

Condiciones de calidad de *Guadua angustifolia* para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia

Jorge Hugo García Sierra¹,
Juan Carlos Camargo García²

La producción de guadua en el Eje Cafetero y en Valle del Cauca puede abastecer de manera satisfactoria los requerimientos y exigencias de los diferentes segmentos del mercado evaluados en este estudio. Las variables de crecimiento evaluadas (diámetro a la altura pecho, volumen neto, volumen aparente, espesor de pared, longitud de canutos y longitud total y comercial) deben ser analizadas independientemente de las variables de calidad (dureza, humedad, densidad, curvatura y resistencia al corte y a la compresión), ya que los factores edafoclimáticos afectan positiva y negativamente sus características de tamaño y calidad.



Foto: Grupo de Investigación GATA

¹ Director Jardín Botánico, Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación en Gestión Agroecosistemas Tropicales Andinos. Facultad de Ciencias Ambientales. Administrador del Medio Ambiente. MSc. Investigación Operativa y Estadística

² Profesor Auxiliar, Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Facultad de Ciencias Ambientales

Resumen

Guadua angustifolia es un recurso natural abundante en el Eje Cafetero colombiano y se encuentra presente en la gran mayoría de unidades de producción agropecuaria. La calidad de los productos derivados de la guadua depende directamente de la calidad de la pieza o tallo, la cual se relaciona a su vez con las condiciones del sitio en donde se encuentra el rodal. Por esta razón, es importante conocer las diferentes calidades de guadua existentes en el Eje Cafetero, así como las condiciones ambientales en que se desarrolla la especie y los segmentos de mercado que la emplean (constructores, artesanos, muebleros y laminadores). Con este estudio se caracterizaron las diferentes calidades de los guaduales presentes en el Eje Cafetero y en el norte del Valle del Cauca. Además, por medio de métodos estadísticos multivariados se definieron las condiciones óptimas para el desarrollo de las diferentes calidades de guadua y los segmentos de mercado que cada calidad puede servir.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; bambúes; calidad de sitio; métodos estadísticos; mercados; Zona Cafetera; Colombia.

Summary

***Guadua angustifolia* quality conditions to cope with the market requirements in the Colombian coffee eco-region.** *Guadua angustifolia* is an abundant natural resource in the Colombian coffee eco-region; in fact, it can be found in most of the agricultural units. As raw material, guadua's quality directly relates to culm quality, which depends on site conditions. The different quality levels found within the coffee eco-region were analyzed, as well as the environmental conditions in sites where the species grows. Also, the market segments which employ guadua as raw material were examined; those segments are: building, plywood, crafts and furniture. The different quality levels of guadua in the coffee eco-region and North Valle del Cauca were assessed. Also, the optimal site conditions for quality level were determined by means of multivariate statistical methods, and finally, the quality level that best meets the needs of each market segment was determined.

Keywords: *Guadua angustifolia*; bamboos; site quality; statistical methods; markets; coffee zone; Colombia.

Introducción

Guadua angustifolia es la especie de bambú con mayores posibilidades económicas en el Eje Cafetero colombiano, ya que su utilización como materia prima para la industria y la construcción ayuda a disminuir costos. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, resistencia al ataque de insectos, belleza escénica y, tal vez lo más importante, la diversidad de aplicaciones no igualadas por ninguna otra especie forestal, la guadua representa una valiosa alternativa económica que ha contribuido a mitigar la problemática social del área rural en el Eje Cafetero (Giraldo y Sabogal 1999).

Esta especie es un recurso natural abundante en la región (28.000 ha, según Kleinn y Morales 2006), presente en la mayoría de unidades de producción agropecuaria y conocida por los productores debido a los diversos usos tradicionales. Ante la crisis que el mercado cafetero enfrenta y los malos resultados con otros productos, la guadua se perfila como una importante opción económica para la zona, especialmente como elemento estructural en la construcción, la fabricación de muebles, las artesanías decorativas y objetos utilitarios y la fabricación de láminas y paneles para la elab-

boración de artículos con acabados similares a los obtenidos con maderas tradicionales. Sin embargo, este recurso no ha alcanzado la importancia que merece pese a los esfuerzos de diferentes entidades, tanto del sector público como privado. Aparte de la actividad artesanal, la comercialización de la guadua no ha tenido el impacto que se esperaba, sobre todo en el campo de la construcción, pues a pesar de sus excelentes cualidades físico-mecánicas, no se percibe un crecimiento vigoroso ni sostenido en la demanda por el recurso dentro de este sector económico (Ramírez 2010).

La calidad de los productos derivados de la guadua depende directamente de la calidad de la pieza. Según Camargo et al. (2003), la calidad del producto se relaciona directamente con las condiciones del sitio en donde se encuentra el rodal. Sin embargo, tradicionalmente, la evaluación de la calidad se ha realizado por medios visuales, mediante criterios como color, diámetro, longitud, rectitud, tratamiento posterior, momento de corte (idealmente, se debe cortar en luna menguante), madurez y variedad (Held y Manzano 2002). Tales criterios no dan una idea precisa ni confiable de la calidad de la pieza. Según otros autores como Londoño (1989), Giraldo y Sabogal (1999), Hidalgo (2003) y Camargo et ál. (2007), las propiedades físicas, mecánicas y morfológicas de la especie se relacionan estrechamente con el sitio de procedencia. Tales propiedades determinan la capacidad de uso y transformación del producto en los mercados de la guadua.

