



## CARACTERIZACIÓN DEL COLOR DE LA MADERA DE 20 MATERIALES DEL GÉNERO *Eucalyptus* DE ENTRE 6 Y 7 AÑOS

José BAROTTO<sup>1,2</sup>, Juan Marcelo GAUNA<sup>2,3</sup>, María Laura TONELLO<sup>1,2</sup>, Natalia RAFFAELI<sup>1,2</sup>

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue describir los parámetros de color de la madera de diferentes materiales de *Eucalyptus* implantados en Argentina y establecer un agrupamiento entre ellos en función de esta característica. Se trabajó con 15 muestras de 20 materiales de *Eucalyptus* de entre 6 y 7 años, con diferente grado de mejora genética (especies y clones monoespecíficos e híbridos), a los cuales se les determinó el color en el espacio CIEL\*a\*b\*, analizando la composición de cada uno de los parámetros que conforman este espacio, correspondiendo la mayor variación al parámetro L\* (claridad/oscuridad), seguida por el parámetro a\* (coloración roja) y, finalmente, el parámetro b\* (coloración amarilla). Se computó la matriz de distancias de color entre materiales, mediante el cálculo de  $\Delta E$  de acuerdo con la metodología CIE 2000 y, a partir de ella, se estableció un agrupamiento de materiales por un método de agrupamiento jerárquico. La metodología empleada permitió asociar adecuadamente a los diferentes materiales en función de las características de su color. Es necesario extender este análisis a otras edades para analizar esta asociación a diferentes turnos productivos y relacionarla con las propiedades de la madera.

**Palabras clave:** *eucaliptos*, *espacio CIEL\*a\*b\**, *CIELab*, *agrupamiento jerárquico*

### 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de eucaliptos en Argentina ocupa un lugar de preponderancia, ubicándose en el segundo puesto en importancia, detrás del cultivo de pinos, con cerca del 25% de la superficie forestada a nivel nacional (Gorzycki, 2019). Las estimaciones disponibles más recientes, indican que hay aproximadamente 300.000 ha cultivadas con diferentes especies del género *Eucalyptus*, ubicadas principalmente en las provincias mesopotámicas (Entre Ríos, Corrientes y Misiones) y Buenos Aires, que en conjunto concentran más del 90% de la superficie implantada del país (Gorzycki, 2019).

El color de la madera es atribuido sobre todo al contenido y composición de extractivos (Sánchez Acosta y Sepliarsky, 2008), lo cual es determinado por factores relacionados con el cultivo y las condiciones de procesamiento: especie o material utilizado, ubicación (albura o duramen), edad, plano de corte, contenido de humedad, manejo silvicultural y las condiciones edáficas y climáticas imperantes (de Avila Delucis et al., 2016). El color de la madera es una variable de importancia, ya que influye en los diversos usos potenciales de la madera, incluyendo los usos sólidos, para triturado y energía.

Existen diversas maneras de expresar objetivamente el color, una de las cuales es la técnica de colorimetría CIEL\*a\*b\*, creada por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE, por sus siglas en francés), basada en tres parámetros colorimétricos (L\*, a\* y b\*). A partir de estos parámetros es posible cuantificar el color de un material: L\* representa el brillo y mide la posición en el eje blanco/negro (0, negro; 100, blanco), a\* expresa la posición en el eje rojo/verde (> 0, rojo; < 0, verde) y b\* define la ubicación en el eje amarillo/azul (> 0, amarillo; < 0, azul). Este sistema se destaca como el de más amplia difusión, principalmente por su rapidez, facilidad y versatilidad (de Avila Delucis et al., 2016).

<sup>1</sup> Laboratorio de Investigaciones en Madera (LIMAD), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Contacto: [jose.barotto@agro.unlp.edu.ar](mailto:jose.barotto@agro.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup> Cátedra de Industrias de Transformación Química, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>3</sup> Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.



El objetivo de este trabajo fue describir los parámetros de color de la madera de diferentes materiales de *Eucalyptus* implantados en Argentina y establecer un agrupamiento entre ellos en función de esta característica.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal, muestreo y acondicionamiento: se trabajó con material vegetal provisto por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Concordia y por el Instituto de Recursos Biológicos (IRB) del Centro de Investigaciones Agropecuarias INTA Castelar; los materiales contaban con 7 y 6 años al momento del apeo, respectivamente (Cuadro 1). Se obtuvieron rodajas a la altura del DAP de diferente número de individuos, representativos del material considerado, que luego fueron procesadas para obtener cubos de aproximadamente 2 cm de lado, estacionados al aire hasta humedad de equilibrio y, posteriormente, utilizados para las evaluaciones de laboratorio. A fin de obtener una superficie lo más homogénea posible, los cubos fueron lijados en una de sus caras transversales hasta una granulometría de 120.

