

# Caracterización multivariante de la guadua en el departamento del Quindío<sup>1</sup> Multivariate characterization of bambu in Quindio region

Ximena Cifuentes Wchima<sup>2</sup>, Luis Miguel Mejía Giraldo<sup>3</sup>

Recepción: Julio 23 de 2013

Aceptación: Septiembre 18 de 2013

Cómo citar este artículo:

Cifuentes, X., Mejía, L.M & Ruiz, J.A (2013). Caracterización multivariante de la guadua en el departamento del Quindío. *UGCiencia*, Vol. (19), 128 - 142.

## Resumen

Este artículo da cuenta de los resultados obtenidos en una investigación desarrollada sobre las variables que afectan las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia Kunth, proveniente del municipio de La Tebaida, Quindío, con base en metodologías de materiales, detectándose que las variables D, U y Área son las más importantes al momento de evaluar la lección, la compresión y el corte.

## Palabras clave

Análisis multivariado, caracterización, compresión, corte, lección, guadua.

## Abstract

This article accounts for the given results of a Research developed on the variables affecting the mechanic properties of the angustifolia Kunth, Bambu collected in the municipality of Tebaida Quindío based on the materials Methodology, where the D and U variables were detected as the most important to evaluate lection, compresión and cut.

---

1 Este artículo es el resultado de los estudios llevados a cabo por el Grupo de Investigación para el Desarrollo Agroindustrial (GIDA).

2 Ingeniera Agroindustrial, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Decana Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia, defingenieria@ugca.edu.co, Avenida Bolívar No 7-46, Armenia, Quindío, Colombia.

3 Ingeniero Agrónomo, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Docente

Investigador Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia, mejiairluis@miugca.edu.co, Avenida Bolívar No 7-46, Armenia, Quindío, Colombia.

## Keywords

Multivariate analysis, characterization, compresión, cut, flexion, bambu.

## Introducción

La caracterización de plantas con importancia económica, social y ambiental está inmersa en un ámbito conocido como complejo productivo, el cual es una concentración sectorial y geográfica de empresas que desempeñan las mismas actividades o al menos estrechamente relacionadas, aglomeradas y altamente especializadas, que bien pueden aprovechar las economías de escala en la producción. Para el caso de la guadua, existe y funciona en la actualidad su propia cadena productiva, pero requieren de mayor estudio y precisión aspectos como la variabilidad fenotípica de los biotipos existentes, Macana y Cebolla, entre otras, aspectos físicos y mecánicos, y demás características que pueden ser un factor determinante al momento de definir la vocación y uso de dicha planta al interior de una evaluación detallada de calidad de sitio.

Es de resaltar que la investigación se fundamentó en la modelación deductiva, basada en la localización y geografía económica, y se enfoca hacia la interdependencia de la materia prima y el producto procesado, facilitando la coordinación de movimientos en una sola dirección.

Es por lo expuesto, y dada la estructuración en Colombia de la cadena productiva de la guadua, que se ha planteado el proyecto “Caracterización Multivariante de la Guadua (*G. angustifolia Kunt*) en el departamento del Quindío”, dado el conocimiento de biotipos de la misma, en aras de especializar las zonas productoras de este cultivo, de acuerdo con las características morfológicas, fisiológicas, físicas y mecánicas y poder determinar su vocación económica y ambiental.

Es de agregar que esta subvaloración ha marginado la especie de su industrialización, pero las investigaciones sobre ella están despertando gran interés (Colorado, 2003). Londoño (2000) afirma que esta especie está dotada y rodeada de condiciones que la hacen ideal para distintos campos de aprovechamiento.

En cuanto a lo concerniente en el presente estudio, Espinosa (2004) afirma que el proceso central de la cadena productiva de la guadua se

desarrolla en guaduales naturales o plantaciones y que este proceso comprende ordenamiento forestal, reforestación, manejo silvicultural y aprovechamiento forestal; aspectos a los cuales deben tender las investigaciones para esta especie.

La guadua es una planta de la familia Gramineae, subfamilia Bambusoideae, la cual, con base en las formas o biotipos que adquiere, desarrolla variedades como Macana, Cebolla y Rayada que serán parte de la evaluación morfológica y de uso en la presente investigación.

