

# APRECIACIÓN CUANTITATIVA DEL COLOR DE LA MADERA POR COLORIMETRÍA. PARTE 2: MEDICIONES DE LOS CAMBIOS DE COLOR EN PINO RADIATA (*PINUS RADIATA*) SECADO BAJO UN PROGRAMA CONVENCIONAL ACELERADO

## AESTHETICS APPRECIATION OF WOOD COLOUR AND PATTERNS BY COLORIMETRY: PART 2. MEASUREMENTS OF KILN DRYING DISCOLORATION IN RADIATA PINE

Rubén A. Ananías<sup>1</sup>; Rodrigo Sarzosa<sup>2</sup>; Gérard Janin<sup>3</sup>; Genka Bluskova<sup>4</sup>; Joaquim Gonzalez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Depto. Ingeniería en Maderas, Fac. Ingeniería. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile. [ananias@ubiobio.cl](mailto:ananias@ubiobio.cl)

<sup>2</sup>Aserraderos Maderas Campanario (MADECAM). Camino a Yungay. Chile. [rodrigo.sarzosa@maderaschile.cl](mailto:rodrigo.sarzosa@maderaschile.cl)

<sup>3</sup>INRA-Institute National de la Recherche Agronomique, Champenoux, France

<sup>4</sup>Dept. Mechanical Wood Technology, University of Forestry. Sofia. Bulgaria.

<sup>5</sup>Universidad de Brasilia, Brasilia. Brasil.

Autor para Correspondencia: [ananias@ubiobio.cl](mailto:ananias@ubiobio.cl)

---

### RESUMEN

En la primera parte de este trabajo se presentaron las bases teóricas en las que se sustenta la medición cuantitativa y objetiva del color de un material. En base al sistema CIELab, se cuantifican los cambios de color de la madera de pino radiata *Pinus radiata* observados durante el secado industrial bajo un programa convencional acelerado.

Los resultados confirman que las mediciones cuantitativas del color en la superficie de la madera permiten detectar la presencia de los cambios de color productos del secado por debajo de la superficie hasta una profundidad de 3 mm. Tales cambios de color son influenciados por la heterogeneidad de los anillos de crecimiento: relación madera inicial/madera final y el ancho de anillos. Además permiten adaptar el programa de secado de acuerdo al nivel de intensidad de la coloración permitida.

**Palabras clave:** Coloraciones de secado, colorimetría, *Pinus radiata*

---

### ABSTRACT

On the first part of this work the colorimetry theory for the CIELAB system was presented. In this paper the drying discoloration of radiata pine *Pinus radiata* at accelerated temperature was measured quantitatively and objectively. The results showed that the kiln brown drying would be detected until 3 mm below the surface by colorimetry and that this parameters values were influenced by the heterogeneity of the annual ring: earlywood/latewood relation and annual ring width. Also this measurements of the wood colour changes can allow to adjust the drying schedule in according to the coloration intensity allowed.

**Keywords:** Drying discoloration, colorimetry, *Pinus radiata*

---

## INTRODUCCIÓN

El color se vincula con la reflexión de la luz de la superficie. La superficie del material refleja luz con una cierta intensidad para una longitud de onda dada, esto es, la curva de reflectancia. La característica invariante del color, es comparada con la intensidad de reflexión al mismo largo de onda de una fuente luminosa conocida entre 400 y 700 nm (Janin *et al.*, 2001). El sistema CIELab ha sido usado corrientemente para la medición de las coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de un material, donde:  $L^*$  es la luminosidad que mide el eje del color blanco-negro,  $a^*$  es la coordenada asociada al eje verde-rojo y  $b^*$  la coordenada que mide el color azul-amarillo (Sullivan, 1967<sup>a</sup>, 1967b). Aparte de la luminosidad  $L^*$  y las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$ , en el sistema CIELCh el ángulo del color o tinte (h) y la saturación del color (C) puede ser obtenidos en base de estas mediciones (Sullivan, 1967b, Janin *et al.* 2001).

