de impregnación  
248 de PEG con peso molecular de 1500 al 40 % de concentración, y con PVA tanto para las  
249 concentraciones de 20 % y 40 %, y adición de zeolita al 7 % de concentración; no  
250 presentando diferencia significativa entre ellos, pero con diferencia significativa con los  
251 demás tratamientos. Los anteriores resultados son iguales a los obtenidos para otras maderas  
252 (Alma *et al.* 1996; Paz y Sanabria 2000; Ohmae *et al.* 2002; Sun *et al.* 2016; Meints *et al.*  
253 2018). Estas mejoras se deben atribuir principalmente a los efectos de los polímeros en la  
254 reticulación y aumento del engrosamiento de la pared celular, por lo que se reducen las  
255 tensiones intercelulares y se obtienen menos contracciones y dilataciones en la madera.

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266  
 267

**Tabla 3:** Eficiencia anti-hinchazón (ASE) obtenidas en la madera de la especie forestal *Pinus oocarpa*, tratada con los métodos alternativos.

Condiciones	ASE Radial (%)	ASE Tangencial (%)
Control sin tratamiento	-----	-----
Tratamiento 1	24,88 ± 2,06 <b>a</b>	8,51 ± 0,84 <b>a</b>
Tratamiento 2	25,78 ± 1,15 <b>ab</b>	9,99 ± 1,57 <b>abc</b>
Tratamiento 3	25,98 ± 1,81 <b>ab</b>	10,64 ± 1,19 <b>abc</b>
Tratamiento 4	25,68 ± 3,28 <b>ab</b>	9,29 ± 0,97 <b>ab</b>
Tratamiento 5	30,41 ± 2,38 <b>cd</b>	9,92 ± 0,78 <b>abc</b>
Tratamiento 6	29,05 ± 1,64 <b>bc</b>	10,95 ± 2,52 <b>bc</b>
Tratamiento 7	29,80 ± 2,29 <b>c</b>	10,89 ± 1,28 <b>bc</b>
Tratamiento 8	29,07 ± 0,74 <b>bc</b>	11,80 ± 0,62 <b>c</b>
Tratamiento 9	34,67 ± 1,60 <b>ef</b>	9,87 ± 0,60 <b>abc</b>
Tratamiento 10	34,78 ± 1,64 <b>ef</b>	8,99 ± 0,78 <b>ab</b>
Tratamiento 11	34,00 ± 2,27 <b>de</b>	9,55 ± 0,65 <b>abc</b>
Tratamiento 12	34,56 ± 1,90 <b>ef</b>	10,40 ± 0,65 <b>abc</b>
Tratamiento 13	34,77 ± 1,65 <b>ef</b>	11,35 ± 0,66 <b>bc</b>
Tratamiento 14	35,00 ± 0,94 <b>ef</b>	11,33 ± 0,58 <b>bc</b>
Tratamiento 15	36,40 ± 0,87 <b>ef</b>	14,42 ± 0,48 <b>d</b>
Tratamiento 16	38,21 ± 0,23 <b>f</b>	11,63 ± 0,44 <b>c</b>
Tratamiento 17	55,55 ± 0,19 <b>g</b>	46,23 ± 0,31 <b>e</b>
Tratamiento 18	56,81 ± 0,03 <b>g</b>	46,01 ± 0,10 <b>e</b>
Tratamiento 19	57,72 ± 0,15 <b>g</b>	46,49 ± 0,06 <b>e</b>
Tratamiento 20	57,15 ± 0,22 <b>g</b>	46,15 ± 0,08 <b>e</b>
Tratamiento 21	57,62 ± 0,11 <b>g</b>	49,56 ± 0,40 <b>f</b>
Tratamiento 22	58,00 ± 0,08 <b>g</b>	51,62 ± 0,11 <b>f</b>
Tratamiento 23	58,07 ± 0,21 <b>g</b>	59,88 ± 0,16 <b>g</b>
Tratamiento 24	58,81 ± 0,20 <b>g</b>	60,73 ± 0,14 <b>g</b>

En el cuerpo de la tabla se muestran los valores promedio ± Intervalo de confianza al 95% de veinte probetas por tratamiento. Las letras iguales en las columnas indican la no diferencia significativas entre tratamientos, de acuerdo a la prueba de Rangos Múltiples de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

268

269 **Propiedades mecánicas**

270 Los resultados obtenidos en los ensayos de flexión estática y compresión paralela al grano en  
 271 la madera *Pinus oocarpa*, tratada con los métodos alternativos, se presentan en la Tabla 4.

