

1
2 **COLORIMETRÍA DE LOS TALLOS DEL BAMBÚ**
3 **(*Guadua angustifolia*) EN TRES ESTADOS DE MADUREZ**

4 **Colorimetry of bamboo stems (*Guadua angustifolia*) in three maturity**
5 **stages**

6 ***Surisaddai Hernández López¹, Francisco José Zamudio Sánchez¹, Adriana Ávalos***
7 ***Vargas², Gabriela Orozco Gutiérrez³, Amparo Máxima Borja de la Rosa¹***

8 ¹ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. de México,
9 México

10 ² Cátedra CONACyT- División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco,
11 Edo. de México, México.

12 ³ INIFAP. Departamento de Plantaciones y genética forestal, Colima, México.

13 **♦Autor de correspondencia:** adriana.avalos.vargas@gmail.com ; aavalos@conacyt.mx

14 **Recibido:** Junio 27, 2019

15 **Aceptado:** Octubre 07, 2020

16 **Posted online:** Octubre 08, 2020

17 **RESUMEN**

18 El objetivo de este trabajo fue describir el color del tallo, también conocido como culmo, de
19 *Guadua angustifolia* con el sistema colorimétrico CIE-L*a*b* y analizar la variabilidad entre
20 los tres estados de madurez (joven, maduro y sobremaduro). El material de estudio se
21 recolectó en la plantación de la empresa AGROMOD, ubicada en Reforma, Chiapas, México.
22 Se tomaron 12 culmos de dos, cuatro y seis años, 36 en total, y se midió el color utilizando
23 los parámetros del sistema CIE-L*a*b* con ayuda de un colorímetro digital. Posteriormente,
24 se utilizó la metodología propuesta por CIE 2004 para obtener la variación total de color
25 (ΔE^*) y medir la magnitud de la diferencia del color entre los tres estados de madurez. Como
26 consecuencia de la madurez se observó un cambio secuencial de coloración en la parte
27 externa del culmo, desde un verde claro, verde grisáceo, gris, hasta un tono café. Los valores
28 de ΔE^* fueron mayores de 20, lo que de acuerdo a los criterios de percepción de diferencia
29 de color ΔE^* indica que la variación del color entre un estado de madurez y otro puede
30 clasificarse como “Muy grande”. Asimismo, al realizar un análisis de Kruskal Wallis en las
31 coordenadas CIE-L*a*b* se encontró que la diferencia del color por edad es estadísticamente
32 significativa ($p < 0,05$).

33 **Palabras clave:** Bambú, CIELab, colorimetría, culmo, diferencia del color, *Guadua*
34 *angustifolia*, madurez.

35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64

ABSTRACT

The aim of this study was to describe the *Guadua angustifolia* stem (culm) color with the CIE-L*a*b* color system and to analyze the color variation among the three stages of maturity (young, mature and overripe). The study material was collected from the AGROMOD plantation, located in Reforma, Chiapas in Mexico. Twelve culms of two, four and six years were taken, 36 in total, and the color was measured using the CIE-L * a * b * system parameters by using a digital colorimeter. Then, with the methodology proposed by the CIE 2004, the total color variation (ΔE^*) and the magnitude of the color difference between the three maturity stages were obtained. As a consequence of maturity, a sequential change in coloration was observed in the outer part of the culm, going from light green, greyish green, grey to brown. The ΔE^* values were greater than 20, which according to the perception of color difference criteria, indicates that the color variation between one stage of maturity and another can be classified as “Very large”. Also, when performing an analysis of variance in the CIE-L*a*b* coordinates, it was found that the difference in color by age is statistically significant ($p < 0,05$).

Keywords: Bamboo, CIELab, colorimetry, culm, color difference, *Guadua angustifolia*, maturity.

65

INTRODUCCIÓN

66 El bambú es un recurso natural renovable de rápido crecimiento. Es una especie promisoras
67 de alto valor ecológico y económico. Se ha convertido en una especie forestal alternativa
68 frente a especies maderables como el pino, encino y algunas otras latifoliadas, debido a su
69 rápido crecimiento, a sus propiedades físico-mecánicas y porque su turno es corto (Mercedes
70 2006).

71 Los bambúes carecen de tejido de cambium y por eso no presentan crecimiento secundario
72 o incremento en diámetro, solamente tienen crecimiento primario o apical, por lo que todos
73 los renuevos emergen del suelo con su diámetro definitivo y los nudos juntos como un
74 acordeón cerrado. El crecimiento longitudinal se da al estirarse los nudos formando los
75 entrenudos, lo que normalmente ocurre de abajo hacia arriba en un lapso de seis meses a dos
76 años en promedio (Álvarez 2012; Londoño 2004).

77 Cuando el bambú alcanza su altura máxima, comienza el proceso de lignificación por el cual
78 la planta de bambú se hace cada vez más leñosa. Esto tarda aproximadamente entre 2 y 6
79 años, dependiendo la especie; y a partir de ese periodo, las fibras conductoras se cierran y se
80 secan, consiguiendo una consistencia similar a la de la madera (Soler 2017).