Esta guadua en particular es considerada un bambú endémico de América y es nativo de Colombia, Venezuela y Ecuador. Sus entrenudos tienen paredes hasta de 2 cms de espesor (Guadua.biz, 2000).

Sus hojas caulinares son de color marrón o café claro, protegen al tallo y sus yemas durante su crecimiento inicial los primeros meses. Son de forma triangular, fuertes, con pelillos en su parte exterior y lustroso por el interior. Las hojas caulinares, polainas, se desprenden del culmo. Las yemas están presentes en el tallo o culmo, en las ramas y en los rizomas o en las raíces que favorecen la reproducción y propagación vegetativa (Guadua.biz, 2000).

La *Guadua angustifolia* es caracterizada como un bambú andino que es ampliamente utilizado tanto como material de construcción, de armaduras y paredes (Takeuchi & Rivera, 2009) y como materia prima para artesanías, muebles y barcos, en varias regiones de Colombia (Janssen, 1981; Arce-Villalobos, 1993). Además, los bosques desempeñan un papel crucial donde la guadua permite un aprovechamiento ecológico como en la obtención de papel, el fomento de especies nativas, ayudando a regular el agua, el consumo de CO<sub>2</sub> y la inyección de agua en el suelo. Hoy en día, está teniendo un resurgimiento como material de construcción para viviendas, debido a los recientes avances en la investigación (Londoño et al., 2003), sobre la guadua para estructuras, propiedades y el comportamiento (Moreira, 2009), así como el bambú para laminado estructural (Xiao et al., 2009). Además, es importante tener en cuenta que la característica de la guadua posee las propiedades adecuadas para retener tensiones a lo largo de su eje, con un alto módulo de Young y elasticidad (Nelli, Walters y Paulino, 2006).

No obstante, se han evidenciado investigaciones para determinar la naturaleza botánica, principalmente del culmo de la guadua; así como lo

presentado por Londoño, Riaño y Camargo (2002), donde se llevó a cabo la caracterización anatómica de dicho órgano de la guadua utilizando material recolectado en tres sitios diferentes del Eje Cafetero de Colombia. Realizándose el análisis de caracteres anatómicos como tamaño, forma y distribución de haces vasculares, diámetro y porcentaje del metaxilema, y fibras a lo ancho de la pared del culmo con muestras tomadas a la altura del pecho y utilizando materiales con diferentes edades de crecimiento: 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 60 hasta 120 meses.

### **Materiales y métodos**

El enfoque metodológico de la investigación fue del tipo empírico analítico, descriptiva exploratoria. La estimación del tamaño de muestra giró en torno a la aplicación de un muestreo aleatorio estratificado por los diferentes biotipos de guadua, dado el potencial de variabilidad entre municipios al interior del Departamento del Quindío. Dicha estimación se llevó a cabo en lotes comerciales bajo una confiabilidad del 95% y un error máximo permisible del 10%, cuya fórmula básica está basada en la distribución normal estándar:

$$n = \frac{\left( Z \alpha / 2 \right)^2 * \sigma^2}{\epsilon^2}$$

Posteriormente, se realizaron análisis estadísticos del tipo factorial de componentes principales, los cuales son métodos multivariantes aplicados para evaluar la semejanza entre individuos con respecto a atributos analizados como variables y permite determinar además una tipología de tales individuos y establecer qué grupos de estas generan correlaciones significativas, siendo aquellas de naturaleza cuantitativa.

### **Resultados y discusión**

Cuando se realizó el análisis estadístico descriptivo de las mediciones de las diferentes variables a estimar en la zona basal de la guadua, se observó que el área presenta un promedio de 35.99 centímetros cuadrados, con una desviación de 2.07, lo cual denota su homogeneidad entre lecturas, permitiendo el uso amplio de estas en diferentes ámbitos como la construcción.

Cuando se evaluó la variable diámetro externo (D), se aprecia para los cuatro tipos de lectura que fluctúa entre 13.5 y 13.97cm, poseyendo

a su vez un bajo coeficiente de variación (8.5% aproximadamente), resaltándose también su homogeneidad. Esta variable es fundamental dado que es exigencia fundamental del mercado que requiere de la guadua como insumo.

