

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 López<sup>1</sup>, Adriana Ávalos Vargas<sup>2</sup>, Francisco José Zamudio*  
7 *Sánchez<sup>1</sup>✦, Gabriela Orozco Gutiérrez<sup>3</sup>, Amparo Máxima Borja de la Rosa<sup>1</sup>*

8 <sup>1</sup> División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. de México,  
9 México

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

12 <sup>3</sup> INIFAP. Departamento de Plantaciones y genética forestal, Colima, México.

13 ✦**Autor de correspondencia:** ac1082@chapingo.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 ( $\Delta E^*$ ) 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  $\Delta E^*$  fueron mayores de 20, lo que de acuerdo a los criterios de percepción de diferencia  
29 de color  $\Delta E^*$  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* stelm (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 ( $\Delta E^*$ ) 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  $\Delta E^*$  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 ( $\Delta E^*$ ) 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  $\Delta E^*$  está acotada a un valor de 12 . También existe el criterio  $\Delta E^*_{76}$  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  $\Delta E^*$  como no visible, muy leve, notable, muy notables,  
140 grande y muy grande. Sin embargo, en esta escala el valor  $\Delta E^*$  no tiene una cota superior  
141 (Wyszecki and Stiles 1982).

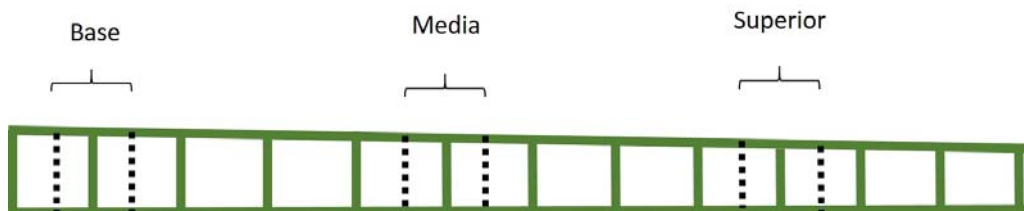
142 Desafortunadamente, no existen muchos estudios sobre colorimetría del bambú y mucho  
143 menos se ha estudiado una posible relación entre el color y la edad. Por ello, en este trabajo  
144 se propone estudiar la variación de color de *G. angustifolia* a tres edades. En otras palabras,  
145 el 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  $\Delta E^*$  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  $\Delta E^*$  = diferencia de color

174  $\Delta L^* = L^{*M} - L^{*P}$  , diferencia en el valor de claridad/oscuridad (+ = 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  $\Delta E^*$ .

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

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  $\Delta E^*$ , 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 muestran de poblaciones con distribuciones idénticas, y la alternativa es que los grupos se  
191 muestran 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  $\sigma$  = Desviación estándar

198 n = tamaño de muestra.

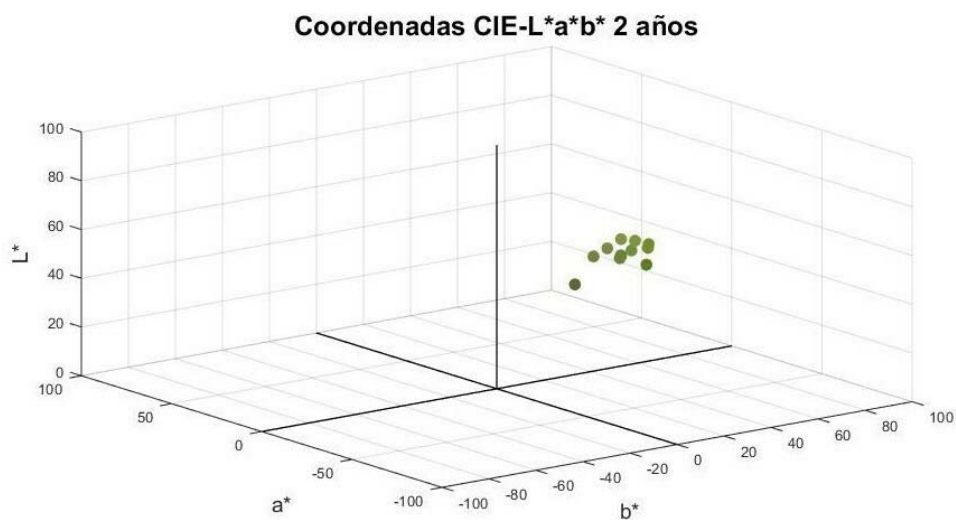
199 Tanto en el análisis de varianza como en la construcción del intervalo de confianza se  
200 consideró que se tiene una muestra que se puede considerar pequeña (36 observaciones) y  
201 que probablemente no tendría una distribución normal.

