



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-552

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Análisis de la estabilidad dimensional de la madera de *Populus x euramericana* I-214 tras tratamientos de oleotermia con aceite reciclado

CASADO SANZ, M.¹, ACUÑA RELLO, L.¹, UMERET H.¹, HIDALGO I.¹, SAN MARTÍN R.¹

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid

Resumen

La búsqueda de nuevos métodos de tratamiento más sencillos, ecológicos y de menor coste ha llevado al desarrollo de los tratamientos de oleotermia OHT (Oil Heat Treatment) como una de las técnicas de modificación térmica de la madera, aplicada para mejorar la durabilidad de la madera. Puesto que la madera del género *Populus* es poco durable y con nulas aplicaciones para uso exterior, es de gran interés analizar la influencia de dichos tratamientos en sus propiedades físicas.

El presente trabajo estudia la variación de las propiedades físicas: densidad, contracciones y la humedad de equilibrio higroscópico de la madera de *Populus x euramericana* I-214, tras distintos tratamientos de oleotermia. Se realizaron 4 tratamientos diferentes mediante inmersión en aceite reciclado de girasol a temperaturas de: 20°C, 80°C, 130°C y 170°C durante una hora. Los resultados indican que los tratamientos OHT a temperatura superior a 20°C mejoran la estabilidad dimensional de la madera de chopo, disminuyen las contracciones lineales y la contracción volumétrica, suponen un aumento significativo de la densidad, y aportan un cambio de color a un tono más tostado que resalta la veta de la madera.

Palabras clave

Durabilidad, OHT, contracciones, humedad de equilibrio higroscópico

1. Introducción

El tratamiento de oleotermia OHT (Oil Heat Treatment) en la madera es una de las técnicas de modificación térmica que se aplican para mejorar algunas de sus propiedades. Para la modificación térmica, la madera se calienta en diferentes condiciones con: vapor (Dwianto et al. 1996), gas de nitrógeno (Jermannaud et al 2002; Dirol y Guyonnet 1993) y aceites vegetales (Sailer & Rapp 2001) como la soja, la colza y el girasol (Tjeerdsma et al 2005; Dubey et al 2012). Debido al tratamiento térmico la estructura química de la madera cambia, así como sus propiedades físicas y mecánicas, y se consigue una mayor durabilidad frente a la biodegradación (Sailer & Rapp 2001; Tjeerdsma et al 2005; Windeisen et al 2007; Kartal et. al., 2008; Dubey et al 2010).

En los últimos años se han desarrollado numerosos procesos de tratamiento mediante OHT en busca del aumento de la estabilidad dimensional, disminución de la higroscopicidad y mejora la durabilidad frente a la biodegradación. Trabajos publicados recientemente de OHT utilizan diferentes aceites de; linaza, soja, palma, soja, girasol, etc. a temperaturas de 160°C a 220°C y duraciones de 1 a 3 horas (Tjeerdsma et al 2005; Bak & Németh 2012; Mukam & Simon 2012; Fang et al 2011 y 2012; Bazyar 2012; Dubey et al 2012; Wang et al 2014; y Mohebbi et al 2014), en todos los casos señalan que se mejora la estabilidad dimensional frente a cambios de humedad, además de aumentar la resistencia a hongos de pudrición. En algunos casos, la aplicación de altas temperaturas

47 en los termotratamientos causan la reducción de propiedades mecánicas (Gündüz et al 2009), según
 48 Hill (2006) los métodos por oleotermia causan menos degradación de la estructura mecánica de la
 49 madera que los termotratamientos. Existen algunas patentes de OHT con tall oil a temperaturas de
 50 200-250° C durante 2-5 horas (Tsarev et al 2011), con aceite de palma a 200-215°C durante 0,5-3
 51 horas (Guishui et al 2009). El presente estudio plantea tratamientos OHT con aceite reciclado de
 52 girasol con rangos de temperaturas y tiempos inferiores a los trabajos antes mencionados con el fin
 53 de analizar su eficiencia en la estabilidad dimensional e higroscopicidad de la madera de *Populus x*
 54 *euramericana* I-214, pero a un coste más reducido tanto por utilizar un material reciclado como por
 55 los procesos planteados a temperaturas más bajas y durante menos tiempo, lo que suponen un
 56 menor consumo de energía. El objetivo es incrementar de forma artificial la durabilidad y prestaciones
 57 de especies poco durables para la clase de servicio 3 como es el caso del género *Populus*.

