



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



<https://doi.org/10.14483/2256201X.22687>

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

ISSN 0120-0739 • e-ISSN 2256-201X

### Régimen de cosecha de guaduales según calidad y productividad en la región cafetera colombiana

Harvesting Regime of Bamboo Plantations According to Quality and Productivity  
in the Colombian Coffee-Growing Region

Juan David Suárez Franco<sup>ID</sup><sup>a</sup>, Juan Carlos Camargo García<sup>ID</sup><sup>b</sup>, José Alexander Rodríguez<sup>ID</sup><sup>c</sup>

<sup>a</sup> Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Pereira, Colombia.

<sup>b</sup> Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

<sup>c</sup> Corporación colombiana de investigación agropecuaria. San José del Nus, Colombia.

Autor para correspondencia

Recibido: 18 de septiembre de 2024

Aceptado: 6 de mayo de 2025

Citación: Suárez Franco, J. D., Camargo García, J. C., & Rodríguez, J. A. (2025). Régimen de cosecha de guaduales según calidad y productividad en la región cafetera colombiana. *Colombia Forestal*, 28(2), e22687. <https://doi.org/10.14483/2256201X.22687>

#### Highlights

- Las correlaciones entre sitio, calidad y productividad en bosques de guadua varían entre rodales.
- La simulación de escenarios de productividad es la base para planificar y manejar bosques de guadua.
- La fertilidad del suelo está relacionada con la productividad y la calidad de los culmos en guaduales.
- El análisis estadístico revela patrones de sitio, productividad y calidad de culmos en guaduales.
- El manejo específico por rodal optimiza la productividad y el equilibrio ecológico en guaduales.

#### Resumen

La región cafetera colombiana alberga bosques de *Guadua angustifolia* entre los 900 y los 2000 m de altitud que ofrecen beneficios ecológicos y múltiples usos. Esta investigación evaluó la estructura, productividad y calidad de los culmos en tres rodales (28 ha) del Eje Cafetero colombiano para establecer criterios de manejo y aprovechamiento sostenible a escala predial. Mediante análisis multivariado se identificaron patrones ambientales y de calidad que permitieron clasificar cuatro grupos de sitios. Se estimó como viable una cosecha de 431 culmos.ha<sup>-1</sup> cada 12 meses. Los resultados evidencian la importancia de ajustar el

aprovechamiento a la heterogeneidad local, facilitando la toma de decisiones informadas para optimizar la producción sin comprometer la sostenibilidad de los guaduales.

**Palabras clave:** análisis multivariado, calidad, condiciones de sitio, equilibrio, manejo sostenible productividad, toma de decisiones.

## Abstract

The Colombian coffee region hosts *Guadua angustifolia* bamboo forests between 900 and 2000 meters above sea level, providing ecological benefits and multiple uses. This study assessed the structure, productivity, and quality of culms in three stands (28 ha) in the Colombian Coffee-Growing Axis to establish sustainable management and utilization criteria at the farm scale. Using multivariate analysis, environmental and quality patterns were identified, allowing for the classification of four distinct site groups. A harvesting rate of 431 culms.ha<sup>-1</sup> every 12 months was deemed viable. The results highlight the importance of adapting harvesting practices to local heterogeneity, supporting informed decision-making to optimize production while ensuring the sustainability of guadua stands.

**Keywords:** multivariate analysis, quality, site conditions, balance, sustainable management, productivity, decision-making.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques de la región del Eje Cafetero Colombiano están dominados por la especie de bambú leñoso *Guadua angustifolia* Kunth, distribuida entre los 900 y los 2000 m de altitud ([Camargo, 2006](#)) y con un inventario de 28 000 ha ([Kleinn & Morales-Hidalgo, 2006](#)). Estudios sobre su fragmentación revelan que más del 65 % de los fragmentos son inferiores a 5 ha ([Camargo & Cardona, 2005](#)), con un tamaño medio de 2.9 ha ([Kleinn & Morales-Hidalgo, 2006](#)). Sin embargo una investigación reciente en un área piloto cerca de Pereira, Risaralda, Colombia, mostró que el tamaño promedio de los fragmentos de guadua disminuyó en un 60 % entre 1989 y 2016, de 4.5 a 1.8 ha ([Muñoz, 2020](#)), evidenciando una creciente fragmentación.

