

COLORIMETRÍA EN LA MADERA DE *Prosopis alba*

COLORIMETRY OF WOOD FROM *Prosopis alba*

A.B. Cisneros^{1*}, S.Nisgoski², J.G. Moglia³, M. Córdoba⁴

RESUMEN

El algarrobo blanco (*Prosopis alba*) se caracteriza por sus excelentes propiedades física-mecánicas en su madera, lo cual la hace muy apreciable en la industria del mueble. El color es un rasgo importante en ciertos usos de la madera, e incide en su calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variación colorimétrica de la madera entre sitios, sección y región de la madera y correlacionar parámetros colorimétricos con rasgos morfométricos del árbol. Las muestras se extrajeron de tres rodales naturales (Los Arias, Santiago del Estero; Isla Cuba, Formosa y Villa Ángela, Chaco) y una plantación (San Isidro, Santiago del Estero), de la Región Chaqueña Argentina. Los parámetros colorimétricos (L*, a*, b*) se obtuvieron con un espectrofotómetro Konica Minolta CM-5 con iluminante D65. El análisis confirmó que existen diferencias significativas en parámetros colorimétricos entre sitios, secciones y regiones de las muestras de madera analizadas. El tamaño de los árboles se encuentra directamente relacionado con los parámetros colorimétricos.

Palabras claves: CIELab, color de madera, duramen, propiedades físicas, variabilidad de la madera.

ABSTRACT

The algarrobo blanco (*Prosopis alba*) is characterized by its excellent physical-mechanical properties in its wood. The colour is an important feature in certain use of wood, and affects its quality. The objective of this work was to evaluate the colorimetric variation between sites, section and region of the wood samples and correlate colorimetric parameters with morphometric features of the tree. The samples were obtained from three natural stands (Los Arias, Santiago del Estero, Isla Cuba, Formosa and Villa Ángela, Chaco) and a plantation (San Isidro, Santiago del Estero), in the Chaqueña region of Argentina. The colorimetric parameters (L*, a*, b*) were obtained with a Konica Minolta CM-5 spectrophotometer with illuminant D65. The colorimetric analysis confirmed that there are significant differences in colorimetric parameters between sites, section and region in the wood samples analyzed. The size of the trees is directly related to the colorimetric parameters.

Keywords: Aesthetic, CIELab, heartwood, physical properties, wood color, wood variability.

INTRODUCCIÓN

Debido a su abundancia y comportamiento ecológico, las especies del género *Prosopis* son de gran importancia ecosistémica en zonas áridas y semiáridas del mundo y de vital importancia en la economía rural de las mismas (Villagra *et al.* 2010, Rodríguez-Anda *et al.* 2015). Entre estos recursos, podemos destacar ser proveedoras de madera de alta calidad, de forraje para el ganado y alimento para consumo humano (Cisneros y Moglia 2017). De todas las especies del género sólo unas pocas son de gran relevancia económica, entre las

¹Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Silvicultura y Manejo, Santiago del Estero, Argentina.

²Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba, Brasil.

³Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Silvicultura y Manejo, Santiago del Estero, Argentina.

⁴Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrarias, Córdoba, Argentina.

*Corresponding author: cisnerosba@gmail.com

Received: 22.03.2018 Accepted: 28.01.2019

que se encuentra el algarrobo blanco (*Prosopis alba*). Comercialmente es una especie muy valorada por su madera. El uso extendido en la industria del mueble, se debe a las excelentes propiedades físico-mecánicas de su madera: muy estable, densa, de baja contracción volumétrica y alta durabilidad natural (Turc y Cutter 1984).

Tradicionalmente la madera de *Prosopis alba* fue caracterizada y estudiada desde el punto de vista tecnológico basado en sus propiedades físicas, mecánicas y anatómicas (Turc y Cutter 1984, Giménez *et al.* 1998, Giménez *et al.* 2001, Araujo *et al.* 2003, Bolzón *et al.* 2010, Cisneros y Moglia 2017). Rasgos como el color, se abordaron y caracterizaron desde el punto de vista cualitativo por Giménez *et al.* (2000) donde menciona que la madera de *Prosopis alba* puede presentar variación en su coloración, siendo la albura de color blanco amarillenta y el duramen desde castaño a rosáceo. Las diferencias cromáticas entre el duramen y la albura en la estructura de madera de muchas especies maderables se deben a la presencia de extractivos (Rodríguez-Anda *et al.* 2015, Monteoliva *et al.* 2009), siendo más abundante en el duramen que en la albura (Giménez *et al.* 2000).

La uniformidad en el color de la madera es una preocupación importante ya que su variabilidad puede reducir el valor estético de la misma en algunos mercados de muebles (Sotelo-Montes *et al.* 2008, Villegas y Area 2009). Sin embargo, en otros mercados, esa variabilidad puede no ser un problema (Bradbury *et al.* 2010, Tasmanian Timber Promotion Board, 2018). De acuerdo a Malik *et al.* (2018) el color es uno de los factores preferentes antes de comprar un producto de madera.

La colorimetría mediante la expresión de parámetros de color dentro del sistema CIELab, puede producir resultados confiables, especialmente por ser el sistema más utilizado para representar gráficamente el color de un objeto y para determinar las diferencias de color (Camargo 1999).

Numerosos estudios realizados previamente, muestran que el color de la madera está influenciado por diversos factores, tales como: genéticos, anatómicos, composición química, plano de corte, posición dentro del árbol; tasa de crecimiento, factores ambientales, grado de humectación, contenidos de extractivos (Nishino *et al.* 1998, Villegas y Area 2009, Villegas *et al.* 2009, Boudouaya *et al.* 2016). Por otro lado, Fengel y Wegener (1984), también mencionan que el color de la madera es resultante, básicamente, de la composición química de las sustancias presentes en el xilema, en particular, extractivos y lignina. Estudios realizados por Sotelo-Montes *et al.* (2008) mencionan que las propiedades físicas y químicas del suelo pueden producir diferencias en el color de la madera entre sitios de crecimiento.