58 En la actualidad la sociedad demanda tratamientos alternativos al empleo de productos
 59 químicos, que sean naturales, respetuosos con el medio ambiente y que requieran de un
 60 mantenimiento y coste mínimo en su ciclo de vida, por ello la oleotermia se plantea como una
 61 alternativa ecológica para proteger la madera al exterior. Las ventajas del procedimiento son varias:
 62 es fácil de seguir, los costes de inversión y funcionamiento son bajos, se adapta al empleo de
 63 sustancias que mejoran la resistencia al agua, constituye una salida para la reutilización de los
 64 aceites de la industria agroalimentaria o de subproductos de las industrias del aceite, permite utilizar
 65 productos con bajos impactos medioambientales y se puede aplicar sobre la madera verde.

66

67 2. Objetivos

68

69 El objetivo principal es analizar el comportamiento higroscópico de la madera de *Populus x*
 70 *euramericana* I-214 después de varios tratamientos de inversión en aceite de girasol reciclado, a
 71 distintas temperaturas y con una duración de una hora.

72

73 3. Metodología

74

75 Se seleccionaron un total de 300 piezas de 20x 20 x 60 mm (Radial, Tangencial, Longitudinal)
 76 de madera de *Populus x euramericana* I-214, que se acondicionaron en el laboratorio a 20° C y 36%
 77 de humedad relativa. Se hicieron 5 lotes de 60 probetas para cada uno de los 4 tratamientos y un
 78 lote que sirvió de testigo (tabla 1), inicialmente todas las probetas se numeraron, se pesaron con
 79 balanza $\pm 0,1$ g de precisión y se midieron con calibre $\pm 0,1$ mm. La selección de las muestras se
 80 realizó siguiendo la norma UNE 56528:

- 81 - Libres de defectos anatómicos, con muy baja desviación de fibra y con anillos de crecimiento
 82 paralelos a las aristas.
- 83 - Con similar anchura de anillos de crecimiento de cada probeta.

84

85 *Tabla 1. Parámetros de los ensayos de oleotermia con aceite reciclado de girasol realizados en madera de Populus x*
 86 *euramericana* I-214

Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Código
20	1	01
80	1	02
130	1	03
170	1	04

87

88 Tras el tratamiento correspondiente en cada caso las muestras se acondicionaron en el
 89 laboratorio hasta alcanzar nuevamente la humedad de equilibrio higroscópico (HEH) y se realizaron
 90 los siguientes ensayos.

- 91 - Densidad siguiendo la norma UNE 56-531

- 92 - Contracción volumétrica y coeficiente de contracción según norma UNE 56-533 con 15
 93 probetas de cada tratamiento.
 94 - Ensayos de estabilización higroscópica en depósitos cerrados con sales de nitrato
 95 potásico (KNO₃) y cloruro sódico (NaCl) al 95% y 75% de humedad relativa
 96 respectivamente, se utilizaron 20 probetas de cada tratamiento y para cada tipo de sal.
 97 Tras un periodo de 2 semanas en los depósitos con sales se sacaron y se determinó la
 98 Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH) alcanzada en cada caso.