*Guadua angustifolia* Kunth, a pesar de pertenecer a la familia de las poáceas o gramíneas, ha sido clasificada como producto forestal y regulada de la misma manera ([Buckingham et al., 2014](#); [Congreso de Colombia, 2022](#)). Es por ello que, en Colombia, los bosques de guadua son regulados por las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), donde se deben tramitar permisos de aprovechamiento y manejo, que requieren de un inventario previo y un plan de manejo forestal ([Camargo et al., 2008](#)). Esto está regulado por la Resolución 1740 de 2016, que establece lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambusales, destacando la importancia de prácticas silviculturales adecuadas y la necesidad de estudios técnicos para garantizar la sostenibilidad del recurso ([Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016](#)).

En el mundo se han descrito y clasificado cerca de 1482 especies, con aproximadamente 119 géneros, agrupados en tres tribus: Arundinarieae, Olyreae y Bambuseae. La primera incluye 546 especies, principalmente de zonas templadas y algunas en el trópico en zonas altas. La segunda tiene 124 especies de hábito herbáceo, y la tercera está compuesta por 812 especies, principalmente de zonas tropicales ([Clark et al., 2015](#)). En esta última se encuentra la *Guadua angustifolia*, la especie leñosa más utilizada en América ([Judziewicz et al., 1999](#)),

especialmente en Colombia, donde se ha utilizado tradicionalmente en construcción y ha tenido otros usos desde tiempos precolombinos ([Londoño, 2011](#)).

La Ley 2206 de 2022 incentiva el uso productivo de la guadua, promoviendo su sostenibilidad ambiental. Esta ley busca estimular la producción de guadua como un nuevo renglón económico del país, incentivando los diferentes eslabones de la cadena productiva y promoviendo la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en productos y subproductos de guadua ([Congreso de Colombia, 2022](#)). Esta ley también establece que las instituciones financieras deben incluir, en sus planes de crédito y fomento, los proyectos de plantación, manejo, aprovechamiento y uso de guaduales y bambusales, facilitando así el acceso a recursos financieros para los productores ([Congreso de Colombia, 2022](#)).

En este contexto normativo y productivo, a pesar de la importancia ecológica y económica de los bosques de guadua en la zona cafetera colombiana, existe un vacío significativo en el conocimiento sobre la heterogeneidad estructural y productiva a escala de finca, lo cual dificulta la toma de decisiones para un manejo sostenible. Si bien existen estudios previos sobre la productividad y la calidad de los guaduales a nivel regional, la variabilidad al interior de y entre los rodales de una misma finca no ha sido suficientemente caracterizada, lo que genera incertidumbre en la determinación de las intensidades y frecuencias óptimas de cosecha, en la comprensión de la relación entre las condiciones del sitio y la calidad de los culmos, y en la planificación del manejo sostenible considerando la heterogeneidad espacial. De este contexto surge nuestra pregunta de investigación:

**¿Cómo influyen las variables edáficas y estructurales en la productividad y calidad de los culmos de diferentes rodales de guadua dentro de una misma unidad predial, y cómo puede esta información optimizar las decisiones de manejo y aprovechamiento sostenible?**

Las características de los bosques de guadua varían considerablemente a lo largo de la región del Eje Cafetero, con fragmentos de entre 0.3 y 43.7 ha ([Kleinn & Morales-Hidalgo, 2006](#)). También varían su productividad ([Camargo et al., 2007a](#)) y la calidad de sus productos ([García & Camargo, 2010](#)). Incluso dentro de los mismos rodales hay variaciones en las características asociadas al estado de madurez de los culmos ([Nölke et al., 2016; Maya et al., 2017](#)), lo que supone retos para la planificación y el manejo de estos bosques.