En esta investigación se definieron diferentes calidades de guadua proveniente del Eje Cafetero, a partir de las condiciones ambientales en que se desarrolla la especie; además se determinaron los mercados para los que cada procedencia de guadua es adecuada. La zona de estudio se definió a partir de rodales de guadua ubicados en los departamentos de Risaralda, Quindío, Caldas y zona norte del Valle del Cauca, entre 900 y 2150 msnm, que es el rango altitudinal en el que se desarrolla la especie. El área total aproximada fue de 1.100.000 ha.

Diseño muestral

El diseño muestral fue sistemático en dos etapas. En la primera se establecieron de manera sistemática unidades primarias (con un área de 900 ha); luego, sobre fotografías aéreas se definieron las áreas con cobertura de guadua y se seleccionaron unidades de muestreo de manera aleato-

ria; finalmente, también de manera aleatoria se eligieron sitios para el establecimiento de parcelas temporales dentro de guaduales naturales y plantados. En la segunda etapa en 20 unidades se establecieron y evaluaron cinco parcelas de 10x10 m para un total de 100 parcelas.

Variables evaluadas por parcela

Como variables independientes se tomaron la precipitación media anual, temperatura media anual y brillo solar, obtenidas por medio de isoyetas, isotermas e isohelias respectivamente. La información se colectó con Arcview 3.2 en 18 estaciones climatológicas del Centro Nacional para la Investigación del Café (Cenicafé) ubicadas en la zona de estudio; se consideraron datos históricos de 15 años.

De cada parcela se obtuvieron datos de pendiente, posición en el relieve o geoforma (valle, ladera o cima), altitud y coordenadas. Además, se evaluaron las propiedades físicas de los suelos mediante dos

muestras a tres profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm y 10-25 cm, recolectadas en tres puntos de la parcela (parte alta, media y baja). Para las muestras tomadas en cada punto se evaluaron los parámetros que se detallan en el Cuadro 1. Todas las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Palmira. En nueve puntos de cada parcela se tomaron, además, muestras compuestas a dos profundidades (0-25 cm y 25-50 cm) para evaluar las propiedades químicas de los suelos (Cuadro 2). Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Cenicafé.

Como variables dependientes se evaluó el dap medio (diámetro a la altura del pecho), el cual se obtuvo midiendo a 1,30 m de altura todos los tallos presentes en cada parcela; además se registró el estado de madurez y el estado fitosanitario de cada tallo. De entre todos los tallos maduros en la parcela se eligieron tres de forma aleatoria

Cuadro 1. Parámetros físicos evaluados en guaduales del eje cafetero colombiano

Parametro	Unidad	Método utilizado
Densidad aparente	g/cm ³	Método de cilindros
Densidad real	g/cm ³	Método de picnómetro
Porosidad total	%	(1-Da / Dr)*100
Conductividad hidráulica	Cm/hr	Permeámetro
Estabilidad estructural	%	Método de Yoder
Distribución de agregados	%	Tamices y mov. Shaker
Resistencia a penetración	k/m ²	Penetrómetro
Textura		Bouyoucos

Cuadro 2. Parámetros químicos evaluados en guaduales del eje cafetero colombiano

Parametro	Unidad	Método utilizado
Materia orgánica	me/100g	Colorimetría Walkley-Black
Potasio (K)	me/100g	Acetato de amonio
Calcio (Ca)	me/100g	Acetato de amonio
Magnesio (Mg)	me/100g	Acetato de amonio
Sodio (Na)	me/100g	Acetato de amonio
Aluminio (Al)	me/100g	KCl- IM EAA
Cap. intercambio catiónico (CIC)	Cmol/L	Acetato de Amonio 1N Ph 7,0
Fósforo (P)	ppm	Bray II
CIC efectiva	Cmol/L	(Ca+Mg+Na+K+Al)

para medir la resistencia al corte y a la compresión. Para ello, de cada culmo seleccionado se extrajeron muestras de los seis entrenudos de la mitad del tallo. Con tres muestras se estimó la resistencia al corte y con las otras tres, la compresión; en total, se evaluaron 303 muestras.

De los mismos tres tallos maduros por parcela se midieron la variables longitud total, longitud comercial, grosor de pared, longitud media de canutos y volumen de madera. Las tres primeras variables se midieron directamente en campo; el grosor de pared se midió en la parte inferior del culmo, en el primero y segundo corte realizado para obtener las muestras enviadas al laboratorio; en esas mismas secciones se midió también el diámetro. La longitud media de canutos se obtuvo en laboratorio, junto con los datos de resistencia a la compresión.

Una vez cortado cada tallo, se midió su longitud total y la distancia lineal (Z) desde la parte inferior hasta la punta de la guadua para hallar la curvatura de la longitud total y comercial, por medio de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Rectitud} &= \text{distancia } (Z) / \text{longitud} \\ \text{Curvatura} &= 1 - (Z / \text{longitud}); \\ \% \text{ curvatura} &= \text{curvatura} * 100 \end{aligned}$$

El volumen de madera se calculó a partir de los datos de longitud, grosor de pared y diámetros. Para ello se aplicaron las fórmulas del volumen total del cilindro, para obtener el volumen aparente, y volumen del cilindro externo e interno, para hallar el volumen neto. Puesto que los tallos de guadua no son completamente sólidos, también se estimó la densidad de la madera por medio de una muestra de un entrenudo tomado de la parte media de cada uno de los tallos cortados en las parcelas. Se extrajo un aro con un área $3,1 \text{ cm}^2$, al cual se le midió el volumen, el peso húmedo y el peso seco para obtener la densidad en g/cm^3 .