272 El aumento máximo en el módulo ruptura de flexión estática del 20 %, se presentó después de  
 273 la impregnación de PEG con peso molecular de 1500 y PVA al 40 % de concentración y

274 adición de zeolita al 7 % de concentración, lo cual es debido a la mejora de la densidad que se  
275 produce con este tratamiento; presentando diferencia significativa con los demás tratamientos.  
276 Para el módulo de elasticidad de flexión estática se presentan los mayores aumentos del 31 %,  
277 y para compresión paralela al grano los mayores aumentos fueron del 7 % y 8 %; los cuales se  
278 obtuvieron mediante la aplicación de los tratamientos de impregnación de polietilenglicol  
279 (PEG) con peso molecular de 1500 y con alcohol polivinílico (PVA) tanto para las  
280 concentraciones de 20 % y 40 %, y con la adición de zeolita en las concentraciones de 3 % y  
281 7 %; sin diferencias significativas, pero sí con los demás tratamientos.

282 En relación con estos resultados obtenidos en el módulo ruptura de flexión estática, exceden a  
283 los valores reportados para otras maderas blandas (Yildiz *et al.* 2005; Cai *et al.* 2007;  
284 Holloway *et al.* 2010; Luo *et al.* 2013; Sun *et al.* 2016). En relación a los resultados del  
285 módulo de elasticidad de flexión estática son mayores a los informados para otras maderas  
286 blandas (Yildiz *et al.* 2005; Cai *et al.* 2007; Holloway *et al.* 2010; Luo *et al.* 2013; Olaniran *et*  
287 *al.* 2019). Los resultados obtenidos de la mejora en compresión paralela al grano, fueron  
288 iguales a las encontradas del 7 % y 8 % para otras maderas blandas (Yildiz *et al.* 2005; Luo *et*  
289 *al.* 2013; Sun *et al.* 2016). El aumento de las propiedades mecánicas, se debe principalmete al  
290 hecho de la reticulación de los polímeros dentro de las paredes celulares de la madera, con  
291 interacción intermolecular con la lignina.

292

293

294

295

296

297 **Tabla 4:** Flexión estática y compresión paralela al grano obtenidas en la madera de la especie  
 298 forestal *Pinus oocarpa*, tratada con los métodos alternativos.