Desde hace décadas, la planificación del aprovechamiento y el manejo de los bosques de bambú ha sido destacada como la base de su sostenibilidad a nivel mundial ([Bysthakova et al., 2003; Rabik & Brown, 2014; Boissière et al., 2019](#)). Incluso en ecosistemas donde el bambú podría ser una especie no deseable, se requiere de un manejo adecuado para la conservación de los bosques ([Ferreira et al., 2019](#)). Asimismo, la participación de la comunidad en el manejo de estos bosques se hace importante para su conservación ([Rabik & Brown, 2014; Porbounmixaitor et al., 2017](#)). De hecho, el manejo de los bosques de bambú, tiene incidencia en recursos como el suelo ([Banik, 2015; Zhao et al., 2019](#)), los servicios ambientales ([Rodriguez et al., 2009](#)) y la biodiversidad vegetal ([Ospina, 2002](#)). Esta última es altamente relevante cuando los bosques de bambú representan el hábitat natural de algunas especies en paisajes transformados ([Ramírez-Díaz & Camargo, 2019](#)).

Cuando la cosecha no es planificada, se reduce la población de culmos en el rodal, lo que puede afectar su estructura (Banik, 2015). En el caso de los bosques de guadua en Colombia, el manejo implica mantener una densidad mínima de culmos para garantizar un equilibrio ecológico, con un valor que oscila entre los 2000 (Morales, 2007) y los 3000 culmos.ha<sup>-1</sup> (Camargo, 2006).

El manejo de bosques de guadua en la región del Eje Cafetero de Colombia se realiza a nivel de finca, unidad en la cual se toman decisiones sobre las prácticas silviculturales y la intensidad y la frecuencia de la cosecha. Aunque existe información que puede ayudar a orientar los procesos de cosecha (Camargo *et al.*, 2007b; Camargo *et al.*, 2007c; Morales, 2007; Camargo *et al.*, 2008), en ocasiones se requiere de información a nivel de rodal, dado que es usual que en las fincas se presenten estos bosques como pequeños fragmentos diferentes entre sí —para un manejo adecuado, es necesario considerar estas diferencias.

Esta investigación empleó diversas técnicas estadísticas para analizar datos provenientes de inventarios forestales de guaduales, considerando la heterogeneidad intra- e inter-rodal a la vez que se buscaba profundizar la comprensión del rendimiento y las características cualitativas de los culmos cosechados, proporcionando resultados para una base sólida en la toma de decisiones respecto al manejo y aprovechamiento sostenible de bosques de guadua, en aras de optimizar la producción y calidad de la materia prima obtenida. El objetivo de esta investigación fue evaluar la heterogeneidad estructural y productiva y la calidad de los culmos de *Guadua angustifolia* en tres rodales de la zona cafetera colombiana, con el fin de establecer criterios para un manejo y aprovechamiento sostenible a nivel de finca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la finca Yarima, situada al suroccidente del municipio de Pereira, Risaralda, Colombia. Esta finca tiene tres rodales de bosque de guadua con áreas de 10.4, 6.9 y 10.9 ha, para un total de 28.2 ha. En el año 2014 se establecieron siete parcelas cuadradas permanentes de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) dentro de cada rodal, para un total de 21 parcelas. Este tamaño de parcela sigue los protocolos estandarizados para el monitoreo de bosques de guadua, permitiendo capturar adecuadamente la variabilidad estructural y optimizar el esfuerzo de muestreo según la densidad típica de los culmos, así como el número de parcelas por rodal, lo que contribuye a la realización de estudios longitudinales (Camargo *et al.*, 2008; Moonlight *et al.*, 2020). Estas parcelas, distribuidas aleatoriamente en cada rodal, se utilizaron anualmente para recopilar información sobre las condiciones del sitio y del bosque de guadua. La finca se encuentra a una altitud de 1150 m, con una precipitación promedio anual de 2262 mm y una temperatura media de 24 °C. Los suelos son inceptisoles de fertilidad moderada, con textura franco-arcillosa y relieve colinado (Maya *et al.*, 2017).

### Caracterización física y química del suelo

Dentro de cada parcela permanente se colectaron muestras para obtener información sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos en tres puntos seleccionados aleatoriamente. En cada punto se tomaron

muestras en dos rangos de profundidad: 0-25 y 25-50 cm. La evaluación de propiedades químicas se realizó en las muestras disturbadas de cada profundidad para obtener el pH, el carbón orgánico, las bases totales (Ca, K, Mg y Na), el contenido de Al y P, y la capacidad de intercambio catiónico. Dicha evaluación tuvo lugar en el laboratorio de suelos de la Facultad de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira. Posteriormente, con esta información se calculó el índice de fertilidad del suelo de cada sitio, siguiendo la metodología propuesta por [Ortega \(1995\)](#).