La dureza y la humedad de la madera se estimaron en campo en diez tallos maduros de la parcela elegidos al azar; las mediciones se tomaron a 1,30 m con tres repeticiones por culmo. Para medir la dureza se usó un durómetro marca Mitutoyo, que mide la dureza en unidades *short*. La humedad se midió con un higrómetro electrónico para maderas, marca Gann. Aunque para el análisis de la humedad no se tuvieron en cuenta covariables importantes, como la hora de la medición y edad de la guadua, este valor es siempre relevante y práctico ya que se analiza junto con un gran número de variables y por medio de métodos estadísticos multivariados, que aportan a la información general de cada sitio.

Definición de grupos homogéneos de calidad

Partiendo de la información obtenida de las parcelas temporales establecidas, se describieron en forma univariada los valores medios, máximos y mínimos por sitio de procedencia. Después de verificar la linealidad, colinealidad, aleatoriedad y homocedasticidad de los datos, se analizó la información de cada variable mediante métodos estadísticos multivariados.

Mediante un análisis de componentes principales (ACP), se buscó reducir la dimensionalidad de los datos y, a la vez, examinar la conveniencia del modelo factorial por medio de las pruebas de Bartlett, Kaiser-Meyer-Olkin, matriz anti-imagen, determinante de la matriz de correlaciones y la matriz reproducida. Los componentes seleccionados fueron insumo para crear, por medio de un análisis de conglomerados (AC), conjuntos homogéneos de diferentes calidades de guadua según los sitios muestreados.

A partir de esta clasificación, por medio de un análisis discriminante (AD) explicativo, se identificaron las variables clasificatorias o discrimi-

nantes (variables que diferencian las agrupaciones de calidad). Por medio de un AD predictivo se obtuvo un algoritmo o función discriminante por agrupamiento, el cual permite ubicar con cierto grado de certeza (con la información de las variables discriminantes), cualquier sitio en alguno de los grupos de calidad.

Para determinar los factores asociados a la variabilidad por sitio, se hicieron comparaciones con estadística descriptiva entre los grupos encontrados en el AC. Se compararon las variables climáticas (precipitación, temperatura, brillo solar), así como la altura, pendiente y posición en el relieve (valle, ladera, cima). Para las variables de suelo, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis que permite encontrar diferencias significativas entre grupos; no se empleó análisis de varianza ya que algunas de las variables de suelo no cumplían con los supuestos para realizarla.

Determinación de la calidad de guadua según segmento del mercado

Se realizó un muestreo estratificado, considerando las categorías típicas diferentes y homogéneas en cuanto a proceso y producto final. Los segmentos definidos fueron: construcción, artesanía, muebles, laminados. En cada segmento se efectuó una prueba piloto para determinar el tamaño ideal de muestra; en los segmentos de artesanos y constructores se hizo un muestreo aleatorio simple para elegir los elementos concretos que formarían parte de la muestra; en los segmentos de muebleros y laminados –por lo reducido de su tamaño– se optó por censar todas las empresas que se dedican a tales actividades en la zona de estudio. Todas las empresas incluidas en la muestra fueron entrevistadas para identificar sus necesidades en relación con la guadua y en cuanto a la calidad de las piezas utilizadas.

A partir de los grupos homogéneos de calidad, se realizó un análisis discriminante predictivo, tomando en cuenta las variables evaluadas en la entrevista personal (dureza de la guadua, diámetros, longitud de los canutos, humedad, espesor de pared, rectitud, longitud, compresión, resistencia al corte y volumen óptimo). A partir de los parámetros óptimos definidos por cada subsector, se determinaron las probabilidades de pertenencia a cada uno de los grupos de calidad previamente establecidos.

Los análisis estadísticos propuestos en esta metodología se realizaron con el *software* SPSS; la información se manejó por medio de las herramientas de Microsoft Office y la espacialización a través del *software* Arcview GIS 3.2.

Resultados y discusión

Calidad de la guadua en la zona de estudio

Los resultados de las variables morfométricas y físicas evaluadas (Cuadro 3) coinciden con lo reportado por otros autores para la región (Giraldo y Sabogal 1999, Stamm 2003); asimismo, las variables de resistencia están dentro de los rangos reportados por Silva y López (2000), la Universidad Nacional de Colombia (Takeuchi y González 2007) y el departamento de Ingeniería Agrícola Martín Mateus (Martín y Mateus 1981), para ensayos con probetas de *Guadua angustifolia*. Sin embargo, se encontró que el volumen neto promedio (volumen macizo de fibra o madera) en las parcelas fue de 0,05 m³ por culmo de guadua (10 guadas equivaldrían a 0,5 m³) y el volumen aparente medio (volumen cilíndrico) fue de 0,13 m³ (10 guadas equivaldrían a 1,3 m³). La Norma Unificada de Guadua (Proyecto Manejo... 2002) establece una equivalencia de 10 guadas por 1 m³. Como se ve, el valor hallado con el volumen cilíndrico se acer-

ca más al valor de referencia que el volumen total de madera. Esta información ha permitido corregir los términos de referencia para la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible de guadales (Camargo et ál. 2008).

Definición de grupos homogéneos de calidad

Según el análisis de correlación, las variables diámetro, longitud total, longitud comercial, volumen neto, volumen aparente y espesor de pared mostraron correlación positiva, con coeficiente de Pearson superior a 0,57 y estadísticamente significativas ($P > 0,01$). Igualmente, la longitud de canutos se correla-

cionó positivamente con la longitud total y comercial y con el volumen neto y aparente. En los demás casos, la significancia fue de $P > 0,01$ y el coeficiente de Pearson inferior a 0,4. Entre estas correlaciones se destacan la resistencia al corte negativa con dap, longitud total, longitud comercial, volumen neto y espesor de pared; las relaciones fueron positivas entre dureza y resistencia a la compresión, resistencia a la compresión y densidad, y las curvaturas entre ellas (total y comercial).