Los cambios de color asociados al secado basándose en las coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , han sido estudiados por diversos autores (Charrier *et al.* 1992; Simpson y Haslett, 1994; Ananías *et al.* 2001a, Koch y Bauch 2000; Ledig y Seyfarth, 2001). Charrier *et al.* 1992, muestra en base a las mediciones de  $L^*a^*b^*$  los cambios de color del *Quercus sp.* son condicionados por la humedad de la madera y el método de secado. Ananías *et al.* 2001b muestran que las curvas de isoluminosidad son condicionadas por los parámetros del ambiente de secado y la humedad de la madera, durante el secado de *Fagus sylvatica*. Estudios de pretratamiento de la madera en acetona y metanol que afectan la coloración realizados por Koch y Bauch 2000, muestran un aumento de  $L^*$  en maderas de *Fagus sylvatica*, lo que permite posteriormente reducir los cambios de color durante el secado. Leydig y Seyfarth, 2001 en cambio, caracterizan los cambios de color de *Fagus sylvatica* durante el prevaporizado a 80 °C en base a mediciones de los parámetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , además correlacionan estos con el tiempo de prevaporizado.

El secado a elevada temperatura favorece tanto la coloración café hasta 2 a 3 mm por debajo de la superficie (Terziev *et al.*, 1993; Terziev, 1995; Kreber y Haslett 1997a) así como la coloración oxidativa de la superficie de la madera (Avramidis *et al.*, 1993; Ananías *et al.*, 2001a). De acuerdo a las referencias, la coloración café puede ser

reducida pero no eliminada completamente bajo condiciones de baja temperatura 45 a 50 °C; la oxidación superficial por su parte puede ser reducida a temperaturas por debajo de los 50 °C, en este sentido para el caso del pino radiata, que soporta el secado rápido, la utilización de baja temperatura provoca pérdidas importantes en productividad. La humedad del ambiente de secado intensifica notablemente los cambios de color en la superficie de la madera (Avramidis *et al.*, 1993; Ananías *et al.*, 2001b), no obstante la coloración café por debajo de la superficie, parece ser intensificada a más baja humedad del ambiente (Kreber *et al.* 1998).

La coloración café ocasionada por el secado a elevada temperatura del pino radiata, es un fenómeno mediante el cuál, reaccionan por condensación los precursores de la coloración café: azúcares en presencia de aminoácidos con la temperatura de secado, este fenómeno termo-químico, es esencialmente una "caramelización", conocida como reacción de Amadori-Maillard (Terziev, 1995; Kreber *et al.*, 1998; McDonald *et al.*, 2000). Una polimerización oxidativa de sustancias fenólicas (taninos), sustancias precursoras de la coloración en la superficie, es intensificada con la temperatura y la humedad del ambiente. La humedad de la madera juega además un rol importante (Avramidis *et al.* 1993; Kreber y Haslett 1997a; Ananías 2000). Los cambios de color se producen en madera verde al comienzo del secado y se intensifican con la disminución de la humedad de la madera (Terziev *et al.* 1993; Avramidis *et al.* 1993; Terziev 1995; Kreber y Haslett 1997a; Ananías *et al.*, 2001b; Sundqvist 2002).

La prevención de la coloración ha sido abordada a través de diversos métodos y técnicas propuestas como solución a los problemas de cambios de color del secado de la madera (Charrier *et al.* 1992; Avramidis *et al.* 1993; Joyet y Meunier, 1996; Kreber y Haslett, 1997b; Wastney *et al.* 1997; Kreber *et al.* 1999a; 1999b; Kreber *et al.*; 2001; McCurdy *et al.* 2002). La oxidación en la superficie puede ser controlada manipulando los programas de secado (Avramidis *et al.*, 1993), reduciendo el oxígeno en el ambiente de secado (Ananías 2000) y secando bajo vacío (Charrier *et al.* 1992; Joyet y Meunier 1996). La coloración café debajo de la superficie puede ser reducida pero no enteramente secando por presión antes del secado térmico (Kreber y Haslett 1997b); usando productos químicos para controlar el desarrollo de la reacción termoquímica (Kreber *et al.* 1999b). Además se ha explorado a escala de laboratorio la extracción de la savia antes del secado (Kreber *et al.* 2001) y el control biológico (McCurdy *et al.* 2002). A la escala industrial la sobredimensión y el posterior cepillado de la zona afectada por la coloración eliminan el problema.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar los cambios de color en la superficie de la madera seca de pino radiata, proveniente de una carga de secado bajo un programa convencional acelerado 90/60 (°C/°C).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Madera aserrada seca de 40x105x4000 mm, secada bajo un programa convencional acelerado 90/60 (°C/°C) en un horno industrial 100 m<sup>3</sup>, es utilizada en estos