Por otro lado, la densidad en base húmeda fue en promedio de 1249.26 kg/m<sup>3</sup> (1.24926 g/cm<sup>3</sup>) con un coeficiente de variación del 18.48%, presentando una ligera heterogeneidad en la serie de datos, aunque su variación es inferior a la densidad en base seca, la cual fue del 27.23% con un registro promedio de 877.54 kg/m<sup>3</sup> (0.87754 g/cm<sup>3</sup>). Esta medida conocida como densidad anhidra, o contenido de humedad en equilibrio con la humedad ambiental, indica que los usos que se le pueden atribuir a la guadua de la zona objeto de estudio cumplen con los requisitos exigidos para construcciones estructurales.

Por otro lado, la variable humedad (H) posee un promedio de 41.74%, mientras que la altura de la probeta (Hcm) fue de 13.3 cm.

Las variables espesor de la probeta (U) fluctuaron entre 1.78 y 1.8 cm y denotan ligeros niveles de heterogeneidad detectable en el coeficiente de variación (13.5 a 16%), demostrándose su estabilidad, lo cual es un factor que facilita el cálculo de diseños estructurales en obras, denotándose homogeneidad de los materiales con respecto al espesor.

Al evaluar la variable volumen, esta es de 478.75 cm<sup>3</sup>, el peso seco (Wf) fue en promedio de 0.0075 Kg, mientras que el peso húmedo (Wi) fue de 0.013 Kg.

Cuando se evaluó el extremo de la viga se apreció que el diámetro externo (De) fue de 12.99 cm, mientras que el diámetro interno (Di) fue de 9.13 cm, la longitud internado es de 22.1 cm y la longitud promedio de las guadas es de 4.09 m.

Es de agregar que el número de nodos promedio es de 17 y su variabilidad es baja, cuyo coeficiente de variación es de 8.34%.

### **Análisis de la reflexión**

Esta variable se analiza con el fin de determinar la capacidad del material para resistir fuertes cargas perpendiculares al eje central de la probeta,

antes de que se fracture o falle; denota la ductilidad del mismo para la elaboración de diferentes productos como artesanías, muebles y construcciones.

Al evaluar esta variable, se aprecia que existe una correlación negativa entre la longitud internodal con respecto al ancho de la probeta, indicando entonces que a mayor longitud, tiende a generarse un menor diámetro de dicho recipiente y que el material evaluado no es totalmente cilíndrico, tendiendo al ahusamiento, lo cual se puede apreciar en el cuadro de correlaciones:

### Matriz de correlaciones para flexión

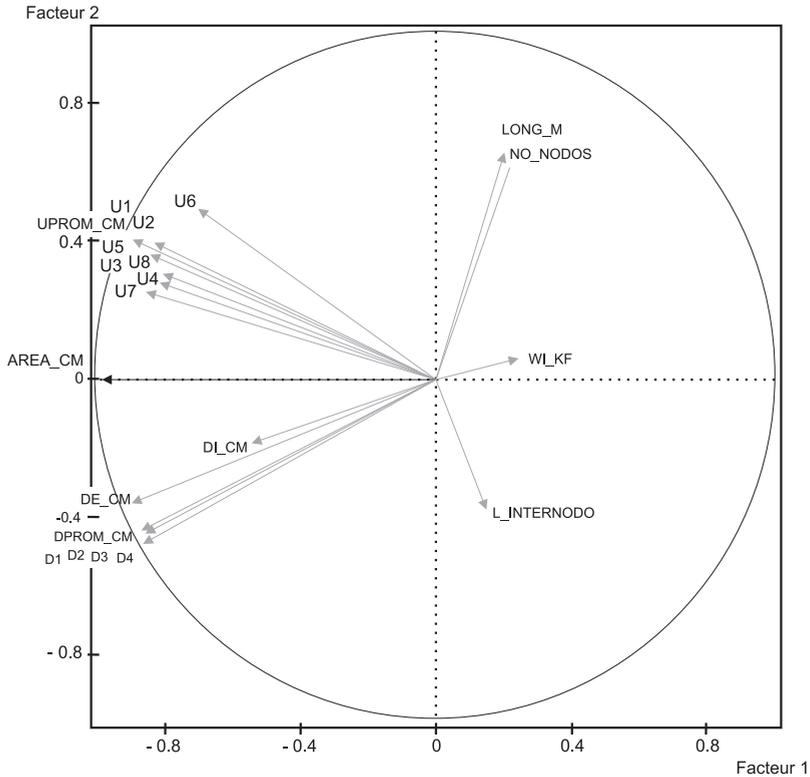
	NO_N	LONG	L_IN	DE_C	DI_C	D1	D2	D3	D4	U1	U2	U3	U4	U5			
U6	U7	U8	-----														
--																	
NO_N	1.00																
LONG	0.64	1.00															
L_IN	-0.66	0.05	1.00														
DE_C	-0.38	-0.42	-0.01	1.00													
DI_C	-0.09	-0.22	-0.26	0.57	1.00												
D1	-0.32	-0.43	-0.05	0.94	0.58	1.00											
D2	-0.40	-0.48	0.02	0.93	0.51	0.98	1.00										
D3	-0.32	-0.35	0.03	0.91	0.58	0.99	0.97	1.00									
D4	-0.33	-0.42	-0.02	0.95	0.56	1.00	0.99	0.99	1.00								
U1	0.08	0.03	-0.31	0.59	0.45	0.57	0.52	0.55	0.57	1.00							
U2	-0.09	-0.09	-0.25	0.63	0.38	0.47	0.50	0.43	0.49	0.82	1.00						
U3	-0.21	-0.09	-0.11	0.61	0.46	0.48	0.50	0.47	0.50	0.85	0.95	1.00					
U4	-0.06	0.01	-0.16	0.54	0.31	0.53	0.56	0.53	0.54	0.68	0.80	0.84	1.00				
U5	-0.11	-0.01	-0.04	0.63	0.28	0.51	0.54	0.51	0.53	0.84	0.86	0.89	0.76	1.00			
U6	0.13	0.26	-0.08	0.46	0.20	0.39	0.37	0.43	0.42	0.87	0.68	0.72	0.56	0.85	1.00		
U7	-0.21	-0.16	-0.15	0.60	0.37	0.55	0.61	0.54	0.57	0.78	0.91	0.91	0.91	0.80	0.58	1.00	
U8	0.32	0.07	-0.45	0.67	0.29	0.65	0.64	0.62	0.65	0.70	0.69	0.58	0.72	0.70	0.61	0.64	1.00
ÁREA	-0.18	-0.22	-0.15	0.88	0.50	0.87	0.87	0.86	0.88	0.83	0.80	0.81	0.81	0.84	0.71		
DPRO	-0.35	-0.42	-0.01	0.94	0.56	1.00	0.99	0.99	1.00	0.55	0.47	0.49	0.54	0.52	0.40		
UPRO	-0.02	0.01	-0.21	0.66	0.38	0.57	0.58	0.56	0.59	0.92	0.94	0.94	0.86	0.95	0.84		
WI_K	-0.26	-0.22	0.10	-0.33	-0.06	-0.30	-0.33	-0.34	-0.32	0.01	-0.03	0.05	-0.20	-0.22	-		
-----																	
	NO_N	LONG	L_IN	DE_C	DI_C	D1	D2	D3	D4	U1	U2	U3	U4	U5			
	U6	U7	U8														
	ÁREA	DPRO	UPRO	WI_K													
-----																	
ÁREA	1.00																
DPRO	0.87	1.00															
UPRO	0.90	0.58	1.00														
WI_K	-0.28	-0.32	-0.13	1.00													
-----																	
	ÁREA	DPRO	UPRO	WI_K	Fuente: Los autores, 2011.												

Se aprecia una correlación positiva entre el número de nudos y la longitud de la probeta (0.64), mientras que dicha variable (número de nudos) se correlaciona negativamente con la longitud de los mismos; es decir, que a mayor número de nudos menor es la longitud que tienen estos, lo cual es una característica del biotipo de guadua macana.