En aras de evaluar las propiedades físicas, se utilizaron muestras disturbadas para medir la estabilidad estructural (distribución de agregados por tamaño) y el diámetro medio ponderado de los agregados del suelo (DMP) según [Montenegro y Malagón \(1990\)](#). Además, se recolectaron muestras no disturbadas en cilindros metálicos de 98 cm<sup>3</sup> de volumen para evaluar la densidad aparente (Da) y la porosidad total (Pt).

### Caracterización de los bosques de guadua

Para la caracterización de los rodales de guadua, se midieron las variables dendrométricas, fisicométricas y químicas de los culmos, así como la biomasa de los rodales ([Tabla 1](#)). Estas variables aportan información sobre la productividad de los bosques y la calidad de la materia prima. En primer lugar, para conocer la productividad del bosque, se realizó un inventario del total de culmos en cada parcela, valores que se transformaron a culmos por hectárea para estimar la intensidad de cosecha. En segundo lugar, para las evaluaciones fisicométricas y químicas, se seleccionaron aleatoriamente tres culmos de aproximadamente cuatro años en cada parcela —esta edad es indicativa de un culmo en estado de madurez. La madurez de los culmos se determinó a partir de características visuales como el color, la presencia de líquenes y musgos en la superficie y la ausencia de hojas caulinares. Es importante destacar que la definición de *madurez* puede variar según las condiciones ambientales de cada sitio; factores como la altitud, la precipitación, la temperatura y la fertilidad del suelo pueden influir en la tasa de maduración de los culmos.

Los culmos seleccionados fueron seccionados y cortados en tres partes: la sección baja (de la base del culmo hasta 3 m de altura), la sección media (entre las secciones baja y alta) y la sección alta (los últimos 3 m de la guadua). Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, acreditado por la ONAC, donde se realizaron análisis detallados de sus propiedades fisico-mecánicas y químicas para confirmar y cuantificar el estado de madurez.

Para comparar los rodales de guadua, se realizaron pruebas estadísticas como la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, en aras de identificar diferencias significativas entre los rodales, y un análisis de componentes principales (ACP) para reducir la variabilidad de las características de los culmos, los rodales y las condiciones del sitio. Las variables fueron estandarizadas sobre la matriz de correlación para evitar los efectos de la magnitud en la conformación de los componentes. Adicionalmente, se calculó la correlación cofenética como una medida de la calidad de la reducción de dimensionalidad alcanzada mediante el ACP, la cual describe la correlación entre las distancias euclidianas en el espacio reducido y las distancias originales ([Casanoves et al., 2012](#)).

**Tabla 1.** Variables de masa y dendrométricas, y propiedades físico-mecánicas y químicas evaluadas por parcela

Variable	Unidad de medida	AA	Método	Referencia
Número total de culmos	(n)	P	Conteo de todos los culmos por parcela	(Camargo, Morales, et al., 2007)
Estado de madurez de los culmos ( $E_m$ )	(%)	C	Proporción de culmos en diferentes estados de madurez	(Rodríguez et al., 2010)
Intensidad de cosecha (IC)	(%)	P	Estimada como la proporción de tocones por parcela respecto a n	(Camargo, 2006)
Longitud total del culmo (l)	(m)	P	Medida desde la base hasta la punta del culmo con cinta métrica	(Camargo, Morales, et al., 2007)
Diámetro (d)	(cm)	P	Medido a 1.3 m en la sección baja del culmo	(Camargo, 2006)
Longitud de los entrenudos (le)	(cm)	P	Medida en los entrenudos de las tres secciones evaluadas	(Camargo, 2006)
Espesor de la pared del culmo (t)	(cm)	P	Medida como la parte sólida al interior del culmo	(Camargo, 2006)
Volumen neto del culmo ( $V_n$ )	(m <sup>3</sup> )	P	Corresponde al volumen de la parte sólida del culmo, calculado a partir de t	(Camargo, 2006)
Resistencia a la compresión ( $\sigma_{ult}$ )	(MPa)	C	Esfuerzo último ( $ult$ ) de resistencia a compresión en el punto de la falla de probetas de un entrenudo completo de las secciones baja, media y alta del culmo	(ISO, 2004); (NTC, 2007)
Resistencia al corte ( $\tau_{ult}$ )	(MPa)	C	Esfuerzo último ( $ult$ ) de resistencia al corte en el punto de la falla de probetas de un entrenudo completo de las secciones baja, media y alta del culmo	(ISO, 2004); (NTC, 2007)
Densidad ( $\rho$ )	(g.cm <sup>-3</sup> )	C	Medida como la relación entre la masa y el volumen de segmentos de las secciones baja, media y alta del culmo	(ISO, 2004); (NTC, 2007)
Curvatura ( $C_v$ )	(%)	C	Medida como la relación entre la longitud total del culmo y la distancia recta entre los dos extremos de este	(Camargo, 2006)
Dureza (H)	(Shore)	C	Medida en las mismas probetas que $\sigma_{ult}$ y $\tau_{ult}$ con durómetro de carátula Mitutoyo Hardmatic 811-331 Akashi	(Camargo, 2006)
Lignina ( $L_i$ )	(%)	C	Calculada con la metodología de la norma Tappi 222 om-06 para lignina insoluble usando ripio tamizado de las secciones baja, media y alta del culmo	(TAPPI, 2006)