En base a estas evidencias, se espera que el color varíe en función del sitio, la sección de estudio y región de muestra de madera, esto permitiría generar conocimiento sobre la materia prima, a fin de proporcionar un incentivo para desarrollar grados de productos estándar de la industria para el color del duramen, sobre todo cuando esta proviene de áreas geográficas distintas.

Existen muchos estudios que describen la variación del color en especies de interés comercial, tales como: *Salix babylonica* var. *Sacramenta*, *Salix babylonica* x *Salix alba*, *Quercus cerris* L., *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, *Eucalyptus dunnii*, *Tectona grandis*, *Agassa guianensis* Aubl., *Acacia melanoxylon* R.Br. (Villegas y Area 2009, Silveira de Oliveira 2011, Fernandes da Silva *et al.* 2017, Lourenço *et al.* 2008, Bradbury *et al.* 2010, Moya y Marín 2011, López 2014). Sin embargo, para especies nativas de interés maderero como *Prosopis alba* la literatura es escasa y no se encontraron antecedentes en Argentina. Por ello, el objetivo de este trabajo es a) Determinar la variación en el color en la madera de *Prosopis alba* debido al sitio, región y sección de estudio; b) Estimar la correlación entre el color de la madera con rasgos morfométricos del árbol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El área de estudio, se encuentra localizada en Los Arias, Provincias de Santiago del Estero (175 msnm) coordenadas: 27°52'53,84"S, 64° 9'23,56"O; San Isidro (plantación), Santiago del Estero (168 msnm), coordenadas: 27°58'0,44"S, 64°12'58,99"O; Villa Ángela, Chaco (79 msnm) coordenadas: 27°39'37,29"S, 60°34'55,10"O, e Isla Cuba Formosa (177 msnm), coordenadas: 24°17'55,80"S, 61°51'26,40"O (Centro Norte de Argentina, correspondiente a la Región Chaqueña Argentina). Los bosques estudiados se caracterizaron por contar con rodales de formación mixta que incluyen a esta especie. En la Tabla 1, se describen las caracte-

rísticas de los sitios estudiados.

Tabla 1: Descripción de los sitios de estudio.

Sitio	Pp (mm)	ET (mm)	T°C	Suelos		Text Sup S1	Text BS1	Drenaje S1	Limitante principal
				Orden	Subgrupo				
Villa Ángela	1088	1055	20,8	Alfisoles	Natrualfés albico	Franco limosa	Franco arcillosa	Imperfecto	Alcalino menos 50 cm
Los Arias	516	1077	21,03	Alfisoles	Natrualfés típico	Franco arenosa	Arcillosa	Pobre	Drenaje deficiente
San Isidro	508	1077	21,02	Molisoles	Haplustoles arídico calcico	Franco arenosa	Franco arenosa	Excesivo	Climática
Isla Cuba	637	1221	22,6	Alfisoles	Natrualfés albico	Franco limosa	Franco arcilloso-limosa	Bajo	Susceptible a inundación o anegamiento

Dónde: Pp: precipitación media anual, ET: evapotranspiración media anual, T°C: temperatura media anual, Text Sup S1: textura superficial del suelo principal, Text BS1: Textura del horizonte B del suelo principal, Drenaje S1 drenaje del suelo principal. Fuente: Carta de Suelos de la República Argentina Bianchi y Cravero (2015).

MUESTRAS DE MADERA

Se obtuvieron muestras de algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) de seis individuos por sitio, un total de 24 individuos, a los cuales se midieron variables dendrométricas para cada árbol muestreado, los valores promedio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Rasgos dendrométricos en individuos muestreados de *Prosopis alba* por sitio.

Sitio	Variable	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Los Arias	Ht (m)	6	8,28	1,31	6,10	9,75
	DAP (cm)	6	27,43	5,86	20,05	35,33
	Hf (m)	5	3,37	0,80	2,40	4,37
Isla Cuba	Ht (m)	6	10,70	0,87	9,85	12,06
	DAP (cm)	6	32,30	2,80	29,80	36,20
	Hf (m)	6	2,43	0,63	1,95	3,65
San Isidro	Ht (m)	6	8,54	0,72	7,55	9,60
	DAP (cm)	6	27,52	6,28	17,30	34,60
	Hf (m)	6	1,59	0,38	1,00	2,05
Villa Ángela	Ht (m)	6	10,17	2,14	6,50	12,50
	DAP (cm)	6	39,27	8,84	30,60	55,39
	Hf (m)	6	3,37	0,85	1,70	4,00

D.E.: desvío estándar; n: árboles muestreados; Min. Mínimo; Max. Máximo, Ht= altura total, Hf= altura de fuste, DAP= Diámetro a la Altura del Pecho.

De cada uno de los seis árboles cortados, se obtuvieron discos radiales de madera a 1,30 m de longitud, de donde se extrajo una muestra de madera por individuo (5 cm de espesor x 2 cm de ancho) (Figura 1), que contenían albura, duramen y médula, los cuales fueron lijado con papel de lijas de granulometría 60-250. Posteriormente las muestras fueron acondicionadas en un ambiente sin luz para mantener la condición de recién lijadas.