**Cuadro 1.** Origen y edad de los materiales evaluados

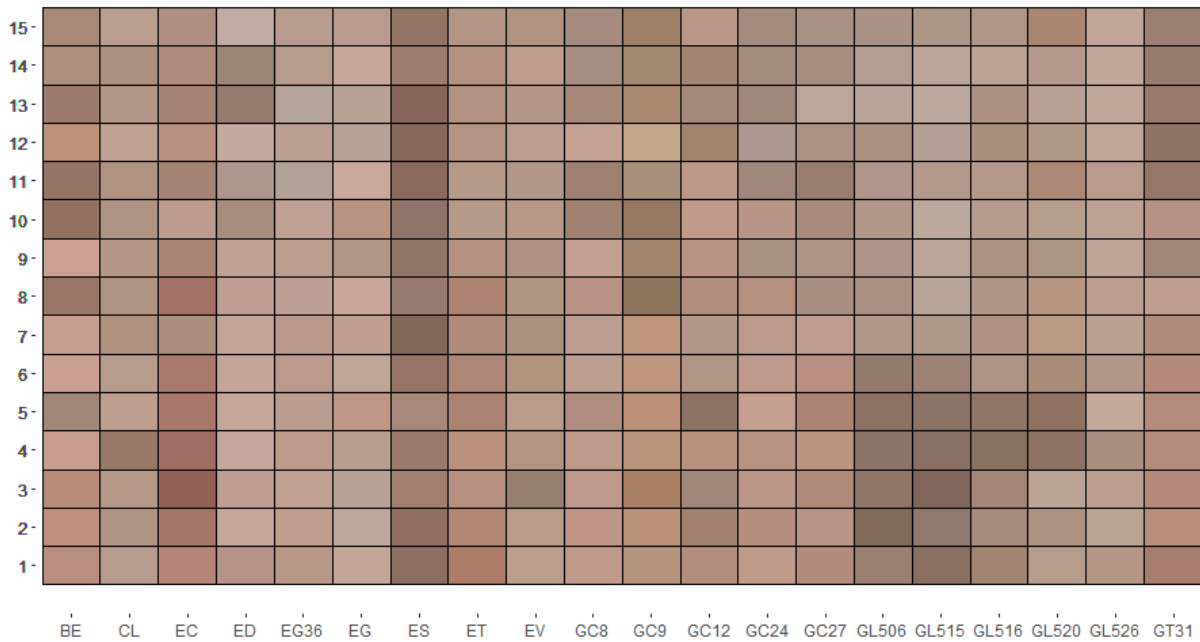
Orígen	Materiales	Edad
INTA Concordia	<u>Especies:</u> <i>E. grandis</i> HSP (EG), <i>E. dunnii</i> (ED), <i>E. benthamii</i> (BE), <i>E. cloeziana</i> (CL), <i>E. camaldulensis</i> (EC) y <i>E. tereticornis</i> (ET). <u>Clones:</u> <i>E. grandis</i> : EG INTA 36 (EG36), <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> : GC INTA 8 (GC8), GC INTA 9 (GC9), GC INTA 12 (GC12), GC INTA 24 (GC24), GC INTA 27 (GC27). <i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i> : GT INTA 31 (GT31).	7 años
INTA Castelar	<u>Especies:</u> <i>E. sideroxylon</i> (ES), <i>E. viminalis</i> (EV). <u>Clones:</u> <i>E. globulus</i> : GL506, GL515, GL516, GL520, GL526.	6 años

Determinación de color: Se llevaron a cabo determinaciones de color en el sistema CIEL\*a\*b\* 1976, que estima el color mediante el uso de tres coordenadas espaciales: L\*, a\* y b\*. Se realizaron 15 mediciones por cada material, una por cubo, seleccionando aquellos representativos del rango de coloración observado. El color se determinó sobre la cara transversal acondicionada, a la cual se le eliminó todo resto de polvo en la superficie de manera previa a la determinación de color. Se utilizó un espectrofotómetro BYK Gardner Color-Guide 45/0, en el rango espectral entre 400 y 700 nm (visible), con iluminante D65, ángulo de observación de 10° y una apertura de 4 mm de diámetro. Las lecturas se tomaron a una temperatura ambiente de 24 °C y humedad relativa en torno al 80%.

