

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

COLORIMETRY OF BAMBOO STEMS (*Guadua angustifolia*) IN THREE MATURITY STAGES



*Surisaddai Hernández López*¹

<https://orcid.org/0000-0003-0318-0791>

*Adriana Ávalos Vargas*²

<https://orcid.org/0000-0002-2633-0855>

Francisco José Zamudio Sánchez^{1,*}

<https://orcid.org/0000-0001-8252-9255>

*Gabriela Orozco Gutiérrez*³

<https://orcid.org/0000-0003-2836-9064>

*Amparo Máxima Borja de la Rosa*¹

<https://orcid.org/0000-0002-6127-0501>

RESUMEN

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

Palabras clave: Bambú, CIELab, colorimetría, culmo, diferencia del color, edad del culmo, *Guadua angustifolia*.

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

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

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

*Autor de correspondencia: ac1082@chapingo.mx

Recibido: 27.06.2019 Aceptado: 07.10.2020

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 over-ripe). The study material was collected from the plantation, located in Reforma, Chiapas in Mexico.

Bamboo culms were categorized into three ages according to their maturity. Twelve culms of two, four and six years., 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 The International Commission on Illumination (CIE), 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, culm age, *Guadua angustifolia*.

INTRODUCCIÓN

El bambú es un recurso natural renovable de rápido crecimiento. Es una especie promisoras de alto valor ecológico y económico. Se ha convertido en una especie forestal alternativa frente a especies maderables como el pino (*Pinus* spp.), encino (*Quercus* spp.) y algunas otras latifoliadas, debido a su rápido crecimiento, a sus propiedades físico-mecánicas y porque su turno es corto (Mercedes2006).

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

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

Asimismo, se ha observado que muchas propiedades del bambú se ven afectadas por la edad del culmo en la cosecha; estos incluyen densidad, contenido de humedad, resistencia y módulo de elasticidad. Muchas de estas propiedades llegan a alcanzar su punto máximo a una edad particular dependiendo de la especie y luego disminuye nuevamente, si no se cosechan los tallos (Duque-Herrera *et al.* 2010, Zhou 1981). El culmo del bambú se define como el tallo cilíndrico, con nudos y entrenudos característico de las especies pertenecientes a la familia de las gramíneas (Mercedes 2006).

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

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

En general, el manejo de la especie ha sido empírico, dado que es escasa la información básica sobre el establecimiento del cultivo y su aprovechamiento, principalmente en cuanto a las características fenotípicas

que debe tener el bambú para ser cosechado.

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

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

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

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

Las coordenadas CIE-L*a*b* localizan en un plano tridimensional los colores de los objetos. Además, los cambios uniformes en las componentes tienden a corresponder a cambios uniformes en el color que se percibe. Dichos cambios, se cuantifican tomando la distancia euclidiana (ΔE^*) entre ellos (Bradbury et al. 2010). A la distancia euclidiana también se le conoce como variación total del color. Existen varios criterios para determinar cuándo la variación del color es perceptible por el ojo humano. Uno de ellos es el propuesto por Melchiarides y Boschi (1999), que mencionan que la diferencia de coloración puede ser observada por el ojo humano si $\Delta E^* > 1$. Otro criterio es el propuesto por Hikita et al. (2001), cuya escala se encuentra entre 0 y 12, el cual considera que la diferencia de colores empieza a ser ligeramente perceptible cuando $\Delta E^* > 0,5$ y muy apreciable cuando $\Delta E^* > 6,0$. En esta escala, ΔE^* está acotada a un valor de 12. También existe el criterio ΔE^*_{76} , que al igual que el criterio de Hikita et al. (2001), divide la percepción de la diferencia de color en más estratos, clasificando los valores de ΔE^* como no visible, muy leve, notable, muy notables, grande y muy grande. Sin embargo, en esta escala el valor ΔE^* no tiene una cota superior (Wyszecki y Stiles 1982).

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

METODOLOGÍA

La recogida del material se realizó en la plantación de *Guadua angustifolia* Kunth de la empresa AGRO-MOD, la cual tiene 23 años y se encuentra ubicada en el municipio de Reforma, Chiapas, México; en las coordenadas geográficas 17° 52' de latitud Norte y 93° 09' de longitud Oeste y a una altitud de 20 msnm. El clima de la región es cálido húmedo con lluvias todo el año (Municipio de Reforma Chiapas 2017).