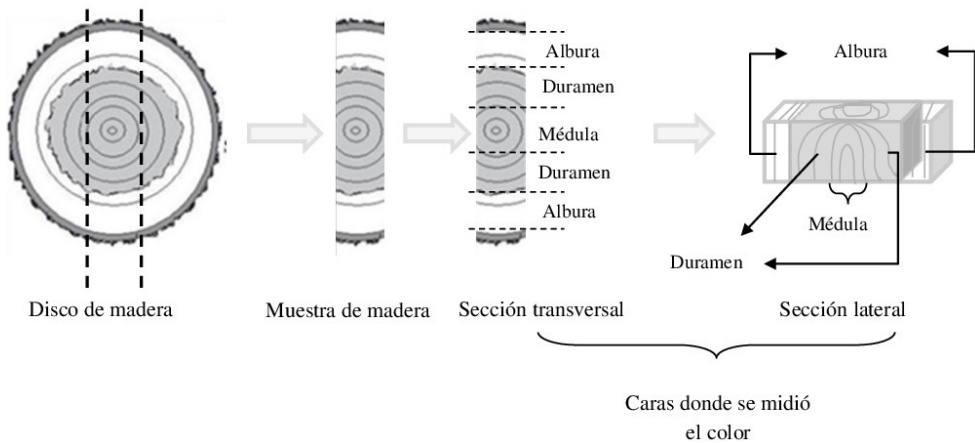


Figura 1: Patrones de corte usado en cada sección de tallo para obtener el color en muestras de madera.

Medición del color

La medición del color se realizó en el Laboratorio de Anatomía de Madera de la Universidad Federal de Paraná, Curitiba Brasil. El análisis de color se basó en el sistema CIELab 1976, los valores fueron obtenidos por un espectrofotómetro Konica Minolta CM-5 con iluminante D65, y un ángulo de observación de 10 °, estándar de la CIE. Las lecturas se realizaron con una abertura de diámetro de 3 mm, a temperatura ambiente de 22 °C y humedad relativa del aire del 60%.

El sistema CIELab 1976, representa la claridad en el eje L^* , varía de 100 (blanco absoluto) a 0 (negro absoluto). Los pigmentos rojo, verde, amarillo y azul se definen por las variables $+a^*$; $-a^*$, $+b^*$ y $-b^*$, respectivamente. Cada variable se expresa entre -60 y 60. Camargo y González (2001) consideraron oscuro el color de las maderas cuyo $L^* \leq 56$, y como color claro, valores de $L^* > 56$.

Los parámetros del sistema CIELab (L^* , a^* , b^*) se midieron en cada listón. Se realizaron 10 lecturas en la albura, 40 en el duramen y 10 en la médula, con un total de 2880 registros. Dichas lecturas se efectuaron sobre las caras longitudinal lateral y transversal con 60 lecturas por sección. Cabe destacar que aún no existen normas para estandarización de muestras para el estudio de la colorimetría aplicada a la madera.

Análisis estadístico

Para verificar las diferencias entre sitios se empleó un modelo lineal mixto (Ecuación 1), implementando una interfase de la plataforma R con InfoStat versión 2018, el método de estimación fue de máxima verosimilitud restringida (REML) (Di Rienzo *et al.* 2012), a un nivel de confianza del 95%.

$$Y_{ijkn} = \mu + \delta_j + \lambda_k + \rho_n + (\delta_j * \lambda_k) + (\delta_j * \rho_n) + (\lambda_k * \rho_n) + (\delta_j * \lambda_k * \rho_n) + \kappa_i + E \quad (1)$$

Donde: Y_{ijkn} es la observación del color del $ijkn$ árbol; μ es la media general; δ_j es el efecto fijo del j -ésimo Sitio; λ_k es el efecto fijo de la k -ésima sección; ρ_n = Efecto fijo de la n -ésima región; $(\delta_j * \lambda_k)$ es la interacción entre el j -ésimo sitio y k -ésima sección; $(\delta_j * \rho_n)$ = interacción entre el j -ésimo sitio y n -ésima región; $(\lambda_k * \rho_n)$ interacción entre el k -ésima sección y n -ésima región $(\delta_j * \lambda_k * \rho_n)$ es la interacción entre el j -ésimo sitio, k -ésima sección y n -ésima región; κ_i es el efecto aleatorio del i -ésimo árbol; E es el efecto aleatorio residual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los colores de las muestras de *Prosopis alba*, en los tres rodales semilleros y la plantación se muestran en la (Figura 2), donde valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* son positivos, lo que clasifica las muestras en el primer cuadrante de colores en el sistema CIELab 1976.

En la Figura 2, en la albura se observa que la claridad o luminosidad (L^*) varió en promedio en el rango de 60,9 a 69,7 disminuyendo la luminosidad del duramen entre un 12% a un 24% respecto a la albura. El valor más elevado de L^* en el duramen fue de 56,88, para la plantación, en Santiago del Estero. En Los Arias, este rasgo fue un 3,2% menos clara que las muestras de la plantación. El sitio de Villa Ángela, Chaco e Isla Cuba, Formosa fueron los que presentaron menor luminosidad con respecto a la plantación con un 5,71 % y 8,03%, respectivamente; lo que caracterizó el oscurecimiento de las muestras en estos dos últimos sitios.

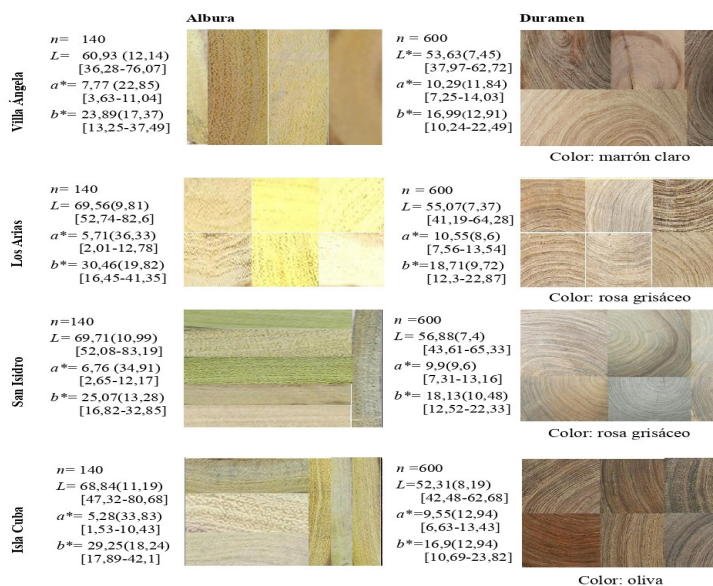


Figura 2: Apariencia visual de la madera en los distintos sitios de estudio. Color del duramen de acuerdo a lo propuesto por Camargos y Gonçalves (2001).

