

COLOR DE LA MADERA DE DOS EUCALIPTOS EXPUESTAS AL INTEMPERISMO NATURAL EN TRES ENTORNOS AMBIENTALES DIFERENTES

COLOR OF TWO EUCALYPTS WOODS EXPOSED TO NATURAL WEATHERING IN THREE DIFFERENT ENVIRONMENTS

Rafael de Avila Delucis^{1,*}, René Herrera Diaz², Jalel Labidi², Darci Alberto Gatto¹

RESUMEN

La degradación superficial en madera de exteriores se debe a una combinación de factores meteorológicos inherentes al entorno de exposición y a la colonización de organismos xilófagos. Desde un punto de vista técnico y económico se trata de uno de los principales problemas para la industria de productos y materiales hechos a partir de la madera. El objetivo del presente trabajo es el de monitorizar la degradación superficial de las maderas de *Corymbia citriodora* y *Eucalyptus tereticornis* originarias de plantaciones de rápido crecimiento de Brasil, las cuales han sido expuestas a ensayos de intemperismo natural en tres entornos ambientales distintos. La monitorización de los cambios en el material fue realizada mediante estimaciones del color (método CIEL *a*b*), en ciclos de 45 días, hasta completar un periodo de 360 días de exposición. Los resultados mostraron que el material expuesto al entorno forestal fue menos afectado por los factores ambientales, lo que ha sido probablemente debido al aislamiento térmico y solar que proporciona este tipo de ecosistema. A su vez, se observó que las probetas de madera de *Corymbia citriodora* presentaron mayor resistencia al deterioro que las probetas de madera de *Eucalyptus tereticornis*, posiblemente debido a ciertas diferencias en su constitución química.

Palabras clave: Biodegradación, biodeterioro, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, fotodegradación.

ABSTRACT

Surface degradation in outdoor wood and products is due to a combination of inherent climate factors together with colonization of decay organisms. From a technical and economic standpoint it is one of the main problems for the industry of products and materials made from wood. The aim of this work is to track the surface degradation of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus tereticornis* timbers originating from fast-growing plantations in Brazil, which have been exposed to outdoor weathering tests in three different environmental conditions. Changes in the material were monitoring using color measurement (CIEL *a*b* method), in cycles of 45 days up to a period of 360 days of exposure. The results showed that timber exposed to a forest ecosystem was less affected by environmental factors; this is probably due to climate insulation provided by these ecosystems. Besides, it was observed that samples of *Corymbia citriodora* had higher resistance to degradation compared with samples of *Eucalyptus tereticornis*, possibly due to differences in its chemical constitution.

Keywords: Biodegradation, biodeterioration, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, photodegradation.

¹Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

²Departamento de Ingeniería Química, Universidad del País Vasco, San Sebastián, España.

*Autor para correspondencia: r.delucis@hotmail.com

Recibido: 21.01.2015 Aceptado: 22.11.2015

INTRODUCCIÓN

La optimización del uso de la madera y de los materiales a base de madera está condicionada al conocimiento de sus propiedades tecnológicas. En los casos en los cuales la madera es usada en ambientes exteriores, la vida útil del material está condicionada por el deterioro causado por diversos factores biológico-ambientales. Desde el punto de vista estético, el principal problema de la exposición del material al exterior está en la decoloración, así como la pérdida de brillo y el aumento de la rugosidad superficial, como explican Hon y Feist (1992).

La decoloración es el primer aspecto evidente durante el proceso de degradación de la madera expuesta en un ambiente exterior, seguido por la pérdida de masa, la cual según Kishino y Nakano (2004) y Tomak *et al.* (2014) implica una disminución de las propiedades mecánicas. Conjuntamente, son identificados otros inconvenientes como la disminución del rendimiento de los productos aplicados a la superficie de la madera (Pastore *et al.* 2008), productos tales como adhesivos y recubrimientos.

La capacidad que tiene la madera para resistir la degradación por factores biológico-ambientales es conocida como la capacidad de resistencia al intemperismo o durabilidad natural. Numerosos trabajos científicos, tales como los de Chang *et al.* (2010), Tovaj y Varga (2012) y Huang *et al.* (2012) han sido dirigidos hacia la predicción del comportamiento de la madera y materiales a base de madera en exteriores, realizando para ello ensayos de envejecimiento artificial o acelerado por medio de cámaras climáticas, no obstante, los ensayos de campo (envejecimiento natural) son más realistas aunque mucho más lentos, ya que se exponen las muestras a condiciones más cercanas al uso práctico, como los presentan diversos autores, tales como Valverde y Moya (2010), Mattos *et al.* (2013) y Tomak *et al.* (2014).