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

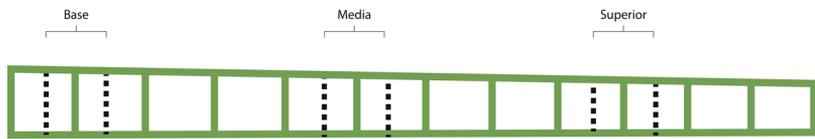


Figura 1: Secciones del culmo para este estudio. Las muestras fueron tomadas a los 20 cm, 5m y 10 m de altura.

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

Posteriormente se utilizó el índice de diferencia de color de la madera ΔE^* propuesto por la Commission Internationale de L'Eclairage (CIE 2004), con el cual se compararon los parámetros del color del culmo de bambú a diferentes edades. Este índice define la magnitud de diferencia de color usando las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ de acuerdo con la siguiente Ecuación 1:

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

Donde:

ΔE^* = diferencia de color

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

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

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

M= valor del culmo 2

P= valor del culmo 1.

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

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

Melchiadés 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: $\Delta E^*_{76} \geq 12,0$

Los datos se analizaron en el programa estadístico R versión 3.5.1 (R CoreTeam 2018). Para el análisis colorimétrico se obtuvo el ΔE^* , asimismo, se realizó un análisis de varianza no paramétrica, a través de la prueba de Kruskal-Wallis. Se utilizó la función `kruskal.test`, para determinar si hay diferencia significativa del color entre las tres edades y después se recurrió a la función `pairwise.wilcox.test`, para calcular comparaciones por pares de edades, en la que se hizo una prueba de hipótesis, la hipótesis nula fue que los grupos se muestrean de poblaciones con distribuciones idénticas, y la alternativa, que los grupos se muestrean de poblaciones con diferentes distribuciones. También se calculó el intervalo de confianza mediante la fórmula siguiente Ecuación 2:

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

Donde:

IC = Intervalo de confianza

\bar{x} = Media

t_{n-1} = valor crítico

σ = Desviación estándar

n = tamaño de muestra

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

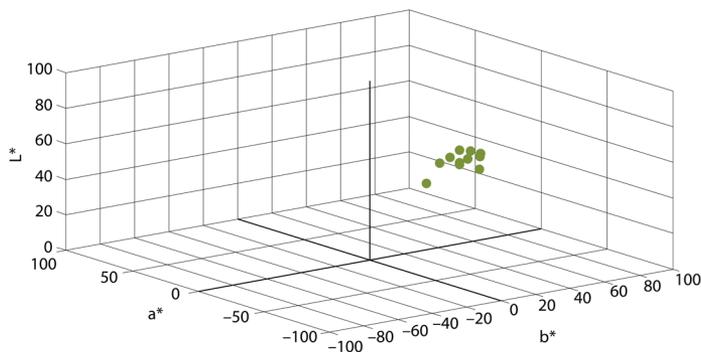


Figura 2: Coordenadas CIE-L*a*b* de *G. angustifolia* a los 2 años (n=12).

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

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

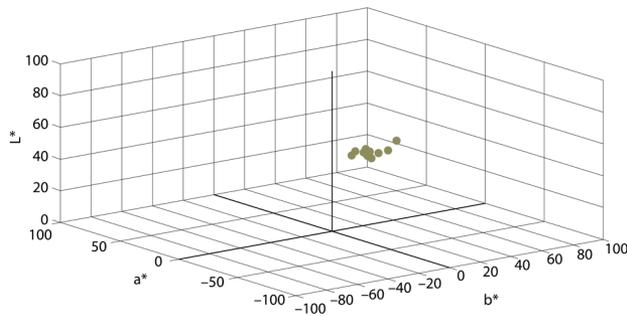


Figura 3: Coordenada CIE-L*a*b* de *G. angustifolia* a los 4 años (n=12).

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

Aunque la Figura 2, Figura 3 y Figura 4, muestran que hay una diferencia perceptible de color, en la Figura 5 se presentan las gráficas de cada coordenada por edad, lo que permite observar que la distribución de las coordenadas, no es necesariamente normal, pues las media en todos los casos se encuentra corrida hacia el máximo, excepto en las coordenadas a y b para seis años en las que la media se encuentra corrida hacia el mínimo. La posición de las cajas también muestra que tanto L^* como b^* disminuyen a la edad de cuatro años y aumentan a los seis años, mientras que la a^* aumenta conforme aumenta la edad.