81 Asimismo, se ha observado que muchas propiedades del bambú se ven afectadas por la edad
82 del culmo (tallo cilíndrico, con nudos y entrenudos característico de las especies
83 pertenecientes a la familia de las gramíneas (Aguilar 2005)) en la cosecha; estos incluyen
84 densidad, contenido de humedad, resistencia y módulo de elasticidad. Muchas de estas
85 propiedades llegan a alcanzar su punto máximo a una edad particular dependiendo la especie
86 y luego disminuye nuevamente si no se cosechan los tallos (Duque *et al.* 2010; Zhou 1981).

87 Cuando los culmos se cortan inmaduros, es decir, menores a dos años tienen un contenido de
88 agua muy alto y se arrugan después de ser cortados, lo que los hace inútiles para la
89 construcción (Liese and Köhl 2015). Después de la edad de cosecha, el culmo comienza a
90 deteriorarse lentamente, además de que la pared interna se vuelve impermeable a las
91 soluciones de tratamiento (Schröder 2012).

92 Para el caso de la *Guadua angustifolia* se ha comprobado que, en un tiempo de 4 a 5 años,
93 según el sitio, la especie alcanza su pleno desarrollo con producción de guaduas catalogadas
94 como comerciales (Londoño *et al.* 2002).

95 En general, el manejo de la especie ha sido empírico, dado que es escasa la información
96 básica sobre el establecimiento del cultivo y su aprovechamiento, principalmente en cuanto
97 a las características fenotípicas que debe tener el bambú para ser cosechado.

98 Parte de ese conocimiento empírico es el color del culmo, pues es una de las características
99 que los productores utilizan como indicador de madurez. Al respecto, Schröder (2012)
100 menciona que el bambú cambia gradualmente de color en el exterior, lo que permite
101 reconocer cuatro etapas muy definidas: brotes, culmos jóvenes, maduros y viejos.

102 El culmo joven se reconoce por su color verde claro y brillante, con presencia de cera
103 blanquecina. Cuando el color del bambú cambia a gris y verde oscuro, con presencia de
104 musgos y líquenes (en lugares con alta humedad ambiental), entonces se muestra una
105 evidencia clara de su madurez y se puede seleccionar para la cosecha y extracción del bosque
106 o de la plantación. El tallo sobremaduro contiene una cantidad excesiva de hongos y el color
107 tiende a ser amarillento (Hernández 2016; Schröder 2012). Por ello, es importante realizar
108 estudios de colorimetría para las distintas edades del bambú.

109 De acuerdo con Liese (1998) un culmo está conformado en un 52 % por tejido de parénquima,
110 en un 40 % por fibras y en un 8 % por tejido conductivo, estos valores varían con la especie.
111 En el caso de *G. angustifolia* esta composición es: 51 % parénquima, 40 % fibras y 9 % tejido
112 conductivo (Londoño 2004). Los bambúes pueden componerse desde un 50 % hasta un 70
113 % por holocelulosa, a lo más el 30 % de pentosa, alrededor del 20 % de lignina y en menor
114 proporción resina, taninos, ceras y sales inorgánicas. Esta composición varía con las especies,
115 condiciones de crecimiento, edad, parte del tallo y época del año (Hidalgo 2003). Dada la
116 similar composición química entre madera y bambú se podría pensar que los resultados de la
117 madera en cuanto a colorimetría son extrapolables al bambú.

118 Existen varios sistemas colorimétricos para medir los parámetros de color, uno de los
119 métodos más precisos y comúnmente utilizados es el sistema de color de CIE-L*a*b*. Esta
120 técnica consiste en medir tres parámetros colorimétricos L*, a* y b*, a partir de los cuales es
121 posible cuantificar el color del material. L* es la luminosidad e indica el tono de gris dentro
122 de una escala negro-blanco. Su escala va de 0 a 100, donde 0 es el negro y 100 indica el
123 blanco. Los otros dos parámetros son las coordenadas cromáticas verde-rojo (a*) y azul-
124 amarillo (b*), las cuales dentro de una escala de 0 a 60 indican la variabilidad de los
125 pigmentos rojo, verde, amarillo y azul, definidas por las variables +a*, -a*, +b* y -b*,
126 respectivamente (Gonçalez *et al.* 2014).

127 Las coordenadas CIE-L*a*b* localizan en un plano tridimensional los colores de los objetos.
128 Además, los cambios uniformes en las componentes tienden a corresponder a cambios
129 uniformes en el color que se percibe. Dichos cambios se cuantifican tomando la distancia
130 euclidiana (ΔE^*) entre ellos (Bradbury *et al.* 2010). A la distancia euclidiana también se le
131 conoce como variación total del color. Existen varios criterios para determinar cuándo la

132 variación del color es perceptible por el ojo humano. Uno de ellos es el propuesto por
133 Melchiades y Boschi (1999) que menciona que la diferencia de coloración puede ser
134 observada por el ojo humano si $\Delta E^* > 1$. Otro criterio es el propuesto por Hikita *et al.* (2001),
135 cuya escala se encuentra entre 0 y 12, el cual considera que la diferencia de colores empieza
136 a ser ligeramente perceptible cuando $\Delta E^* > 0,5$ y muy apreciable cuando $\Delta E^* > 6,0$. En esta
137 escala ΔE^* está acotada a un valor de 12 . También existe el criterio ΔE^*_{76} que, al igual que
138 el criterio de Hikita *et al.* (2001) divide la percepción de la diferencia de color en más
139 estratos, clasificando los valores de ΔE^* como no visible, muy leve, notable, muy notables,
140 grande y muy grande. Sin embargo, en esta escala el valor ΔE^* no tiene una cota superior
141 (Wyszecki and Stiles 1982).