Después de una revisión del estado del arte, se encontraron estudios sobre resistencia al intemperismo de especies autóctonas de diversos países, tales como Silva y Pastore (2004), Tovaj y Varga (2012), Valverde y Moya (2013) y Tomak *et al.* (2014), los cuales evaluaron maderas de frondosas provenientes respectivamente de Brasil, Japón, Costa Rica y Turquía. Además, se han evaluado los tratamientos empleados sobre las muestras como en Temiz *et al.* (2005), Silva *et al.* (2007) y Huang *et al.* (2012). Sin embargo, aun siendo especies de gran importancia comercial, se encuentran en menor porcentaje los estudios sobre especies de rápido crecimiento del género *Eucalyptus* (Mattos *et al.* 2013). En este contexto, de acuerdo con Creemers *et al.* (2002), es adecuado el estudio en entornos de exposición natural ya que arrojan datos reales difíciles de conseguir por medio del intemperismo artificial.

El color de la madera *in natura* es atribuido sobre todo al contenido y composición de sus compuestos de bajo peso molecular, principalmente compuestos fenólicos (extraíbles) (Rowell 2005). Sin embargo, existen otros factores a los cuales se puede atribuir la heterogeneidad en el color de las maderas: la especie, la parte usada (duramen o albura), el plano de corte, el contenido de humedad (Mottonen *et al.* 2002, Valverde y Moya 2010), así como el manejo silvicultural y las condiciones edáficas y climáticas de las plantaciones forestales (Derkyi *et al.* 2009).

Además de estos factores biológicos, la madera en servicio adquiere un desgaste natural del color debido a su composición química, principalmente a la estructura que compone la lignina, que absorbe luz visible y ultravioleta a través de sus sustancias cromóforas y mediante la formación de radicales libres, que reaccionan con el oxígeno, generado por grupos carbonilos y carboxilos (Hon 2001). Después de un prolongado tiempo de exposición, algunos compuestos son lixiviados y una nueva superficie es expuesta, por debajo de la que ha sido lixiviada (Chang *et al.* 2010). Conjuntamente, esta nueva superficie es susceptible al ataque de agentes biológicos como los hongos y organismos xilófagos (Evans *et al.* 2008), y así ocurre la degradación de la madera por la combinación de agentes bióticos y abióticos.

Diversas técnicas de colorimetría fueron empleadas para monitorizar los cambios en la superficie de la madera después de los ensayos de intemperismo. Entre las más representativas encontramos el análisis por espectroscopía de Ultravioleta-Visible (Pandey y Vuorinen 2008) y el sistema HunterLab de colorimetría (Kang 2006). Sin embargo, el método CIEL*a*b* destaca como el principal método aplicado, principalmente por su rapidez, facilidad y versatilidad en las mediciones que genera (Kishino

y Nakano 2004, Konica Minolta 2007).

La técnica de colorimetría CIEL^{*}a^{*}b^{*} fue creada por la *Comission Internacional d'Eclairage - CIE* y consiste fundamentalmente en medir tres parámetros colorimétricos, a partir de los cuales es posible cuantificar el color del material. El primer parámetro se llama luminosidad (L^*) e indica el tono de gris dentro de una escala negro-blanco, numéricamente demarcada entre 0 y 100, donde 0 y 100 indican el negro y el blanco absolutos, respectivamente. Los otros dos parámetros son las coordenadas cromáticas verde-rojo (a^*) y azul-amarillo (b^*), las cuales dentro de una escala de 0 a 60 indican la variabilidad de los pigmentos rojo, verde, amarillo y azul, definidas por las variables $+a^*$, $-a^*$, $+b^*$ e $-b^*$, respectivamente (Pincelli *et al.* 2012, Gonçalez *et al.* 2014).

El presente estudio tiene como objetivo principal analizar la degradación del color de las maderas de *Corymbia citriodora* y *Eucalyptus tereticornis* oriundas de plantaciones forestales de rápido crecimiento de la zona sur de Brasil mediante estimaciones hechas según el método CIEL^{*}a^{*}b^{*}, durante ensayos de intemperismo natural en tres entornos ambientales distintos, en ciclos de 45 días, hasta completar un periodo de 360 días de exposición.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El material de estudio proviene de la selección de diez árboles adultos de *Eucalyptus tereticornis* y *Corymbia citriodora* (cinco de cada especie) con aproximadamente 60 años de edad, sembrados y apeados en el municipio de Charqueadas, región sur de Brasil. De cada árbol, se seleccionó la troza basal con 1,5 m de longitud desde 0,1 m de altura, a partir de la cual se escogieron las muestras con caras transversales prismáticas que fueron preparadas con las dimensiones de 1 x 1 x 20 cm en relación a sus planos anatómicos (tangencial x radial x longitudinal), descartando además las regiones medular y de la corteza del tronco. A continuación, las probetas fueron estabilizadas en cámara climática a 20 °C y 65% de humedad relativa, hasta lograr un contenido de humedad de equilibrio del 12%.