Condiciones	Flexión estática		Compresión paralela
	Módulo ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Módulo ruptura (MPa)
Control sin tratamiento	83,88 ± 9,17 a	11,37 ± 1,63 a	31,65 ± 3,25 a
Tratamiento 1	86,16 ± 1,37 a	12,24 ± 1,28 a	32,18 ± 0,36 ab
Tratamiento 2	85,72 ± 1,70 a	12,09 ± 1,38 a	32,06 ± 0,25 a
Tratamiento 3	85,32 ± 1,14 a	11,91 ± 0,53 a	31,92 ± 0,19 a
Tratamiento 4	85,40 ± 0,81 a	11,97 ± 1,29 a	32,00 ± 0,13 a
Tratamiento 5	86,89 ± 2,28 a	13,20 ± 1,56 b	32,36 ± 0,29 ab
Tratamiento 6	87,06 ± 2,36 a	13,38 ± 1,41 b	32,93 ± 0,13 c
Tratamiento 7	87,38 ± 2,53 a	14,07 ± 1,49 b	33,14 ± 0,14 c
Tratamiento 8	87,61 ± 0,70 a	13,65 ± 0,94 b	33,15 ± 0,10 c
Tratamiento 9	86,20 ± 0,94 a	12,08 ± 0,82 a	31,84 ± 0,24 a
Tratamiento 10	85,54 ± 1,19 a	11,85 ± 0,77 a	31,85 ± 0,19 a
Tratamiento 11	85,40 ± 1,26 a	11,94 ± 0,63 a	31,85 ± 0,21 a
Tratamiento 12	85,44 ± 0,65 a	11,87 ± 0,87 a	31,87 ± 0,20 a
Tratamiento 13	85,38 ± 1,20 a	11,86 ± 0,78 a	31,86 ± 0,22 a
Tratamiento 14	85,28 ± 0,86 a	11,83 ± 1,01 a	31,83 ± 0,21 a
Tratamiento 15	85,30 ± 0,71 a	11,81 ± 0,68 a	31,79 ± 0,25 a
Tratamiento 16	85,41 ± 0,55 a	11,83 ± 0,37 a	31,83 ± 0,10 a
Tratamiento 17	88,46 ± 0,41 a	14,89 ± 2,00 c	33,95 ± 0,14 d
Tratamiento 18	88,39 ± 0,37 a	14,81 ± 1,40 c	33,82 ± 0,33 d
Tratamiento 19	88,39 ± 0,38 a	14,83 ± 1,37 c	33,98 ± 0,26 d
Tratamiento 20	88,42 ± 0,38 a	14,85 ± 1,35 c	33,88 ± 0,16 d
Tratamiento 21	95,07 ± 1,76 b	14,86 ± 1,17 c	34,09 ± 0,15 d
Tratamiento 22	95,82 ± 0,77 b	14,91 ± 1,41 c	34,03 ± 0,27 d
Tratamiento 23	96,44 ± 0,62 bc	14,90 ± 1,14 c	34,11 ± 0,11 d
Tratamiento 24	100,43 ± 0,81 c	14,88 ± 1,15 c	34,21 ± 0,13 d

En el cuerpo de la tabla se muestran los valores promedio ± Intervalo de confianza al 95% de veinte probetas por tratamiento. Las letras iguales en las columnas indican la no diferencia significativas entre tratamientos, de acuerdo a la prueba de Rangos Múltiples de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

299

300

### CONCLUSIONES

301 La madera plantada *Pinus oocarpa* se sometió a diferentes tratamientos de impregnación de

302 mezclas de PVA y PEG y se evaluó el efecto en algunas propiedades físicas y mecánicas. De

303 acuerdo con la estabilidad dimensional mejorada, el aumento de las densidades seca al aire y

304 básica, así como los aumentos de las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión

305 paralela al grano, resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad en la flexión, la madera  
306 *Pinus oocarpa* se puede utilizar como alternativa a las maderas convencionales para diversas  
307 aplicaciones en las que no tenía uso anteriormente, después de los tratamientos de  
308 impregnación de PVA y PEG. Por lo tanto, la impregnación con polímeros proporciona un  
309 método alternativo a la modificación química, ofreciendo una nueva generación de materia  
310 prima de madera de alto valor agregado, con mayor estabilidad dimensional y mejores  
311 propiedades físicas y mecánicas, sin utilizar productos químicos contaminantes y sin riesgos a  
312 la salud humana y animal.

313

314

#### AGRADECIMIENTOS

315 A la Empresa de Cipreses de Colombia S.A. por la donación del material vegetal, al  
316 Laboratorio de Productos Forestales “Héctor Anaya López” de la Universidad Nacional de  
317 Colombia Sede Medellín, y a su personal por su apoyo y colaboración.