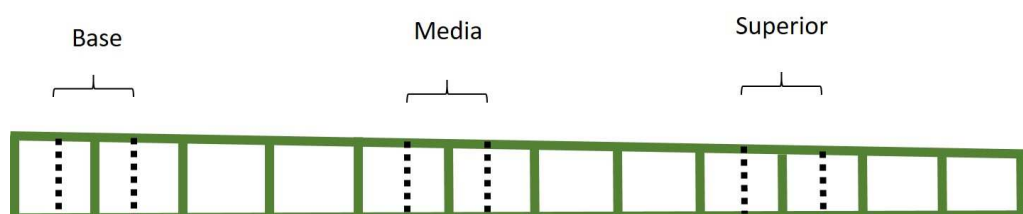
142 Desafortunadamente, no existen muchos estudios sobre colorimetría del bambú y mucho
143 menos se ha estudiado una posible relación entre el color y la edad. Por ello, en este trabajo
144 se propone estudiar la variación de color de *G. angustifolia* a tres edades. En otras palabras,
145 el objetivo de este trabajo fue describir el color del culmo de *Guadua angustifolia* con el
146 sistema colorimétrico CIE-L*a*b* y analizar la variabilidad entre los tres estados de madurez
147 (joven, maduro y sobremaduro) asociadas a las edades de 2, 4 y 6 años respectivamente.
148 También, a partir de dicho análisis, se buscó generar una paleta de colores que puede ser de
149 utilidad para determinar la madurez del bambú.

150 METODOLOGÍA

151 La recogida del material se realizó en la plantación de *Guadua angustifolia* Kunth de la
152 empresa AGROMOD, la cual tiene 23 años y se encuentra ubicada en el municipio de
153 Reforma, Chiapas, México; en las coordenadas geográficas 17° 52' de latitud Norte y 93°

154 09' de longitud Oeste y a una altitud de 20 msnm. El clima de la región es cálido húmedo
155 con lluvias todo el año (Municipio de Reforma Chiapas 2019).

156 Se seleccionaron 36 culmos de *G. angustifolia*. De los 36 tallos, 12 correspondieron a la edad
157 de dos años, otros 12 culmos a la edad de cuatro años y los 12 restantes a la edad de seis años
158 (joven, maduro y sobremaduro, respectivamente). Todos los culmos tenían, en promedio, 15
159 m de altura y 7,5 cm de diámetro. Cada culmo se dividió en tres partes que se identificaron
160 como: base (cepa), media (basa) y superior (sobrebasa) (Figura 1).



161 **Figura 1:** Secciones del culmo para este estudio. Las muestras fueron tomadas a los 20 cm,
162 5 m y 10 m de altura.

163 El color fue determinado en campo con un Colorímetro Digital (RGB-1002). La medición se
164 estableció dentro del rango visible (de 400 nm a 700 nm). Las medidas se tomaron en cada
165 una de las secciones a las que fue cortado el culmo de bambú (base, media y superior) y se
166 obtuvo el valor promedio para las coordenadas L^* , a^* y b^* .

167 Posteriormente se utilizó el índice de diferencia de color de la madera ΔE^* propuesto por la
168 *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE 2004), con el cual se compararon los
169 parámetros del color del culmo de bambú a diferentes edades. Este índice define la magnitud
170 de diferencia de color usando las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ de acuerdo con la siguiente
171 ecuación:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (1)$$

172 donde:

173 ΔE^* = diferencia de color

174 $\Delta L^* = L^{*M} - L^{*P}$, diferencia en el valor de claridad/obscuridad (+ = más claro, - = más
 175 oscuro)

176 $\Delta a^* = a^{*M} - a^{*P}$, diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde)

177 $\Delta b^* = b^{*M} - b^{*P}$, diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul)

178 M = valor del culmo 2

179 P = valor del culmo 1.

180 En este caso, para valorar si hay una diferencia importante en el color se utilizaron tres
 181 escalas distintas que se presentan en la Tabla 1.

182 **Tabla 1:** Criterios de percepción de diferencia de color ΔE^* .