Instalación de las probetas de campo

Antes del comienzo del ensayo, un grupo de probetas fueron dejadas en cámara climática acondicionada (20 °C y 65%), las cuales fueron usadas como probetas testigo. Las probetas fueron situadas en el municipio de Piratini, región sur del Brasil, en donde se enterraron hasta la mitad de su altura y organizaron en bloques de a cuatro muestras. La distancia entre bloques fue de 30 cm (Figura 1). La región en la que fue instalado el experimento visualmente tenía un suelo caracterizado por la poca profundidad (litosol y regosol).

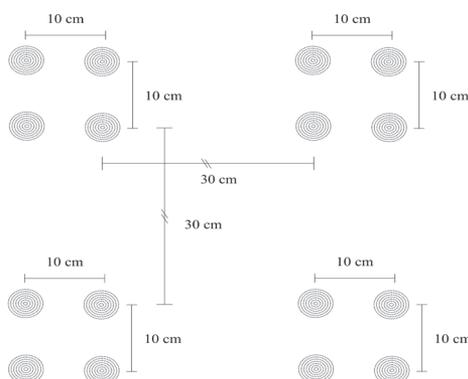


Figura 1. Esquema de la distribución de las probetas en los ensayos de campo.

Fueron definidos tres ambientes de exposición. El primero en una zona de campo abierto, donde las muestras quedaron totalmente a la intemperie, siendo un terreno con muy poca o nula vegetación. La segunda fue una zona inundada, en la cual las muestras quedaron parcialmente inmersas en agua a una profundidad de inmersión de aproximadamente 2 cm. Por último se escogió una zona forestal donde las probetas se ubicaron en el interior de una plantación forestal homogénea de *Pinus elliotii*, con árboles de entre 5 y 6 años de edad y de una altura promedio de aproximadamente 8 metros. Con el objetivo de monitorizar el mecanismo de descomposición, se recogieron tres muestras de cada especie de los campos cada 45 días, hasta 360 días, totalizando ocho recogidas de muestras.

Caracterización colorimétrica

Una vez terminado cada periodo de ensayos, las probetas se estabilizaron a un contenido de humedad de equilibrio higroscópico del 12%. Luego ha sido evaluado el color de las maderas de ensayo y del grupo *in natura*, mediante un colorímetro portátil Konica Minolta, modelo CR-400, con abertura de sensor de 8 mm. El aparato fue configurado para la utilización de fuente de luz (iluminante) D 65 y ángulo de observación de 10°, de acuerdo con los patrones establecidos por la CIEL*a*b*.

La caracterización colorimétrica se realizó por triplicado, sobre la cara tangencial de cada probeta, en el tramo que estuvo expuesto a la interperie (sobre el suelo) durante el ensayo de envejecimiento, donde fueron determinados los parámetros: luminosidad (L^*), coordenada verde-rojo (a^*), coordenada amarillo-azul (b^*), cromaticidad (C^*) y ángulo de tinta (h).

Para el análisis estadístico de los parámetros colorimétricos medidos, se empleó un diseño experimental totalmente aleatorio en el esquema factorial, teniendo como factores, la especie en dos niveles (*Corymbia citriodora* y *Eucalyptus tereticornis*), el tipo de entorno en tres niveles (abierto, inundado y forestal) y el tiempo de exposición en 8 niveles (ocho recogidas de probetas). Adicionalmente, se hicieron gráficos de cada especie, utilizando como variables L^* y C^* en los ejes de las ordenadas y abscisas, respectivamente, siguiendo las recomendaciones del manual del equipo de colorimetría (Konica Minolta, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante el ANOVA multifactorial que se presenta en la Tabla 1. Según el análisis, se observa una influencia significativa del factor tipo de entorno en todos los parámetros colorimétricos. No obstante, dentro del factor especie, la luminosidad (L^*), la coordenada cromática azul-amarillo (b^*) y la cromaticidad (C^*) se mostraron significativamente iguales, lo que indica que de forma aislada, estos parámetros colorimétricos no son suficientemente sensibles para distinguir entre ambas especies.