318

319

#### REFERENCIAS

320 **Alma, M.; Hafi, Z.; Maldas, D. 1996.** Dimensional stability of several wood species  
321 treated with vinyl monomers and polyethylene glycol-1000. *Int J Polym Mater* 32(1-4): 93–  
322 99. <https://doi.org/10.1080/00914039608029385>

323 **Bardet, M.; Gerbaud, G.; Tran, Q.; Hediger, S. 2006.** Study of interactions between  
324 polyethylene glycol and archaeological wood components by C-13 high-resolution solid-state  
325 CPMAS NMR. *J Archaeol Sci* 34(10): 1670–1676. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.12.005>

326 **Behr, G.; Bollmus, S.; Gellerich, A.; Militz, H. 2017.** Improvement of mechanical  
327 properties of thermally modified hardwood through melamine treatment. *Wood Mater Sci Eng*  
328 13(5): 262–270. <https://doi.org/10.1080/17480272.2017.1313313>

329 **Berube, M.; Schorr, D.; Ball, R.; Landry, V.; Blanchet, P. 2017.** Determination of In  
330 Situ Esterification Parameters of Citric Acid-Glycerol Based Polymers for Wood  
331 Impregnation. *J Polym Environ* 26(3): 970–979. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1011-8>

332 **Bjurhager, I.; Ljungdahl, J.; Wallstrom, L.; Gamstedt, E.; Berglund, L. 2010.**  
333 Towards improved understanding of PEG impregnated waterlogged archaeological wood: A  
334 model study on recent oak. *Holzforschung* 64(2): 243–250.  
335 <https://doi.org/10.1515/hf.2010.024>

336 **Cai, X.; Riedl, B.; Zhang, S.Y.; Wan, H. 2007.** Formation and properties of  
337 nanocomposites made up from solidified wood, melamine-urea-formaldehyde, and clay.  
338 *Holzforschung* 61(2): 148–154. <https://doi.org/10.1515/HF.2007.027>

339 **Chiozza, F.; Santoni, I.; Pizzo, B. 2018.** Discoloration of poly(vinyl acetate) (PVAc)  
340 gluelines in wood assemblies. *Polym Degrad Stabil* 157: 90–99.  
341 <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.10.003>

342 **Cipreses de Colombia S.A. 2017.** Resumen público plan de manejo forestal. Medellín,  
343 Colombia. [http://nucleosdemadera.com/wp-content/uploads/2017/10/RESUMEN-](http://nucleosdemadera.com/wp-content/uploads/2017/10/RESUMEN-P%C3%A9BLICO-PLAN-DE-MANEJO-2017.pdf)  
344 [P%C3%A9BLICO-PLAN-DE-MANEJO-2017.pdf](http://nucleosdemadera.com/wp-content/uploads/2017/10/RESUMEN-P%C3%A9BLICO-PLAN-DE-MANEJO-2017.pdf)

345 **Cooper, P.; Ung, Y.; Holzschere, A. 1991.** Diffusion into and bulking of the wood cell  
346 wall with polyethylene glycols (PEG). In *Proceedings of International Research Group on*  
347 *Wood Protection*, Document IRG/WP/3660. Stockholm, Sweden.

348 **Devi, R.; Ali, I.; Maji, T. 2003.** Chemical modification of rubber wood with styrene in  
349 combination with a crosslinker: effect on dimensional stability and strength property.  
350 *Bioresour Technol* 88(3): 185–188. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00003-8)

351 **Dong, X.; Zhuo, X.; Liu, C. 2016.** Improvement of decay resistance of wood by in-situ  
352 hybridization of reactive monomers and nano-SiO<sub>2</sub> within wood. *Applied Environmental*