No obstante, las mayores correlaciones se aprecian con De (cm) con D1 (Diámetro 1, 0.94), D2 (Diámetro 2, 0.93), D3 (Diámetro 3, 0.91) y D4 (Diámetro 4, 0.95), el área (0.88) y Dprom (Diámetro promedio, 0.94). Es de resaltar que el grosor de la guadua se incrementa a medida que aumenta el diámetro externo. A su vez, el D1 se correlaciona positiva y fuertemente con D2 (0.98), D3 (0.99) y D4 (1), además de correlacionarse con el área (0.87) y Dprom (1), esta tendencia continua con D2, D3 y D4, respectivamente.

Lo anterior indica que los diferentes diámetros fueron similares, lo cual brinda confiabilidad a las mediciones.

Cuando se analiza la variable U1 (Espesor 1), esta se correlaciona positivamente con U2 (Espesor 2, 0.82), U3 (Espesor 3, 0.85), U5 (Espesor 5, 0.84), U6 (Espesor 6, 0.87), U7 (Espesor 7, 0.78) y U8 (Espesor 8, 0.70), además del área (0.83) y Uprom (Espesor promedio, 0.92), lo cual indica la fuerte interdependencia entre estas variables, tendencia que se aprecia además en los otros espesores (U2, entre otras), indicando que a medida que se incrementa la variable U1, es patrón de incremento de las demás, dado su alto nivel de correlación (cercano a 1). Lo expuesto se puede apreciar en la presente hiperesfera propia del análisis factorial de componentes principales:



Gráfica 1: Hiperesfera de análisis factorial de componentes principales para dinámica de flexión del material. Fuente: Los autores

Es de agregar que el peso húmedo ( $W_i$ ) no está correlacionado con ninguna de las anteriores variables, lo cual se aprecia por su corta proyección del vector al interior de la hiperesfera y su no correlación con las variables.

El primer componente, se asocia a un comportamiento positivo o creciente de las variables de diámetro, contraria a la longitud de los nudos y el número de los mismos. El segundo, es una ecuación cuyos diámetros se confrontan, donde la longitud en metros de la guadua y el número de nudos se correlacionan positivamente, pero están correlacionados negativamente con la longitud intermodal, indicando que a mayor número de nudos en una guadua, menos sería dicha longitud entre estos (gráfica 1).

Es importante notar que un componente genera el 55.7% del valor propio (eigenvalue), resaltando la alta calidad de la información obtenida, la cual se aprecia en la hiperesfera, indicando a su vez el uso de un plano

factorial cuyas variables principales son U1, U2, U3, U4, U5, U7, U8, Área, Dpromedio y Upromedio (estas dos últimas debido a que son el promedio de las demás que las explican), lo cual indica una uniformidad del material evaluado y su homogeneidad en las respuestas a la flexión. Análisis de compresión.

Esta variable es la aplicación de fuerzas contrarias pero paralelas al eje principal de la probeta, determinándose el módulo nominal de elasticidad. Cuando se evaluó la compresión se detectó una serie de correlaciones, donde la longitud de la probeta (Hcm) se correlaciona positivamente con los diámetros (D) mas no con los U y es independiente de variables como el área, peso y densidad, pero se correlaciona positivamente con el volumen (0.81). Además, los pesos inicial y final no se asocian a esta variable.

