

**EVOLUCIÓN DEL COLOR Y DE LA APARICIÓN DE DEFECTOS
EN LA MADERA DE *Eucalyptus globulus* EXPUESTA A
INTEMPERISMO NATURAL**

**Evolution of color and the appearance of defects in *Eucalyptus globulus*
wood exposed to natural weathering**

Karen Gabriela Moreno^{1*}, Eleana María Spavento², Silvia Estela Monteoliva³

¹Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-2595-2775>

²Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. LIMAD. La Plata, Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-3810-8952>

³Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, INFIVE-CONICET. La Plata, Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-8679-7633>

***Corresponding author:** karenmoreno_2@hotmail.com

Received: March 18, 2021

Accepted: February 07, 2022

Posted online: February 08, 2022

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de la madera de *Eucalyptus globulus* sin preservar, expuesta a la intemperie durante un año en la ciudad de La Plata, Argentina. Se analizó la evolución del color y la presencia de defectos, y su relación con algunas variables climáticas y con el contenido de humedad de la madera. Se colocaron 54 muestras (2,5 cm x 12 cm x 50 cm) en un expositor exterior con inclinación de 45° (norte) y sobre ellas se determinó mensualmente color (CIELab*), humedad y defectos. Una muestra sin exposición fue considerada testigo. Entre los 150-180 días de comenzar el ensayo, los parámetros L^* , a^* y b^* alcanzaron valores cercanos al mínimo (49,22; -6,5; -1,90 respectivamente); al finalizar presentaron cambios significativos respecto a los valores iniciales ($\Delta L^*=22,55$; $\Delta a^*=5,41$; $\Delta b^*=16,64$; $\Delta E^*_{total}=29,10$) y al testigo. Los valores de radiación solar y precipitaciones no influyeron significativamente en el color mientras que la temperatura afectó al parámetro a^* . El contenido de humedad de la madera se correlacionó con la presencia de algunos defectos, pero no afectó al color. El intemperismo provocó pérdida del color natural, adquiriendo un tono grisáceo (a^* y b^* cercanos a 0=acromático y $L^*=47,6$) y aumentó el agrietado, siendo los primeros 150 días de exposición claves en este proceso.

Palabras claves: Calidad de madera, CIELab*, *Eucalyptus globulus*, fotodegradación, intemperismo.

36 **ABSTRACT**

37 In this work, the behavior of *Eucalyptus globulus* unpreserved wood exposed outdoor for a
38 year in La Plata city, Argentina, was evaluated. The evolution of color and defects presence
39 were analyzed, and also their relationship with some climatic variables and the wood
40 moisture content. Fifty-four samples (2.5 cm x 12 cm x 50 cm) were placed in an outdoor
41 exhibitor with a 45° inclination (north), in which color (CIELab*), moisture content and
42 defects were determined monthly. A sample without outdoor exposure was considered as
43 control. After 150-180 days starting the test, the values of L^* , a^* and b^* reached values close
44 to the minimum (49.22; -6.5; -1.90, respectively). At the end, the colorimetric parameters
45 showed significant changes with respect to the initial values ($\Delta L^*=22.55$; $\Delta a^*=5.41$;
46 $\Delta b^*=16.64$; $\Delta E^*_{total}=29.10$) and to the control. The values of solar radiation and rainfall did
47 not significantly influence the color, while the temperature affected the parameter a^* . The
48 moisture content of wood correlated with the presence of some defects, but it was not
49 correlated with the color. Weathering caused loss of natural color, acquiring a grayish tone
50 (a^* and b^* close to 0 = achromatic and $L^*=47.6$) and increasing the level of cracking; the
51 first 150 days of exposure were key in this process.

52 **Keywords:** CIELab*, *Eucalyptus globulus*, photodegradation, weathering, wood quality.

53

54 **INTRODUCCIÓN**

55 La madera es un material que puede ser utilizado con fines estructurales en muros, viguetas,
56 cubiertas de madera, entre otros, como así también con fines no estructurales en muebles,
57 carpintería, etc., pudiendo emplearse al interior o al exterior en contacto con agentes bióticos
58 y/o abióticos de deterioro (Humar *et al.* 2019). Cuando la madera es expuesta al exterior, los
59 factores climáticos, tales como la radiación solar, el agua, la temperatura y el viento,
60 producen un desgaste sobre la superficie que provocan cambios químicos, físicos, mecánicos
61 y estéticos, proceso denominado intemperismo. Estos cambios ocurren a nivel superficial
62 durante el inicio de la meteorización, siendo la decoloración el primer aspecto evidente en
63 este proceso (Torkoglu *et al.* 2015, Cui y Matsumura 2019).

64 La exposición al aire libre conduce a la despolimerización de la celulosa y a la pérdida de
65 hemicelulosas y contenido de lignina (Evans *et al.* 1996). Ésta última, dada su alta absorción

66 en la región ultravioleta-visible, es clave en el proceso de meteorización de la madera
67 (George *et al.* 2005). En relación a esto, la presencia de agua líquida, como por ejemplo a
68 modo de rocío, combinada con la radiación solar, puede generar un efecto “lupa”,
69 provocando una mayor absorción de la radiación, y de esta manera aumentar la
70 fotodegradación de la lignina (Rodríguez-Anda y Fuentes-Talavera 2003).

71 En una etapa posterior, el proceso de degradación/decoloración puede ser profundizado por
72 la colonización de agentes biológicos, principalmente hongos xilófagos, cromógenos y
73 mohos, los cuales afectan las propiedades físico-mecánicas, químicas y/o estéticas de la
74 madera (Negrão *et al.* 2014).

75 Asimismo, durante el intemperismo natural se produce una pérdida de luminosidad (L^*) y
76 una disminución de los parámetros colorimétricos a^* (variabilidad de pigmentos rojo-verde)
77 y b^* (variabilidad de los pigmentos amarillo-azul). Estos cambios se visualizan sobre el
78 material como un agrisado de la superficie, siendo un fenómeno que se registra en muchas
79 especies de gimnospermas y angiospermas (Turkoglu *et al.* 2015, Oberhofnerová *et al.* 2017,
80 Davor *et al.* 2018, Griebeler *et al.* 2018, Cui y Matsumura 2019).

81 En este sentido, numerosos ensayos a campo de intemperismo natural han sido llevados a
82 cabo a fin de predecir el comportamiento y vida útil en condiciones cercanas a las de servicio
83 de diferentes especies madereras con/sin tratamientos de preservación (Brischke and Rapp
84 2008, Turkoglu *et al.* 2015, Oberhofnerová *et al.* 2017, Davor *et al.* 2018, Griebeler *et al.*
85 2018, Cui y Matsumura 2019). En este contexto, se han reportado algunos trabajos que han
86 evaluado el intemperismo en madera de diferentes especies de *Eucalyptus* sin tratamiento
87 preservante (Mattos *et al.* 2013, Cademartori *et al.* 2015 Avila Delucis *et al.* 2016) sin
88 embargo, con respecto a *Eucalyptus globulus*, hasta el momento no se han encontrado
89 trabajos de intemperismo natural.