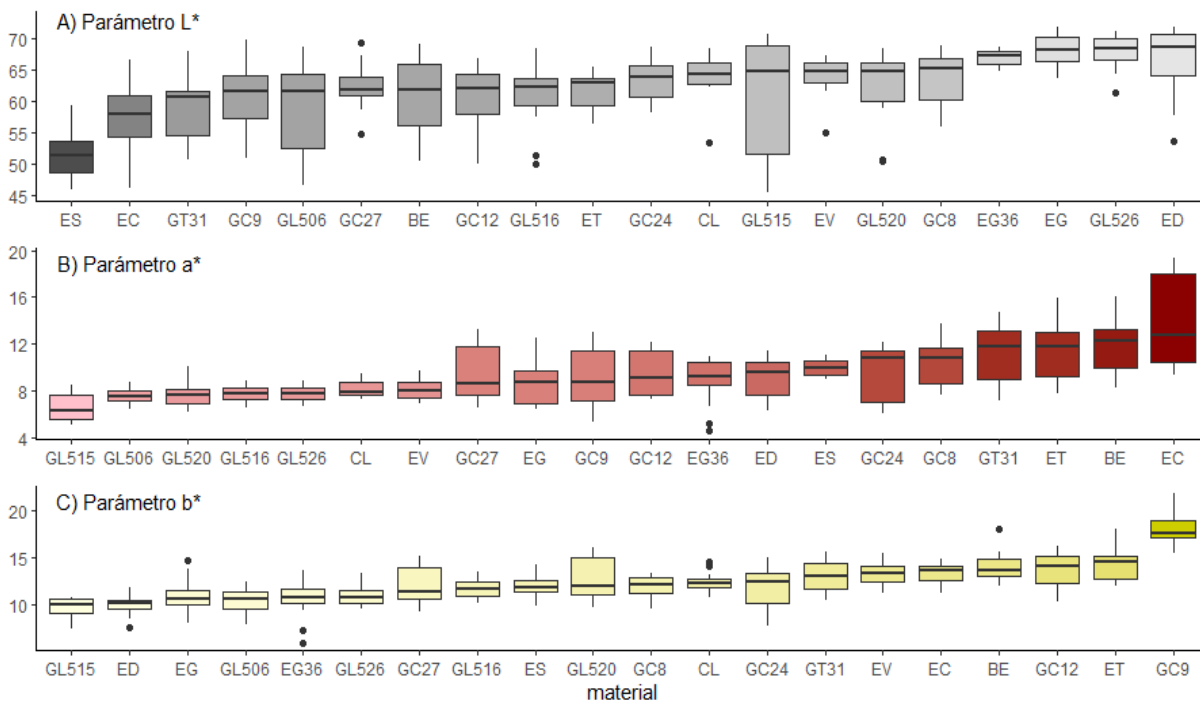
Análisis estadístico: se analizó la variación de los parámetros L\*, a\* y b\* dentro de cada material, computándose los parámetros descriptivos (media, mediana, desvío estándar, máximo y mínimo). Se computó la matriz de distancias de color entre materiales, mediante el cálculo de  $\Delta E$  de acuerdo con la metodología CIE 2000 (CIE, 2001). A partir de esta matriz, se estableció un agrupamiento de materiales por un método de agrupamiento jerárquico, cuyo nivel de ajuste se estableció a través del coeficiente de correlación entre las distancias establecidas por el ordenamiento y aquellas calculadas a partir de los parámetros de color ( $\Delta E$ ). Este análisis se llevó a cabo mediante el software R (R Core Team, 2024), y las librerías específicas *colorspace*, *factoextra* y *hclust*.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Gráfico 1 puede observarse el patrón de variación del set de muestras utilizado, destacándose una relativa variabilidad en el color de la madera, tanto entre los materiales genéticos como dentro de ellos. Al descomponer el color en los parámetros del sistema CIEL\*a\*b\* (Gráfico 2), se puede analizar esta variación para cada componente de este.



**Gráfico 1.** Color de las muestras de los materiales de *Eucalyptus* analizados, reconstruido a partir de los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de cada una.