- 353 *Biotechnology* 1(2): 56–62. <http://ojs.whioce.com/index.php/aeb->  
354 [transferred/article/view/168/128](http://ojs.whioce.com/index.php/aeb-transferred/article/view/168/128)
- 355 **Ermeýdan, M. 2018.** Modification of spruce wood by UV-crosslinked PEG hydrogels  
356 inside wood cell walls. *React Funct Polym* 131: 100–106.  
357 <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2018.07.013>
- 358 **Gadhve, R.; Mahanwar, P.; Gadekar, P. 2019.** Cross-linking of polyvinyl  
359 alcohol/starch blends by epoxy silane for improvement in thermal and mechanical properties.  
360 *BioResources* 14(2): 3833–3843.  
361 [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_14\\_2\\_3833\\_Gadhve\\_Cross](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_14_2_3833_Gadhve_Cross)  
362 [Linking\\_Polyvinyl\\_Alcohol\\_Starch](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_14_2_3833_Gadhve_Cross)
- 363 **Gardner, D.; Bozo, A. 2018.** Ten-year field study of wood plastic composites in  
364 Santiago, Chile: biological, mechanical and physical property performance. *Maderas-Cienc*  
365 *Tecnol* 20(2): 257–266. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005002901>
- 366 **Giridhar, B.; Pandey, K.; Prasad, B.; Bisht, S.; Vagdevi, H. 2017.** Dimensional  
367 stabilization of wood by chemical modification using isopropenyl acetate. *Maderas-Cienc*  
368 *Tecnol* 19(1): 15–20. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000002>
- 369 **Gómez, H. 1989.** *Estadística experimental con aplicaciones a las ciencias agrícolas.*  
370 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín,  
371 Colombia.
- 372 **González, M.; Honorato, J. 2005.** Resistencia a la pudrición y estabilidad dimensional  
373 de la madera acetilada con y sin catalizador. *Madera Bosques* 11(1): 49–61.  
374 <https://www.redalyc.org/pdf/617/617111104.pdf>
- 375 **Hill, C. 2006.** *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes.* John Wiley  
376 & Sons, Ltd., West Sussex, England, pp 149–173.

377 **Holloway, J.; Lowman, A.; Palmese, G. 2010.** Mechanical evaluation of poly(vinyl  
378 alcohol)-based fibrous composites as biomaterials for meniscal tissue replacement. *Acta*  
379 *Biomater* 6(12): 4716–4724. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.06.025>

380 **Jeremic, D.; Cooper, P.; Brodersen, P. 2007.** Penetration of poly (ethylene glycol) into  
381 wood cell walls of red pine. *Holzforschung* 61(3): 272–278.  
382 <https://doi.org/10.1515/HF.2007.068>

383 **Kang, H.; Lee, W.; Jang, S.; Kang, C. 2017.** Polyethylene Glycol Treatment of Han-  
384 Ok Round Wood Components to Prevent Surface Checking. *BioResources* 12(2): 4229–4238.  
385 [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_12\\_2\\_4229\\_Kang\\_Polyethylene\\_Glycol\\_Treatment\\_Round\\_Wood](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_12_2_4229_Kang_Polyethylene_Glycol_Treatment_Round_Wood)

387 **Kocabaş, U. 2014.** The Yenikapı Byzantine-Era Shipwrecks, Istanbul, Turkey: a  
388 preliminary report and inventory of the 27 wrecks studied by Istanbul University. *Int J Naut*  
389 *Archaeol* 44(1): 5–38. <https://doi.org/10.1111/1095-9270.12084>

390 **Krause, A.; Jones, D.; Van derZee, M.; Militz, H. 2003.** Interlace treatment—wood  
391 modification with N-methylol compounds. In *Proceedings of the first European conference*  
392 *on wood modification*. Ghent, Belgium.

393 **Kwak, H.; Woo, H.; Kim, E.; H., Lee, K. 2018.** Water-resistant Lignin/Poly(vinyl  
394 alcohol) Blend Fibers for Removal of Hexavalent Chromium. *Fiber Polym* 19(6): 1175–1183.  
395 <https://doi.org/10.1007/s12221-018-8052-z>

396 **Lamprecht, H. 1990.** *Silvicultura en los Trópicos: los ecosistemas forestales en los*  
397 *bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un*  
398 *aprovechamiento sostenido*. Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn,  
399 Germany. 335 p.