experimentos. Una muestra aleatoria de aproximadamente un 5% de la carga es clasificada por un experto industrial en 5 niveles de intensidad de coloración y cepillada hasta una profundidad de 3 mm, según se indica en el cuadro 1. Una muestra de 6 piezas, representativa de cada uno de los niveles de intensidad mostrada en el cuadro 1, es preparada y enviada a los laboratorios de la Universidad de Brasilia, para la cuantificación del color.

**Cuadro 1:** Intensidad del color en la superficie de madera seca de pino radiata

Profundidad (mm)	Intensidad	Color cara A
0	0	
1	1	
1.5	2	
2	3	
2.5	4	
3	5	

Se evalúan las coordenadas colorimétricas  $L^*a^*b^*$  y espectrales en la región visible (400-700 nm), utilizando un espectrocolorímetro Datacolor Microflash 200d (Fig 1). La luminosidad  $L^*$ , el ángulo del color  $h$  y las curvas de reflectancia son utilizadas para representar los cambios de color en la superficie de la madera. La luminosidad se interpreta como la claridad, o sea, "aclaramiento" u "oscurecimiento" de la madera ( $L^*=100$  color blanco y  $L^*=0$  color negro). El  $h$  se interpreta como el tinte, esto es,

“amarillamiento o enrojecimiento” de la madera. Igualmente las curvas espectrales de reflectancia indican los cambios en luminosidad y tinte de la madera. Los cambios de la profundidad de la reflectancia se interpretan como cambios en la claridad de la madera y la forma del espectro indica los cambios en el tinte de la madera.

Se cuantifica el color mediante 4 mediciones sobre cada una de las caras de las 6 piezas, esto es, cara A: superficie con coloración a 0,5 mm de profundidad y cara B: superficie sin coloración a 10 mm de profundidad. En total se recogen 288 mediciones de coordenadas colorimétricas y espectrales.



**Figura 1:** Espectrocolorímetro y sistema adquisición de datos

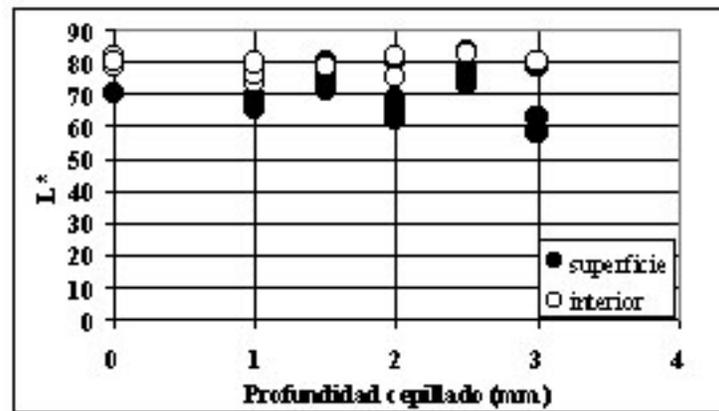
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2a se presentan los valores de luminosidad  $L^*$  y en la Figura 2b la magnitud del tinte  $h$ , para cada una de las profundidades de cepillado consideradas. Se observa que los cambios en luminosidad y tinte en la superficie comienzan a ser importantes a partir de una profundidad de cepillado superior a 2 mm. La disminución en  $L^*$  varía entre 10 y 23 y la variación de  $h$  es de entre 6 y 10. La mayor intensidad del cambio en  $L^*$  y  $h$  es observada cuando la madera fue cepillada hasta 2,5 mm, en este caso  $L^*$  baja de 83.1 a 60.6 y  $h$  se reduce de 77.3 a 67. De acuerdo con estas observaciones, y bajo las condiciones particulares de estos experimentos la madera de pino radiata libre de coloraciones producto del secado se obtiene cuando  $L^*$  es superior a 74 y con un  $h$  superior a 72.