90 Si bien el uso de la madera de *E. globulus* es reconocido a nivel mundial y está relacionado
91 mayormente a la industria celulósico-papelera, desde hace varias décadas se evidencia un
92 interés creciente relacionado a usos sólidos tanto estructurales como no estructurales (Franke
93 y Marto 2014, Belleville *et al.* 2016, Acuña *et al.* 2020). En este contexto, una de las
94 características que resulta interesante estudiar es su comportamiento en aplicaciones de uso
95 exterior.

96 Sin embargo, un aspecto a considerar en esta especie es la aparición de tensiones de
97 crecimiento producidas durante el desarrollo del árbol y liberadas de forma repentina durante
98 la corta, trozado y aserrado del rollizo. La liberación de estas tensiones genera en la madera
99 defectos como deformaciones, grietas y/o rajaduras. Asimismo, durante un proceso de secado
100 no controlado, esta madera es propensa a sufrir el colapso de sus fibras con la consecuente
101 formación de grietas internas y superficiales (Touza-Vázquez 2001, Rozas *et al.* 2005).

102 Por su parte, las grietas y rajaduras pueden acrecentarse al exponer la madera a la intemperie,
103 pudiendo también representar una vía de acceso de hongos xilófagos acelerando de este
104 modo, el proceso de deterioro (Humar *et al.* 2019). La presencia de dichos defectos junto con
105 las condiciones a las que la madera es expuesta (temperatura y humedad relativa)
106 determinarán la capacidad de los hongos para degradarla (Cademartori *et al.* 2015).

107 En términos generales, el cambio de color y la vida útil de la madera expuesta al exterior
108 depende de una variedad de factores entre los que se pueden mencionar: la especie maderera,
109 la protección aplicada (química o por diseño), las condiciones de exposición (orientación) y
110 las condiciones climáticas locales (microclima) (Humar *et al.* 2019). Todo esto influye sobre
111 el contenido de humedad y sobre las propiedades generales de la madera para su uso exterior
112 (Lovaglio *et al.* 2019).

113 De acuerdo con esto, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el comportamiento de la
114 madera de *Eucalyptus globulus* sin preservar, expuesta a la intemperie durante un año en la
115 ciudad de La Plata, Argentina, evaluando la evolución del color y de algunos defectos, y su
116 relación con variables climáticas y con el contenido de humedad de la madera.

117 **MATERIALES Y MÉTODOS**

118 **Material leñoso**

119 El material experimental se obtuvo de la especie *Eucalyptus globulus* procedente de 10
120 parcelas permanentes de muestreo pertenecientes a plantaciones comerciales ubicadas en el
121 sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se seleccionaron al azar 23 árboles de
122 entre 10-15 años. El material fue acondicionado durante un año en depósito cubierto y a
123 temperatura ambiente para lograr su secado natural hasta humedad de equilibrio
124 higroscópico. Las probetas sobre las que se evaluó el efecto del intemperismo natural se
125 extrajeron de la troza basal de los árboles (mínimo dos probetas/árbol) sumando un total de
126 55 probetas de 2,5 cm x 12 cm x 50 cm cepilladas en sus caras, de las cuales 54 fueron
127 expuestas a intemperismo y una fue empleada como testigo sin exposición. Cabe destacar
128 que, dado el material disponible y la imposibilidad de obtener probetas libres de defectos, se
129 realizó un registro de defectos previo al ensayo de intemperismo, que se consideró como
130 estado inicial del material.

131 **Ensayo de intemperismo natural**

132 El ensayo fue realizado en la ciudad de La Plata, Argentina (34° 59" S, 57° 59" O, 45 msnm).
133 Las probetas sin preservar fueron colocadas en bastidores de madera durable; éstos fueron
134 ubicados en un expositor exterior metálico con inclinación de 45°, orientado hacia el norte
135 geográfico durante un año (junio 2018 a mayo 2019, ambos inclusive). Los valores mensuales

136 de temperaturas, precipitación, humedad relativa y radiación solar del sitio de ensayo durante
 137 el tiempo de exposición se resumen en la Tabla 1 (Boletín Agrometeorológico Mensual,
 138 FCAyF-UNLP, 2018-2019). La temperatura de rocío (Tr) fue calculada según la siguiente
 139 formula (Meteored):

140
$$Tr = T + 35 \log (HR/100) \quad (1)$$

141 Donde:

142 Tr: punto de rocío medio (°C).

143 T: temperatura media del aire (°C).

144 HR: humedad relativa del aire (/).

145

146 **Tabla 1:** Condiciones climáticas durante el período de exposición.

Mes	Temperatura media °C	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C	Temperatura de rocío °C*	Radiación solar W/m ²	Precipitación mm total	Humedad Relativa %
Junio 18	9,1	14,3	4	6,09	2253,4	7,6	82
Julio 18	9,2	12,9	5,9	6,92	1837,03	126,4	86
Agosto 18	10,4	15,5	5,4	7	3196,8	45,4	80
Sep. 18	15,1	20,2	10,7	11,70	3692,4	124	80
Oct. 18	15,6	21,2	9,6	11,05	5333,8	10,6	74
Nov. 18	19,5	25,3	13,8	14,7	6081,3	128	73
Dic. 18	20,5	26,2	14,8	15,7	6811,1	227,8	73
Ene. 19	23,3	28,4	18,4	18,92	6187,2	49,8	75
Feb. 19	21,8	27,9	15,2	16,79	6450,2	116,6	72
Marzo 19	19	24,7	13,5	15,04	5016	54,8	77
Abril 19	16,5	22,9	10,8	13,10	3808,3	61	80
Mayo 19	13,6	18,9	8,6	10,95	2664,2	53	84

Los datos meteorológicos se registraron con el modelo Davis Advantage Pro2, ubicada: lat 34°59" S -long 57°59" W de G -a.s.n.m. 45 m y procesados por el Ing. Agr. H. Martín Pardi de la sección agrometeorología dependiente de la Estación Experimental "Ing. Agr. Julio Hirschhorn" y la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la FCAyF, U.N.L.P." * La temperatura de rocío fue calculada según la fórmula (1).