400 **Li, Y.; Wang, B.; Fu, Q.; Liu, Y.; Dong, X. 2010.** Performance of wood-polymer  
401 composite prepared by in situ synthesis of terpolymer within wood. *Appl Mech Mater* 34:  
402 1165–1169. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.34-35.1165>

403 **Li, W.; Wang, H.; Ren, D.; Yu, Y.; Yu, Y. 2015.** Wood modification with furfuryl  
404 alcohol catalysed by a new composite acidic catalyst. *Wood Sci Technol* 49(4): 845–856.  
405 <https://doi.org/10.1007/s00226-015-0721-0>

406 **Luo, S.; Cao, J.; Wang, X. 2013.** Investigation of the Interfacial Compatibility of PEG  
407 and Thermally Modified Wood Flour/Polypropylene Composites Using the Stress Relaxation  
408 Approach. *BioResources* 8(2): 2064-2073.  
409 <https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/3468>

410 **Lutz, J.; Hoth, A. 2006.** Preparation of ideal PEG analogues with a tunable  
411 thermosensitivity by controlled radical copolymerization of 2-(2-methoxyethoxy) ethyl  
412 methacrylate and oligo (ethylene glycol) methacrylate. *Macromolecules* 39: 893–896.  
413 <https://doi.org/10.1021/ma0517042>

414 **Ma, H.; Yang, F.; Tang, L.; Feng Y. 2018.** Effect of polyvinyl alcohol treatment on  
415 mechanical properties of bamboo/polylactic acid composites. *BioResources* 13(2): 2578–  
416 2591.  
417 [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_13\\_2\\_2578\\_Yang\\_Polyvinyl](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_2_2578_Yang_Polyvinyl_Alcohol_Treatment_Bamboo)  
418 [Alcohol Treatment Bamboo](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_2_2578_Yang_Polyvinyl_Alcohol_Treatment_Bamboo)

419 **Mattos, B.; Henrique, P.; Esteves, W.; Lazzarotto, M.; Gatto, D. 2015.** Thermal tools  
420 in the evaluation of decayed and weathered wood polymer composites prepared by in situ  
421 polymerization. *J Therm Anal Calorim* 121(3): 1263–1271. [https://doi.org/10.1007/s10973-](https://doi.org/10.1007/s10973-015-4647-4)  
422 [015-4647-4](https://doi.org/10.1007/s10973-015-4647-4)

423 **Meints, T.; Hansmann, C.; Gindl-Altmutter, W. 2018.** Suitability of Different  
424 Variants of Polyethylene Glycol Impregnation for the Dimensional Stabilization of Oak  
425 Wood. *Polymers* 10(1): 81–93. <https://doi.org/10.3390/polym10010081>

426 **Norma Técnica Colombiana. NTC. 2006.** NTC 290: *Maderas. Determinación de*  
427 *densidad.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), Bogotá D.C., Colombia.  
428 <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC290.pdf>

429 **Norma Técnica Colombiana. NTC. 2006.** NTC 663: *Maderas. Determinación de la*  
430 *resistencia a la flexión.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), Bogotá D.C.,  
431 Colombia. <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC663.pdf>

432 **Norma Técnica Colombiana. NTC. 2006.** NTC 784: *Maderas. Determinación de la*  
433 *resistencia a la compresión axial o paralela al grano.* Instituto Colombiano de Normas  
434 Técnicas (ICONTEC), Bogotá D.C., Colombia. [https://tienda.icontec.org/wp-](https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC784.pdf)  
435 [content/uploads/pdfs/NTC784.pdf](https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC784.pdf)

436 **Ohmae, K.; Minato, K.; Norimoro, M. 2002.** The analysis of dimensional changes due  
437 to chemical treatments and water soaking for hinoki (*chamaecyparis obtusa*) wood.  
438 *Holzforschung* 56(1): 98–102. <https://doi.org/10.1515/HF.2002.016>

439 **Olaniran, S.; Michen, B.; Mora, D.; Wittel, F.; Bachtiar, E.; Burgert, I.; Rüggeberg,**  
440 **M. 2019.** Mechanical behaviour of chemically modified Norway spruce (*Picea abies* L.  
441 Karst.): Experimental mechanical studies on spruce wood after methacrylation and in situ  
442 polymerization of styrene. *Wood Sci Technol* 53(2): 425–445. [https://doi.org/10.1007/s00226-](https://doi.org/10.1007/s00226-019-01080-5)  
443 [019-01080-5](https://doi.org/10.1007/s00226-019-01080-5)

444 **Paz, J.; Sanabria, E. 2000.** Dimensional Stabilization of *Aspidosperma quebracho-*  
445 *blanco* with polyethylene glycol. In *XXI IUFRO World Congress*. Vol. 3, Malaysia. pp 236–  
446 237.