99

100 **4. Resultados**

101

102 Los resultados de los ensayos de oleotermia indican que hay un aumento significativo de la
 103 densidad para todos los tratamientos realizados con respecto a la muestras testigos a excepción del
 104 tratamiento a 130°C (O3) que no supone un aumento de la densidad significativo, lo que puede
 105 deberse a un colapso de las células en esas condiciones de temperatura y tiempo (Mirzaei et al 2012;
 106 Boonstra et al 2006a, b; Mohebbi et al 2014). En la tabla 2 y figura 1 puede verse que el mayor
 107 aumento de la densidad se corresponde con el tratamiento a 80°C que supone un aumento del
 108 14,4% respecto las muestras testigos.
 109

110 *Tabla 2. Estadística descriptiva y análisis de la varianza de densidad y absorción de producto tras los tratamientos con*
 111 *aceite reciclado de girasol realizados a distintas temperaturas durante 1 hora en madera de Populus x euramericana I-214.*

Tratamiento		Media	Valor P	Coefficiente de variación (%)	Mínimo	Máximo
O1 (20°C)	Densidad (g/cm ³)	0,398b	0,0000	10,50	0,330	0,585
	Absorción (g)	0,703ab	0,0000	38,90	0,4	1,6
O2 (80°C)	Densidad (g/cm ³)	0,412b	0,0000	21,79	0,314	0,627
	Absorción (g)	1,103c	0,0000	59,87	0,4	2,8
O3 (130°C)	Densidad (g/cm ³)	0,349a	0,0000	5,47	0,329	0,423
	Absorción (g)	0,524a	0,0000	65,18	0,1	1,6
O4 (170°C)	Densidad (g/cm ³)	0,407b	0,0000	18,36	0,315	0,574
	Absorción (g)	0,833b	0,0000	100,70	0	2,6
Testigo	Densidad (g/cm ³)	0,359a	0,0000	6,67	0,315	0,407

112

113

114

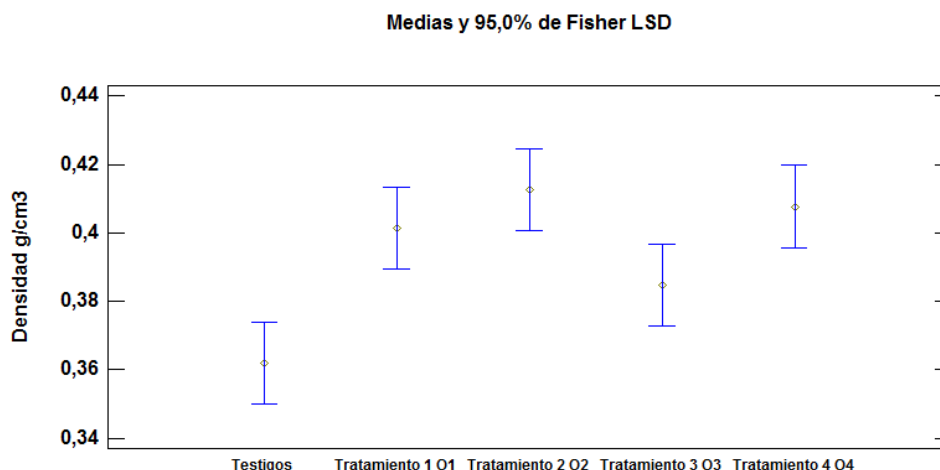


Figura 1. Gráfico de medias de la densidad según tratamiento en aceite reciclado de girasol a distintas temperatura durante 1 hora en *Populus x euramericana* I-214.

La mayor absorción de producto se produce en el tratamiento a 80°C, significativamente mayor a la cantidad de aceite absorbido a 20°C, en los que además se observa un menor coeficiente de variación, mientras a temperaturas de 130°C y 170°C las cantidades de producto absorbido no son significativamente mayores pudiendo ser debido a que a dichas temperaturas se produce la degradación de la hemicelulosa y la evaporación de extractos. Dichos resultados de absorción de producto son menores a los publicados por Bazyar (2012) para esta especie.