Melchiades y Boschi (1999)	Hikita <i>et al.</i> (2001)	Wyszecki y Stiles (1982)
No observable: $\Delta E^* < 1$	Despreciable: $0,0 < \Delta E^* < 0,5$	No visible: $\Delta E^*_{76} < 0,2$
Observable: $\Delta E^* > 1$	Ligeramente perceptible: $0,5 < \Delta E^* < 1,5$	Muy leve: $0,2 \leq \Delta E^*_{76} < 0,5$
	Notable: $1,5 < \Delta E^* < 6,0$	Leve: $0,5 \leq \Delta E^*_{76} < 1,5$
	Muy apreciable: $6,0 < \Delta E^* < 12$	Notable: $1,5 \leq \Delta E^*_{76} < 3,0$
		Muy notable: $3,0 \leq \Delta E^*_{76} < 6,0$
		Grande: $6,0 \leq \Delta E^*_{76} < 12,0$
		Muy grande: $\Delta E^*_{76} \geq 12,0$

183

184 Los datos se analizaron en el programa estadístico R versión 3.5.1 (R Core Team 2018).
185 Para el análisis colorimétrico se obtuvo el ΔE^* , asimismo, se realizó un análisis de varianza
186 no paramétrica, a través de la prueba de Kruskal-Wallis. Se utilizó la función `kruskal.test`
187 para determinar si hay diferencia significativa del color entre las tres edades y después se
188 recurrió a la función `pairwise.wilcox.test` para calcular comparaciones por pares de edades,
189 en la que se hace una prueba de hipótesis, donde la hipótesis nula es que los grupos se
190 muestrean de poblaciones con distribuciones idénticas, y la alternativa es que los grupos se
191 muestrean de poblaciones con diferentes distribuciones. También se calculó el intervalo de
192 confianza mediante la fórmula siguiente:

$$IC = \bar{x} \pm t_{n-1} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

193 donde:

194 IC= Intervalo de confianza

195 \bar{x} = Media

196 t_{n-1} = valor crítico

197 σ = Desviación estándar

198 n = tamaño de muestra.

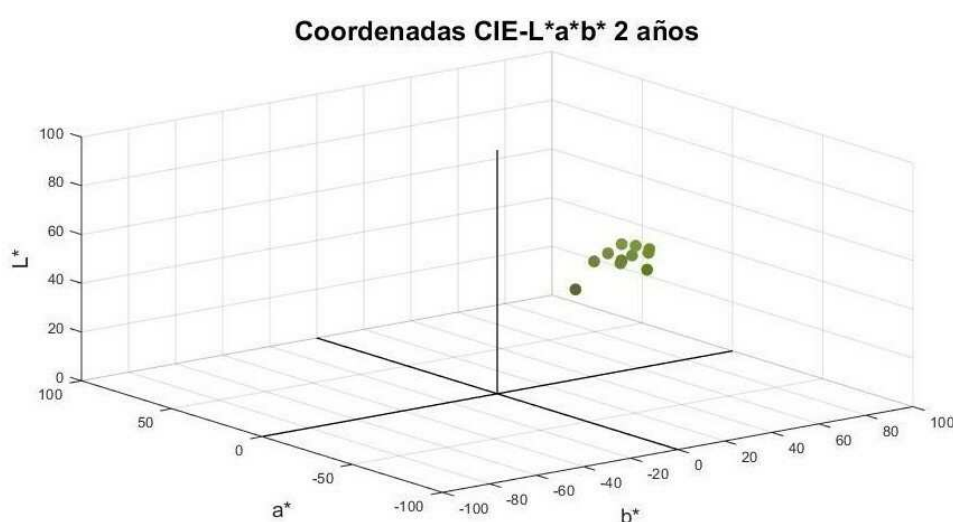
199 Tanto en el análisis de varianza como en la construcción del intervalo de confianza se
200 consideró que se tiene una muestra que se puede considerar pequeña (36 observaciones) y
201 que probablemente no tendría una distribución normal.

202

203

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

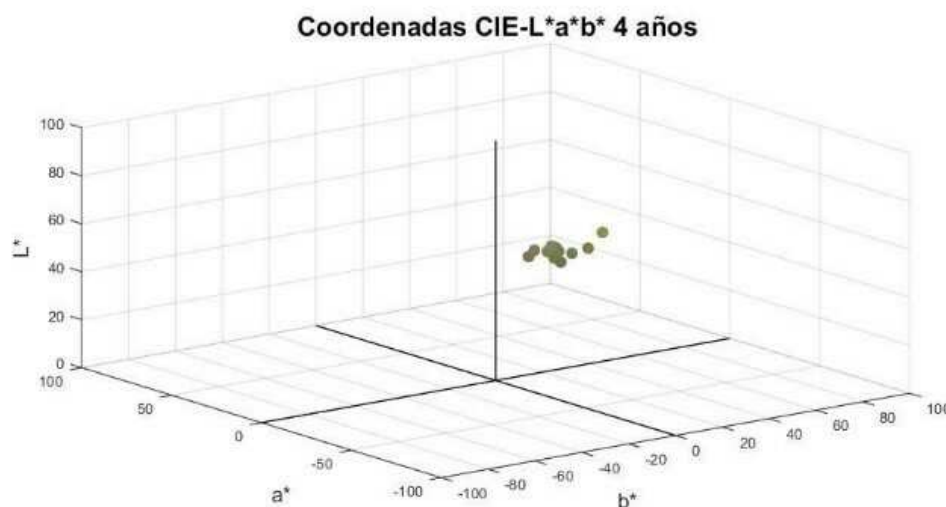
204 Los culmos de bambú presentaron, a simple vista, una diferencia de colores entre las edades,
205 pero no por secciones. Se observa que el bambú a los dos años tiene una coloración que va
206 de un verde claro a un verde ligeramente oscuro. El color promedio a esta edad, tiene las
207 coordenadas $L^* = 52,93$, $a^* = -18,55$ y $b^* = 38,25$, que representa un color “Dark moderate
208 yellow”. La Figura 2 presenta la gama de colores a esta edad dentro del espacio CIE- $L^*a^*b^*$.