Del análisis de componentes principales se seleccionaron tres que expresan el 67% de la variabilidad de los datos (Cuadro 4). El primero explica el 43% de la variabilidad

Cuadro 3. Valores de las variables evaluadas en guadales del eje cafetero colombiano

Variable	Media	Mínimo	Máximo
Dap (cm)	10,52	6,37	15,76
Longitud total (m)	20,38	12,68	26,8
Longitud comercial (m)	14,39	7,64	21,07
Curvatura total (%)	4	2	9
Curvatura comercial (%)	2	0	9
Volumen neto (m ³)	0,05	0,02	0,13
Volumen aparente (m ³)	0,13	0,05	0,3
Pared (cm)	1,58	1,1	2,34
Dureza (unid. short)	67,52	72,2	60,93
Humedad (%)	65,68	87,9	47
Resistencia a la compresión (mpa)	31,18	73,14	21,15
Resistencia al corte (mpa)	7,5	13,27	4,1
Densidad (g/cm ³)	0,67	0,81	0,36
Entrenudos (cm)	36,65	52,83	26,47

Cuadro 4. Varianza total explicada

Componentes	Autovalores iniciales		
	Total	% de varianza	Acumulado %
1	5,604	43,111	43,111
2	1,912	14,708	57,818
3	1,193	9,174	66,992
4	1,039	7,991	74,984
5	0,848	6,520	81,503
6	0,760	5,844	87,347
7	0,566	4,356	91,703
8	0,393	3,020	94,723
9	0,309	2,375	97,098
10	0,251	1,934	99,032

Método de extracción: ACP

y está definido por las variables: volumen neto y aparente, longitud total y comercial, diámetro, espesor de pared y longitud de entrenudos. El segundo componente explica el 14% de la variabilidad y lo definen las variables de dureza, resistencia a la compresión y densidad. El tercer componente expresa el 9,7% de la variabilidad y lo definen las variables humedad, curvatura total y resistencia al corte (Cuadro 5).

En el análisis de conglomerados (AC), los métodos que presentaron mejores resultados fueron la vinculación intergrupos y el método de Ward, así como las distancias de similitud del coseno y disimilitud de la distancia euclidiana al cuadrado. El método de vinculación intergrupos fue elegido por su ajuste gráfico, expresado en forma de dendrograma y agrupaciones en el espacio (Fig. 1). Se obtuvieron tres agrupa-

ciones bien diferenciadas, con 26, 36 y 39 sitios respectivamente (Fig. 2).

A partir del análisis discriminante se lograron dos funciones discriminantes que, según el estadístico Lambda de Wilks, aportarán información estadísticamente significativa al nivel 0,05 a la hora de clasificar los casos. La primera función explica un 59,7% de la varianza y es representada por variables de humedad, longitud de canutos y longitud total y comercial; la segunda explica un 40,3% de la variabilidad y es expresada por las variables de volumen (Cuadro 6). Sin embargo, se puede concluir que todas las variables utilizadas en el análisis fueron importantes a la hora de suministrar información para la obtención de las funciones. Con estas funciones se puede contar con un 93,1% de confiabilidad en la clasificación de nuevos sitios. El comportamiento de los grupos respecto a las variables canónicas se muestra en la Fig. 3.

Descripción de las agrupaciones
Con base en las agrupaciones logradas por medio del ACP, AC y AD, se obtuvo una descripción de las características de calidad para cada grupo

Cuadro 5. Componentes principales (coeficientes)

Variables	Componentes		
	1	2	3
Dureza	-0,015	0,641	-0,464
Humedad	0,059	0,05	0,910
Compresión	0,017	0,840	0,252
Corte	-0,419	-0,466	0,017
Densidad	-0,169	0,531	-0,057
Entrenudos	0,688	0,122	0,093
Dap	0,859	-0,188	0,032
Longitud total	0,918	-0,051	-0,054
Longitud comercial	0,922	0,0094	-0,118
Curvatura total	-0,168	-0,358	0,337
Volumen neto	0,977	0,015	-0,031
Volumen aparente	0,950	-0,091	0,023
Pared	0,774	0,223	-0,033