147

148 **Evaluación de color, contenido de humedad y defectos**

149 Sobre la totalidad de las probetas se midieron mensualmente los siguientes parámetros:
150 defectos, humedad de la madera y color. Los defectos considerados fueron grietas y
151 presencia/ausencia de signos de degradación (pudrición y manchas), los cuales fueron
152 identificados y numerados sobre las tablas, con en el propósito de realizar un registro
153 independiente de evolución de cada uno de ellos. Para el caso de las grietas, se registró
154 número, longitud y ancho máximo de cada una de ellas con regla milimetrada. Se
155 consideraron “microgrietas” a las grietas superficiales < 1mm de ancho. En relación a las
156 manchas y podredumbres, se registró su presencia/ausencia. El contenido de humedad de la
157 madera se determinó con un xilohigrómetro de resistencia (Hydromette HT 85-GANN).

158 Para la evaluación del color se utilizó el método CIELab* (2007). En este sistema
159 colorimétrico el parámetro L^* se denomina luminosidad e indica el tono de gris dentro de
160 una escala negro-blanco, numéricamente demarcada entre 0 (negro) y 100 (blanco). Los
161 parámetros a^* y b^* son las coordenadas cromáticas, las cuales dentro de una escala de 0 a 60
162 indican la variabilidad de los pigmentos rojo, verde, amarillo y azul, definidas por las
163 variables $+a^*$, $-a^*$, $+b^*$ y $-b^*$, respectivamente. Para la medición de los parámetros L^* , a^* y
164 b^* se realizó una única determinación mensual por tabla con espectrofotómetro (Modelo
165 BYK-Gardner GmbH n° 115772) siempre en el mismo lugar, el cual fue identificado en la
166 tabla con una marca desde el inicio del ensayo. Se estableció un promedio mensual basado
167 en 54 mediciones para cada parámetro de medición de color. Los valores de diferencia de
168 color (ΔL^* , Δa^* y Δb^*) se calcularon bimensualmente, y a través de ellos se determinó el
169 parámetro ΔE^* el cual expresa la diferencia total de color y se calcula según la siguiente
170 fórmula:

171
$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

172 Un ΔE^* bajo indica que el color no se alteró a simple vista o se mantuvo igual, mientras que
173 un ΔE^* alto indica un cambio de color evidente. Cui *et al.* (2004) establecen 5 niveles de
174 cambios en el color respecto a la percepción del ojo humano: (I) cuando ΔE^* varía de 0 a 1,5
175 el cambio de color no es catalogado como apreciable, (II) cuando ΔE^* se encuentra entre 1,5
176 a 3 el cambio de color es apenas apreciable en la superficie, (III) cuando el rango varía de 3
177 a 6 el cambio es apreciable, (IV) cuando ΔE^* varía de 6 a 12 el cambio es muy notable, (V)
178 cuando ΔE^* es mayor a 12 el cambio de color es total. Dicho criterio clasificatorio fue
179 considerado como referencial en el presente trabajo.

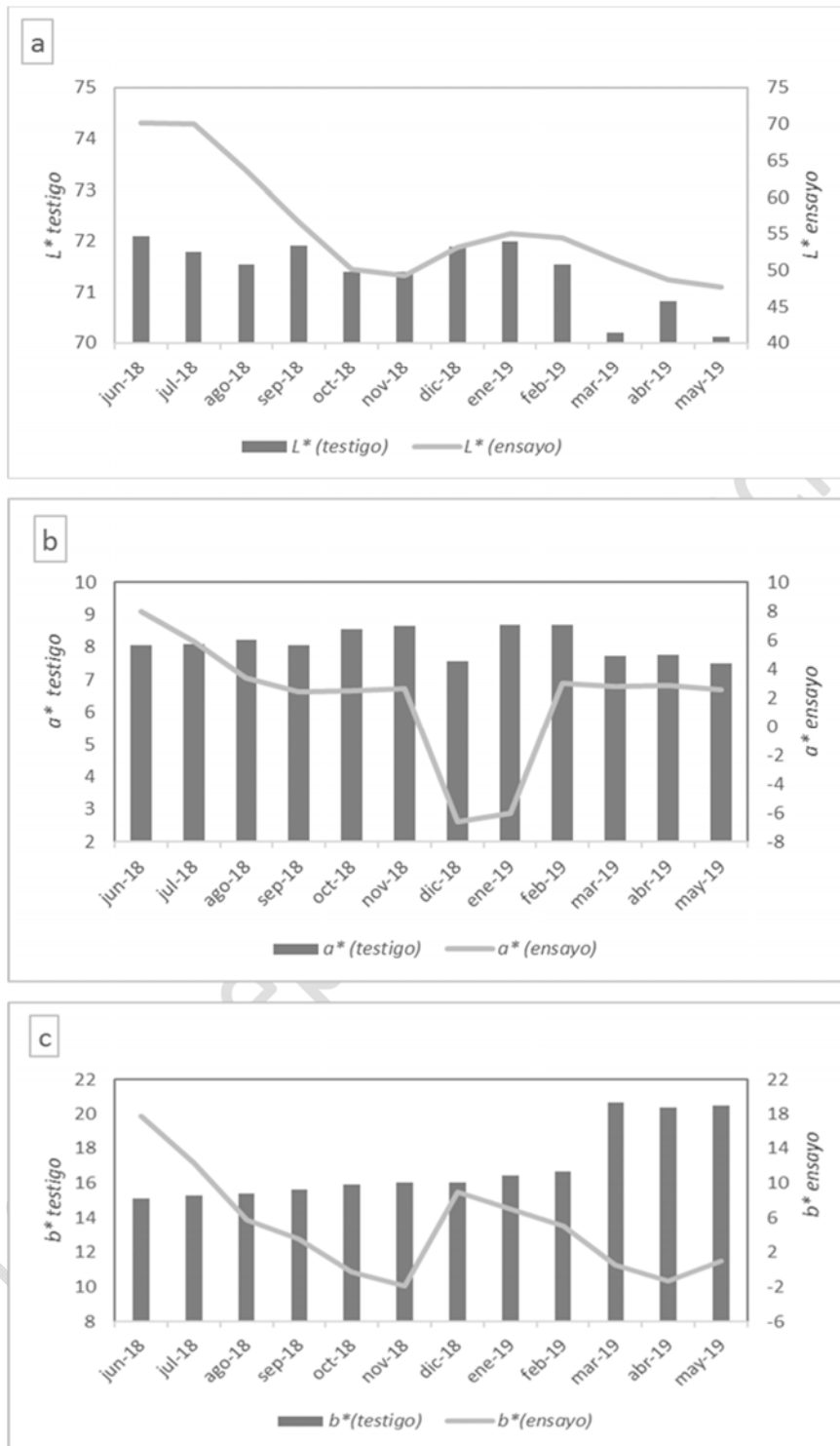
180 **Análisis estadístico**

181 La evaluación estadística se realizó con el software Stat Statistica, 2011. Se efectuó un
182 análisis descriptivo de cada variable y se constataron los supuestos de normalidad y
183 homocedasticidad dentro de cada grupo analizado (color, humedad, variables climáticas y
184 defectos). Se desarrollaron pruebas de comparación acordes a la estructura de datos: test
185 paramétricos cuando se constataron ambos supuestos estadísticos, test no paramétricos
186 cuando no se constató la normalidad, pero sí la homocedasticidad. Se analizaron
187 correlaciones (de Pearson o de Spearman) para explicar la relación entre las variables
188 climáticas y los parámetros de color, las variables climáticas y el contenido de humedad, y
189 el contenido de humedad y los defectos de la madera.