Tabla 1. ANOVA multifactorial para los parámetros colorimétricos en función de la especie, tipo de entorno y tiempo de exposición.

Variables	Especie	Tipo de entorno	Tiempo de exposición
L^* ¹	0,13 ^{ns}	18,58**	3,07**
a^* ²	32,69**	95,43**	56,58**
b^* ³	0,13 ^{ns}	169,84**	99,23**
C^* ⁴	4,50 ^{ns}	184,00**	107,05**
h^5	29,13**	6,57**	12,14**

¹ luminosidad; ² coordenada cromática verde-rojo; ³ coordenada cromática azul-amarillo; ⁴ cromaticidad; ⁵ ángulo de tinta; **significativo al 1% de nivel de significación; ^{ns} no significativo.

Además de los resultados del ANOVA multifactorial, las comparaciones entre el color de las probetas sanas y degradadas son mostradas en la figura 2. Se muestra que en comparación con la

madera de *Corymbia citriodora*, por los niveles de L^* y a^* respectivamente, cuando se encuentra sana (*in natura*), la madera de *Eucalyptus tereticornis* se presenta más oscura ($F= 40,54$; $p<0,01$) y arroja mayores niveles de pigmentos ($F= 838,44$; $p<0,01$); lo que refleja una tendencia mayoritaria hacia los tonos rojizos, más que hacia los tonos amarillentos ($<h$).

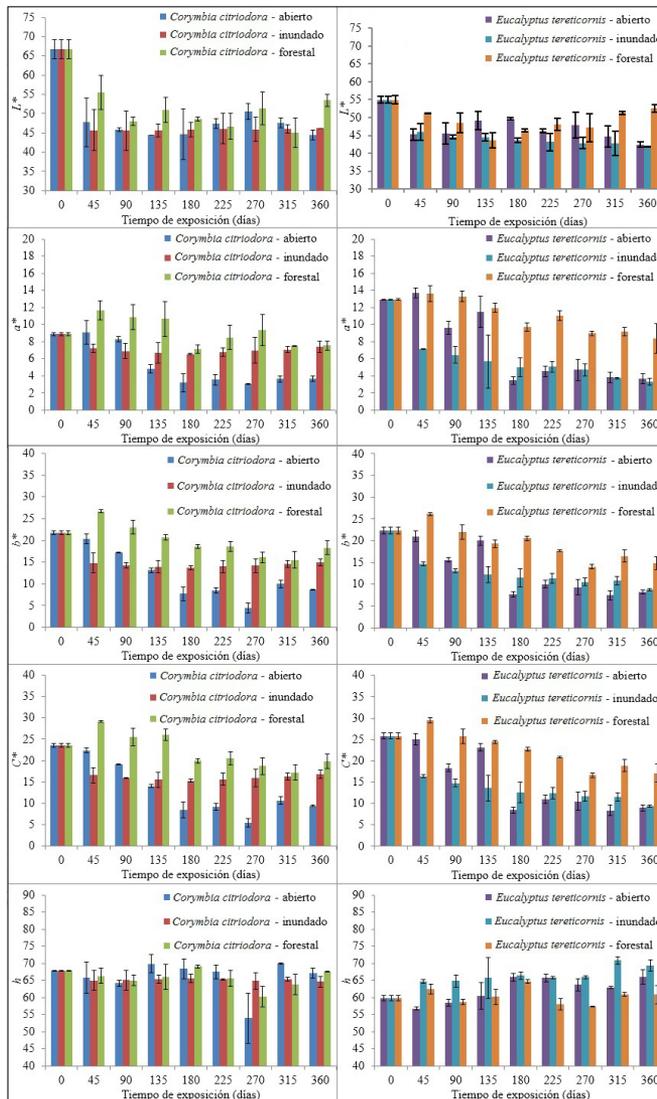


Figura 2. Niveles de los parámetros colorimétricos en función del periodo de exposición en los ensayos de campo.

Comparando con estudios antecedentes los niveles promedio de los parámetros obtenidos para la madera sana de los dos eucaliptos, se ha podido verificar que están dentro del rango de los obtenidos por otros autores que evaluaron maderas del genero *Eucalyptus* de varias especies, como: Pincelli *et al.* (2012), Cademartori *et al.* (2013) y Mattos *et al.* (2013), los cuales reportaron niveles entre 49 e 74, 9 e 15 y 18 e 24 respectivamente para L^* , a^* y b^* . Lo que indica que las probetas de madera de ese estudio fueron evaluadas en condiciones normales desde el punto de vista sanitario.