202

203

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

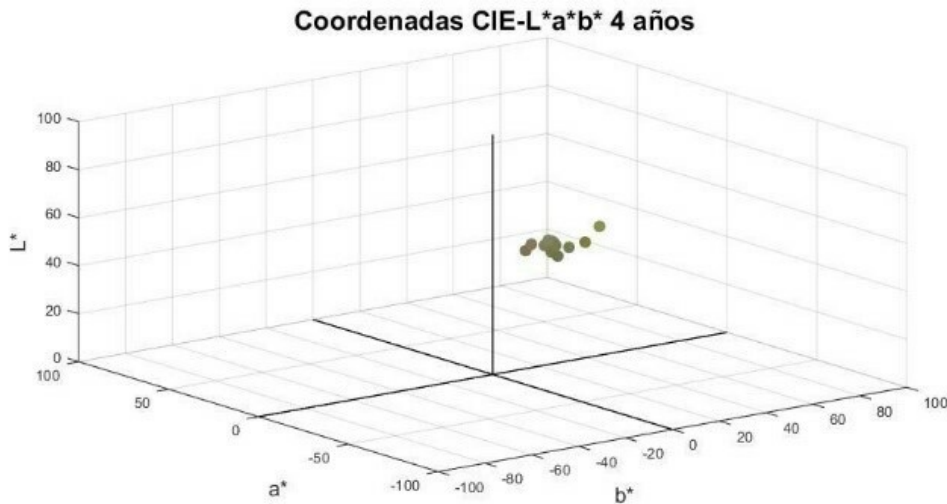
204 Los culmos de bambú presentaron, a simple vista, una diferencia de colores entre las edades,  
205 pero no por secciones. Se observa que el bambú a los dos años tiene una coloración que va  
206 de un verde claro a un verde ligeramente oscuro. El color promedio a esta edad, tiene las  
207 coordenadas  $L^* = 52,93$ ,  $a^* = -18,55$  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.

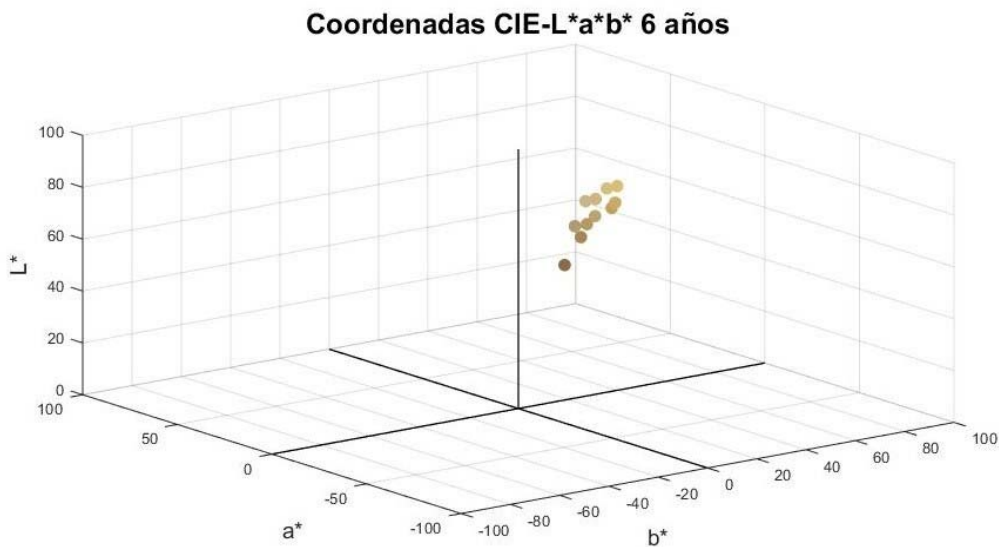


214 **Figura 3:** Coordenada CIE-L\*a\*b\* de *G. angustifolia* a los 4 años (n=12).

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

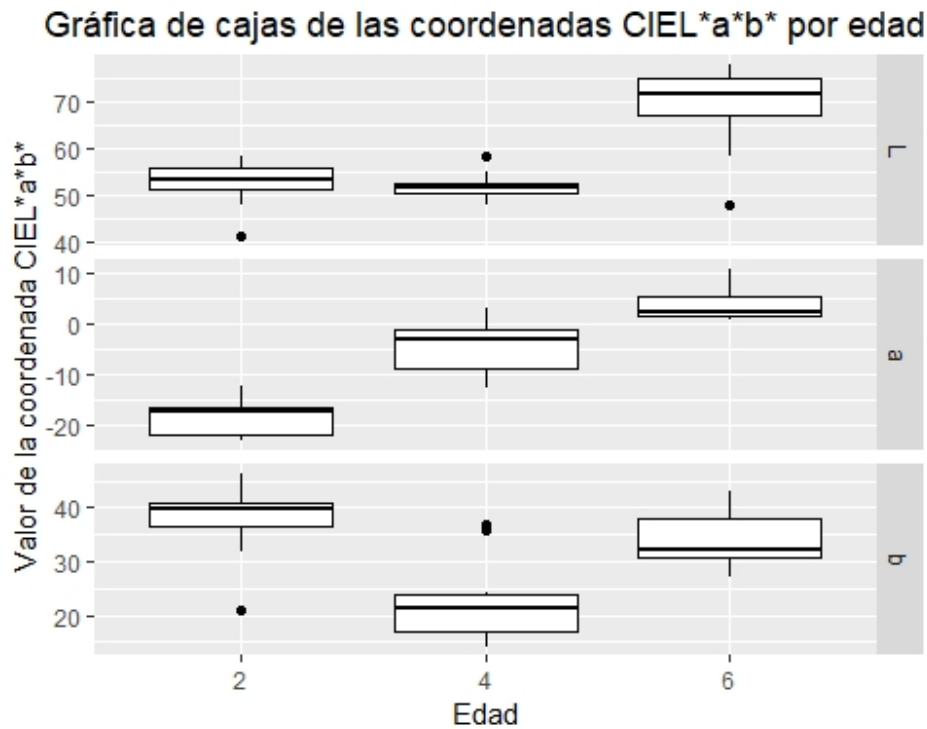
229 en las que la media se encuentra corrida hacia el mínimo. La posición de las cajas también  
230 muestra que tanto  $L^*$  como  $b^*$  disminuyen a la edad de cuatro años y aumentan a los seis  
231 años, mientras que la  $a^*$  aumenta conforma aumenta la edad.