190 **RESULTADOS**

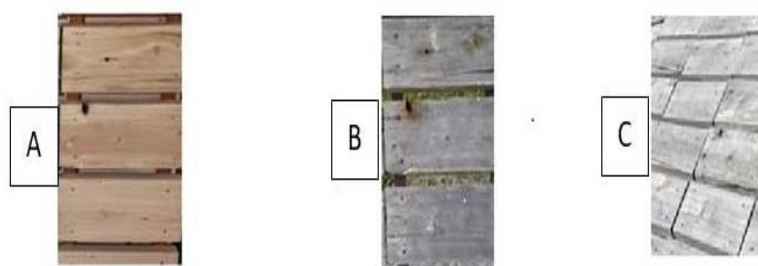
191 **Evolución de color**

192 Los parámetros colorimétricos de *E. globulus* luego de 1 año de exposición presentaron
193 cambios significativos ($p < 0,05$) respecto de los valores testigo (Fig. 1 a, b y c).



194

195 **Figura 1:** a, b, c indican la evolución mensual de color L^* , a^* y b^* , respectivamente en tablas de
 196 *Eucalyptus globulus* expuestas a intemperismo y en el material testigo.



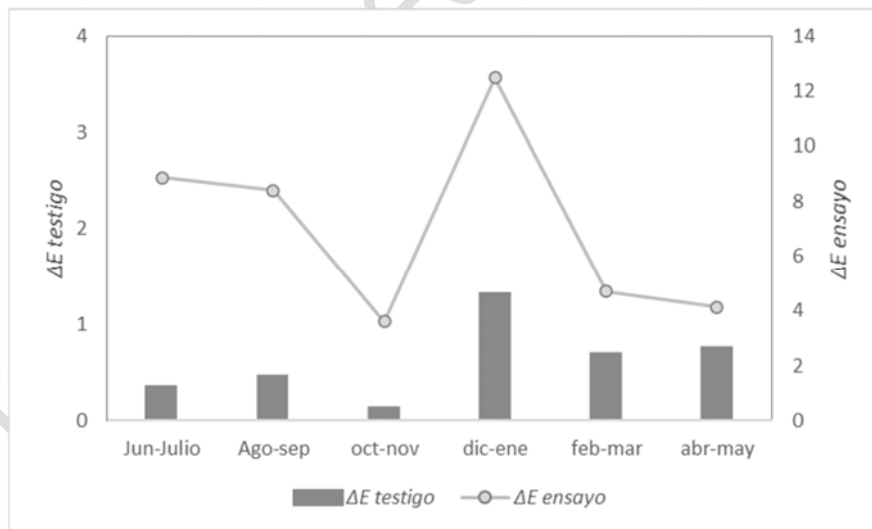
197

198 **Figura 2:** apariencia de la madera expuesta a la intemperie: A- inicio del ensayo (junio 2018), B-
199 verano (diciembre 2018), C- Fin del ensayo (mayo 2019).

200 En el material intemperizado al principio del ensayo (junio=invierno), los valores de L^*
201 ensayo fueron los más altos (70,22, Fig. 1 a y Fig. 2 A), disminuyendo significativamente
202 ($p= 0,0000$) a partir del mes de agosto hasta el mes de octubre (50,13-agrisado), alcanzando
203 su segundo valor mínimo (49,22) en noviembre (Fig. 1 a). Posteriormente estos valores
204 aumentaron significativamente ($p= 0,0000$) en los meses de verano de máxima insolación
205 (diciembre-enero-febrero $L^*= 53, 21; 55$ y $54,41$, respectivamente) correspondiéndose con
206 un proceso de decoloración (Fig. 2 B). A partir de febrero, comenzó un descenso significativo
207 ($p= 0,0391$) hasta el valor mínimo de 47,67 a fines de mayo 2019 (Fig. 1 a y Fig. 2 C). Los
208 valores de descenso total de L^* luego de un año de exposición fueron de $\Delta L^*=22,55$. En
209 cuanto al material testigo, los valores de L^* oscilaron entre 72-70 desde el inicio hasta el final
210 del ensayo, presentándose el valor más bajo en el mes de mayo (70,13) (Fig. 1 a). Ninguno
211 de los cambios mencionados fue apreciable a simple vista (Cui *et al.* 2004). Los valores
212 variaron en un rango entre 72,09 a 70,13 ($\Delta L^*=1,96$).
213 Los valores del parámetro a^* ensayo, al inicio de la exposición (junio=invierno) en las
214 probetas intemperizadas, fueron los más altos, los cuales se corresponden con su coloración
215 rosada (8,05) (Fig.1 b y Fig. 2 A). A partir de dicho momento se observó una disminución
216 significativa ($p= 0,0000$) hasta el mes de septiembre (2,4). Desde el mes de septiembre hasta
217 noviembre los valores se estabilizaron. A partir de diciembre se produjo una segunda