Nota: Los valores mínimo y máximo se muestran entre corchetes y el coeficiente de variación entre paréntesis.

Monteoliva *et al.* (2009) reportó disminuciones en la luminosidad del duramen respecto a la albura en *Acacia melanoxylon* de un 28%. Sin embargo, en otras especies como *Eucalyptus dunnii*, López (2014) menciona que la luminosidad (L^*) promedio en el duramen fue un 8,4%, superior en comparación con la de albura, opuesto a lo observado en el presente estudio.

Variaciones similares en la luminosidad entre duramen y albura también fueron observadas por Moya y Marín (2011) en clones de *Tectona grandis*, Lourenço *et al.* (2008) y Bradbury *et al.* (2010) en *Acacia melanoxylon*. Estas variaciones según Monteoliva *et al.* (2009), se deben a que la luminosidad de la madera se relaciona inversamente con la concentración de cromóforos, menores valores de luminosidad se asocian con mayor concentración de cromóforos, es decir, más oscura es la madera. Esta cantidad de cromóforos es mayor en el duramen de esta especie, Giménez *et al.* (2001) y Rodríguez-Anda *et al.* (2015) mencionan que el duramen de *Prosopis velutina* Wootton, *Prosopis alba* presentan una gran cantidad de extractivos y depósito de sustancias en sus vasos, parénquima axial y radial. Por ejemplo en *Prosopis alba*, anatómicamente existe una oclusión parcial de los poros en el duramen por gomas en un porcentaje del 10-30 % (Giménez *et al.* 2001). Por otro lado, Rosende *et al.* (1985), menciona que el contenido de extractivos y taninos para esta especie es entre 2,8 y 3 veces superior en el duramen respecto a la albura, lo que puede explicar en parte esta coloración

más intensa en el duramen.

Las coordenadas a^* y b^* mantuvieron niveles bajos en relación a L^* . En la coordenada a^* (roja) en el duramen, se aprecia que mantuvo similares niveles en los distintos sitios, varió en promedio entre 9,5 y 10,55 (Figura 2). Sin embargo, en la albura este rasgo presentó valores promedios más bajos, entre 5,28-7,8, pero tuvo una mayor variación entre sitios. En cuanto al parámetro b^* presentó valores superiores al parámetro a^* tanto en el duramen como en la albura, la cual fue más elevada y con mayor variación en esta última región, con valores promedios entre 23-30. Estudios colorimétricos similares efectuados por Silveira de Oliveira (2011) *Eucalytus grandis* y Fernandes da Silva *et al.* (2017) en *Micropholis venulosa* (Mart e Eichler) Pierre, *T. burserifolia*, *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, exhibieron valores de L^* , a^* y b^* en el duramen análogos al presente estudio. Por su parte, Lourenço *et al.* (2008) observaron un comportamiento similares tanto en la albura como en el duramen de *Acacia melanoxylon*.

En general el CV fue relativamente bajo para todos los parámetros colorimétricos en los distintos sitios de estudio; sin embargo el $cv\%$ más elevado se registró en la albura sobre todo en el parámetro a^* , alcanzando un coeficiente de variación de 36%. Dos Santos (2018), también registró altos valores en el CV% en el parámetro a^* en *Couratari guianensis*, con un 47,28%.

El color del duramen en *Prosopis alba* según la tabla de colores propuesta por Camargos y Gonçalez (2001) fue de marrón claro y oliva (Figura 2) en los sitios de mayor precipitaciones, Villa Ángela e Isla Cuba respectivamente (Tabla 1); siendo rosa grisáceo en los sitios de Santiago del Estero (Los Arias y San Isidro) donde la precipitación es menor. Villegas y Area (2009) encontraron que los *Salix babylonica* var. *Sacramenta* y *Salix babylonica* x *Salix alba* cv. Rio Po 9416 131/27 de sitios más protegido de inundaciones presentaron maderas más blancas y luminosas que los sitios sometidos a frecuentes inundaciones. Estas tendencias, coinciden con lo observado por el presente estudio, ya que, en sitios donde las maderas son más oscuras (provincias de Chaco y Formosa) (Figura 2), Celis (2006) reportó que predominan desastres de origen hidrometeorológico, sobre todo inundaciones. Estas condiciones de sitio pueden explicar, en parte, el motivo de los cambios de color en la madera de *Prosopis alba*.

Como se observa en la Tabla 3, existe una correlación entre los parámetros colorimétricos, con aumentos en la luminosidad (L^*) la pigmentación amarilla (b^*) también aumenta, presentando correlaciones altas y positivas para todas las regiones de estudio (albura, duramen y médula); mientras que el pigmento rojo (a^*) tiene a disminuir a medida que aumenta L^* en la albura; sin embargo, esta correlación tiende a ser débil en el duramen y médula, 0,18 y 0,22 respectivamente.

Tabla 3: Correlación de Pearson (r) para los para los parámetros colorimétricos de la albura, duramen y médula.