Método de rotación: Normalización Varimax

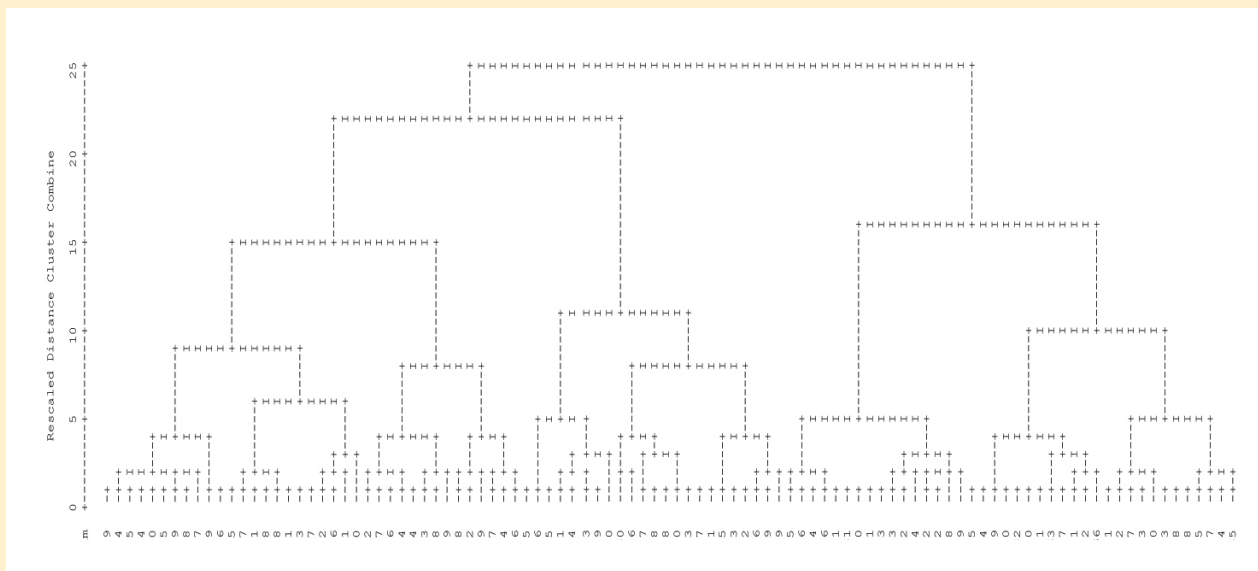


Figura 1. Dendrograma: método de vinculación intergrupos

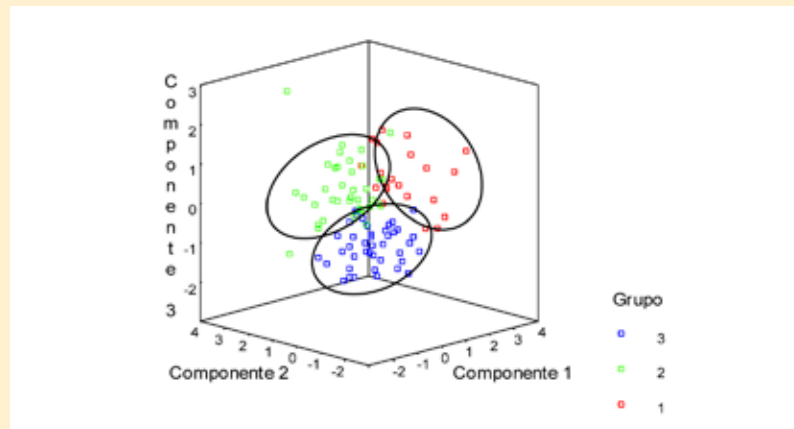


Figura 2. Agrupaciones obtenidas mediante el análisis de conglomerados.

Cuadro 6. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes

Variable	Función	
	1	2
Dureza	0,004	0,010
Humedad	0,961	0,051
Compresión	0,154	-0,237
Corte	-0,127	-0,035
Densidad	0,160	-0,203
Entrenudos	0,366	0,255
Dap	-0,178	-0,107
Longitud total	-0,426	0,107
Longitud comercial	-0,601	0,342
Curvatura total	0,298	0,218
Volumen neto	0,369	-0,535
Volumen aparente	0,669	0,875
Pared	-0,412	0,394

de sitios (Cuadro 7). Las variables de suelo se analizaron según los resultados de la prueba de Kruskal Wallis (K-W). Las variables físicas densidad aparente, conductividad hidráulica, resistencia a la penetración y distribución de agregados, así como las variables químicas pH, potasio, sodio y aluminio mostraron diferencias significativas entre los cluster ($P < 0,05$). La adecuada diferenciación de los grupos permitió describir fácilmente las características ambientales para cada grupo.

Grupo 1.- Corresponde a sitios localizados a alturas mayores a los 1800 msnm. Es el de mejores características en cuanto a todas las variables que influyen en el tamaño de la guadua. Aquí se obtuvieron los mejores promedios en cuanto a dap (12,47 cm), longitud total (23,64 m), longitud comercial (17,26 m), volumen neto (0,08 m³), volumen aparente (0,21 m³), longitud de canutos (415,5 mm) y espesor de pared (1,75 cm). Las variables compresión (30,62 mpa), dureza (66,67 unid. short), humedad (73,37%), resistencia al corte (6,7 mpa) y densidad (0,64 g/cm³) tuvieron valores intermedios, en tanto que las demás variables mostraron los promedios más bajos. Estas características estuvieron presentes en el 59% de los

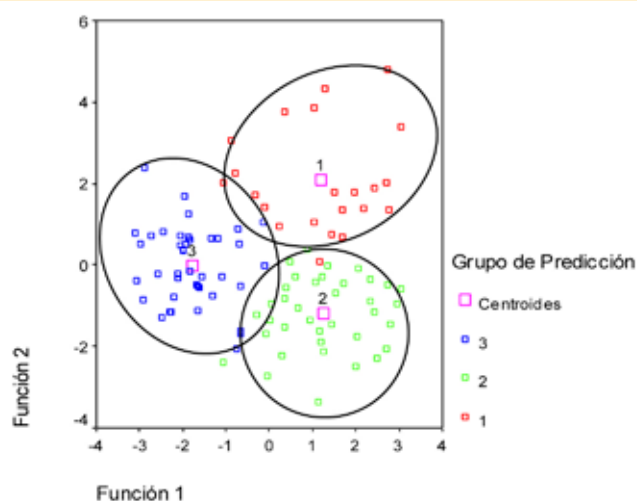


Figura 3. Comportamiento de los grupos respecto a las variables canónicas.