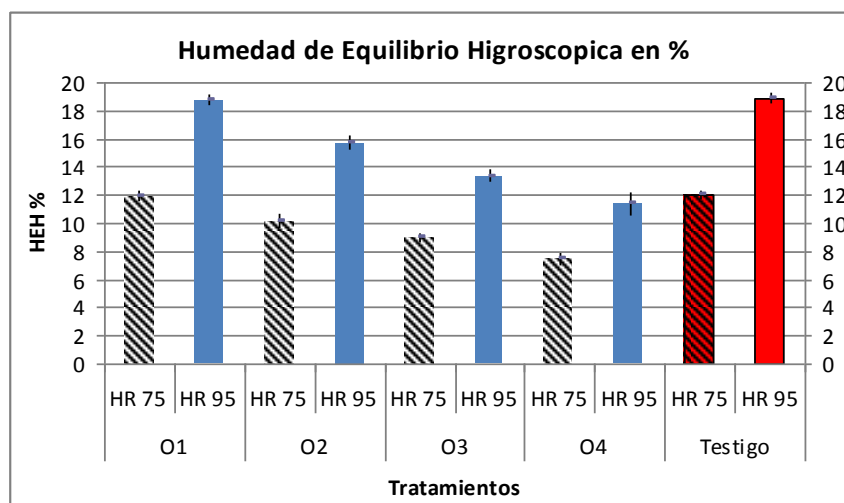
Los ensayos realizados en los depósitos cerrados con sales de nitrato de potasio y cloruro de sodio al 95% y 75% de humedad relativa respectivamente, indican que los tratamientos a temperatura superior a 20°C propuestos reducen la humedad de equilibrio higroscópico de la madera de forma significativa (tabla 3 y figura 2). La menor humedad de equilibrio se alcanza en el tratamiento a 170°C que refleja un 7,4% de (HEH) frente al 11,9% de la muestra testigo en las sales nitrato potásico al 75% y un 11,5% de (HEH) frente al 18,9% para la testigo en las sales de cloruro sódico del 95%. Los resultados obtenidos coincidiendo con trabajos publicados en madera de *Populus* por Bazyar (2012) y Bak & Németh (2012), los cuales reflejan una reducción similar en tratamientos con aceite de linaza a 200°C durante más de 4 horas, Fang et al (2012) indica similares reducciones en chapas de madera densificadas y con tratamientos similares, también en otras especies Mukam & Simon (2012), Dubey et al (2012) y Mohebbi et al (2014) señalan una menor humedad de equilibrio higroscópico de la madera tras tratamientos de OHT.

Tabla 1. Valores descriptivos y análisis de la varianza de la Humedad de equilibrio higroscópico en las probetas de *Populus x euramericana* "I-214" tras los tratamientos a distintas temperaturas y después del acondicionado al 75% y 95% de humedad relativa ambiente.

Tratamiento	Humedad Relativa (%)	Media (%)	Valor P	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
O1 (20°C)	75	12,032	0,0000	6,041	10,619	13,580
	95	18,830	0,0000	4,238	17,525	20,253
O2 (80°C)	75	10,340	0,0000	8,839	8,641	12,0

	95	15,692	0,0000	7,113	14,018	17,567
O3 (130°C)	75	8,948	0,0000	8,869	7,317	9,638
	95	13,289	0,0000	5,142	11,904	14,634
O4 (170°C)	75	7,409	0,0000	14,562	5,405	9,090
	95	11,541	0,0000	14,893	8,955	14,117
Testigos	75	11,964	0,0000	5,860	10,714	13,513
	95	18,884	0,0000	4,219	17,567	20,535

142
143
144



145
146
147
148

Figura 2. Gráfico de humedad de equilibrio higroscópico tras los distintos tratamientos en aceite reciclado de girasol; O1 a 20°C, O2 a 80°C, O3 a 130°C y O4 a 170°C durante 1 hora en madera de *Populus x euramericana* I-214 y para condiciones higrotérmicas al 95% y 75% de humedad relativa ambiente, así como un lote testigo.