AA = atributo de asociación con: P = productividad, C = calidad

Dentro de cada componente principal se identificaron las variables cuyos valores originales tenían mayor correlación, considerándolas como las principales fuentes de variabilidad entre y dentro de los rodales de guadua. Posteriormente, mediante las correlaciones entre las variables y cada componente, se elaboró un gráfico *biplot* que permitió visualizar la contribución de cada variable y su relación con las parcelas de muestreo originales al representarlas en el mismo espacio. Luego, se realizó un análisis de conglomerados utilizando el método de varianza mínima de Ward para agrupar las parcelas con características similares (Casanoves et al., 2012). Todos los análisis mencionados se llevaron a cabo utilizando el software InfoStat/Free 2019, versión 2019d (di Rienzo et al., 2019).

Para generar un insumo que contribuyera a la toma de decisiones sobre la cosecha de guadua, se utilizaron datos de las siguientes variables: número de culmos (n), estado de madurez (Em) e intensidad de cosecha (IC).

Esto, con el fin realizar simulaciones de la IC y la frecuencia de cosecha (FC). Estas simulaciones permitieron estimar el comportamiento probable de los bosques de guadua durante un período de 16 años, así como el volumen de cosecha esperado.

Se evaluaron valores de FC de entre 12 y 36 meses, con el fin de determinar ciclos de cosecha constantes que permitieran moverse entre diferentes rodales. En cuanto a la IC, se consideraron valores desde el 12 hasta el 35 % del total de culmos maduros (comerciales), con base en el rango establecido en la legislación y en la IC estimada a partir de los inventarios.

Las recomendaciones sobre los niveles de cosecha aceptable se fundamentaron en los estudios previos de [Camarago \(2006\)](#), [Camargo et al., \(2007a\)](#) y [Morales, \(2007\)](#). Las simulaciones se realizaron utilizando el software SilvGuadua ([Morales et al., 2008](#)), el cual se basa en un modelo de productividad respaldado por cadenas de Markov.

Los datos recolectados fueron sometidos a análisis estadísticos descriptivos, incluyendo el cálculo de la desviación estándar (DE) y el promedio ( $\bar{x}$ ). Este cálculo se realizó para todas las variables dendrométricas, fisiocomecánicas y químicas evaluadas en cada parcela, utilizando el software InfoStat/Free 2019, versión 2019d ([di Rienzo et al., 2019](#)). La desviación estándar se utilizó como medida de dispersión para evaluar la variabilidad de los datos dentro de cada rodal y entre rodales, permitiendo así una mejor comprensión de la heterogeneidad de las características evaluadas.