	Luminosidad (L^*)	Rojez (a^*)	Amarillez (b^*)
Albura			
Luminosidad (L^*)	-	-	0,56**
Rojez (a^*)	-0,72**	-	-
Amarillez (b^*)	-	-0,36**	-
Duramen			
Luminosidad (L^*)	-	-	0,61**
Rojez (a^*)	0,18**	-	-
Amarillez (b^*)	-	0,79**	-
Médula			
Luminosidad (L^*)	-	-	0,63**
Rojez (a^*)	0,22**	-	-
Amarillez (b^*)	-	0,72**	-

**Correlación significativa para un $p < 0,05$, albura $n=479$, duramen $n=1920$, médula $n=480$.

Entre los parámetros a^* y b^* existe una correlación alta y positiva en el duramen y médula, mientras que en la albura es más débil y negativa ($r = -0,36$, $p < 0,05$) (Tabla 3). En consecuencia, variaciones en el color en la madera de esta especie estarían dadas principalmente por aumentos en los pigmentos rojos (a^*) y amarillo (b^*), en el cual este último está directamente relacionado con la luminosidad de la muestra de madera (L^*) (Figura 3b). Estudios realizados por Nishino *et al.* (1998) en 97 especies, muestra que el parámetro b^* , se correlacionan alta y positivamente con L^* , cuando este rasgo es < 54 , por lo que aumentos significativos en la luminosidad irían acompañados de aumentos sustanciales de la pigmentación amarilla en el duramen y albura. García *et al.* (2014) mencionan que pigmentación roja (a^*) es la principal responsable de la alteración del color entre las especies y las caras dentro de cada especie. Sin embargo, este parámetro se mantuvo prácticamente constante en el duramen y médula de *Prosopis alba*, solo varió en forma apreciable en la albura (Figura 3a y Figura 3c).

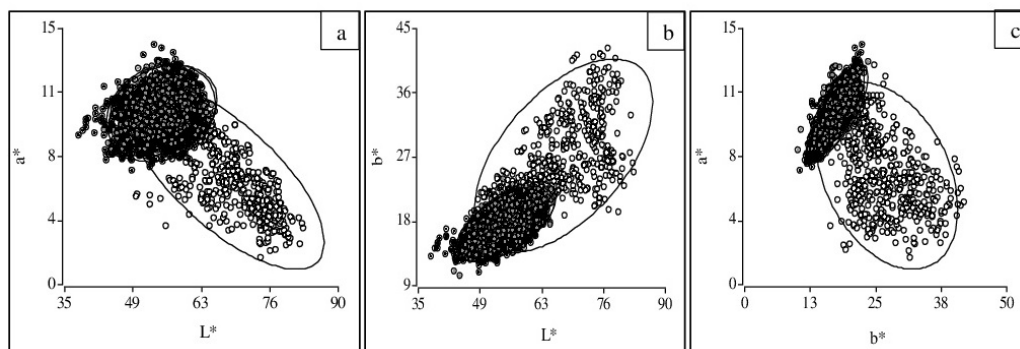


Figura 3: Relación entre parámetros colorimétricos. El duramen del algarrobo blanco (puntos negros), la médula (puntos grises) y la albura (puntos blancos) representan los colores en el espacio CIELab, L^* representa la luminosidad (0=negro, 100=blanco), a^* representa rojez ($-a^*$ =verde, $+a^*$ =rojo), b^* representa la amarillez ($-b^*$ =azul, $+b^*$ =amarillo).

Las correlaciones entre los parámetros colorimétricos de la albura versus los parámetros del duramen, fueron bajas y no significativas para un 95% de confianza, lo que excluye la posibilidad de que el color del duramen en los árboles en pie pueda determinarse midiendo el color de la albura. Bajas correlaciones entre los parámetros colorimétricos del duramen y la albura también fueron reportados por Bradbury *et al.* (2010). Sin embargo, Bradbury *et al.* (2010) menciona que se necesitan investigaciones adicionales que permitan determinar si la evaluación colorimétrica no destructiva a campo del color de la madera puede realizarse con confianza, ya que Dudley y Yamasaki (2000) encontraron que el color del duramen de rama podría usarse para predecir con precisión el color del duramen del tallo en muestras secas de *Acacia koa* en Hawaii.

Como las características del sitio pueden producir diferencias en el color de la madera entre los sitios (Wilkins y Stamp 1990, Nicholas *et al.* 2007, Sotelo-Montes *et al.* 2008, Villegas y Área 2009, Villegas *et al.* 2009, Moya y Marín (2011) y dentro de los sitios (Phelps *et al.* 1983, Rink 1987, Sotelo-Montes *et al.* 2008). En el presente estudio, los sitios donde se encuentra la especie produjeron diferencias estadísticamente significativas según la sección o región de la muestra de la cual se traten, ya que la interacción *sitio x región*, *sección x región*, fue estadísticamente significativa al 95% de confianza (Tabla 4). Para todos los parámetros colorimétricos (L^* , a^* y b^*) el mejor modelo resultante fue un modelo heterocedástico con varianzas heterogéneas para región.

Tabla 4: Resultados del análisis del color en la madera de 24 árboles de *Prosopis alba* que crecen en sitios diferentes en la Región Chaqueña, Argentina ($n = 144$).