209

Figura 2: Coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ de *G. angustifolia* a los 2 años (n=12).

210 El comportamiento de los colores a los cuatro años cambió del verde claro brillante a un
211 verde grisáceo y gris, las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ promedio fueron $L^* = 51,81$, $a^* = -4,62$
212 y $b^* = 22,46$, y representan al color “Mostly desaturated dark yellow”. En la Figura 3 se
213 observa la gama de colores a los cuatro años.

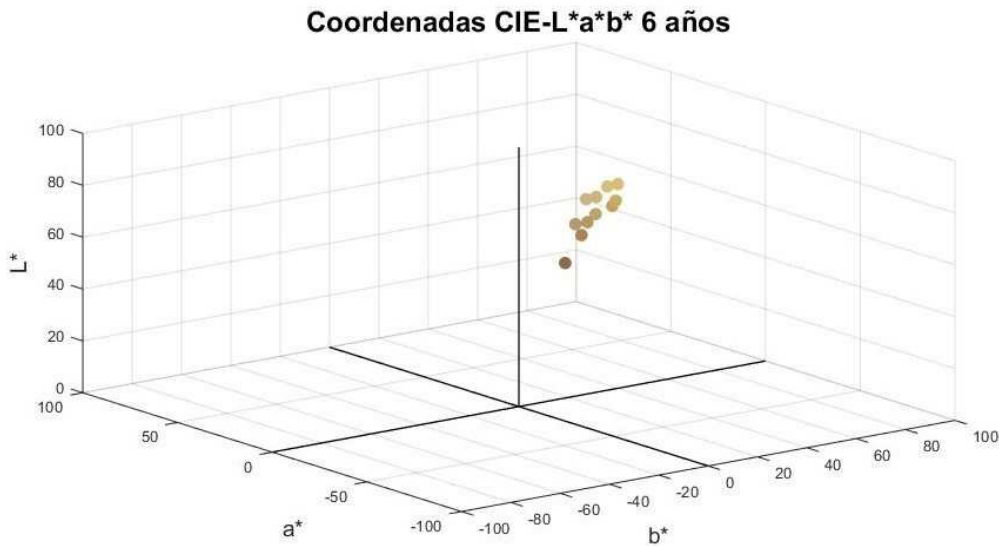


214 **Figura 3:** Coordenada CIE-L*a*b* de *G. angustifolia* a los 4 años (n=12).

215 El culmo de bambú a los seis años, presenta un cambio drástico de color a diferencia de los
216 dos anteriores, pues la gama pasó a colores cafés (Figura 4). El cambio drástico se produce
217 en L* y en a* pero no en b*, pues para el caso de dos y cuatro años el valor de L* está entre
218 41,22 y 58,32 mientras que para seis años está entre 48,12 y 78,10, es decir, tiene valores de
219 L más hacia el blanco, similarmente, la coordenada a* de los culmos de dos y cuatro años
220 tiene valores negativos mientras que para seis años sólo tiene valores positivos, es decir, que
221 tiende al color rojo. Sin embargo, para los valores de la coordenada b* se encontró que,
222 independientemente de la edad, los valores están entre 14,19 y 46,48. El promedio de las
223 coordenadas CIE L*a*b* para los culmos de seis años son L*=69,26, a*=3,85 y b*=34,03,
224 representado por el color “Slightly desaturated orange”.

225 Aunque las Figuras 2 a 4 muestran que hay una diferencia perceptible de color, en la Figura
226 5, se presentan las gráficas de cada coordenada por edad, lo que permite observar que la
227 distribución de las coordenadas no es necesariamente normal pues las media en todos los
228 casos se encuentra corrida hacia el máximo, excepto en las coordenadas a y b para seis años