447 **Rowell, R. 2006.** Chemical modification of wood: a short review. *Wood Mater Sci Eng*  
448 1(1): 29–33. <https://doi.org/10.1080/17480270600670923>

449 **Rowell, R.; Youngs, R. 1981.** *Dimensional stabilization of wood in use.* United States  
450 Department of Agriculture, USDA. Forest Products Laboratory, USA. Research note FPL-  
451 0243: 1–8. <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn243.pdf>

452 **Solikhin, A.; Hadi, Y.; Massijaya, M.; Nikmatin, S.; Suzuki, S.; Kojima, Y., Kobori,**  
453 **H. 2018.** Properties of Poly(Vinyl Alcohol)/Chitosan Nanocomposite Films Reinforced with  
454 Oil Palm Empty Fruit Bunch Amorphous Lignocellulose Nanofibers. *J Polym Environ* 26(8):  
455 3316–3333. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1215-6>

456 **Sun, W.; Shen, H.; Cao, J. 2016.** Modification of wood by glutaraldehyde and poly  
457 (vinyl alcohol). *Mater Des* 96: 392–400. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.044>

458 **Tan, B.; Ching, Y.; Gan, S.; Ramesh, S.; Shaifulazuar, R. 2015.** Biodegradable  
459 mulches based on poly(vinyl alcohol), kenaf fiber, and urea. *BioResources* 10(3): 5532–5543.  
460 [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_10\\_3\\_5532\\_Tan\\_Biodegradab](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_10_3_5532_Tan_Biodegradab)  
461 [le\\_Mulches\\_Kenaf\\_Fiber\\_Urea](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_10_3_5532_Tan_Biodegradab)

462 **Unsal, O.; Candan, Z.; Korkut, S. 2011.** Wettability and roughness characteristics of  
463 modified wood boards using a hot-press. *Ind Crops Prod* 34(3): 1455–1457.  
464 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.024>

465 **Xiao, Z.; Chen, H.; Mai, C.; Militz, H.; Xie, Y. 2018.** Coating performance on  
466 glutaraldehyde-modified wood. *J For Res* 30(1): 353–361. [https://doi.org/10.1007/s11676-](https://doi.org/10.1007/s11676-018-0620-y)  
467 [018-0620-y](https://doi.org/10.1007/s11676-018-0620-y)

468 **Yang, M.; Chen, X.; Lin, H.; Han, C.; Zhang, S. 2018.** A simple fabrication of  
469 superhydrophobic wood surface by natural rosin based compound via impregnation at room

470 temperature. *Eur J Wood Wood Prod* 76(5): 1417–1425. <https://doi.org/10.1007/s00107-018->

471 [1319-7](https://doi.org/10.1007/s00107-018-1319-7)

472 **Yildiz, Ü.; Yildiz, S.; Gezer, E. 2005.** Mechanical properties and decay resistance of

473 wood-polymer composites prepared from fast growing species in Turkey. *Bioresour Technol*

474 96(9): 1003–1011. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.010>

475 **Yu, L.; Zhang, Y.; Zhu, L.; Ma, X. 2018.** Effects of nano-SiO<sub>2</sub>/Polyethylene glycol on

476 the dimensional stability modified ACQ treated southern pine. *Wood Res Slovakia* 63(5):

477 763–770. <http://www.woodresearch.sk/wr/201805/03.pdf>

478 **Zheng, Q.; Cai, Z.; Gong, S. 2014.** Green synthesis of polyvinyl alcohol (PVA)-

479 cellulose nanofibril (CNF) hybrid aerogels and their use as superabsorbents. *J Mater Chem A*

480 2(9): 3110–3118. <https://doi.org/10.1039/C3TA14642A>