Fuente de variación	Parámetros colorimétricos		
	L^*	a^*	b^*
Sitio	0,0011	0,0021	0,0041
Sección	<0,0001	<0,0001	NS
Región	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sitio:Sección	NS	NS	NS
Sitio:Región	0,0003	0,0001	0,0007
Sección:Región	<0,0001	0,0002	NS
Sitio:Sección:Región	NS	NS	NS

Dependiendo de las exigencias del color en el mercado, se podría decir que sitios de mayor precipitaciones Isla Cuba y Villa Ángela tienden a tener duramen más oscuros, mientras que sitios de menor precipitaciones tienen tonalidades más claras en el duramen y un mayor contraste respecto a la albura (Figura 4a), lo que podría ser de sumo interés a la hora de producir tableros de pared en Grado Black & White, tal como se promociona en madera de *Acacia melanoxylon* (Tasmanian Timber Promotion Board 2018). La sección lateral, tiene madera significativamente más clara que la transversal, no existiendo diferencias significativas entre secciones en la albura (Figura 4b). Investigaciones realizadas por Nicholas *et al.* (2007) en *Acacia melanoxylon* también revelaron diferencias significativas en la luminosidad de las muestras de madera plantadas en distintos sitios.

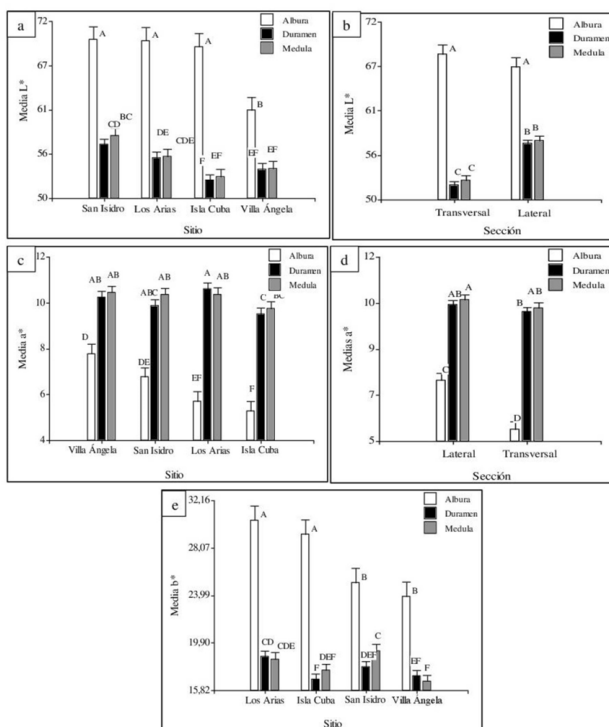


Figura 4: Valores medios de los parámetros colorimétricos según sitio, sección y región de estudio.

Asimismo, Moya y Marín (2011) también reportaron diferencias significativas en los parámetros L^* , a^* , y b^* de clones plantados en distintos sitios. Por su parte Boudouaya *et al.* (2016) muestran diferencias significativas en la luminosidad en muestras de madera de *Pistacia atlantica* Desf. provenientes de dos regiones de muestreo que difieren en términos de suelo, clima y altitud.

El pigmento rojo (a^*) mantuvo similares niveles entre sitios, mostrando pequeñas diferencias estadísticas significativas entre el duramen de Los Arias e Isla Cuba (Figura 4c). El valor más bajo de este parámetro se observó en la albura de Isla Cuba que fue significativamente menor que en Villa Ángela, donde se registraron las temperaturas medias más altas y bajas respectivamente (Tabla 1). Entre las secciones de estudio solo se aprecia diferencias significativas en la albura, siendo superior en la cara lateral (Figura 4d). Estudios similares llevados a cabo por Sotelo-Montes *et al.* (2008) muestran que las zonas de plantación en *Calycophyllum spruceanum* produjeron pequeñas diferencias significativas en el tono rojizo (a^*) de las muestras. Por su parte Atayde *et al.* (2011) encontraron diferencias significativas entre las secciones de estudio de la madera *Brosimum sp.*

Los valores más bajos en el parámetro b^* para el duramen y médula fueron para Isla Cuba y Villa Ángela (Figura 4e), en el cual este último sitio difiere estadísticamente de Los Arias, donde mostró los valores más altos, y por ende de mayor claridad.

Las correlaciones fenotípicas, descritas en la Tabla 5, sugieren que puede haber una compensación dependiendo del tamaño de los árboles de *Prosopis alba*. Utilizando datos de árboles individuales, las correlaciones indicaron que la madera de árboles más grandes (es decir, árboles con mayor altura y DAP) tienden a ser

más oscuros, originado posiblemente por el menor tenor de pigmento amarillo (menor $media-L^*$ y $media-b^*$) (Figura 5a y Figura 5c).

Tabla 5: Correlación de Pearson (r) entre los valores promedios de los parámetros colorimétricos y rasgos morfométricos del árbol $n=24$.

Parámetro	Rasgos morfométricos									
	Ht	Hf	DAP	Vc	E	%C	Ic	Fc	Is	Ia
L^*	-0,5(0,01)	NS	NS	-0,58(0,003)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
a^*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,45(0,03)	NS	NS	NS
b^*	NS	NS	-0,43(0,04)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Dónde: Ht= altura total; Hf= altura de fuste; DAP= diámetro a la altura del pecho; Vc= volumen de copa (m^3); E= esbeltez; %C= porcentaje de copa, Ic: índice de Copa; Fc= forma de Copa; Is=índice saliente, Ia= índice de amplitud.