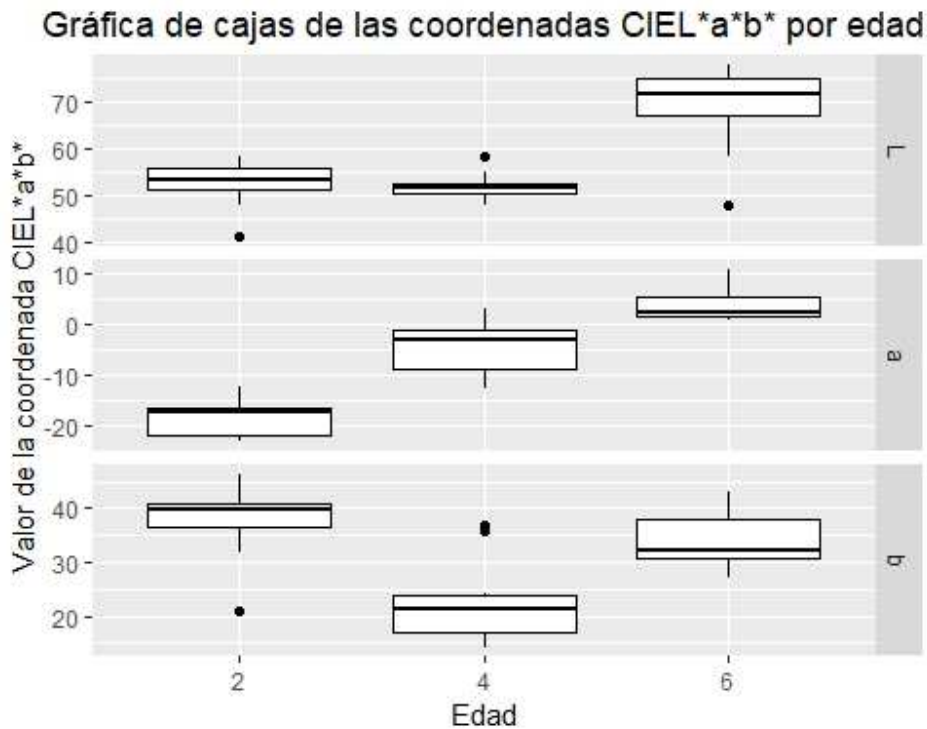
229 en las que la media se encuentra corrida hacia el mínimo. La posición de las cajas también
230 muestra que tanto L^* como b^* disminuyen a la edad de cuatro años y aumentan a los seis
231 años, mientras que la a^* aumenta conforma aumenta la edad.



232 **Figura 4:** Coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ de *G. angustifolia* a los 6 años (n=12).

233 Para asegurar que existe diferencia significativa entre las coordenadas L^* , a^* y b^* por edad
234 se realizó una prueba de Kruskal-Wallis, que es una alternativa no paramétrica a la prueba
235 ANOVA. Para las tres coordenadas se encontró un p-valor menor a 0,05, por lo que se puede
236 asegurar que hay diferencia significativa por edad. Para encontrar si hay diferencia
237 significativa por pares de edad, se realizó de nuevo la prueba, pero ahora con la función
238 `pairwise.wilcox.test`

239



240 **Figura 5:** Gráfica de cajas de las coordenadas CIE-L*a*b* por edad.

241 Así, se encontró que la luminosidad no presentó diferencia estadística entre 2 años y 4 años;
242 la coordenada a* presentó diferencia significativa en las tres edades, evidenciando un
243 desplazamiento del color verde hacia el rojo. Con respecto a b*, a los dos años y seis años
244 no se muestra diferencia estadística, pero si entre los 2 y 4 años. Esto se puede interpretar
245 como que a medida que el culmo entra a su estado de madurez disminuye el color amarillo y
246 conforme se vuelve sobremaduro éste aumenta nuevamente. Los valores p (p-values) de las
247 pruebas se muestran en la Tabla 2.

248 Por otro lado, utilizando los promedios para L*, a* y b* en las diferentes edades se calculó
249 ΔE^* (Tabla 3). De acuerdo con el criterio de Melchiades y Boschi (1999) fue mayor a 1 en
250 las tres comparaciones, lo cual indica que los cambios en el color son percibidos por el ojo
251 humano. Retomando la clasificación de Hikita *et al.* (2001) se observa que los valores de

252 ΔE^* para 2 años y 4 años, 4 años y 6 años, así como 2 años y 6 años son mayores a 12 y por
 253 tanto no entran en ninguna categoría. Finalmente, en la escala Wyszecki y Stiles (1982) los
 254 tres valores son mayores a 12 lo que indica una diferencia muy grande de colores. Entonces,
 255 se puede decir que las diferencias son bastante notables.

256 **Tabla 2:** p-values de la prueba de Kruskal Wallis para determinar si hay diferencia
 257 estadística en las coordenadas CIEL*a*b* por edad del culmo.

Comparación por edad	L*	a*	b*
2-4-6 años	1,63E-04**	3,98E-07**	2,03E-04**
2-4 años	3,01E-01 ^{ns}	4,40E-06**	3,10E-04**
2-6 años	9,50E-04**	5,50E-05**	9,98E-02**
4-6 años	9,50E-04**	2,00E-04**	2,47E-03 ^{ns}
ns, diferencia no significativa ** Diferencia significativa, a un nivel de significancia del 0,05			

258 **Tabla 3:** Diferencia entre edades de los valores medios de las coordenadas colorimétricas y
 259 variación total del color.

Comparación	Δ	Coordenadas colorimétricas			Variación total (ΔE)
		L*	a*	b*	
2 años y 4 años	Δ	-1,12	-13,93	-15,79	21,08
	Δ^2	1,25	194,04	249,32	
4 años y 6 años	Δ	17,45	8,47	11,57	22,58
	Δ^2	304,50	71,74	133,86	
2 años y 6 años	Δ	16,33	22,40	-4,22	28,03
	Δ^2	266,67	501,76	17,81	
Δ y Δ^2 . Diferencia entre edades y diferencia al cuadrado, respectivamente.					