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

$\Delta E^*$  (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  $\Delta E^*$  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 <sup>ns</sup>	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 <sup>ns</sup>
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.

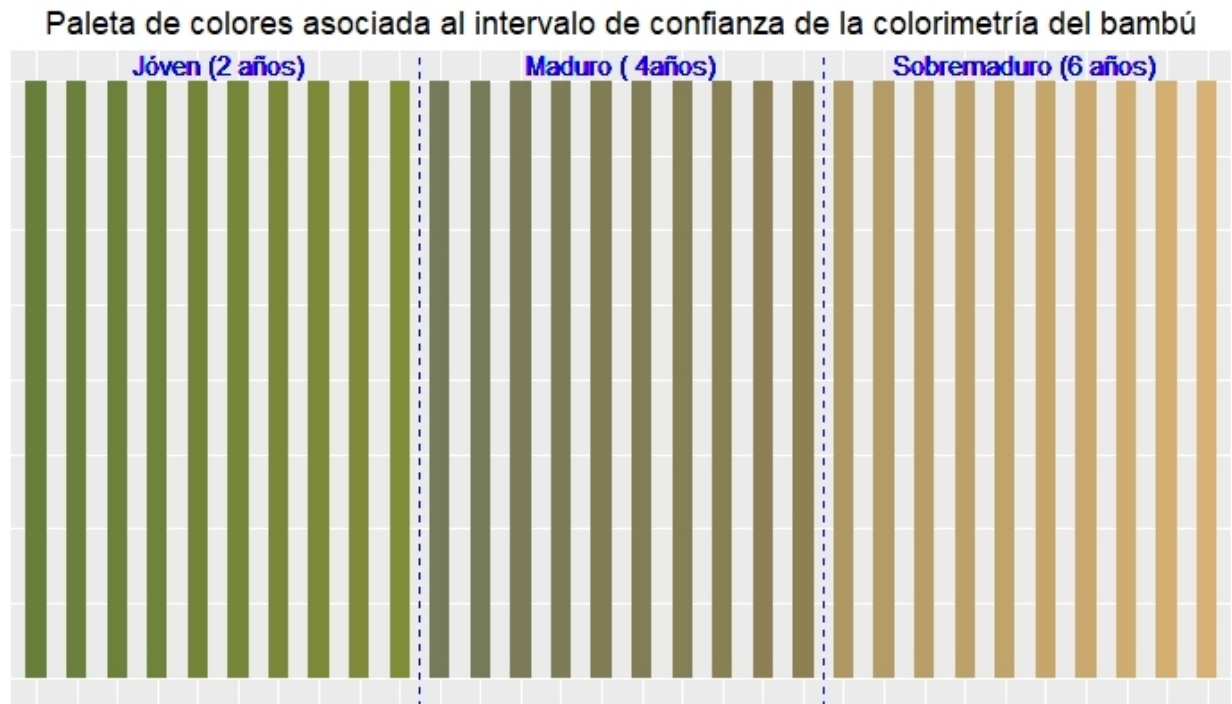
Comparación	$\Delta$	Coordenadas colorimétricas			Variación total ( $\Delta E$ )
		L*	a*	b*	
2 años y 4 años	$\Delta$	-1,12	-13,93	-15,79	21,08
	$\Delta^2$	1,25	194,04	249,32	
4 años y 6 años	$\Delta$	17,45	8,47	11,57	22,58
	$\Delta^2$	304,50	71,74	133,86	
2 años y 6 años	$\Delta$	16,33	22,40	-4,22	28,03
	$\Delta^2$	266,67	501,76	17,81	
$\Delta$ y $\Delta^2$ . 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](http://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](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 3<sup>rd</sup> 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 **Gonçalez, 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&tlng=n](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2014000300007&script=sci_arttext&tlng=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.guadubamboo.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<sup>da</sup> 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/CJFDTotal-](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-NJLY198102000.htm)  
372 [NJLY198102000.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-NJLY198102000.htm)
- 373