149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161

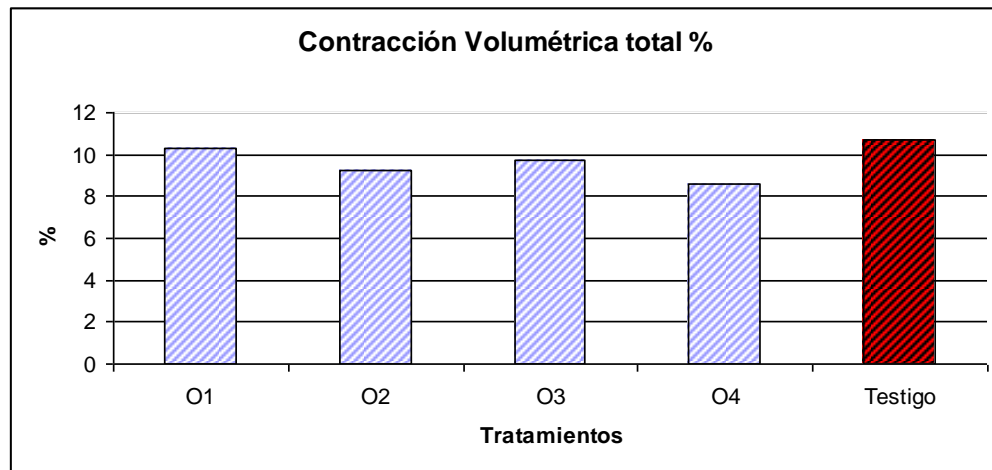
En relación a la contracción volumétrica los tratamientos analizados de inmersión en aceite reciclado de girasol durante 80°C, 130°C y 170°C suponen una menor contracción volumétrica frente las muestras testigo como lo refleja el ANOVA de la tabla 4. Únicamente el tratamiento a 20°C no mejora significativamente la contracción volumétrica de las muestras ensayadas. La menor contracción volumétrica se consigue con la temperatura de 170°C con un valor de 8,6% frente al 10,7% en la muestra testigo como se aprecia en la figura 3. Dichos resultados, coincidiendo con trabajos publicados con tratamientos similares en madera de *Populus* como Bak & Németh (2012) que obtuvieron una menor contracción lineal con tratamientos a 160°C y 200°C en exposiciones superiores a 2 horas, Bazyar (2012) consiguió una reducción del 20% en la contracción volumétrica con temperaturas de 205°C durante más de 4 horas en chopo. También en otras especies Sailer and Rapp (2001), Wand and Cooper (2005), Salim et al (2010), Mukam & Simon (2012), Dubey et al (2012) señalan una menor contracción de la madera tras tratamientos de OHT.

162
163
164

Tabla 4. Análisis de la varianza para la contracción volumétrica total tras los distintos tratamientos en aceite reciclado de girasol durante 1 hora en madera de *Populus x euramericana* I-214 y un lote testigo.

Tratamiento	Contracción volumétrica total (%)	Valor P	Coefficiente de variación (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
O1 (20°C)	10,31 ab	0,0000	7,747	9,7	10,9
O2 (80°C)	9,22 cd	0,0000	3,526	8,9	9,6
O3 (130°C)	9,69 bc	0,0000	12,671	9,0	10,4
O4 (170°C)	8,59 d	0,0000	12,570	7,9	9,3
Testigo	10,68 a	0,0000	7,551	10,1	11,2

165



166
167
168
169

Figura 3. Gráfico de medias para la contracción volumétrica total tras los distintos tratamientos en aceite reciclado de girasol; O1 (20°C), O2 (80°C), O3 (130°C) y O4 (170°C) durante 1 hora en madera de *Populus x euramericana* I-214 y un lote testigo.