Realizando el análisis de L^* en función del tiempo de exposición, se identificaron dos etapas de cambio del color en la madera. La primera etapa ocurrió hasta aproximadamente 225 días, en donde las maderas experimentaron una decoloración gradual, observada por la disminución de los niveles de L^* . Posteriormente, en la segunda etapa se observó que en la exposición a los entornos ambientales abierto

y inundado, los niveles de L^* se estabilizaron. Sin embargo, en el caso del entorno forestal, los niveles tuvieron un pequeño aumento.

De acuerdo a investigaciones previas, se ha concluido que es posible atribuir la primera etapa de degradación de las muestras a los ciclos combinados de reacciones de foto-oxidación y despolimerización de sustancias cromóforas presentes en la lignina y en los compuestos extraíbles (compuestos fenólicos y terpenos). A su vez, estas reacciones son debidas a la absorción de luz solar ultravioleta y visible (Evans *et al.* 2002, Pandey 2005) y a la posterior lixiviación del material degradado por la acción del intemperismo natural (lluvias, humedad y viento) (Sudiyani *et al.* 2003, Chang *et al.* 2010).

La segunda etapa de la degradación es atribuida a la colonización del sustrato a partir de la superficie expuesta, la cual ocurre por la acción de agentes biológicos, principalmente hongos xilófagos, hongos cromógenos y mohos, los cuales afectan a las propiedades físico-químicas de la madera (Jebrane *et al.* 2014, Negrão *et al.* 2014, Plaschkies *et al.* 2014). Por lo tanto, es posible decir que la actividad fisiológica de estos agentes biológicos puede cambiar dependiendo del entorno ambiental de exposición y dentro de un mismo entorno ambiental (Brischke *et al.* 2014). Este estudio preliminar muestra que es pertinente realizar una descripción pormenorizada del mecanismo de degradación de los diversos agentes biológicos, para así identificar y cuantificar la acción individual de los organismos envueltos en el proceso de degradación.

Asimismo, se observó que la decoloración de la madera expuesta en el entorno forestal no fue tan severa como la observada en las maderas expuestas en el entorno ambiental abierto y en el inundado. Sin embargo, en comparación con las maderas sanas a los 225 días, los niveles de disminución de L^* en las probetas expuestas en entorno ambiental abierto y en entorno inundado fueron respectivamente de 29,07 y 31,01% para *Corymbia citriodora* y 15,73 y 21,49% para *Eucalyptus tereticornis*, respectivamente. En el entorno forestal, la disminución del valor de decoloración en el mismo periodo de tiempo en comparación con las probetas sanas fue de 19,77%, donde para cada madera de forma aislada la diferencia fue de 27,11 y 12,44% en *Corymbia citriodora* y *Eucalyptus tereticornis*, respectivamente.

Los resultados obtenidos en el entorno forestal posiblemente están asociados al aislamiento térmico propio de este tipo de entorno y al menor nivel de exposición a la radiación solar, también propio de la vegetación en zonas forestales, debido a la barrera natural que forma la copa de los árboles de la plantación de *Pinus elliottii* de este ecosistema. En su trabajo, Mattos *et al.* (2013) reportaron que en un período de un año, la diferencia de color de las muestras expuestas en entorno abierto y forestal son visibles a simple vista en muestras de madera de *Eucalyptus* spp.

En cuanto a las coordenadas cromáticas (a^* y b^*), se comprueba que la decoloración de la madera aconteció gradualmente en función del periodo de exposición de las probetas en campo, donde se encontró que en los casos de a^* y b^* significó la pérdida de sus tonos de rojo y amarillo, respectivamente. De manera análoga, en el análisis del parámetro L^* , se observó una disminución más acentuada, hasta aproximadamente los 225 días de exposición, en donde las probetas menos degradadas fueron las del entorno forestal.

En análisis de los modelos polinomiales (Figura 3), resulta más evidente ese comportamiento descrito para los niveles de L^* y a^* , con lo que a los 225 días se ha verificado un umbral que divide el mecanismo de depreciación de la superficie de las probetas durante el tiempo de exposición en campo.