### Matriz de correlación de variables para compresión

	HCM	D1	D2	D3	D4	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	ÁREA				
DPRO	UPRO	PESO	-----															
---																		
HCM	1.00																	
D1	0.90	1.00																
D2	0.97	0.89	1.00															
D3	0.94	0.88	0.96	1.00														
D4	0.88	0.90	0.88	0.85	1.00													
U1	-0.31	-0.30	-0.38	-0.38	-0.22	1.00												
U2	-0.40	-0.48	-0.45	-0.40	-0.47	0.75	1.00											
U3	-0.44	-0.48	-0.45	-0.43	-0.51	0.60	0.82	1.00										
U4	-0.56	-0.53	-0.55	-0.51	-0.50	0.80	0.80	0.82	1.00									
U5	-0.21	-0.33	-0.28	-0.30	-0.26	0.70	0.77	0.73	0.68	1.00								
U6	-0.50	-0.55	-0.53	-0.56	-0.41	0.80	0.70	0.47	0.81	0.84	1.00							
U7	-0.37	-0.44	-0.39	-0.42	-0.30	0.71	0.56	0.59	0.71	0.73	0.84	1.00						
U8	-0.41	-0.46	-0.43	-0.45	-0.47	0.49	0.57	0.80	0.68	0.63	0.70	0.67	1.00					
ÁREA	0.37	0.30	0.34	0.33	0.37	0.61	0.51	0.52	0.48	0.68	0.53	0.52	0.43	1.00				
DPRO	0.96	0.95	0.97	0.96	0.95	-0.33	-0.47	-0.49	-0.54	-0.30	-0.53	-0.40	-0.48	0.35				
UPRO	1.00	-0.46	-0.51	-0.50	-0.50	-0.45	0.85	0.87	0.88	0.91	0.87	0.93	0.83	0.78	0.62			
PESO	0.28	0.21	0.20	0.13	0.10	0.38	0.44	0.28	0.25	0.50	0.25	0.21	0.27	0.54	0.16			
VOLU	0.81	0.71	0.78	0.75	0.74	0.21	0.09	0.06	-0.02	0.31	0.04	0.12	0.03	0.84	0.78			
DENS	0.12	0.50	-0.34	-0.35	-0.40	-0.46	-0.48	0.25	0.40	0.24	0.29	0.31	0.24	0.17	-0.27	-0.09		
DENS	0.44	0.31	0.71	0.05	-0.02	-0.02	0.00	0.07	0.04	-0.10	-0.05	0.01	0.07	0.06	0.01	-0.04	-0.07	
WF_K	0.01	-0.02	-0.22	-0.36	-0.33	-0.32	-0.33	-0.34	-0.25	-0.08	-0.10	-0.07	-0.27	-0.24	-0.12	-0.15	-0.50	
WF_K	0.34	-0.18	-0.18	-0.11	-0.21	-0.22	-0.18	-0.14	0.29	0.32	0.11	0.30	0.42	0.20	0.27	0.24	-0.11	
H	0.19	0.30	0.30	-0.16	-0.11	-0.13	-0.17	-0.26	0.01	0.24	0.08	0.07	0.02	-0.05	-0.04	0.09	-0.06	-0.18
-----																		
---																		



Es de resaltar que el histograma de valores propios (eigenvalues) detectó que el 68.41% de la información se correlaciona con 2 planos X y Y, los cuales se asocian con las siguientes variables:

Eje X: Hcm, D1, D2, D3, D4, U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, Dpromedio, Upromedio (estos dos últimos como reflejo de los anteriores).

Eje Y: Área, Volumen, Peso Inicial

Lo anterior se ve reflejado también en el plano generado por la respectiva hiperesfera e indica que la compresión está en función del biotipo del material y factores de densidad del mismo.

### **Análisis de corte**

Esta característica se asocia a fuerzas paralelas a la probeta, pero en diferentes puntos de apoyo para evaluar el desplazamiento paralelo y posterior ruptura de fibras del culmo.

A través del análisis factorial de componentes principales se detectó que la variable Hm (Longitud de Probeta) se correlaciona positiva y fuertemente con las variables D (Correlaciones entre 0.85 a 0.89), el área con el peso inicial ( $W_i$ , 0.84), mientras que las densidades no se correlacionan significativamente con los diámetros, ni los espesores de las probetas, siendo este un factor que poco influye en la respuesta al corte del material de guadua.