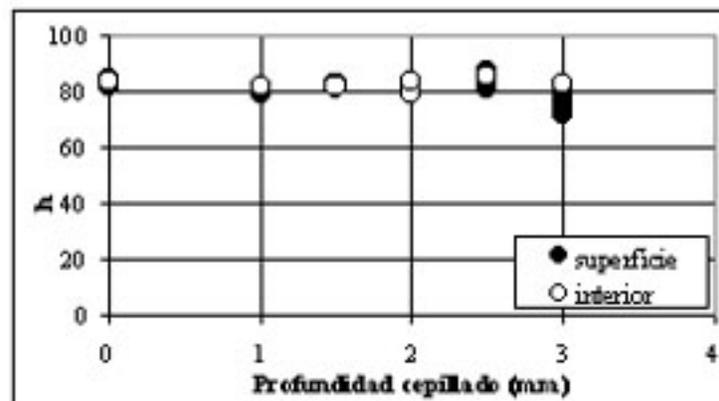
Cuando  $L^*$  cae en la superficie implica mayor “oscurecimiento”, igualmente si el tinte  $h$  disminuye favorece el “enrojecimiento” de la superficie. Esta interrelación entre la caída de la luminosidad y la reducción en el tinte se traduce en una coloración café oscura similar al chocolate de la superficie, este cambio de color es conocido comúnmente como “coloración café” (kiln brown stain). Como indicado anteriormente, este cambio de color es atribuido a una reacción entre azúcares y aminoácidos que producen por condensación productos de color café, en adición en presencia de temperatura se favorece la

degradación de hemicelulosas que liberan azúcares intensificando la coloración. Las mediciones cuantitativas de  $L^*$  y  $h$  en la superficie de la madera pueden indicar entonces la presencia de coloraciones del secado en el interior de la madera, en particular la presencia de "coloración café". Cuando se examina la cara B, las mediciones de  $L^*$  son elevadas, favoreciendo el "aclaramiento" de esa superficie, lo que muestra que esta zona carece de la "coloración café".

Por otra parte las variaciones en  $L^*$  son además asociadas a las diferencias en la orientación de los anillos de crecimiento, en las caras tangenciales la veta de la madera inicial presenta una mayor heterogeneidad en el diseño que bajo un vetado radial, favoreciendo la disminución en  $L^*$ , o sea, el "oscurecimiento" de las caras tangenciales. Este efecto es más notable en pino radiata, como consecuencia del gran ancho de anillos de crecimiento, probablemente en otras especies con anillos más finos estos cambios en color no son perceptibles, tal como reportado por Sullivan 1967a.