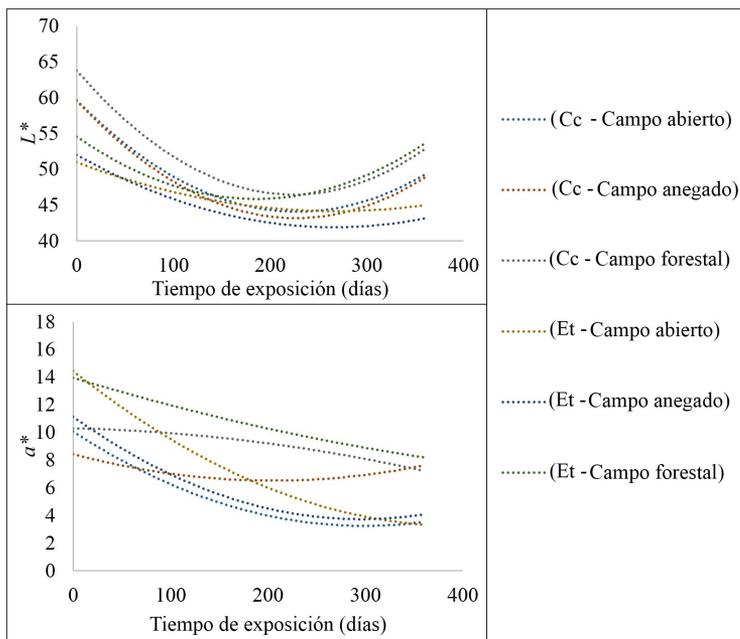


Figura 3. Tendencia de los niveles de L^* y a^* frente al tiempo de exposición. En que: Cc= *Corymbia citriodora*; Et= *Eucalyptus tereticornis*.

En cuanto a los niveles de cromaticidad (C^*) analizados a lo largo del tiempo de exposición, mostraron que independientemente del entorno ambiental de exposición, las probetas adquirieron tonos de coloración más opacos. Con base en los niveles de C^* asociados a los del parámetro L^* (Figura 4) se aprecia que la decoloración de la madera tiende a la tonalidad gris, confirmado en los resultados del estudio de Mattos *et al.* (2013).

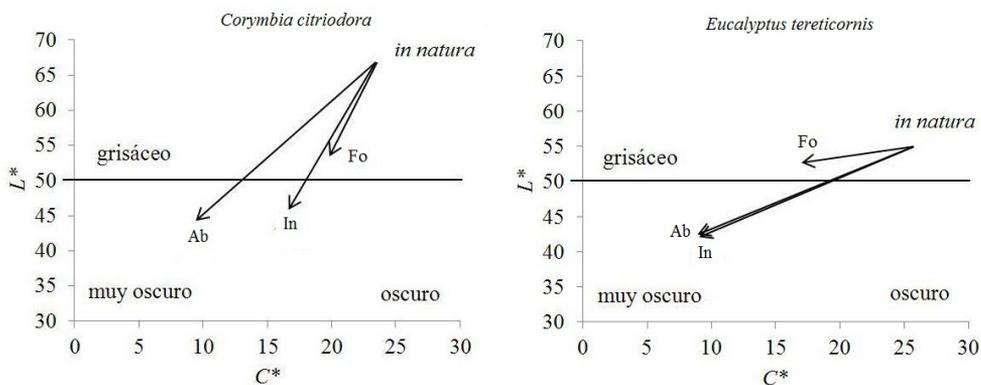


Figura 4. Diagrama de la cromaticidad de las maderas degradadas en los ensayos de intemperismo natural en tres entornos ambientales de exposición. L^* = luminosidad; C^* = cromaticidad; Ab= entorno abierto; In= entorno inundado; Fo= entorno forestal.

De acuerdo con el esquema vectorial presentado en la Figura 4, se contrastan los distintos mecanismos de degradación por intemperismo y se verifica la menor degradación cromática del material expuesto al entorno forestal. Además, en cada especie de madera ocurrió un mecanismo diferente de degradación. En la madera sana de *Eucalyptus tereticornis*, las muestras presentaron una tonalidad más oscura, todavía el tono de gris adquirido después del ensayo fue más claro en comparación con las muestras de madera de *Corymbia citriodora*.

Los diversos mecanismos que ocurren en las muestras de ensayo, probablemente están vinculados a la composición química de las maderas, en especial a la cantidad y estructura de la lignina de cada especie, ya que aunque los principales componentes de la madera (celulosa, hemicelulosa, lignina y extraíbles) sean susceptibles de fotodegradación, la lignina parece ser el componente responsable de la decoloración atribuida al intemperismo (Hon 2001, Evans *et al.* 2002, Ishiguri *et al.* 2003).