Cuadro 7. Características medias generales de las agrupaciones.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Dureza (Unid.short)	66,67	67,26	68,22
Humedad (%)	73,37	71,53	56,14
Compresión (mpa)	30,62	33,18	29,63
Corte (mpa)	6,70	7,91	7,55
Densidad (g/cm ³)	0,64	0,68	0,67
Entrenudos (mm)	415,55	344,81	360,46
Dap (cm)	12,47	9,38	10,54
Longitud total (m)	23,64	18,01	20,84
Longitud comercial (m)	17,26	12,09	14,99
Curvatura total (%)	4,500	4,400	4,00
Volumen neto (m ³)	0,08	0,04	0,06
Volumen aparente (m ³)	0,21	0,10	0,14
Pared (cm)	1,75	1,46	1,60

rodiales de guadua localizados entre los 1200 y 1500 msnm, por lo general en valles con temperaturas entre 19,6 y 21,3°C.

Los suelos en este grupo arrojaron promedios bajos de densidad aparente a 5-10 cm de profundidad (0,87 vs. 0,98 g/cc), un alto porcentaje de distribución de agregados de 2,0-4,0 mm a una profundidad de 0-5cm (21,41 vs. 17,6 %) y un bajo porcentaje para los agregados menores a 0,125 mm a 0-10 cm de profundidad (1,81 vs. 2,21%). El pH tuvo un valor bajo (5,86 vs. 6,14 unid. pH), así como el contenido de potasio (0,078 vs. 0,130 me/100g); el contenido de aluminio fue mayor (0,16-0,072 vs. 0,04-0,009 me/10g). En todos los casos hubo diferencias significativas ($P>0,05$, K-W) con alguno de los otros dos grupos.

Grupo 2.- Corresponde a sitios localizados a alturas entre los 1200 y 1800 msnm. De los tres grupos evaluados, los guaduales presentes de este grupo tuvieron el mejor comportamiento en cuanto a las variables de resistencia mecánica (resistencia al corte 7,91 mpa y resistencia a la compresión 33,18 mpa) y densidad (0,68 g/cm³). Sin embargo, en relación con todas las variables que generan tamaño: dap (9,38 cm), longitud de canutos (344,81 mm), longitud total (18,01 m), longitud comercial (12,09 m), volumen neto (0,04 m³), volumen aparente (0,1 m³) y espesor de pared (1,46 cm), sus resultados fueron menos favorables. Las variables de dureza (67,26 mpa), humedad (71,53%) y curvatura total (4,4%) mostraron valores intermedios. Dichas particularidades son propias de guaduales ubicados en las zonas más bajas (900-1200 msnm) o más altas (1500-2150 msnm) de la zona de estudio; sobre todo en laderas (63%) y con temperaturas entre 17,5 y 21,6°C.

Los suelos en donde se ubican los guaduales de este grupo mostraron promedios altos de densidad

aparente en los primeros 10 cm de profundidad (0,94-0,98 vs. 0,81-0,87 g/cc), un bajo porcentaje de distribución de agregados de 2,0- 4,0 mm a 0-5 cm de profundidad (17,6 vs. 21,4%) y para los menores a 0,125 mm a los 10-15 cm de profundidad (2,28 vs. 3,96%). Estos suelos presentaron promedios bajos de aluminio (0,04-0,009 vs. 0,16-0,072 me/100g). En todos los casos hubo diferencias significativas ($P>0,05$, K-W) con alguno de los otros dos grupos.

Grupo 3.- Corresponde a sitios localizados a alturas entre 900 y 1200 msnm. De los tres grupos, este fue el que mostró mayor regularidad en los valores medios de las variables analizadas. Los mejores promedios se obtuvieron con las variables de dureza (68,22), humedad (56,14%) y curvatura total (4%); la resistencia al corte (7,55 mpa), densidad (0,67 g/cm³), longitud de canutos (360,46 mm), dap (10,54 cm), longitud total (20,84 m), longitud comercial (14,99 m), volumen neto (0,06 m³), volumen aparente (0,14 m³) y espesor de pared (1,60 cm) mostraron valores intermedios. La compresión tuvo el promedio más bajo de los tres grupos (29,63 mpa). Estas cualidades se evidenciaron en guaduales ubicados entre los 900 y 1500 msnm, en zonas con temperaturas entre 19,7 y 22 °C, con pendientes fuertes (58%).

Los suelos en este grupo mostraron una baja densidad aparente a 5-10 cm de profundidad (0,81 vs. 0,94 g/cc), con altos porcentajes de distribución de agregados menores a 0,125mm a 0-15cm de profundidad (3,66-4,03-3,96 %), un pH promedio alto (6,14 vs. 5,86 unid.pH) y un alto contenido de potasio (0,130 me/100g). En todos los casos hubo diferencias significativas ($P>0,05$, K-W) con alguno de los otros dos grupos.

Este agrupamiento permite afirmar que las características óptimas para el desarrollo de guaduales de primera calidad se dan en rodales

localizados entre los 1200 y 1500 msnm, en valles con temperaturas medias anuales entre 19,6 y 21,3°C y pendientes de hasta 10°. Una densidad aparente baja y un alto contenido de aluminio son las condiciones de suelo ideales.

Comúnmente, la guadua se ha manejado en rangos altitudinales mucho más amplios que los definidos con este estudio. Por ejemplo, Hidalgo (2003) menciona un intervalo de 1000-1600 msnm; Cruz (1994), Castaño (1981) y Giraldo y Sabogal (1999) hablan de 900-1600 msnm. Según Agudelo y Toro (1994), el mejor desarrollo de *Guadua angustifolia* se logra en sitios con altitudes comprendidas entre 1300 y 1500 msnm. Nuestros resultados permitieron confirmar que fuera del rango 1200-1500 msnm, las condiciones para el desarrollo de la especie son menos favorables.