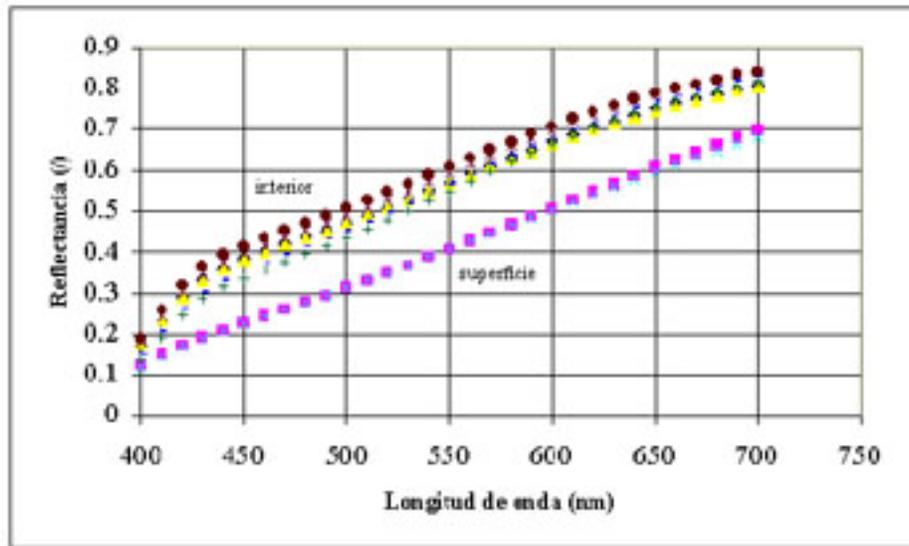


2a

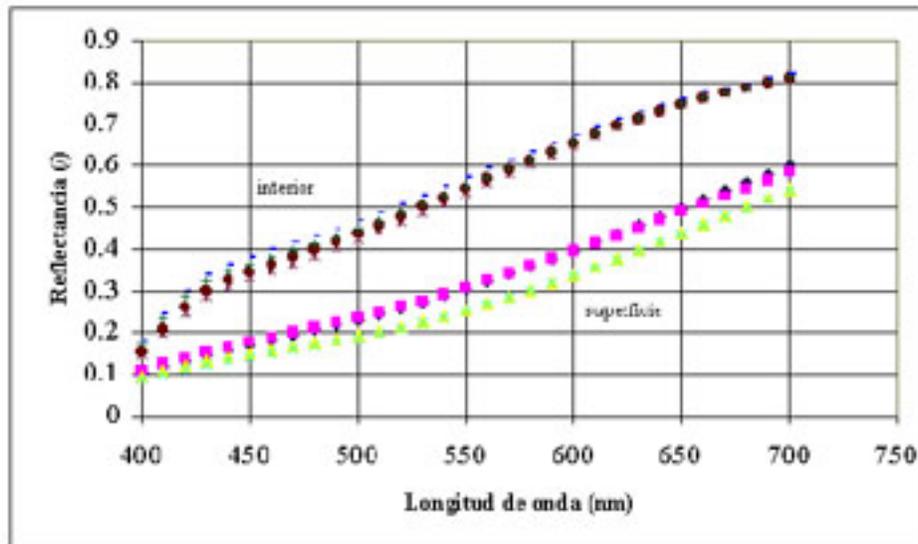


2b

**Figura 2:** Curvas de luminosidad  $L^*$  y tinte  $h$ .



3a



3b

**Figura 3:** Curvas de reflectancia

Por otra parte, las figuras 3a (nivel 0) y 3b (nivel 3) se muestran las curvas de reflectancia para una madera clasificada sin cambios de color (nivel 0) y las curvas de reflectancia para una madera con cambios de color moderado (nivel 3). Los cambios en la forma y en la profundidad de los espectros son consistentes con el comportamiento de la luminosidad  $L^*$  y el tinte  $h$ . En la superficie de la madera la madera es más clara para una baja profundidad en el espectro mostrado en la figura 3<sup>a</sup>. En cambio en la Figura 3b, la forma del espectro más heterogéneo muestra la menor luminosidad de esta madera, favoreciendo el "oscurecimiento" y por tanto la intensidad de la coloración café. Igualmente en la figura 3b los cambios más notables en la forma del espectro indican la disminución en el tinte, reforzando el "enrojecimiento" de la madera.

Las muestras presentan sobre ambas caras A y B la presencia de un diseño floreado y presencia de madera temprana y tardía, tales diferencias en diseño y color pueden afectar ostensiblemente los cambios del color resultantes de un programa de secado

dado. Este efecto es reducido cuando la proporción de madera temprana y tardía tienen un ancho comparable en la superficie. Lo anterior implica que una madera con anchos de anillos de crecimiento diferentes debido a tratamientos silvícolas, efecto del clima o clase de sitio, puede modificar la intensidad y el efecto de la coloración durante el secado de la madera bajo un mismo programa y tiempo de secado. El efecto es probablemente más notable en maderas de rápido crecimiento con anchos de anillo amplios, tal como en la madera juvenil de pino radiata. En adición, es probable que en pino radiata, la distribución y susceptibilidad de los precursores de la coloración sean condicionados por el tamaño de sus anillos de crecimiento.