Según Pandey (2005), las maderas con contenidos de guaiacol-siringol equilibrados en la composición de su lignina (lignina típica de maderas duras) tienden a presentar mayor resistencia a la fotodegradación, debido a que durante la oxidación de sus grupos cromóforos forman en menor proporción grupos carbonílicos y carboxílicos. En el trabajo de Santos *et al.* (2014), analizando la lignina extraída por el método organosolv de material de la misma procedencia del presente estudio, los autores reportaron que la madera de *Corymbia citriodora* ha presentado un menor contenido de lignina, mayores índices de componentes fenólicos, y una mayor proporción S/G (razón entre los contenidos de siringol y guaiacol-siringol) comparado con la madera de *Eucalyptus tereticornis*.

De esta manera, las investigaciones que se llevan a cabo en el mismo ámbito respaldan los resultados obtenidos en este estudio, concluyendo que aunque la madera de *Corymbia citriodora* sana presenta una tonalidad más clara, esta madera es más resistente a la foto-oxidación que la madera de *Eucalyptus tereticornis*, probablemente debido a su contenido y constitución de los componentes químicos, en especial a la composición de la lignina.

CONCLUSIONES

Además del carácter preliminar del trabajo, que ha sido monitorizar la depreciación de las maderas de eucalipto frente al envejecimiento natural, se concluye que la monitorización de sus cambios colorimétricos durante los ensayos de intemperismo natural permiten distinguir dos etapas de degradación: la primera hasta aproximadamente 225 días de exposición, la cual se debe a los ciclos combinados de foto-oxidación de la lignina y los compuestos extraíbles por acción de radiación solar y la lixiviación del material degradado por la acción de los diversos factores atmosféricos del intemperismo natural; La segunda etapa, ocurrió hasta el final de los ensayos de campo, en donde ya empiezan a colonizar los agentes biológicos, principalmente hongos xilófagos, hongos cromógenos y mohos. El material expuesto en el entorno ambiental forestal fue menos afectado debido al aislamiento térmico y menor nivel de exposición a la radiación solar propio de la vegetación en zonas forestales. En cuanto a la comparación entre las maderas ensayadas, se identificó a la madera de *Corymbia citriodora* como de mayor resistencia al intemperismo comparándola con la madera de *Eucalyptus tereticornis*, debido probablemente al contenido y constitución química de las dos especies y en especial a la composición de la lignina. Ambas maderas del ensayo adquirieron una tonalidad grisácea que aumentaba en función del tiempo de exposición, observando tonalidades más claras en las probetas al final del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Brischke, C.; Meyer, L.; Olberding, S. 2014.** Durability of wood exposed in ground e Comparative field trials with different soil substrates. *International Biodeterioration & Biodegradation* 86: 108-114.
- Cademartori, P.H.G.; Schneid, E.; Gatto, D.A.; Stangerlin, D.M.; Beltrame, R. 2013.** Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 15: 57-64.
- Chang, T.C.; Chang, H.T.; Wu, C.L.; Lin, H.Y.; Chang, S.T. 2010.** Stabilizing effect of extractives on the photo-oxidation of *Acacia confusa* Wood. *Polymer Degradation and Stability* 95: 1518-1522.
- Creemers, J.; Meijer, M.; Zimmermann, T.; Sell, J. 2002.** Influence of climatic factors on the weathering of coated wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 60: 411-420.
- Derkyi, N.S.A.; Bailleres, H.; Chaix, G.; Thevenon, M.F.; Oteng-Amoako, A.A.; Adu-Bredu, S. 2009.** Colour variation in teak (*Tectona grandis*) wood from plantations across the ecological zones of Ghana. *Ghana Journal of Forest* 25: 40-48.
- Evans, P.D.; Owen, N.L.; Schmid, S.; Webster, R.D. 2002.** Weathering and photostability of benzoylated wood. *Polymer Degradation and Stability* 76: 291-303.
- Evans, P.; Urban, K.; Chowdhury, M. 2008.** Surface checking of wood is increased by photodegradation caused by ultraviolet and visible light. *Wood Science and Technology* 42: 251-265.
- Gonçalez, J. C.; Marques, M. H. B.; Karas, M. C. S.; Janin, G.; Ribeiro, P. G. 2014.** Effect of drying process on marupá wood color. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 16: 337-342.
- Ishiguri, F.; Maruyama, S.; Takahashi, K.; Abe, Z.; Yokota, S.; Andoh, M.; Yoshizawa, N. 2003.** Extractives relating to heartwood color changes in sugi (*Cryptomeria japonica*) by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure. *Journal of Wood Science* 49: 135-139.
- Jebrane, M.; Pockrandt, M.; Terziev, N. 2014.** Natural durability of selected larch and Scots pine heartwoods in laboratory and field tests. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 91: 88-96.
- Hon, D.N.S.** *Wood and cellulosic chemistry*; Hon, D.N.-S.; Shiraishi, N., eds.; Marcel Dekker: New York, 2001.
- Hon, D.N.S.; Feist, W.C. 1992.** Hydroperoxidation in photoirradiated wood surfaces. *Wood and Fiber Science* 24: 448-455.
- Huang, X.; Kocaefe, D.; Kocaefe, Y.; Boluk, Y.; Pichette, A. 2012.** Changes in wettability of heat-treated wood due to artificial weathering. *Wood Science and Technology* 46: 1215-1237.
- Kang, H.Y. 2006.** Effect of drying methods on the discoloration of three major domestic softwood species in Korea. *Forestry Studies in China* 8: 48-50.
- Kishino, M.; Nakano, T. 2004.** Artificial weathering of tropical woods. Part 2: Color change. *Holzforschung* 58: 558-565.
- Konica Minolta. 2007.** Precise color communication: color control from perception to instrumentation. Japan: Konica Minolta Sensing Inc.
- Mattos, B.D.; Cademartori, P.H.G.; Lourençon, T.V.; Gatto, D.A. 2013.** Colour changes of Brazilian eucalypts wood by natural weathering. *International Wood Products Journal* 3: 33-38.