170 Cabe destacar por otra parte que los tratamientos OHT con aceite reciclado de girasol a
171 temperaturas de 130°C y 170°C suponen un cambio de color en la madera de chopo, ésta adquiere
172 un tono más tostado y brillante que resalta la veta de la madera como se aprecia en la imagen 4. En
173 relación al olor, pasado un tiempo no se manifiesta en la madera un olor desagradable del aceite
174 reciclado, otro cambio que se aprecia en la madera y sobre el que se puede seguir trabajando es un
175 tacto más suave en las probetas tratadas por oleotermia.
176



Imagen 4. Probetas de *Populus x euramericana* de izquierda a derecha; sin tratamiento, O 20°C, O 80°C, O 130°C y O 170°C en aceite reciclado de girasol durante 1 hora.

177
178
179

180

181

182 5. Conclusiones

183

184

185

186

187

Los tratamientos OHT en aceite reciclado de girasol a temperaturas de 20°C, 80°C y 170°C durante una hora suponen un aumento significativa de la densidad en madera de *Populus x euramericana*-I 214, siendo la temperatura de 80°C la que supone un mayor aumento de la densidad superior al 14% comparado con las muestras testigo.

188

189

190

191

192

193

194

En relación a la higroscopicidad de la madera de chopo los tratamientos a temperaturas de; 80°C, 130°C y 170°C implican una reducción significativa de la absorción de humedad en dicha especie para unas condiciones de humedad relativa superior al 75%, condiciones comunes de exterior para la clase de servicio 3. Por otra parte la contracción volumétrica total en las muestras tratadas a dichas temperaturas es significativamente inferior a las testigos. La menor higroscopicidad y menor contracción volumétrica en las muestras tratadas por OHT manifiestan una mejora de la estabilidad dimensional en la madera de *Populus*.

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

6. Bibliografía

205

206

207

BAK M.; NEMETH R.; 2012. "Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus x euramericana* cv. *pannónia*) wood". *BioResources* 7(4), 5128-5137.

208

209

BAZYAR B.; 2012. "Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood". *BioResources* 7(1), 696-702.

210

211

212

213

BOONSTRA M.; RIJSDIJK F.; SANDER C.; KEGEL E.; TJEERDSMA B.; MILITZ .; VAN J.; STEVENS M.; 2006a. "Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 1. Softwoods". *Maderas Cienc Tecnol* 8:193-208