260 Dado que con los tres criterios propuestos se encontró que existe una diferencia en la
261 coloración de acuerdo a la edad, entonces es posible realizar una paleta de colores que facilite
262 la clasificación de *G. angustifolia* in situ de acuerdo a la edad, pues para esta especie la altura
263 máxima se alcanza a los dos años de edad, que no es la edad apropiada para su corte y uso en
264 la industria pues pasados los dos años cambian las propiedad físicas y mecánicas del culmo,
265 es decir madura (Duque *et al.* 2010). Para ello, se construyeron los intervalos de confianza
266 para las coordenadas CIE-L*a*b* de los culmos de bambú por edad (Tabla 4).

267 **Tabla 2:** Intervalos de confianza.

Variable	L*	a*	b*
2 años	[49,81_56,06]	[-20,77_ -16,32]	[33,92_42,59]
4 años	[49,85_ 53,77]	[-7,77_ -1,46]	[17,79_27,12]
6 años	[63,67_74.85]	[1,67_6,04]	[30,61_ 37,44]

268

269 Para cada edad se convirtieron las coordenadas CIE-L*a*b* de los extremos de los intervalos
270 a su valor hexadecimal. Después, con el software estadístico R versión 3.5.1 (R Core Team
271 2018), se realizó un degradado de diez colores contenidos entre el máximo y el mínimo (los
272 extremos de los intervalos). En la Figura 6 se muestra la gama de colores contenidos en
273 dichos intervalos de confianza, que corresponde a los colores que puede tener el bambú de
274 acuerdo a su edad.



275 **Figura 6:** Paleta de colores asociada al intervalo de confianza de la colorimetría del bambú.

276 Para cada edad se presentan diez posibles tonalidades para cada estado de madurez.

277 Esta paleta de colores se ha dividido en tres estados de madurez del bambú. Dentro de cada

278 estado se presentan diez colores que pudiera tener un culmo de acuerdo a su madurez. Es

279 importante mencionar que dentro de los diez colores pueden existir más tonalidades, sin

280 embargo, es más difícil para el ojo humano detectar dichas diferencias entre los tonos.

281 La utilidad de esta paleta de colores radica en que se puede comparar el color de un tallo de

282 bambú en la plantación contra diez posibles colores según su estado de madurez, lo que puede

283 guiar al productor a una identificación correcta de la edad del bambú y por ende a un

284 aprovechamiento óptimo.

285 Es importante mencionar que es necesario realizar este estudio colorimétrico en otras

286 plantaciones de *G. angustifolia* pues si bien la paleta de colores es útil, se debe tener en mente

287 que estas muestras de bambú provienen de una plantación sin manejo y con niveles de

288 contaminación importantes, pues las muestras no presentaban poblaciones de líquenes,
289 hongos y musgos.

290 **CONCLUSIONES**

291 Los culmos de bambú en sus tres estados de madurez (dos, cuatro y seis años) se ubicaron en
292 el espacio CIE-L*a*b* desde un “Dark moderate yellow” hasta un “Slightly desaturated
293 orange”. Además, hay una diferencia visible por el ojo humano en la coloración. Lo anterior,
294 hizo posible la construcción de una paleta de colores que permite identificar la edad de *G.*
295 *angustifolia*. Se debe notar que, de acuerdo a la experiencia empírica de algunos productores,
296 el momento adecuado para la cosecha de la *Guadua angustifolia* es cuando tiene una
297 coloración grisácea que es probable que coincida con el color “Mostly desaturated dark
298 yellow” que corresponde en promedio a los culmos de cuatro años.

299 Cabe destacar que el contenido de humedad, las condiciones climáticas, edáficas y de manejo
300 del sitio influyen en el color y este puede variar de un lugar a otro. Se recomienda hacer un
301 estudio más profundo con diferentes sitios con características de manejo controlado para
302 mejorar la clasificación del bambú de acuerdo a su color y edad.

303 **AGRADECIMIENTOS**

304 Los autores agradecen a AGROMOD por la donación de culmos, a CONACyT por el apoyo
305 financiero a través de una beca y a la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo
306 financiero a través del proyecto 18304-C-91.

307

308

309 **BIBLIOGRAFÍA**

- 310 **Aguilar, R. 2005.** Morfología: Los Tallos del bambú. *Revista Electrónica Bio Bambú* 1(1).
311 www.bambumex.org/paginas/TALLOS.pdf
- 312 **Álvarez-Castilla, E.R. 2012.** Comportamiento mecánico de las conexiones en los elementos
313 de bambú para estructuras ligeras. El caso de las especies del trópico de Veracruz. Tesis
314 Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
315 http://oa.upm.es/14530/1/03_2012_ENRIQUE_ROBERTO_ALVAREZ_CASTILLA.pdf
- 316 **Bradbury, G.J.; Potts, B.M.; Beadle, C.L. 2010.** Quantifying phenotypic variation in wood
317 colour in *Acacia melanoxylon* R.Br. *Forestry* 83(2): 153–162.
318 <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp040>
- 319 **Commission Internationale de L'Eclairage. 2004.** CIE 15: *Technical report: Colorimetry*.
320 3rd edition. <http://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition>
- 321 **Duque-Herrera, A.F.; Lara-Castro, A.; Quintero-Riaza, H.F.; Henao-Castañeda, E.;**
322 **Monroy-Jaramillo, M. 2010.** Medición indirecta de la madurez del culmo de guadua por
323 medio de las vibraciones mecánicas. *Recursos Naturales y Ambiente* 61: 32–37.
324 <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6980/6.Edison%2C%20Monroy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
325
326
- 327 **González, J.; Marques, M.H.B.; Karas, M.C.S.; Janin, G.; Riberiro, P.G. 2014.** Effect
328 of drying process on marupá wood color. *Maderas-Cienc Tecnol* 16: 337–342.
329 https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2014000300007&script=sci_arttext&lng=n
- 330 **Hernández-López, S. 2016.** Estudio de caso del cultivo y aprovechamiento de tres especies
331 de bambu (*Guadua angustifolia* Kunt., *Guadua aculeata* Rupr., y *Bambusa oldhamii* Munro)
332 en la comunidad de Coapal chico, San José Acateno, Puebla. Universidad Autónoma
333 Chapingo, Mexico.
- 334 **Hidalgo-López, O. 2003.** *Bamboo. The gift of the gods*. Bogotá, Colombia.