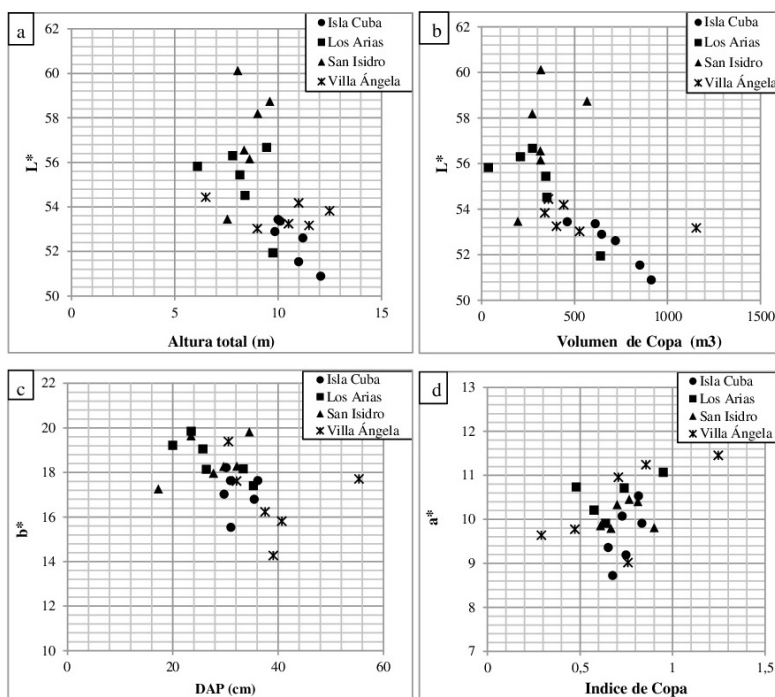


Figura 5: Valores de parámetros colorimétricos (L^* , a^* , b^*) en relación a rasgos morfométricos de los 24 árboles muestreados en los distintos sitios.

La claridad L^* , además, se correlacionó negativamente con la altura total y el volumen de copa (Figura 5a y Figura 5b), lo que sugiere que la madera de los árboles más altos y/o con mayor copa eran más oscuros. El índice de copa (Longitud de copa /Diámetro de copa) se correlacionó positivamente con el pigmento rojo, es decir árboles más productivos tienden a tener tonos más rojizos en su madera $p = 0,03$ (Figura 5d).

Estudios similares efectuados por Rink *et al.* (1987) en ensayos de progenie observaron correlaciones opuestas al presente trabajo, ya que la luminosidad se correlacionó positivamente con la altura y el diámetro ($r = 0,33$ y $0,23$, respectivamente), lo que indicó que el color del duramen era más claro en los árboles de crecimiento más rápido, mientras que un duramen más oscuro se asociaba con árboles que tenían crecimiento menor. Por su parte, Sotelo-Montes *et al.* (2008) encontraron asociaciones similares al presente estudio donde la luminosidad (L^*) de las muestras se correlacionó débil y negativamente con la altura de los árboles ($r = -0,10$,

$p=0,038$) en zonas altas de plantación, mientras que el parámetro b^* y el DAP se correlacionaron positivamente en zonas medias ($r=0,17$; $p=0,004$) y bajas de plantación ($r=0,18$; $p<0,001$).

Estos son resultados preliminares que nos permiten inferir que el tamaño de los árboles, afectan directa e indirectamente en la colorimetría de la madera de algarrobo blanco.

CONCLUSIONES

Existen variaciones en rasgos colorimétricos dentro del árbol y entre árboles, lo cual está directamente relacionado con las condiciones de sitio de crecimiento. Se comprobó que el duramen de árboles en sitios de mayor precipitaciones tienden a ser más oscuros ($<L^*$) que en sitios de menor precipitación ($>L^*$). Entre el duramen y la albura tienen amplios rangos de color, lo cual son variables a tener en cuenta a la hora de emplear la madera de *Prosopis alba* como materia prima para la industria del mueble. Las correlaciones de parámetros colorimétricos con rasgos morfométricos indican que el tamaño de los árboles (altura total, DAP, Volumen de copa, índice de copa) tiene efecto sobre el color de la madera y su uniformidad.

REFERENCIAS

Araujo, P.; A. Remacha, G.; Medina, J.; Taboada, V. 2003. Los recursos maderables del Chaco Semiárido Argentino. Características, usos actuales y potenciales. Revista *AITIM* 224 (1): 50-53.

Atayde, C.M; Gonçalves, J.C; Camargos, J. A. 2011. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de Muirapiranga (*Brosimum sp.*). *Cerne Lavras* 17(2): 231-235.

Bianchi, A.R.; Cravero, S.A. 2015. Atlas climático digital de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (Online) (Consulta: 15 de Febrero 2018). <http://visor.geointa.inta.gov.ar/?p=79>

Bolzón, G.; Nisgoski S.; Lomelí Ramírez, G. 2010. Anatomía y ultraestructura de la madera de tres especies de *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) del Parque Chaqueño seco, Argentina. *Madera y bosques* 16 (4): 21-38.

Boudouaya, M.; Benhassaini, H.; Bendimered-Mouri, F.Z.; Mothe, F.; Fournier, M. 2016. Évaluation de la variabilité de la couleur du bois de *Pistacia atlantica* Desf. du Nord de l'Algérie. *Bois et Forêts des Tropiques* 330 (4): 23-35.

Bradbury G.J.; Potts B.M.; Beadle C.L. 2010. Quantifying phenotypic variation in wood colour in *Acacia melanoxylon* R.Br. *Forestry* 83 (2): 153-162.

Camargos, J.; Gonçalves J. 2001. Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. *Brasil Florestal* 71 (1): 30-41.

Celis, A. 2006. Desastres en la Región Litoral de Argentina: 1970-2004. *Pampa* 1(2): 85-109.

Cisneros, A.B.; Moglia, J.G. 2017. *Prosopis alba*, alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas. In: GIMÉNEZ, A.M.; MOGLIA J.G. (Ed) *Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. Ecoanatomía y biodiversidad. Una mirada propositiva*. Facultad de ciencias forestales. UNSE. Santiago del Estero, Argentina. p.231-248.

Di Rienzo, J.; Macchiavelli, R.; Casanoves, F. 2012. *Modelos Lineales Mixtos Aplicaciones en InfoStat*. 1ª ed. GRUPO INFOSAT: Córdoba, Argentina.