## RESULTADOS

### Efecto de la calidad del sitio y las variables dendrométricas en rodales de guadua

Los  $\bar{x}$  y DE de las variables de calidad del sitio y dendrométricas se presentan en la [Tabla 2](#). Entre las variables edáficas de calidad del sitio, la fertilidad fue la única que presentó diferencias significativas ( $p=0.0083$ ) entre los rodales; el rodal 2 presentó la mayor fertilidad del suelo, con un índice de 6.2, seguido por el rodal 1 con 5.7 y el rodal 3 con 5.5. Asimismo, se pudo evidenciar una correlación entre la fertilidad en el rodal 2 ([Tabla 3](#)), un mayor número total de culmos ( $n=5942$ ) y una mejor resistencia a la compresión ( $\sigma_{ult}=31.5$  MPa). Estas diferencias en las propiedades del suelo sugieren una heterogeneidad en las condiciones del sitio, lo que podría influir en el crecimiento y desarrollo de los culmos de guadua.

El DMP, a pesar de no presentar diferencias significativas ( $p=0.4624$ ), mostró variaciones entre rodales ([Tabla 2](#)), siendo más alto en el rodal 2 (2.7 mm) que en el 1 (2.2 mm) y el 3 (2.6 mm). Un mayor DMP se correlacionó positivamente con entrenudos más largos ( $le$ ) ( $r=0.42$ ) y negativamente con el espesor de la pared del culmo ( $t$ ) ( $r=-0.43$ ) ([Tabla 3](#)), lo que sugiere que, en sitios con agregados de suelo de mayor tamaño, que a su vez presentan mayor porosidad, los culmos tienden a tener entrenudos más largos y paredes más delgadas. Esto resultados sugieren que, a mayor fertilidad y DMP en el sitio, se presenta un mayor número total de culmos ( $n$ ), además de una mayor resistencia a la compresión ( $\sigma_{ult}$ ) y un contenido de lignina más alto ( $Li$ ) ([Tabla 2](#)). La fertilidad del suelo mostró una correlación positiva con el número de culmos por hectárea ( $r=0.64$ ) y con la resistencia a la compresión de los culmos ( $r=0.47$ ) ([Tabla 3](#)), reforzando la importancia de las condiciones edáficas en la productividad y calidad de los guaduales.

**Tabla 2.** Promedio y desviación estándar (DE) para las variables de masa y dendrométricas, las propiedades físico-mecánicas de los culmos de guadua y las variables físicas y químicas del suelo

Variable	Rodal 1		Rodal 2		Rodal 3		Total		Componentes principales		
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	CP 1	CP2	CP3
n	5128 <sup>ab</sup>	1619	5942 <sup>a</sup>	1531	3657 <sup>b</sup>	355	4909	1571	-0.32	0.10	<b>0.72</b>
IC (%)	17.9	5.5	15.1	3.8	20.7	7.3	17.9	5.9	0.48	-0.26	-0.33
l (m)	23.7	1.7	23.0	3.1	21.4	2.0	22.7	2.4	-0.45	-0.22	0.68
d (cm)	11.6	1.9	11.4	1.4	11.0	2.6	11.3	1.9	-0.33	-0.07	0.32
l <sub>e</sub> (cm)	29.7	1.4	28.4	2.2	29.8	0.8	29.3	1.6	0.27	-0.38	0.54
t (cm)	2.2a	0.4	1.6b	0.1	1.5b	0.2	1.8	0.4	-0.34	-0.81	0.02
V <sub>n</sub> (m <sup>3</sup> )	0.04a	0.01	0.02b	0.004	0.02b	0.01	0.02	0.01	-0.74	0.28	-0.30
σ <sub>ult</sub> (MPa)	30.0	5.2	31.5	4.2	28.6	2.6	30.0	4.1	-0.43	-0.05	-0.08
τ <sub>ult</sub> (MPa)	3.0	0.7	3.0	0.4	3.0	1.3	3.0	0.8	0.43	0.33	0.36
H (Shore)	58.6	4.9	60.9	0.9	60.8	2.1	60.1	3.1	0.0005	-0.73	0.21
ρ (g.cm <sup>-3</sup> )	0.7a	0.04	0.6b	0.02	0.6b	0.1	0.6	0.1	-0.06	0.31	-0.51
C <sub>v</sub> (%)	3.5	1.0	3.7	0.4	4.4	1.1	3.9	0.9	0.18	0.87	0.25
L <sub>i</sub> (%)	24.9b	1.7	27.9a	0.8	27.7a	1.5	26.8	1.9	0.76	-0.08	0.04
D <sub>a</sub> (g.cm <sup>-3</sup> )	0.7	0.2	0.7	0.1	0.8	0.1	0.7	0.1	-0.75	0.09	-0.05
P <sub>t</sub> (%)	68.4	7.0	71.3	4.9	67.0	4.1	68.9	5.5	0.43	0.41	0.51
DMP (mm)	2.2	0.6	2.7	0.5	2.6	0.2	2.5	0.5	-0.32	0.10	0.72
Fertilidad	5.7b	0.3	6.2a	0.4	5.5b	0.2	5.8	0.4	-0.60	0.47	0.19