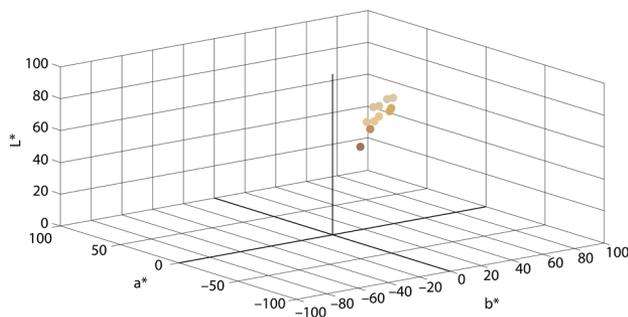


Figura 4: Coordenadas CIE-L*a*b* de *G. angustifolia* a los 6 años (n=12).

Para asegurar que existe diferencia significativa entre las coordenadas L^* , a^* y b^* por edad, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis, que es una alternativa no paramétrica a la prueba ANOVA. Para las tres coordenadas, se encontró un p-valor menor a 0.05, por lo que se puede asegurar que hay diferencia significativa por edad. Para encontrar si hay diferencia significativa por pares de edad, se realizó de nuevo la prueba, pero ahora con la función pairwise. wilcox. test.

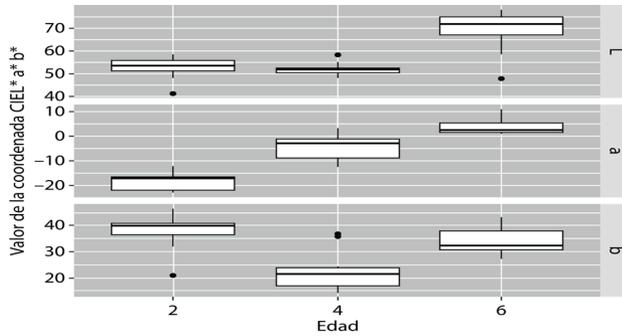


Figura 5: Gráfica de cajas de las coordenadas CIE-L*a*b* por edad.

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

Tabla 2: p-values de la prueba de Kruskal Wallis para determinar si hay diferencia estadística en las coordenadas CIE L*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

Por otro lado, utilizando los promedios para L*, a* y b* en las diferentes edades se calculó ΔE* (Tabla 3), el que fue mayor a 1, de acuerdo con el criterio de Melchiades y Boschi (1999), en las tres comparaciones, lo cual indica que los cambios en el color, son percibidos por el ojo humano. Retomando la clasificación de Hikita *et al.* (2001), se observa que los valores de 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 tanto no entran en ninguna categoría. Finalmente, en la escala Wyszecki y Stiles (1982) los tres valores son mayores a 12, lo que indica una diferencia muy grande de colores. Entonces, se puede decir que las diferencias son bastante notables.

Tabla 3: Diferencia entre edades de los valores medios de las coordenadas colorimétricas y 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	

ΔyΔ²: diferencia entre edades y diferencia al cuadrado, respectivamente.

Dado que con los tres criterios propuestos, se encontró que existe una diferencia en la coloración de acuerdo a la edad, entonces es posible realizar una paleta de colores que facilite la clasificación de *G. angustifolia*.

folia in situ de acuerdo a la edad, pues para esta especie la altura máxima se alcanza a los dos años de edad, que no es la edad apropiada para su corte y uso en la industria, pues pasados los dos años cambian las propiedades físicas y mecánicas del culmo, es decir madura (Duque *et al.* 2010). Para ello, se construyeron los intervalos de confianza para las coordenadas CIE-L*a*b* de los culmos de bambú por edad (Tabla 4).

Tabla 4: 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)

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



Figura 6: Paleta de colores asociada al intervalo de confianza de la colorimetría del bambú. Para cada edad se presentan diez posibles tonalidades para cada estado de madurez.

Esta paleta de colores, se ha dividido en tres estados de madurez del bambú. Dentro de cada estado se presentan diez colores que pudiera tener un culmo de acuerdo a su madurez. Es importante mencionar que dentro de los diez colores, pueden existir más tonalidades, sin embargo, es más difícil para el ojo humano detectar dichas diferencias entre los tonos.

La utilidad de esta paleta de colores radica en que se puede comparar el color de un tallo de bambú en la plantación, contra diez posibles colores según su estado de madurez, lo que puede guiar al productor a una identificación correcta de la edad del bambú y por ende a un aprovechamiento óptimo.