218 disminución significativa ($p=0,0000$) hasta alcanzar valores negativos (-6,5 y -6) en
219 diciembre y enero respectivamente, evidenciando así un cambio de coloración con la
220 consecuente pérdida de pigmentación rojiza de las muestras (Fig. 1 b y Fig. 2 B). Durante el
221 mes de febrero este parámetro aumentó nuevamente, estabilizándose en valores intermedios
222 próximos a 2,6 (tendiendo a acromático=gris, Fig. 2 C) hacia el final del ensayo. La diferencia
223 de magnitud de este parámetro entre el inicio y la finalización del ensayo fue de $\Delta a^*=5,41$.
224 En cambio, los valores del parámetro a^* en la probeta testigo variaron en un rango entre 8,05
225 a 7,49 ($\Delta a^*=0,56$), correspondiendo los mayores valores a los meses de primavera (8,64
226 noviembre) y verano (8,69 febrero), y el más bajo al finalizar el ensayo (7,49 mayo). Ninguno
227 de esos cambios fue apreciable a simple vista (Cui *et al.* 2004).
228 El parámetro b^* ensayo, al inicio de la exposición (junio=invierno), también presentó el valor
229 más alto (17,69), luego disminuyó significativamente ($p=0,0000$) durante los primeros meses
230 virando hacia tonos más acromáticos (gris=valores cercanos a 0) hasta el mes de noviembre,
231 que alcanzó su valor mínimo (-1,90) observándose en las muestras, una tendencia a perder
232 su pigmentación amarilla (Fig. 1 c). En los meses de verano de máxima insolación, diciembre
233 y enero, b^* aumentó significativamente ($p=0,0000$) hasta alcanzar valores de 8,9-7. A partir
234 de febrero comenzó nuevamente un descenso significativo ($p=0,0000$) hasta valores cercanos
235 al mínimo (-1,28) en el mes de abril. El cambio de b^* fue 3 veces más alto que el de a^* luego
236 de un año de exposición ($\Delta b^*=16,64$). En la probeta testigo, b^* aumentó muy gradualmente
237 de invierno (junio) a verano (febrero); durante el mes de marzo se registró un aumento notorio
238 (20,61) que se mantuvo a lo largo del otoño, registrándose hacia el final del ensayo, los
239 valores más altos, virando hacia tonos más amarillos (20,44). Los valores variaron en un
240 rango entre 15,12 a 20,44. El valor de cambio de este parámetro fue el más alto en referencia
241 al material testigo, siendo apreciable a simple vista (Cui *et al.* 2004; $\Delta b^*= 5,32$).

242 Los parámetros de color descriptos anteriormente se agruparon en un único índice que
243 interpreta, en forma conjunta, los cambios de color entre dos meses consecutivos denominado
244 ΔE^* (Ecuación 2). El ΔE^* de las probetas intemperizadas (ΔE^* ensayo, Fig. 3) disminuyó
245 significativamente y en forma apreciable a simple vista, hasta noviembre (primavera) de
246 manera similar a los cambios ocasionados en los parámetros L^* y b^* (Fig. 1 a y c). Por lo
247 tanto, los cambios producidos fundamentalmente en la luminosidad, con el agrisado y el
248 viraje hacia los tonos más oscuros azulados (valores negativos de b^*), fueron los responsables
249 de este descenso en los valores de color. Posteriormente, pasado el mes de noviembre, el ΔE^*
250 ensayo, aumentó significativamente hasta un valor de 12,48 en diciembre-enero. En los
251 meses de febrero-marzo los valores descendieron significativamente y luego se estabilizaron
252 en torno a un valor de 4, sin diferencias significativas. Todos estos cambios fueron
253 apreciables a simple vista (Cui *et al.* 2004).



254

255 **Figura 3:** Evolución bimensual de ΔE^* durante el período de exposición en las tablas
256 intemperizadas y testigo.

257 Durante los meses de verano la probeta testigo sufrió un leve cambio de color (ΔE testigo,
258 Fig. 3) apenas apreciable a simple vista (Cui *et al.* 2004; ΔE menor a 3). Este leve cambio se

259 debe al aumento del parámetro L^* y a la disminución de a^* a partir del mes de diciembre,
260 reflejando, aunque con menor magnitud, la tendencia hallada en las probetas intemperizadas.
261 La variación de color neta (ΔE^*_{total}) durante todo el periodo de exposición del material fue
262 de 29,10, con lo cual las maderas intemperizadas al finalizar el ensayo experimentaron un
263 cambio total de color (Fig. 2 C). En el caso de la madera testigo el valor de ΔE^*_{total} fue de
264 5,7, lo que indicó que si bien el cambio de color fue leve, éste fue apreciable a simple vista.
265 De acuerdo con los valores medios mensuales de las variables climáticas registradas durante
266 este ensayo (Boletín Agrometeorológico Mensual, FCAYF-UNLP, 2018-2019), la radiación
267 solar y las precipitaciones no influyeron significativamente en ningún parámetro
268 colorimétrico según las correlaciones de Spearman ($p > 0,05$). Contrariamente, la temperatura
269 media mensual y la temperatura de rocío, afectaron negativamente al parámetro a^* ($r = -0,57$,
270 $p < 0,1$ y $r = -0,61$, $p < 0,05$ respectivamente). La tendencia indica que, a medida que aumentó
271 la temperatura, la madera fue perdiendo su color rosado (valores más bajo de a^*).

272 Asimismo, la radiación solar, la temperatura media mensual y la temperatura de rocío
273 correlacionaron negativa y significativamente con el contenido de humedad de la madera ($r = -$
274 $0,72$, $r = -0,63$ y $r = -0,68$ respectivamente, $p < 0,05$) mientras que la humedad relativa del aire
275 se correlacionó positivamente ($r = 0,75$, $p < 0,05$). Tal como era esperable, se registraron los
276 valores más altos de contenido de humedad de la madera durante los meses invernales, julio
277 a septiembre (entre 21,1 %-18,9 %), meses de mayor humedad relativa y menores
278 temperaturas; mientras que los valores más bajos se registraron en los meses estivales,
279 diciembre a febrero (entre 12,6 %-15 %, respectivamente), meses de menor humedad relativa
280 y mayores temperaturas. Sin embargo, la variación en el contenido de humedad de la madera

281 no influyó directamente sobre el cambio de color, ya que esta variable no se correlacionó
282 significativamente con ninguno de los parámetros colorimétricos ($p > 0,05$).

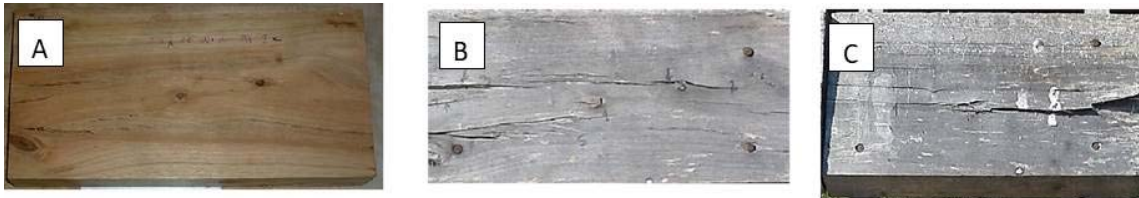
283 **Evaluación de defectos**

284 Tal como se comentó anteriormente, al inicio del ensayo algunas probetas presentaron
285 defectos que fueron registrados previamente a la exposición (Fig. 4A). En este sentido, las
286 grietas superficiales menores a 1 mm de ancho (microgrietas), fueron las que se hallaban
287 presentes en mayor proporción. Al finalizar el ensayo, el 37 % de las tablas presentaron
288 microgrietas (Fig. 4 B), el 18,5 % levantamientos (Fig. 4 C) y el 6 % algún signo de
289 degradación por hongos (manchadores y xilófagos). El ancho máximo de grieta más
290 frecuente después de la exposición, estuvo en el rango de 1-4 mm. El número medio de grietas
291 totales por tabla antes de la exposición fue de 2,94 ($\pm 1,8$), y la longitud media total de grietas
292 fue de 53,5 mm (± 35), mientras que al finalizar el ensayo estos valores aumentaron a 4,85
293 ($\pm 1,80$) y 109,5 mm (± 27) respectivamente. De acuerdo con esto, la exposición de la madera
294 al exterior incrementó el número y longitud de las grietas por tabla.