Es de resaltar además que las variables D (Diámetro) no presentan correlación con las variables U (Espesor) para el efecto del corte, así como se aprecia en la presente matriz de correlaciones:

### Matriz de correlación de variables para corte

	HM	D1	D2	D3	D4	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	ÁREA	PESO
DENS	DENS														

```

-----+-----
---
HM | 1.00
D1 | 0.85 1.00
D2 | 0.88 0.95 1.00
D3 | 0.89 0.94 0.98 1.00
D4 | 0.85 0.97 0.96 0.97 1.00
U1 | -0.12 0.02-0.03 -0.05 0.03 1.00
U2 | -0.10 0.01 0.02 -0.01 0.04 0.80 1.00
U3 | -0.07 0.11 0.06 0.03 0.11 0.88 0.80 1.00
U4 | -0.05 0.11 0.09 0.09 0.15 0.94 0.78 0.92 1.00
U5 | -0.16 0.01 0.020.03 0.05 0.69 0.87 0.72 0.65 1.00
U6 | -0.24 -0.13 -0.19 -0.18 -0.12 0.85 0.85 0.88 0.81 0.79 1.00
U7 | -0.26 -0.08 -0.12 -0.14 -0.07 0.84 0.84 0.84 0.84 0.79 0.89 1.00
U8 | -0.13 0.07 0.03 -0.02 0.08 0.82 0.88 0.87 0.80 0.90 0.85 0.88 1.00
ÁREA | 0.31 0.52 0.50 0.47 0.55 0.79 0.78 0.85 0.84 0.74 0.70 0.74 0.83 1.00
PESO | 0.09 0.18 0.14 0.13 0.18 0.83 0.80 0.88 0.83 0.67 0.84 0.81 0.84 0.84 1.00
DENS | -0.59 -0.65 -0.68 -0.67 -0.67 0.42 0.39 0.40 0.34 0.26 0.58 0.51 0.39 0.03 0.54
1.00
DENS | -0.46 -0.58 -0.60 -0.58 -0.59 0.41 0.40 0.39 0.35 0.21 0.58 0.48 0.36 0.05 0.57
0.98 1.00
WI | -0.23 -0.24 -0.27 -0.25 -0.21 0.67 0.71 0.68 0.63 0.55 0.74 0.71 0.64 0.47 0.76
0.71 0.73
-----+-----

```

	HM	D1	D2	D3	D4	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	ÁREA	PESO
DENS	DENS														

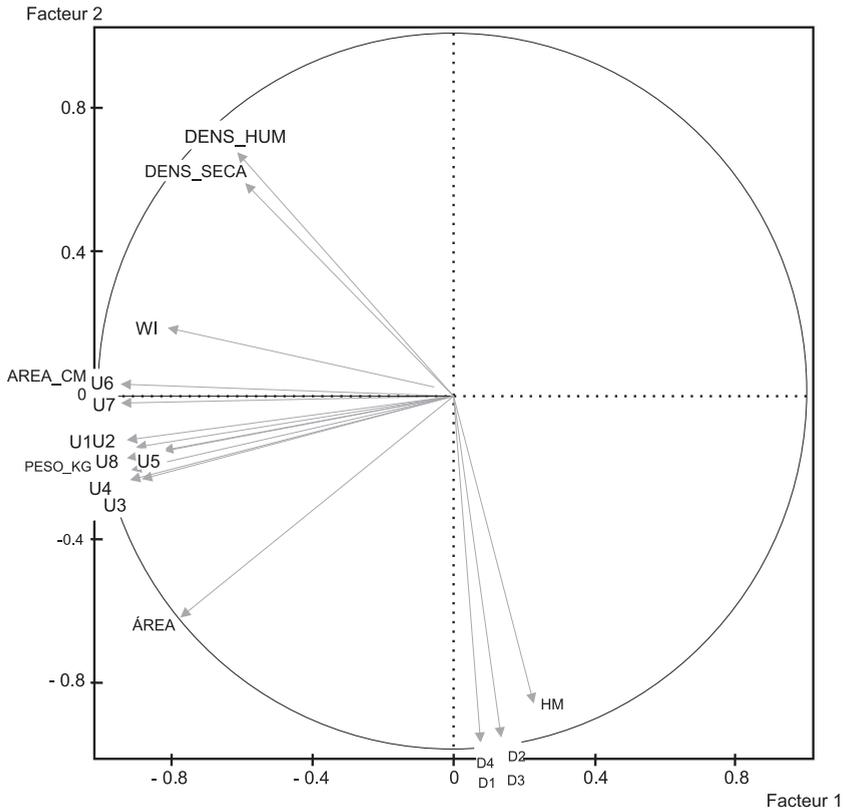
```

-----+-----
---
| WI
-----+-----
WI | 1.00
-----+-----
| WI

```

Esto se puede apreciar también en la hiperesfera del análisis de componentes principales, donde las correlaciones positivas se detectan cuando los vectores que van en la misma dirección y la distancia entre ellos es corta, formando un ángulo cercano a cero.