Además, ciertas discoloraciones superficiales ocasionadas durante el secado de la madera, pueden desaparecer luego debajo de la superficie, probablemente en este caso se trata de una oxidación superficial, favorecida por la presencia de palillos separadores. Bajo tratamientos térmicos han sido observadas ciertas degradaciones de la lignina, esto es liberación de estructuras de difenilmetano (Brezny *et al.*, 1983); tales compuestos en presencia de humedad y elevada temperatura pueden ser convertidos por una reacción de oxidación en sustancias colorantes (quinona). Así esta coloración superficial y que compromete la zona de los separadores, podría tener tal origen oxidativo, producto de reacciones de condensación a partir de estructuras derivadas con la descomposición de lignina durante el secado a elevada temperatura ( $T > 80$  °C). En adición, es probable que la elevada temperatura en toda la superficie de la madera, favorezca la degradación de hemicelulosas en azúcares en la superficie, promoviendo las diferencias en la distribución de las sustancias precursoras de la coloración café entre el interior y la superficie de la madera, tal como reportado por Kreber *et al.*, 1998. Igualmente en la madera inicial, la presencia de punteaduras aspiradas a consecuencia de cavitación, como planteado por McCurdy *et al.*, 2002, es probablemente más frecuente en la madera inicial, lo que reduce la permeabilidad de la madera y limita por tanto el flujo de las sustancias precursoras de la coloración, intensificando las diferencias en las depositaciones entre la superficie de evaporación y un poco por debajo de la superficie. Es decir, la disponibilidad de las sustancias precursoras de la coloración café es probablemente condicionada por las diferencias locales en la permeabilidad de los grandes anillos de crecimiento del pino radiata.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las mediciones de las coordenadas colorimétricas en madera de pino radiata secada bajo un programa convencional acelerado, es observada una intensificación de la coloración por debajo de la superficie cuando las observaciones cualitativas de la superficie son más notables. Esta constatación es debido en parte a la naturaleza de la estructura de la madera de pino radiata: presencia de amplios anillos de crecimiento de madera inicial que cambian de color de manera diferente durante el secado.

Por esta razón un programa de secado adecuado para reducir el impacto de los cambios de color durante el secado debe tomar en cuenta la naturaleza de la estructura de la madera del pino radiata. O sea es recomendable un programa de secado específico por

cada proveniencia de la madera.

El secado acelerado de pino radiata produce una coloración café debajo de la superficie de naturaleza termoquímica, así como una coloración superficial de origen oxidativo.

## REFERENCIAS

**Ananías, R.A.; Haluk, J.P.; Mougel, E.; Zoulalian, A. 2001a.** Discoloration du hêtre *Fagus sylvatica* lors d'un séchage convectif basse température. *Les Cahiers Scientifiques du Bois* 2: 15-30 [ [Links](#) ]

**Ananías, R.A.; Mougel, E.; Zoulalian, A. 2001b.** Kiln drying discoloration in European beech *Fagus sylvatica*. Part 1. The role of kiln drying conditions. (unpublished data).

**Ananías, R.A. 2000.** Modelisation de la vitesse de séchage et discoloration du hetre au cours de séchage. Tesis doctoral UHP Nancy 1, Francia. [ [Links](#) ]

**Avramidis, S.; Ellis, S.; Liu, J. 1993.** The alleviation of brown in hem- fir through manipulation of kiln-drying schedules. *Forest Prod. J.* 43(10):65-69. [ [Links](#) ]

**Brezny, R.; Mihalov, V.; Kovacik, V. 1983.** Low temperature thermolysis of lignins. Reactions of b-O-4 model compounds. *Holzforschung* 37:199-204. [ [Links](#) ]

**Charrier, B.; Haluk, J.P. ; Janin, G. 1992.** Prevention of brown discoloration in European oakwood occurring during kiln drying by a vacuum process: Colorimetric comparative study with a traditional process. *Holz Roh Werkstoff* 52:433-437. [ [Links](#) ]

**Janin, G.; Gonzalez, J.; Ananías, R.A.; Fernández da Silva, G.; Dilem, A. 2001.** Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab system. *MADERAS. Ciencia y tecnología* 3(1-2):3-13. [ [Links](#) ]

**Joyet, P.; Meunier, T. 1996.** Drying green oak under vacuum with superheated steam without discoloration and drawback: Industrial Results. *5th. International IUFRO Wood Drying Conference* 1: 169-176 [ [Links](#) ]