295 Se observó una relación negativa entre el contenido de humedad de la madera, y el aumento
296 en número ($r = -0,79$, $p < 0,05$) y longitud de grietas ($r = -0,69$, $p < 0,05$). Esto fue debido
297 principalmente a los cambios en el contenido de humedad de la madera durante los primeros
298 120 días de exposición (entre 21 %=julio y 15 %=octubre), con lo cual, a medida que el
299 contenido de la humedad de la madera disminuyó, el número de grietas y/o su longitud,
300 aumentó.

301 En cuanto a los signos de degradación (manchas o podredumbres) durante el ensayo, su
302 porcentaje de aparición/presencia fue muy bajo. En la primera etapa el número de tablas
303 afectadas fue del 2 %, aumentando a 4 % acontecidos los 120 días y a 6 % transcurridos 240

304 días de exposición. Asimismo, la probeta testigo no presentó grietas ni signos de degradación
305 durante el periodo del ensayo.



306

307 **Figura 4:** Evolución de defectos en una misma tabla: A- inicio del ensayo, B- finalización del ensayo,
308 C- tabla con levantamiento en extremo derecho y microgrietas en toda la superficie. Las grietas
309 presentes al inicio del ensayo tuvieron una evolución en longitud y espesor.

310 **DISCUSIÓN**

311 En términos generales y de acuerdo a la bibliografía consultada, existen pocos trabajos que
312 evalúen el comportamiento de la madera de *Eucalyptus* spp. sin preservar frente a la acción
313 del intemperismo natural. Cademartori *et al.* (2015) analizaron madera de 3 especies: *E.*
314 *saligna*, *E. cloeziana* y *E. grandis* expuestas a intemperismo natural (con orientación sur) en
315 un sitio en el SE de Brasil, realizando muestreos cada 120 días entre marzo 2013 y marzo
316 2014. Por su parte, Avila-Delucis *et al.* (2016) realizaron la evaluación de intemperismo en
317 *E. tereticornis* y *Corymbia citriodora* en 3 sitios contrastantes en Brasil, con muestreos cada
318 45 días, pero sin especificar la estación del año al comienzo del ensayo. En coincidencia con
319 nuestro trabajo, estos autores indicaron una primera etapa en donde las maderas
320 experimentaron una decoloración gradual, observando una disminución de los niveles de
321 L^* (16 % al 30 %), seguida por una segunda etapa donde los niveles de L^* se estabilizaron a
322 partir de los 240 días (Cademartori *et al.* 2015) y de los 225 días (Avila-Delucis *et al.* 2016).
323 Sin embargo, las diferencias metodológicas de estos antecedentes (estación del año, clima
324 predominante de exposición y tiempos entre muestreos) no permiten hacer una comparación
325 con la evolución mensual de los resultados hallados en el presente trabajo. De acuerdo con

326 esto, los valores finales de L^* dependerán de la especie (Turkoglu *et al.* 2015, Oberhofnerová
327 *et al.* 2017, Davor *et al.* 2018, Griebeler *et al.* 2018, Cui y Matsumura 2019) y del tiempo y
328 lugar de exposición.

329 En cuanto a los parámetros a^* y b^* , Avila-Delucis *et al.* (2016) y Cademartori *et al.* (2015)
330 también reportaron la pérdida de tonalidad de rojo y amarillo hasta valores próximos a 0, en
331 función del tiempo de exposición. Otros trabajos en distintas especies de angiospermas
332 indicaron diferentes patrones de incrementos o disminuciones de estos parámetros a lo largo
333 del proceso de meteorización, pero no pueden compararse directamente debido a las
334 diferencias de especies y metodologías empleadas (Oberhofnerová *et al.* 2017, Ozgenc *et al.*
335 2012, Turkoglu *et al.* 2015). Sin embargo, la tendencia general que muestran estos
336 parámetros en nuestro estudio, donde al finalizar el periodo de exposición se obtuvieron
337 valores cercanos a cero (acromático) tornándose la madera de color gris, es coincidente con
338 lo hallado por otros autores tanto para gimnospermas como para angiospermas (Davor *et al.*
339 2018, Cui y Matsumura 2019).

340 El cambio total de color hallado en nuestro trabajo, evaluado con el parámetro ΔE^*_{total}
341 (29,10), coincide con los valores registrados por varios autores para distintas especies durante
342 un año de exposición. Cademartori *et al.* (2015) reportaron valores de $\Delta E^*_{total} = 24,39$ a $25,70$
343 para las tres especies de *Eucalyptus* analizadas. Por su parte, Oberhofnerová *et al.* (2017)
344 registraron un rango de valores de ΔE^*_{total} de 23 a 34,1 para *Quercus robur* y para *Picea*
345 *abies*, respectivamente. En relación a esto, y a otros antecedentes bibliográficos, se puede
346 inferir que la primera etapa de degradación de la madera está relacionada con reacciones de
347 foto-oxidación y despolimerización de sustancias cromóforas presentes en la lignina y en los
348 compuestos extraíbles (compuestos fenólicos y terpenos) (Hon 2001, Evans *et al.* 2002,

349 Pandey 2005, Cui y Matsumura 2019), y a la posterior lixiviación del material degradado por
350 la acción del intemperismo natural (lluvias, humedad y viento) (Sudiyani *et al.* 2003, Chang
351 *et al.* 2010).

352 Los valores obtenidos para todos los parámetros colorimétricos en la probeta testigo
353 coinciden con el rango de valores testigo informados por algunos autores en sus estudios de
354 cambios de coloración en madera de *E. globulus* termotratada. En este sentido, Gullón
355 Estévez y González Muñoz (2008), y Griebeler *et al.* (2018) informaron rangos de valores
356 de $L^*=55-75$, $a^*=7,4-8,5$ y $b^*=15,7-20,8$ en las probetas sin termotratar (control),
357 considerando a la madera de esta especie de color clara con tonos amarillentos y algo rosados.