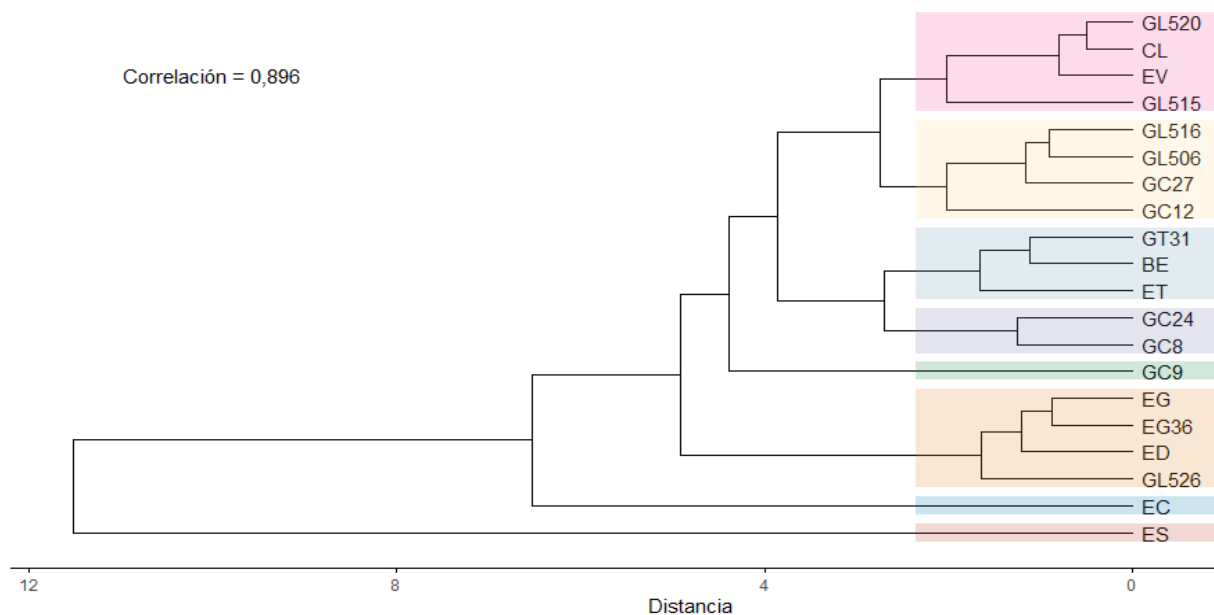
**Gráfico 2.** Diagrama de cajas para los componentes del espacio CIEL\*a\*b\* para cada uno de los materiales evaluados. Los colores observados son a fines ilustrativos y no representan el valor real del parámetro.

En cuanto al parámetro  $L^*$  (Gráfico 2 A), el cual mide la posición en el eje blanco/negro y representa la luminosidad, este presentó una gran variabilidad entre materiales (rango aproximado entre 45 y 72), pero también dentro de los materiales, sobre todo si se compara con los otros parámetros. Se destacaron como los materiales más oscuros *E. sideroxylon*, *E. camaldulensis* y el clon híbrido GT31. Por otro lado, los materiales más claros incluyeron *E. grandis* de semilla, el clon EG36 de esta misma especie, el clon GL526 de *E. globulus* y *E. dunnii*. En cuanto al parámetro  $a^*$  (Gráfico 2 B), que expresa la posición en el eje rojo/verde, todos los materiales se ubican en el sector correspondiente al rojo



(todos mayores a 0), con un rango de variación relativamente acotado (aproximadamente entre 5 y 20). Respecto a este parámetro, *E. camaldulensis* se destaca como aquel con mayor aporte del color rojo y variabilidad, seguido por *E. benthamii*, *E. tereticornis* y el clon híbrido GT31. Por otro lado, los materiales con menor presencia de tonalidad rojiza fueron los clones de *E. globulus*, seguidos por *E. cloeziana* y *E. viminalis*, que, a su vez, presentaron un bajo rango de variación. Con respecto al parámetro  $b^*$  (Gráfico 2 C), que define la ubicación en el eje amarillo/azul, todos los materiales se ubicaron en la coloración amarilla (mayores a 0), con el rango de variación más acotado tanto entre materiales (aproximadamente entre 8 y 22) como dentro. El híbrido GC9, fue sensiblemente “más amarillo” que los demás, seguido por *E. tereticornis* y el clon híbrido GC12, mientras que los materiales de *E. dunnii*, *E. grandis* y los clones de GL515 y GL506 de *E. globulus* fueron los que presentaron menor influencia de este color.