- Koch, G.; Bauch, J. 2000.** Discolouration in European bechwood *Fagus sylvatica* during storage and drying. 2nd Workshop on Quality Drying of Hardwoods 5p. [ [Links](#) ]
- Kreber, B.; Haslett, A.N. 1997a.** A study of some factors promoting kiln brown stain formation in radiata pine. *Holz Roh Werkstoff* 55:215-220. [ [Links](#) ]
- Kreber, B.; Haslett, A.N. 1997b.** Compression-rolling reduces kiln brown stain in radiata pine sapwood. *Forest Prod. J.* 47(7-8):59-63. [ [Links](#) ]
- Kreber, B.; Haslett, A.N.; Norris, M.G. 1998.** High air velocity and relative humidity reduce development of kiln brown stain in *Pinus radiata*. *New Zealand J. For. Sci.* 28(3):400-407. [ [Links](#) ]
- Kreber, B.; Fernández, M.; McDonald, A.G. 1998.** Migration of kiln brown stain precursors the drying of radiata pine sapwood. *Holzforschung* 52 (4):441-446. [ [Links](#) ]
- Kreber, B.; Haslett, A.N.; McDonald, A.G. 1999a.** Kiln brown stain in radiata pine: A short review on cause and methods for prevention. *Forest Prod. J.* 49(4):566-70. [ [Links](#) ]
- Kreber, B.; Haslett, A.N.; McDonald, A.G. 1999b.** Use of sodium dithionite for controlling kiln brown stain development in radiata pine sapwood. *Forest Prod. J.* 49(1):57-62. [ [Links](#) ]
- Kreber, B.; Stahl, M.R.; Haslett, A.N. 2001.** Application of a novel de-watering process to control kiln brown stain in radiata pine. *Holz Roh Werkstoff* 59 (1-2): 29-34 [ [Links](#) ]
- Ledig, S.F.; Seyfarth, R. 2001.** Characterization of surface color during wood processing. 7th International IUFRO Wood Drying Conference 1:288-293 [ [Links](#) ]
- McCurdy, M.C.; Nidjam, J.J.; Keey, R.B. 2002.** Biological control of kiln brown stain in radiata pine. *Maderas. Ciencia y tecnología* 4(2):140-

147 [ [Links](#) ]

**McDonald, A.G.; Fernández, M.; Kreber, B.; Laytner, F. 2000.** The chemical nature of kiln brown stain in radiata pine. *Holzforschung* 54(1):12-22. [ [Links](#) ]

**Simpson, I.G.; Haslett, A. 1994.** Comparison of the effect of drying at 120 or 70 °C on the properties of radiata pine. 4th IUFRO Wood Drying Conference 1:423-429. [ [Links](#) ]

**Sullivan, J. D. 1967a.** Color characterization of wood: Color parameters of individual species. *Forest Prod. J.* 17(8):25-29. [ [Links](#) ]

**Sullivan, J. D. 1967b.** Color characterization of wood: Spectrophotometry and wood color. *Forest Prod. J.* 17(7):43-48. [ [Links](#) ]

**Sundqvist, B. 2002.** Color response of scots pine (*Pinus silvestris*) , Norway spruce (*Picea abies*) and birch ( *Betula pubescens*) subjected to heat treatment in capillary phase. *Holz as Roh und Werkstoff* 60 :106–114 [ [Links](#) ]

**Terziev, N.; Boutelje, J.; Soderstrom, O. 1993.** The influence of drying schedules on the redistribution of low-molecular sugars in *Pinus sylvestris* L. *Holzforschung* 47(1):3-8. [ [Links](#) ]

**Terziev, N. 1995.** Migration of low-molecular sugars and nitrogenous compounds in *Pinus sylvestris* L. during kiln and air drying. *Holzforschung* 49 (6):565-574. [ [Links](#) ]

**Wastney, S.; Bates, R.; Kreber, B.; Haslett, A. 1997.** The potential of vacuum drying to control kiln brown stain in radiata pine. *Holzforschung und Holzverwertung* 3: 56-58. [ [Links](#) ]

© 2012 Universidad del Bío-Bío

Avenida Collao 1202

Casilla 5-C

Concepción - Chile

Teléfono: 56-41-2731667 - 2731668

Fax: 56-41-2731027



[remadera@ubiobio.cl](mailto:remadera@ubiobio.cl)