En cuanto a las variables climáticas, los resultados obtenidos coinciden con los de Hidalgo (2003), Castaño (1981), Giraldo y Sabogal (1999), Agudelo y Toro (1994) y Cruz (1994). Igualmente, las variables de suelo evaluadas mostraron resultados similares a lo encontrado por Siavosh et ál. (1999), Giraldo y Sabogal (1999), Agudelo y Toro (1994) y Cruz (1994).

Determinación de la calidad de guadua según segmentos del mercado

La calidad de las piezas de guadua requeridas por los estratos de mercado definidos en esta investigación responde a una clara diferenciación, según las exigencias y necesidades de cada sector (Cuadro 8). Variables como dureza y curvatura o rectitud de la pieza son fundamentales para los constructores y la industria de laminados, quienes requieren mayor dureza y mayor rectitud en las piezas para un resultado óptimo. El diámetro y la longitud de canutos son básicos para los artesanos; la

longitud y el volumen de “madera” para los laminadores; el espesor de pared para los muebleros y laminadores; el contenido de humedad para los constructores y los artesanos. Los únicos que se preocupan por las características físico-mecánicas de las piezas de guadua son los constructores.

En general, se puede decir que el sector muebles es el menos exigente en cuanto a las características de las piezas; los artesanos son flexibles pero prefieren los tamaños mayores, y los constructores buscan características específicas en cada una de las variables, en especial en las variables físico-mecánicas y rectitud, en donde son muy rigurosos. El sector de laminados es estricto en cuanto a todas las variables relacionadas con el tamaño de la pieza; según Stamm (2003), la calidad de la guadua es vital para maximizar el aprovechamiento industrial y disminuir los costos de producción de láminas de guadua.

Mediante un análisis discriminante predictivo se obtuvieron dos funciones discriminantes que permitieron definir los grupos de calidades de guadua procedente del Eje Cafetero y norte del Valle del Cauca, con el fin de determinar las características ambientales ideales para cada grupo. Según los parámetros óptimos de cada subsector y las variables indagadas durante la entrevista personal, se hallaron las probabilidades de pertenencia a cada uno de los grupos previamente establecidos (Cuadro 9, Fig. 4). De esta manera se puede saber en cuál sitio se encuentra la materia prima que satisface en mayor medida las necesidades de cada subsector del mercado de la guadua y, lo más importante, conocer bajo qué condiciones ambientales crecen los rodales que reúnen esas características.

Cuadro 8. Datos promedio de las respuestas en cada subsector.

Variable	Artesanía	Muebles	Construcción	Laminados
Dureza (unid. short)	68,21	68,23	71,79	71,93
Diámetros (cm)	12,40	11,40	11,69	17,08
Entrenudos (cm)	39,10	31,22	31,43	42,57
Humedad (%)	70	76	47	80
Pared (cm)	1,55	1,71	1,65	1,79
Rectitud (%)	0,04	0,04	0,02	0,02
Volumen (m ³)	9	11	11	13
Corte (mpa)	*	*	Alta**	*
Compresión (mpa)	*	*	Alta**	*

* No toman en cuenta estas variables.

** Se asumen los valores más altos registrados en la zona de estudio: 13,27 mpa y 73,14 mpa respectivamente.

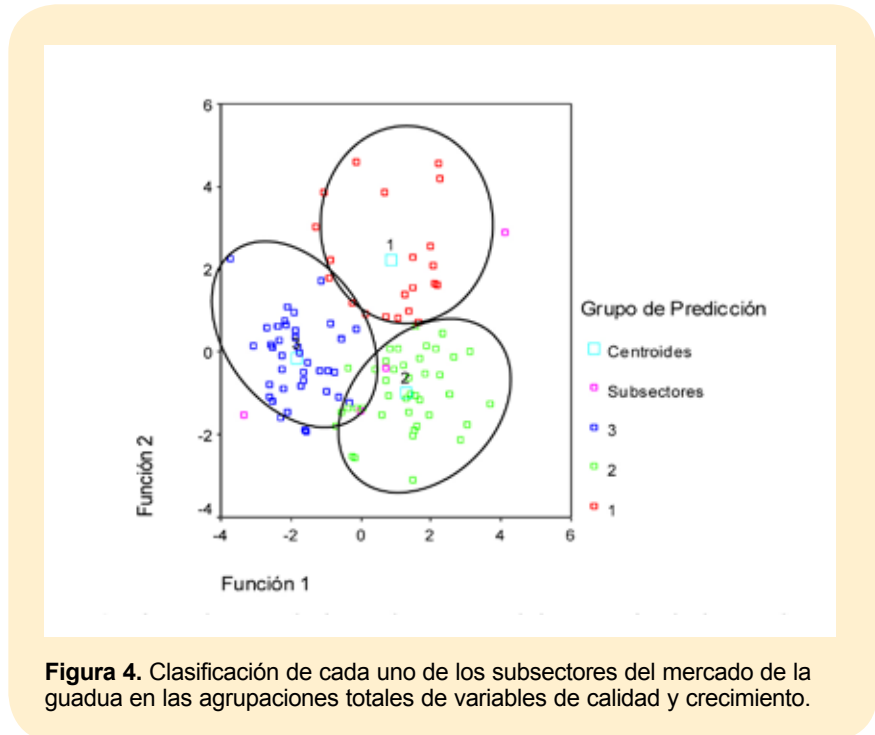


Figura 4. Clasificación de cada uno de los subsectores del mercado de la guadua en las agrupaciones totales de variables de calidad y crecimiento.