- 335 **Hikita, Y.; Toyoda, T.; Azuma, M. 2001.** Weathering testing of timber: discoloration. *High*
336 *Performance Utilization of Wood for Outdoor Uses*. Y. Imamura (ed.). Report on research
337 project, grant-in aid for scientific research. Wood Research Institute, Kyoto University,
338 Kyoto, Japan.
- 339 **Liese, W. 1998.** The anatomy of bamboo culms. *Technical report*. Vol. 18. International
340 Network for Bamboo and Rattan, Beijing, People's Republic of China.
- 341 **Liese, W.; Köhl, M. 2015.** *Bamboo The plant and its uses*. Liese, W. and Köhl, M. (Eds.).
342 Tropical Forestry. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- 343 **Londoño, X. 2004.** Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los
344 bambúes del Nuevo Mundo. In *Memorias III Congreso Colombiano de Botánica*, Popayán
345 Colombia. Colombia.
- 346 **Londoño, X.; Riaño, N.M.; Camayo, G.C. 2002.** *Estudio anatómico de los diferentes*
347 *órganos de la guadua (Guadua angustifolia Kunth), con énfasis en Culmo*. Corporación
348 Regional Autónoma del Quindío, Sociedad Colombiana del Bambú. Federación Nacional de
349 Cafeteros de Colombia, CENICAFE, Chinchiná, Colombia. 38 p.
- 350 **Melchiades, F.G.; Boschi, A.O. 1999.** Cores e tonalidades em revestimentos cerâmicos.
351 *Cerâmica Industrial* 4(1-6): 11–18.
352 [https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657027f8c9d6e028b4609/pdf/ci-4-1-6-](https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657027f8c9d6e028b4609/pdf/ci-4-1-6-587657027f8c9d6e028b4609.pdf)
353 [587657027f8c9d6e028b4609.pdf](https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657027f8c9d6e028b4609/pdf/ci-4-1-6-587657027f8c9d6e028b4609.pdf)
- 354 **Mercedes, J.R. 2006.** *Guía Técnica Cultivo del Bambú*. Centro para el Desarrollo
355 Agropecuario y Forestal, Inc. CEDAF, Santo Domingo, República Dominicana. 38p.
356 <http://190.167.99.25/digital/bambu.pdf>
- 357 **Municipio de Reforma Chiapas. 2017.** <http://www.municipios.mx/chiapas/reforma/>
- 358 **Schröder, S. 2012.** *Bamboo Cultivation, When and how to Harvest Bamboo*. Guadua
359 Bamboo S.A.S. Buga, Valle del Cauca, Colombia.
360 <https://www.guaduabamboo.com/cultivation/when-and-how-harvest-bamboo>

- 361 **Soler-Soler, P. 2017.** Uso del bambú en la arquitectura contemporánea. Trabajo final de
362 grado, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
363 [https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106203/SOLER%20-%20CSA-](https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106203/SOLER%20-%20CSA-F0111%20Uso%20del%20bamb%C3%BA%20en%20la%20arquitectura%20contempor%C3%A1nea.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
364 [F0111%20Uso%20del%20bamb%C3%BA%20en%20la%20arquitectura%20contempor%](https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106203/SOLER%20-%20CSA-F0111%20Uso%20del%20bamb%C3%BA%20en%20la%20arquitectura%20contempor%C3%A1nea.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
365 [C3%A1nea.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106203/SOLER%20-%20CSA-F0111%20Uso%20del%20bamb%C3%BA%20en%20la%20arquitectura%20contempor%C3%A1nea.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 366 **R Core Team.2020.** The R Project for Statistical Computing. R versión 3.5.1 [https://www.r-](https://www.r-project.org/)
367 [project.org/](https://www.r-project.org/)
- 368 **Wyszecki, G.; Stiles, W. 1982.** *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data*
369 *and Formulae.* Wiley Series in Pure and Applied Optics. 2^{da} Ed. New York, USA.
- 370 **Zhou, F. 1981.** Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. *Journ*
371 *Nanjing Technol Coll Forest Prod* 2: 1–32. [http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotale-](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotaleNjLY198102000.htm)
372 [NjLY198102000.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotaleNjLY198102000.htm)
- 373