En el Gráfico 3 puede observarse el resultado del agrupamiento por método jerárquico establecido a partir de las diferencias de color ( $\Delta E$ ) calculadas a partir de los valores de la mediana de cada parámetro para los diferentes materiales. Este análisis permitió diferenciar 8 grupos, de los cuales 3 están conformados por un solo representante.



**Gráfico 3.** Agrupamiento por método jerárquico, basado en la diferencia de color  $\Delta E$  calculada mediante la metodología CIE 2000 (CIE, 2001).

En este sentido, *E. sideroxylon* se desprendió como el material más diferente al resto (probablemente por su marcada oscuridad), seguido por *E. camaldulensis* (gran preponderancia del rojo). Luego se distingue claramente un grupo de 4 materiales, *E. grandis*, su clon EG36, *E. dunnii* y el clon GL526 de *E. globulus*, caracterizados por ser clones de muy alta claridad y bajo color amarillo. El otro material que se distingue en solitario es el clon híbrido GC9, probablemente por la gran influencia del color amarillo. Los restantes grupos son menos evidentes al analizar la variación de color, destacándose la cercanía de GC8 y GC24 (clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*), otro grupo formado *E. benthamii*, *E. tereticornis* y el clon híbrido GT31 (*E. grandis* x *E. tereticornis*). Por otro lado, los clones GL506 y GL516 y los clones híbridos GC27 y GC12 se ubican dentro de un mismo agrupamiento, de la misma manera que los clones GL515 y GL520 con *E. cloeziana* y *E. viminalis*. El coeficiente de correlación, calculado entre las diferencias de color obtenidas por la metodología CIE2000 y las distancias cofenéticas establecidas por el método jerárquico, fue de 0,896 (~0,9). Mientras más próxima a 1 es esta correlación, la representación obtenida es más cercana a la realidad de los datos, siendo considerados como aceptables los valores mayores a 0,75 (Kassambara, 2017). Es por ello que se concluye que el agrupamiento establecido resulta adecuado y refleja la variabilidad observada. Es necesario destacar que diferentes factores podrían afectar esta asociación, entre los cuales se destacan el uso de secciones longitudinales de la madera, el uso de diferentes granulometrías de lijado



u otro tratamiento superficial, así como la fotooxidación de los componentes de la madera (cuyo efecto fue evitado, en gran medida, por el lijado).

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo fue posible observar una relativa variabilidad entre los diferentes materiales evaluados, así como dentro de ellos. Esta variación fue mayor para el componente que representa la luminosidad de los materiales (eje blanco/negro), seguida por el parámetro correspondiente al color rojo y, por último, el color amarillo. El ordenamiento obtenido por el método jerárquico permitió agrupar adecuadamente a los materiales analizados en función de las diferencias de color observadas. Resulta necesario extender este análisis a otras edades, de manera de observar cómo se modifica este agrupamiento en función del color de la madera a medida que nos acercamos a edades correspondientes a diferentes turnos productivos, con el fin de relacionar estas características (no destructivas y de rápida determinación) con las propiedades emergentes de la madera.

#### 5. LITERATURA CITADA

- DE AVILA DELUCIS, R., HERRERA DIAZ, R., LABIDI, J., GATTO, D.A. 2016. Color de la madera de dos eucaliptos expuestas al intemperismo natural en tres entornos ambientales diferentes. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(1): 133-142. DOI: 10.4067/S0718-221X2016005000014.
- CIE. 2001, CIE 142-2001: Improvement to Industrial Colour-Difference Evaluation, Central Bureau of CIE, Vienna, Austria. 15 pp. ISBN 3901906088.
- GORZYCKI, R. 2019. Informes de Cadenas de Valor: Forestal, papel y muebles. Marzo 2019. Año 4 – N° 14. Ministerio de Hacienda. Argentina. 38 pp. ISSN 2525-0221.
- KASSAMBARA, A. 2017. Practical Guide To Cluster Analysis: unsupervised Machine Learning. 1st Edition. STHDA. Statistical tools for high-throughput data analysis. Disponible en: <http://www.sthda.com>
- SANCHEZ ACOSTA, M., SEPLIARSKY, F. 2008. Tecnología de la madera de eucaliptos colorados: Propiedades – Usos – Posibilidades. Jornada Técnica: Eucaliptos colorados: mejoramiento genético, propiedades y uso de la madera. Programa de Producción Forestal, INIA Tacuarembó, Tacuarembó. 27 de noviembre de 2008.