Cuadro 9. Probabilidad de pertenencia a cada uno de los grupo


Mercado	Probabilidad de pertenencia		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	0,002	0,798	0,20
Artesanía	0,045	0,903	0,052
Muebles	0	0,001	0,999
Construcción	0,997	0,003	0

Conclusiones

La producción de guadua en el Eje Cafetero y en Valle del Cauca puede abastecer de manera satisfactoria los requerimientos y exigencias de los diferentes segmentos del mercado evaluados en este estudio. El mercado de muebles, por ser el menos exigente, puede utilizar cualquier tipo de piezas provenientes de cualquier zona productora. El sector artesanal, por su parte, si bien es bastante flexible en cuanto a sus preferencias, se inclina por tamaños mayores. En consecuencia, este sector se verá mejor abastecido con la producción de los Grupos 1 y 2. El sector construcción tiene exigencias claras en cuanto a la mayor parte de las variables evaluadas, pero sus requisitos

principales se relacionan con las variables físico-mecánicas y rectitud (Grupo 2). El mercado de laminados es muy estricto en cuanto a todas las variables que generen tamaño a la pieza de guadua; por ello, la materia prima proveniente de sitios con las características climáticas y edáficas identificadas como positivas para las variables de crecimiento es la preferida (Grupo 1).

Las variables de crecimiento evaluadas en rodales de *Guadua angustifolia* (diámetro a la altura pecho, volumen neto, volumen aparente, espesor de pared, longitud de canutos y longitud total y comercial) deben ser analizadas independientemente de las variables de calidad (dureza, humedad, densidad, cur-

vatura y resistencia al corte y a la compresión), ya que los factores edafoclimáticos afectan positiva y negativamente sus características de tamaño y calidad. 

Agradecimientos

Agradecemos al proyecto Manejo Sostenible de la Guadua en Colombia y Costa Rica, apoyado económicamente por la Unión Europea, la Universidad Tecnológica de Pereira y COLCIENCIAS. Al Grupo de Investigación en Agroecosistemas Tropicales Andinos de la Facultad de Ciencias Ambientales de la misma universidad y a la Agencia Alemana al Desarrollo GTZ por su apoyo logístico. Al Jardín Botánico UTP y su Grupo de Investigación.

Literatura citada

- Agudelo, B; Toro, I. 1994. Evaluación del desarrollo de los bosques de *Guadua angustifolia* en la zona de jurisdicción de la C.V.C, bajo diferentes condiciones de sitio, con fines de reforestación. Tesis Ing. For. Ibagué, Colombia, Universidad de Tolima. 168 p.
- Camargo, JC; Morales, T; García, JH. 2003. Sistemas agroforestales con Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth): Una alternativa para promover la reforestación con Guadua en el Eje Cafetero de Colombia. VI Seminario Internacional del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Sic Editorial Ltda. p. 236 – 242.
- Camargo, JC; Morales, T; García, JH. 2008. Términos de referencia para la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible de guaduales. Proyecto Bosques FLEGT/Colombia. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Grupo Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. 70 p.
- Camargo, JC; García, JH; Dossman, M; Arias, L. 2007. Zonificación detallada del recurso guadua en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca. Pereira, Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, CARDER - CVC - CORTOLIMA - CRQ - UTP.
- Castaño, F. 1981. Aspectos sobre el cultivo y el manejo de la bambusa guadua en Colombia. Primer simposio latinoamericano del bambú realizado en Manizales, Colombia, 2-8 de agosto 1981. 53 p.
- Cruz, H. 1994. La guadua nuestro bambú. Armenia, Quindío, Colombia. Corporación Autónoma Regional del Quindío y Centro Nacional para el Estudio del Bambú y la Guadua. 293 p.
- Giraldo, E; Sabogal, A. 1999. Una alternativa sostenible: la guadua. Armenia, Quindío, Corporación Autónoma Regional del Quindío. 192 p.
- Held, C; Manzano, I. 2002. Investigaciones sobre el manejo y mercadeo sostenible de bambú en Colombia y Costa Rica. Informe preliminar sobre los resultados del análisis de la cadena productiva de la guadua. Pereira, Colombia. Universidad de Freiburg -Universidad Tecnológica de Pereira.
- Hidalgo, O. 2003. Bamboo, the gift of the gods. Minnesota, EU, University of Minnesota. 553 p.
- Kleinn, C; Morales, D. 2006. An inventory of guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the coffee region of Colombia. European Journal of Forest Research 125(4): 361-368.
- Londoño, X. 1989. Una nueva variedad de *Guadua angustifolia* Kunth de Colombia. Revista Academia Colombiana de Ciencias 17(65): 379-381.
- Martín J; Mateus, L. 1981. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua castilla. Tesis Ing. Agrícola. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.
- Proyecto Manejo Sostenible de Bosques en Colombia. 2002. Norma Unificada en Guadua: reglamentación para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guadua, caña brava y bambúes. Convenio 021-2001 entre la Universidad Tecnológica de Pereira y CARDER. 16 p.
- Ramírez, JC. 2010. Caracterización del mercado de la sabana de Bogotá y Costa Atlántica para el acceso de productos de guadua de la región del eje cafetero. Corporación Autónoma Regional de Risaralda – Carder.
- Sivavosh, S; Rivera, J; Gómez, M. 1999. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos de los Andes de Colombia. Conferencia electrónica de la FAO sobre “Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica”. Disponible en <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Sivavosh6.htm>
- Silva, M; López, L. 2000. Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Manizales.
- Stamm, J. 2003. Proyecto latas y laminados de guadua. Pereira, Colombia, Proyecto Universidad Tecnológica de Pereira – Agencia Alemana al Desarrollo GTZ. 33 p.
- Takeuchi, TCP; González, C. 2007. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua Angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. Ingeniería y Universidad 11(1):89 – 103.