358 En relación a los defectos, Cademartori *et al.* (2015) reportaron para madera de *E. saligna*,
359 *E. grandis* y *E. cloeziana*, la aparición de microgrietas después de 120 días de exposición y
360 un incremento hasta los 240 días, para mantenerse constante hasta el momento de finalización
361 del ensayo (360 días). Sin embargo, estos autores no presentan resultados cuantitativos.
362 Oberhofnerova *et al.* (2017) indicaron, también de manera cualitativa, que las muestras de
363 distintas especies de gimnospermas y angiospermas evaluadas después de 180 días de
364 exposición, mostraron numerosas grietas en dirección de la fibra. Como se mencionó
365 anteriormente, además de la influencia de estos defectos *per-se*, su presencia puede ocasionar
366 el ingreso de agentes bióticos, en particular, hongos xilófagos, que aceleran el proceso de
367 deterioro (Humar *et al.* 2019). En este sentido, los defectos iniciales en el material ensayado
368 podrían ir en detrimento de nuestros resultados. No obstante, durante el ensayo, el porcentaje
369 de tablas afectadas con algún signo de degradación (manchas o podredumbres) representó
370 valores muy bajos (2-6 %). Cademartori *et al.* (2015) indicaron que la aparición de manchas
371 y microgrietas en la superficie de la madera de las tres especies de eucalipto evaluadas, estuvo

372 determinada por los niveles de temperatura, humedad y oxidación a la que fueron expuestas
373 las maderas. Oberhofnerova *et al.* (2017) reportaron crecimiento de moho en muestras de
374 otras especies latifoliadas (*Acer pseudoplatanus*, *Populus sp* y *Alnus glutinosa*), luego 120
375 días de exposición.

376 De acuerdo con los resultados hallados, el comportamiento de la madera de *Eucalyptus*
377 *globulus* expuesta a intemperismo evolucionó según las tendencias indicadas en la
378 bibliografía para otras especies, presentando variaciones en su apariencia superficial de color
379 y en la evolución de defectos de acuerdo a las diferentes variables climáticas analizadas y a
380 la variación en su contenido de humedad.

381 **CONCLUSIONES**

382 La madera de *Eucalyptus globulus* procedente de la provincia de Buenos Aires, Argentina,
383 sin preservar y expuesta a la intemperie durante un año en la ciudad de La Plata, cambia
384 significativamente su apariencia superficial, principalmente desde los estadíos iniciales hasta
385 los 150 días de exposición, período en que el deterioro es más evidente. Dicha madera pierde
386 su color natural adquiriendo un tono grisáceo (a^* y b^* cercanos a 0=acromático y valores
387 bajos de L^*) y aumentando el nivel de agrietado y, en menor medida, la aparición de otros
388 defectos (manchas y podredumbre). Al finalizar el ensayo los parámetros colorimétricos
389 presentaron cambios significativos, y apreciables a simple vista, respecto del testigo, siendo
390 su variación de color neta (ΔE^*_{total}) de 29,10.

391 Los valores de radiación solar y precipitaciones registrados durante el presente estudio no
392 influyeron significativamente en los parámetros colorímetros, mientras que el aumento de la
393 temperatura media mensual y la temperatura de rocío afectó negativamente al parámetro a^* .

394 El contenido de humedad de la madera se correlacionó negativamente con la presencia de
395 grietas (en número y longitud) pero no se correlacionó con los parámetros colorimétricos. La
396 incidencia de deterioro evaluado a través de la presencia de hongos cromógenos o xilófagos,
397 en función del contenido de humedad, fue muy baja (6 %).

398 En pos de generar un conocimiento más profundo en relación a la influencia de las variables
399 climáticas sobre los procesos de degradación de esta madera, resulta necesario realizar
400 nuevos ensayos que contemplen otros sitios con distintas condiciones (radiación,
401 precipitaciones y temperaturas) a las evaluadas en este trabajo.

402 **AGRADECIMIENTOS**

403 Al Mg. Sc. Ing. Ftal. Gabriel Keil por su valiosa ayuda en el montaje de las muestras para el
404 ensayo de intemperismo y a la Ing. Ftal. Carla Taraborelli por su colaboración en la
405 determinación de algunos parámetros cualitativos y colorimétricos.

406 **Bibliografía**

- 407 **Acuña, L.; Sepliarsky, F.; Spavento, F.; Martínez R.; Balmori, J. 2020.** Modelling of
408 Impact Falling Ball Test Response on Solid and Engineered Wood Flooring of Two
409 *Eucalyptus* Species. *Forests* 11: 933. <https://doi.org/10.3390/f11090933>
- 410 **Avila-Delucis, R.; Herrera Diaz, R.; Labidi, J.; Gatto, D. 2016.** Color of two eucalypts
411 woods exposed to natural weathering in three different environments. *Maderas- Cienc Tecnol*
412 18(1): 133–142. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000014>
- 413 **Belleville, B.; Ashley, P.; Ozarska, B. 2016.** Wood machining properties of Australian
414 plantation-grown eucalypts. *Maderas- Cienc Tecnol* 18(4): 677-688.
415 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000059>
- 416 **Brischke, C.; Rapp, A. 2008.** Dose–response relationships between wood moisture content,
417 wood temperature and fungal decay determined for 23 European field test sites. *Maderas-*
418 *Cienc Tecnol* 42: 507–518. <https://doi.org/10.1007/s00226-008-0191-8>.
- 419 **Boletín Agrometeorológico Mensual Facultad de Ciencias Agrarias y**
420 **Forestales. Universidad Nacional de La Plata. 2018-2019.** Sección agrometeorología
421 dependiente de la Estación Experimental “Ing. Agr. Julio Hirschhorn” y la cátedra de
422 Climatología y Fenología Agrícola de la FCyF, U.N.L.P.” La Plata, Argentina.
423 <https://www.agro.unlp.edu.ar/institucional/boletin-estacion-experimental-jh>
- 424 **Cademartori, P.; Missio, L.; Mattos, B.; Gatto, D. 2015.** Natural weathering performance of
425 three fast-growing eucalypt wood. *Maderas- Cienc Tecnol* 17(4): 799–808.
426 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000069>
- 427
- 428
- 429
- 430