- Möttönen, K.; Alvila, L.; Pakkanen, T. 2002.** CIELab Measurements to determine the role of felling season, log storage and kiln drying on coloration of silver Birch wood. *Scandinavian Journal Forest Research* 17: 179-191.
- Negrão, D.R.; Silva Júnior, T.A.F.; Passos, J.R.S.; Sansígolo, C.A.; Minhoni, M.T.A.; Furtado, E.L. 2014.** Biodegradation of *Eucalyptus urograndis* wood by fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* 89: 95-102.
- Pandey, K.K. 2005.** Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of Wood. *Polymer Degradation and Stability* 90: 9-20.
- Pandey, K.K.; Vuoronen, T. 2008.** Comparative study of photodegradation of wood by a UV laser and a xenon light source. *Polymer Degradation and Stability*. 93: 2138-2146.
- Pastore, T.C.M.; Oliveira, C.C.K.; Rubim, J.C.; Santos, K.O. 2008.** Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT). *Química Nova* 31: 2071-2075.
- Pincelli, A.L.P.S. M.; Moura, L.F.; Brito, J.O. 2012.** Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 14: 239-248.
- Plaschkies, K.; Jacobs, K.; Scheiding, W.; Melcher, E. 2014.** Investigations on natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 1: Laboratory tests. *International Biodeterioration & Biodegradation* 90: 52-56.
- Rowell, W.C. 2005.** (Ed.). Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC, 2005. 487p.
- Santos, P.S.B.; Cademartori, P.H.G.; Prado, R.; Gatto, D.A.; Labidi, J. 2014.** Composition and structure of organosolv lignins from four eucalypt species. *Wood Science Technology* 48: 873-885.
- Silva, J.O.; Pastore, T.C.M. 2004.** Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. *Floresta e Ambiente* 11: 7-13.
- Silva, J.O.; Pastore, T.C.M.; Pastore Junior, F. 2007.** Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. *Ciência Florestal* 17: 17-23.
- Sudiyani, Y.; Imamura, Y.; Doi, S.; Yamauchi, S. 2003.** Infrared spectroscopic investigations of weathering effects on the surface of tropical wood. *Journal of Wood Science* 49: 86-92.
- Temiz, A.; Yildiz, U.C.; Aydin, I.; Eikenes, M.; Alfredsen, G.; Çolakoglu, G. 2005.** Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied Surface Science* 250: 35-42.
- Tomak, E.D.; Estaomer, D.; Yildiz, S.; Pesman, E. 2014.** Changes in Surface and Mechanical Properties of Heat Treated Wood During Natural Weathering. *Measurement* 50: 30-39.
- Tovaj, L.; Varga, D. 2012.** Photodegradation of timber of three hardwood species caused by different light sources. *Acta Silvatica & Lingaria Hungarica* 8: 145-155.
- Valverde, J.C.; Moya, R. 2010.** Efectos de la intemperie en el color de dos acabados aplicados en madera de *Cedrela odorata* y *Carapa guianensis*. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 12: 171-180.
- Valverde, J.C.; Moya, R. 2013.** Correlation and modeling between color variation and quality of the surface between accelerated and natural tropical weathering in *Acacia mangium*, *Cedrela odorata* and *Tectona grandis* wood with two coating. *COLOR Research and Application* 39: 519-529.