Es de agregar que el histograma de valores propios detectó que un eje factorial que explica el 52.67%, indicando además que un eje X aglutina la información necesaria para comprender la dinámica de la variable bajo estudio y cuyos factores significativos son U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, área y peso inicial, lo cual indica que el corte está en función directamente proporcional al espesor del material, peso y área de la sección transversal.



Gráfica 3: Hipersfera de análisis factorial de componentes principales para corte en función de biotipo y densidad del material. Fuente: Los autores.

Se aprecia además que la densidad no es significativa, pudiéndose observar para el presente estudio que las características de corte son más afectadas por una posible organización de fibras determinadas por el espesor, más que por el peso por unidad de área.

## Conclusiones

- Las variables indicadoras para flexión, compresión y corte son significativas y presentan una alta calidad, dada su proyección hasta el límite de la hipersfera.
- La flexión es afectada por las variables de espesor, el área y diámetro promedio.

- La compresión está en función de los diámetros y los espesores propios del biotipo y factores de densidad del material.
- El corte es afectado principalmente por los espesores, el área y el peso inicial.
- Tanto la flexión como el corte se explican desde lo multivariado por un solo eje X, mientras que la compresión debe ser explicada por 2 planos, denotándose su nivel de complejidad mayor que los anteriores.
- Las variables indicadoras claves para evaluar los fenómenos mecánicos son espesores, diámetros así como el área de la sección transversal.
- La guadua proveniente de la finca El Álamo del municipio de Armenia posee características de alta uniformidad de sus individuos, facilitando así su comercialización en mercados especializados.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda el uso de las variables diámetro, tanto como espesor y el área de la sección transversal para posteriores análisis de la guadua desde el enfoque biomecánico.
- Evaluar bajo las pruebas de flexión, compresión y corte productos elaborados en guadua, con el fin de establecer patrones de uso del material de campo y encontrar así vocación productiva específica para los guaduales de la región.
- Se recomienda evaluar la dinámica geoespacial de la variabilidad morfológica de la guadua en el Departamento del Quindío, por medio de herramientas de carácter geoestadístico como semivarianzas.
- Evaluar el impacto de la especialización del cultivo de la guadua en el Departamento del Quindío desde la óptica de cadena productiva.

### **Referencias bibliográficas**

Arce-Villalobos, O.A. (1993). *Fundamentals of the design of bamboo structures*. PhD thesis, Eindhoven University, ISBN 90-6814 524-X.

- Colorado, A. (2003). La Guadua, una maravilla natural de grandes bondades y promisorio futuro., en *Revista el mueble y la madera* No. 34 (dic. 2001-feb. 2002), p. 17-27.
- Espinosa, P. D (2004). La Cadena de la Guadua en Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrociencias.
- Janssen, J.J. (1981). Bamboo as an Engineering Material, The IDRC Bamboo and Rattan Research Network, Eindhoven University.
- Londoño, X. (2000). La Guadua: Un Gigante Dormido. Memorias de Seminario Guadua en la Reconstrucción, Armenia, Quindío.
- Londoño, X; Villegas, M; Velez, S; Velez, J; Londoño, G. G; Schmitt, G (2003). Guadua Arquitectura y Diseño: Villegas Editores.
- Nelli Silva E.C; Walters, M.C; Paulino G.H (2006). *Journal of Material Sciences*, No 41 6991–7004.
- Moreira, L. E. (2009) In: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies NOCMAT.
- Riaño N, Londoño X, Camargo G (2002). Caracterización Anatómica del Culmo de la Guadua angustifolia Kunt. *Revista Cenicafé*
- Takeuchi, C; Rivera, J.F (2009) In: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies NOCMAT.
- Xiao, Y; Shan, B; Chen, G; Zhou, Q; Yang, R; She, L (2009) In: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies NOCMAT.
- Guadua.biz, acceso en Julio de 2000.