- 432 **Chang, T.; Chang, H.; Wu, C.; Lin, H.; Chang, S. 2010.** Stabilizing effect of extractives
433 on the photo-oxidation of *Acacia confusa* Wood. *Polym Degrad Stab* 95: 1518-1522.
434 <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.06.012>
- 436 **CIELab. 2007. Colourimetry—Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour Space.** Available
437 online: <http://www.cie.co.at/publications/colorimetry-part-4-cie-1976-lab-colour-space>
438 (acceso febrero 2021).
- 440 **Cui, W.; Kamdem, P.; Rypstra, T. 2004.** Diffuse reflectance infrared fourier transform
441 spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood. *Wood Fiber Sci* 36:
442 291-301.
- 444 **Cui, X.; Matsumura, J. 2019.** Wood Surface Changes of Heat-Treated *Cunninghamia*
445 *lanceolata* Following Natural Weathering. Reprinted from: *Forests* 10:
446 791. <https://doi.org/10.3390/f10090791>
- 448 **Davor, K.; Boštjan L.; Thaler, N.; Humar, M. 2018.** Influencia de la intemperie natural y
449 artificial en el cambio de color de diferentes maderas y materiales a base de madera. *Forests* 9:
450 488. <https://doi.org/10.3390/f9080488>
- 452 **Evans, P.; Thay, P.; Schmalzl, K. 1996.** Degradation of wood surfaces during natural
453 weathering. Effects on lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic latex primers.
454 *Madera- Cienc Tecnol* 30(6): 411-422. <https://doi.org/10.1007/BF00244437>
- 456 **Evans, P.; Owen, N.; Schmid, S.; Webster, R. 2002.** Weathering and photostability of
457 Benzoylated wood. *Polym Degrad Stab* 76: 291–303. [https://doi.org/10.1016/S0141-](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00026-5)
458 [3910\(02\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00026-5)
- 460 **Gullón Estévez, P.; González Muñoz, M. 2008.** Membrane processing of liquors from
461 *Eucalyptus globulus* autohydrolysis. *J Food Eng* 87 (2): 257-265. DOI: [10.1016 /](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.032)
462 [j.jfoodeng.2007.11.032](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.032)
- 464 **Franke, S.; Marto, J. 2014.** Investigation of *Eucalyptus globulus* wood for the use as an
465 engineered material. En: Salenikovich, A. (ed.) World Conference of Timber Engineering
466 (WCTE), Quebec, Canadá.
- 467 **George, B.; Suttie, E.; Merlin, A.; Deglise, X. 2005.** Photodegradation and
468 photostabilisation of wood the state of the art. *Polym Degrad Stab* 88 (2): 268-274.
469 <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.10.018>
- 470 **Griebeler, C.; Tondi, G.; Schnabel, T.; Iglesias, C.; Ruiz, S. 2018. Reduction of the**
471 **surface** colour variability of thermally modified *Eucalyptus globulus* wood by colour pre
472 grading and homogeneity thermal treatment. *Eur J Wood Wood Prod* 76 (5):1495-1504. DOI
473 [10.1007/s00107-018-1310-3](https://doi.org/10.1007/s00107-018-1310-3)
- 475 **Hon, D.** Wood and cellulosic chemistry; Hon, D.N.-S.; Shiraishi, N., eds.; Marcel Dekker:
476 New York, 2001. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja015237p>
- 478 **Humar, M.; Davor, K.; Lesar, B.; Brischke, C. 2019.** The Performance of Wood Decking after
479 Five Years of Exposure: Verification of the Combined Effect of Wetting Ability and
480 Durability. Reprinted from: *Forests* 10: 903. <https://doi.org/10.3390/f10100903>
- 483 **Lovaglio, T.; Gindl-Altmutter, W.; Meints, T.; Moretti, N.; Todaro, L. 2019.** Wetting
484 Behavior of Alder (*Alnus cordata* (Loisel) Duby) Wood Surface: Effect of Thermo-
485 Treatment and Alkyl Ketene Dimer (AKD) Reprinted from: *Forests* 10:
486 770. <https://doi.org/10.3390/f10090770>
- 488 **Mattos, B.; Cademartori, P.; Lourençon, T. Gatto, D. 2013.** Colour changes of Brazilian
489 eucalypts wood by natural weathering. *Int Wood Prod J* 3: 33-38.
490 <https://doi.org/10.1179/2042645313Y.0000000035>
- 491 **Meteored tiempo.com.** Disponible en [https://foro.tiempo.com/zcomo-se-calcula-el-punto-del-rocio-](https://foro.tiempo.com/zcomo-se-calcula-el-punto-del-rocio-t20260.0.html)
492 [t20260.0.html](https://foro.tiempo.com/zcomo-se-calcula-el-punto-del-rocio-t20260.0.html)

- 493 **Negrão, D.; Silva Júnior, T.; Passos, J.; Sansígolo, C.; Minhoni, M.; Furtado, E. 2014.**
494 Biodegradation of *Eucalyptus urograndis* wood by fungi. *Int Biodeterio Biodegradation* 89:
495 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.004>
- 497 **Oberhofnerová, E.;Pánek, M.;García-Cimarras, A. 2017.** The effect of natural
498 weathering on untreated wood surface. *Maderas- Cienc Tecnol* 19: 173–184.
499 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000015>
- 501 **Ozgenç, O.; Hiziroglu, S.; Yildiz, U. C. 2012.** Weathering properties of wood speciesm
502 treated with different coating applications. *Bioresources* 7(4): 4875-4888.
503 [DOI:10.15376/biores.7.4.4875-4888](https://doi.org/10.15376/biores.7.4.4875-4888)
- 504 **Pandey, K.K. 2005.** Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of
505 Wood. *Polym Degrad Stab* 90: 9-20.<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.009>
- 506 **Rodríguez-Anda, R.; Fuentes-Talavera, F. J. 2003.** Factores que intervienen en el proceso
507 de envejecimiento de la madera. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1):
508 95-100. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62990110>
- 510 **Rozas, C.; Sánchez, R.; Pinedo, P. 2005.** Secado de *Eucalyptus nitens* y *E. globulus* y su
511 aprovechamiento en blocks, pisos y muebles. *Maderas- Cienc Tecnol* 7(2): 109-120.
512 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2005000200005>
- 513 **Stat Statistica. 2011.** StatSoft v10 Enterprise, Tulsa, USA. 514
514 <http://www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Featuresistica.2011>.
- 516 **Sudiyani, Y.; Imamura, Y.; Doi, S.; Yamauchi, S. 2003.** Infrared spectroscopic
517 investigations of weathering effects on the surface of tropical wood. *J Wood Sci* 49: 86-92.
518 https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=200902273591966276
- 520 **Touza-Vázquez, M. 2001.** Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia. 524
521 (España). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. *Maderas- Cienc Tecnol* 3(1-
522 2): 68-89. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2001000100008>
- 524 **Turkoglu, T.; Baysal, E.; Toker, H. 2015.** The Effects of Natural Weathering on Color
525 Stability of Impregnated and Varnished Wood Materials. *Adv Mater Sci Eng* Volume 2015
526 (4): 1-9. <https://doi.org/10.1155/2015/526570>

527