Es importante mencionar, que es necesario realizar este estudio colorimétrico en otras plantaciones de *G. angustifolia*, pues si bien la paleta de colores es útil, se debe tener en mente que estas muestras de bambú provienen de una plantación sin manejo y con niveles de contaminación importantes, pues las muestras no presentaban poblaciones de líquenes, hongos y musgos.

CONCLUSIONES

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

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

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a AGROMOD por la donación de culmos, a CONACyT por el apoyo financiero a través de una beca asignada al CVU850017 Surisaddai Hernández López y a la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo financiero a través del proyecto 18304-C-91 para todos los autores.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez-Castilla, E.R. 2012. Comportamiento mecánico de las conexiones en los elementos de bambú para estructuras ligeras. El caso de las especies del trópico de Veracruz. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. http://oa.upm.es/14530/1/03_2012_ENRIQUE_ROBERTO_ALVAREZ_CASTILLA.pdf

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. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp040>

CIE. 2004. CIE 15. Technical report: Colorimetry. 3rd edition. <http://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition>

Duque-Herrera, A.F.; Lara-Castro, A.; Quintero-Riaza, H.F.; Henao-Castañeda, E.; Monroy-Jaramillo, M. 2010. Medición indirecta de la madurez del culmo de *Guadua* por medio de las vibraciones mecánicas. *Recursos Naturales y Ambiente* 61(a7): 32-37. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6980/6.Edison%2C%20Monroy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gonçalez, J.; Marques, M.H.B.; Karas, M.C.S.; Janin, G.; Riberiro, P.G. 2014. Effect of drying process on marupá wood color. *Maderas-Cienc Tecnol* 16: 337-342. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2014000300007&script=sci_arttext&tlng=n

Hernández-López, S. 2016. Estudio de caso del cultivo y aprovechamiento de tres especies de bambu (*Guadua angustifolia* Kunt., *Guadua aculeata* Rupr., y *Bambusa old hamii* Munro) en la comunidad de Coपाल chico, San José Acateno, Puebla. Universidad Autónoma Chapingo: Mexico.

Hidalgo-López, O. 2003. Bamboo. The gift of the gods. Bogotá, Colombia.

Hikita, Y.; Toyoda, T.; Azuma, M. 2001. Weathering testing of timber: discoloration. *High performance utilization of wood for outdoor uses*. Imamura, Y. (ed.). Report on research project, grant-in aid for scientific research. Wood Research Institute, Kyoto University: Kyoto, Japan.

Liese, W. 1998. The anatomy of bamboo culms. Technical report. Vol. 18. International Network for Bamboo and Rattan: Beijing, People’s Republic of China.

Liese, W.; Köhl, M. 2015. Bamboo The plant and its uses. Liese, W.; Köhl, M.(Eds.). *Tropical Forestry*. Springer: Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>

Londoño, X. 2004. Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del Nuevo Mundo. In *Memorias III Congreso Colombiano de Botánica*, Popayán, Colombia.

Londoño, X.; Riaño, N.M.; Camayo, G.C. 2002. Estudio anatómico de los diferentes órganos de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), con énfasis en Culmo. Corporación Regional Autónoma del Quindío, Sociedad Colombiana del Bambú. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, CENICAFE: Chinchiná, Colombia. 38 p.

Melchiades, F.G.; Boschi, A.O. 1999. Cores e tonalidades em revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 4(1-6): 11-18. <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657027f8c9d6e028b4609/pdf/ci-4-1-6-587657027f8c9d6e028b4609.pdf>

Mercedes, J.R. 2006. Guía Técnica Cultivo del Bambú. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. CEDAF: Santo Domingo, República Dominicana. 38p. <http://190.167.99.25/digital/bambu.pdf>

Municipio de Reforma Chiapas. 2017. Reforma. <http://www.municipios.mx/chiapas/reforma/>

R Core Team. 2020. The R Project for Statistical Computing. R versión 3.5.1 <https://www.r-project.org/>

Schröder, S. 2012. Bamboo Cultivation, When and how to Harvest Bamboo. Guadua Bamboo S.A.S: Buga, Valle del Cauca, Colombia. <https://www.guaduabamboo.com/cultivation/when-and-how-harvest-bamboo>

Soler-Soler, P. 2017. Uso del bambú en la arquitectura contemporánea. Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. <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>

Wyszecki, G.; Stiles, W. 1982. *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*. 2^{da}Ed. Wiley Series in Pure and Applied Optics: New York, USA.

Zhou, F. 1981. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. *Journal of Nanjing Forestry University* 2: 1-32. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-NJLY198102000.htm