- 214 BOONSTRA M.; RIJSDIJK F.; SANDER C.; KEGEL E.; TJEERDSMA B.; MILITZ H.; VAN .; STEVENS M.;
215 2006b."Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 2. Hardwoods". Maderas
216 Cienc Tecnol 8:209–217
217
- 218 DIROL D.; GUYONNET R.; 1993. "The improvement of wood durability by ratification process". The
219 International Research Group on Wood Preservation IRG Document No. IRG/WP93-40015
220
- 221 DUBEY MK.; PANG S.; WALKER J.; 2010. "Color and dimensional stability of oil heat-treated radiata
222 pinewood after accelerated UV weathering". For Prod J 60(5):453–459
223
- 224 DUBEY M.K.; PANG, S.; WALKER J.; 2012."Changes in chemistr, color, dimensional stability and fungal
225 resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heart-treatment". *Holzforschung* 66(1), 49-57.
- 226 DWIANTO W.; TANAKA F.; INOUE M.; NORIMOTO M.; 1996. "Crystallinity changes of wood by heat or
227 steamtreatment". *Wood Res* 83:47–49
- 228 FANG C.-H. ; CLOUTIER A. ; BLANCHET P. ; KOUBAA A. ; MARIOTTI N. ; 2011. "Densification of wood
229 veneers combined with oil-heat treatment. Part I: Dimensional stability". *BioResources* 6 (1), 373-385.
- 230 FANG C.-H ; CLOUTIER A. ; BLANCHET P. ; KOUBAA A. ; 2012. "Densification of wood veneers combined
231 with oil-heat treatment. Part II: Hygroscopicity and mechanical properties". *BioResources* 7(1), 925-
232 935.
- 233 GUISHUI X.; MIN L.; XIAOWEN L.; SHAOSHAN Q.; FENG A.; LIJUN Z.; JIKUN W.; 2009. Wood treatment
234 method. WO2011025403 (A1).
235
- 236 GÜNDÜZ G.; AYDEMİR D.; KARAKAS G.; 2009. "The effect of thermal treatment on the mechanical
237 properties of wild pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) Wood and changes in physical properties". *Mater*
238 *Des* 30:4391–4395
239
- 240 HILL C.; 2006. "Wood modification, chemical, thermal and other processes". Wiley, Series in
241 Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd.
242
- 243 JERMANNAUD A.; DUCHEZ L.; GUYONNET R.; 2002. " Wood retification in France: an industrial process
244 of heat treatment producing lumber with improved resistance to decay". In: Proceedings of the
245 enhancing the durability of lumber and engineered wood products, United States, Forest Products
246 Society, pp 121–122
247
- 248 KARTAL S.N.; HWANG W.J.; IMAMURA Y.; 2008. "Combined effect of boron compounds and heat
249 treatments on wood properties: Chemical and strength properties of wood". *J. Mater. Process. Tech.*
250 198, 234-240.
- 251 MIRZAEI G.; MOHEBBY B.; TASOOJI M.; 2012. "The effect of hydrothermal treatment on bond shear
252 strength of beech wood". *Eur J Wood Prod* 70:1–5
253
- 254 MOHEBBY B.; KEVILY H.; KAZEMI-NAJAFI S.; 2014." Oleothermal modification of fir wood with a
255 combination of soybean oil and maleic anhydride and its effects on physico-mechanical properties of
256 treated wood". *Wood Sci Technol* 48:797–809
257
- 258 MUKAM FOTSING J.A; SIMON FOKOUA A.D; 2012. "Effects of thermal modification by the hot oil
259 treatment process on some physical properties of two cameroonian hardwood species". *International*
260 *Journal of heat and Technology*. Volume 30, Issue 2, 43-49.
261

- 262 SAILER M.; RAPP A.O.; 2001."Use of vegetable oils for wood protection". COST Action E22:
263 Environmental optimisation of wood protection". Conference in Einbek, Gemany, 8-10 November
264 2001.
- 265 SALIM R.; ASHAARI Z.; SAMSI H.W.; 2010."Effects of oils heat treatment on physical properties of
266 Semantan bamboo (*Gigantochloa scortechinii* Gamble)". Modern Applied Science 4(2), 107-113.
- 267 TJEERDSMA BF.; SWAGER P.; HORSTMAN BJ.; HOLLEBOOM BW.; HOMAN WJ.; 2005." Process
268 development of treatment of wood with modified hot oil. In: European conference on wood
269 modification, Göttingen
270
- 271 TSAREV G., SHESTOU A., KOMAROU A.; 2011. "Method for thermally modifying wood by oil palm oil,"
272 Patente WO 2011025403.
- 273 UNE 56-533. "Características fisico-mecánicas de la madera: Determinación de la contracción lineal y
274 volumétrica". AENOR
- 275 UNE 56-531. "Características fisico-mecánicas de la madera: Determinación del peso específico".
276 AENOR
- 277 UNE 56-528. "Preparación de probetas para ensayos". AENOR.
- 278 WANG J.Y.; COOPER P.A.; 2005. "Effects of oil type, temperature and time on moisture properties of
279 hot oil-treated wood". Holz als Roh-und Werkstoff 63, 417-422.
- 280 WANG Y.-M.; MA S.-L.; FENG L.-Q.; 2014. "The influence of oil heat treatment on wood decay
281 resistance by Fourier infrared spectrum analysis". Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi/Spectroscopy
282 and Spectral Analysis 34 (3), 660-663.
- 283 WINDEISEN E.; STROBEL C.; WEGENER G.; 2007. "Chemical changes during the production of thermo-
284 treated beech wood". Wood Sci Technol 41(6):523-536
285
286
287