Dos Santos J.X. 2018. Características anatômicas e espectroscopia VIS/NIR na discriminação das espécies comercializadas como "Tauari" na Amazônia Brasileira. Tesis, UFPR, Curitiba, Brasil.

Dudley, N.S.; Yamasaki, J. 2000 A Guide to Determining Wood Properties of *Acacia koa*. Forestry Report 3. *Hawaii Agri Res Center, Aiea, HI*. <http://www.trophirc.org/images/Publications/Dudley_Wood_Properties_Guide.pdf>

Fengel, D.; Wegener, G. 1984. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. New York: Waster & Grugter. 613p.

Fernandes da Silva, R.; Setter, C.; Silva Mazette, S.; De Melo, R; Martins Stangerlin, D. 2017. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. *Braz J Wood Sci* 8(1): 36-41.

García R.A.; Silveira de Oliveira N.; Do Nascimento A.M.; Dias de Souza N. 2014. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. *Cerne* 20 (4): 509-517.

Giménez, A.; Ríos, N.; Moglia, J.G. 2000. Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca. *Quebracho* 8 (1): 56-63.

Giménez, A.; Ríos, N.; Moglia, J.; Hernández, P.; Bravo, S. 2001. Estudio de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae. *Revista Forestal Venezolana* 45 (1): 175-183.

Giménez, A.; Ríos, N.; Moglia, J.; Lopéz C. 1998. Leño y corteza de *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. *Bosque* 19(2): 53-62.

López, A.J. 2014. Variación del color de la madera de *Eucalyptus dunnii* Maiden. In: VI Reunión GEM-FO. Buenos Aires, Argentina.

Lourenço, A.; Baptista, I.; Gominho, J.; Pereira, H. 2008 . The influence of heartwood on the pulping properties of *Acacia melanoxylon* wood. *J Wood Sci* 54(6): 464-469.

Malik, J.; Ozarska, B.; Santoso, A. 2018. Colour Changes and Morphological Performance of Impregnated Jabon Wood Using Polymerised Merbau Extractives. *Maderas.Ciencia y tecnología* 20(1): 91-102.

Monteoliva, S.; Igartúab, D.V.; Mattac, E.J. 2009. Color de la madera de *Acacia melanoxylon*: aplicación del sistema CIE. *Bosque* 30(3): 192-197.

Moya, R.; Marín, J.D. 2011. Grouping of *Tectona grandis* (L.f.) clones using wood color and stiffness. *New Forests* 42(3):329-345.

Nishino, Y.; Janin, G.; Chanson B.; Gril, J. ; Thibaut, B. 1998. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. *Journal Wood Science* 44(1): 3-8.

Nicholas, I.; Dungey, H.; Gifford, H.; Cox, J.; Hodgkiss, P.; Jones, T. 2007. Preliminary Analysis of the Wood Properties of *Acacia melanoxylon* Thinnings from Five North Island Regime Trials in New Zealand. *Acacia Utilisation and Management - Adding value. Rural Industries Research and Development Corporation* 7(95): 14-20.

Phelps J.E.; McGinnes E.A.; Garrett H.E.; Cox G.S. 1983. Growth-quality evaluation of black walnut wood. Part II-color analyses of veneer produced on different sites. *Wood Fiber Sci* 15(2):177-185.

Rink, G. 1987. Heartwood color and quantity variation in Young black walnut progeny test. *Wood Fiber and Science* 19(1): 93-100.

Rodríguez-Anda, R.; Ramírez Arango, A.; Palacios Juárez, H.; Fuentes Talavera, F.; Silva Guzmán, J.; Saucedo Corona, A. 2015. Anatomical, physical mechanical and machining characteristics of the wood of velvet mesquite (*Prosopis velutina* Wooton). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (28): 156-173.

Rosende, R.; Ulloa, I.; Cuevas, E.; Donoso, J. 1985. Chemical Composition of Wood And bark of *Prosopis tamarugo* Phil and *Prosopis alba* gris. From the Tamarugal Pampa. The Current State of Knowledge on tamarugo- FAO: 355–360. [Online] [Consulta: 1 de diciembre de 2017]. <<http://www.fao.org/3/ad316e/>>

AD316E18.htm#ch4.4 >

Silveira de Oliveira, N. 2011. Caracterização da cor da madeira de quatro espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* E SUA correlação com a densidade. Tesis, UFRRJ, Río de Janeiro, Brasil.

Sotelo-Montes, C.; Hernández, R.; Beaulieu, J.; Weber J. 2008. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *New For* 35(1): 57-73.

Tasmanian Timber Promotion Board. 2018. Grades of Blackwood: *Acacia melanoxylon*. [Online] [Consulta: 28 de Noviembre 2018]. <<https://tasmaniantimber.com.au/species/blackwood/>>

Turc, C.; Cutter, B. 1984. Sorption and Shrinkage Studies of Six Argentine Woods. *Wood and Fiber Science* 16(4): 575-582.

Villagra, P.; Vilela, A.; Giordano, C.; Alvarez, J. 2010. Ecophysiology of *Prosopis* Species From the Arid Lands of Argentina: What Do We Know About Adaptation to Stressful Environments?. In: SUKHADIA M.L. (Ed) *Desert Plants Biology and Biotechnology*. University Department of Botany. SPRINGER: London.

Villegas, M.S.; Area, M.C.; Marlats, R.M. 2009. Caracterización de la madera de *Salix*. 1: Influencia del sitio, clon, edad y altura de muestreo. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 18(2): 192-203.

Villegas, M.; Area, M. 2009. Caracterización de la madera de *Salix* 2: Relaciones entre propiedades ópticas y otros atributos del leño. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 18(2): 204-212.

Wilkins A.P.; Stamp C.M. 1990. Relationship between wood colour, silvicultural treatment and rate of growth in *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). *Wood Sci Technol* 24(4): 297-304.