DE = desviación estándar. Letras diferentes entre medias indican diferencias significativas (p&lt;0.05)

**Tabla 3.** Análisis de correlación entre las variables de masa y dendrométricas, las propiedades físico-mecánicas de los culmos de guadua y las variables físicas y químicas del suelo.

Variables	n	IC	I	d	le	t	Vn	σult	τult	H	ρ	Cv	Li	Da	Pt	DMP	Fertilidad
n	1.00	0.09	0.04	0.36	0.79	0.70	0.42	0.79	0.39	0.58	0.39	0.12	0.50	0.13	0.16	0.26	0.002
IC	-0.38	1.00	0.22	0.19	0.21	0.69	0.59	0.41	0.99	0.87	0.44	0.39	0.07	0.47	0.47	0.68	0.01
I	0.45	-0.28	1.00	0.0003	0.16	0.10	0.03	0.61	0.45	0.24	0.23	0.39	0.95	0.07	0.07	0.29	0.20
d	0.21	-0.30	0.71	1.00	0.92	0.32	0.11	0.51	0.21	0.82	0.54	0.96	0.56	0.09	0.10	0.36	0.36
le	0.06	0.28	0.31	-0.02	1.00	0.78	0.81	0.02	0.16	0.86	0.96	0.04	0.71	0.97	0.99	0.06	0.13
t	0.09	-0.09	0.37	0.23	-0.06	1.00	0.00	0.89	0.41	0.63	0.02	0.30	0.05	0.51	0.58	0.06	0.73
Vn	0.18	-0.12	0.48	0.36	-0.05	0.97	1.00	1.00	0.50	0.88	0.01	0.24	0.05	0.36	0.44	0.09	0.90
σult	0.06	-0.18	0.11	0.15	-0.52	-0.03	0.00		0.01	0.01	0.41	0.27	0.78	0.38	0.35	0.11	0.03
τult	-0.20	0.00	0.17	0.29	-0.32	0.18	0.15	0.59		0.33	0.97	0.75	0.48	0.61	0.57	0.14	0.17
H	0.13	-0.04	-0.27	-0.05	0.04	0.11	0.04	-0.59	-0.23		0.60	0.10	0.40	0.73	0.72	0.58	0.76
ρ	0.20	-0.17	0.27	0.14	0.01	0.52	0.59	-0.18	0.01	0.12		0.28	0.02	0.88	0.74	0.82	0.94
Cv	-0.35	-0.19	-0.19	-0.01	-0.47	-0.23	-0.26	0.25	0.07	-0.37	-0.24		0.66	0.78	0.71	0.68	0.95
Li	0.15	-0.41	-0.01	0.14	-0.08	-0.44	-0.43	0.06	-0.16	0.19	-0.54	0.10		0.61	0.76	0.11	0.11
Da	-0.34	0.16	-0.41	-0.37	0.01	-0.15	-0.20	-0.20	-0.11	0.08	0.03	-0.06	0.11		0.00	0.42	0.21
Pt	0.32	-0.16	0.41	0.37	0.00	0.12	0.17	0.21	0.13	-0.08	-0.07	0.08	-0.07	-1.00		0.46	0.21
DMP	0.26	-0.09	0.24	0.21	0.42	-0.43	-0.37	-0.35	-0.33	0.13	0.05	-0.09	0.36	0.18	-0.16		0.46
Fertilidad	0.64	-0.56	0.29	0.21	-0.34	-0.08	-0.03	0.47	0.31	-0.07	0.02	-0.01	0.36	-0.28	0.29	0.17	

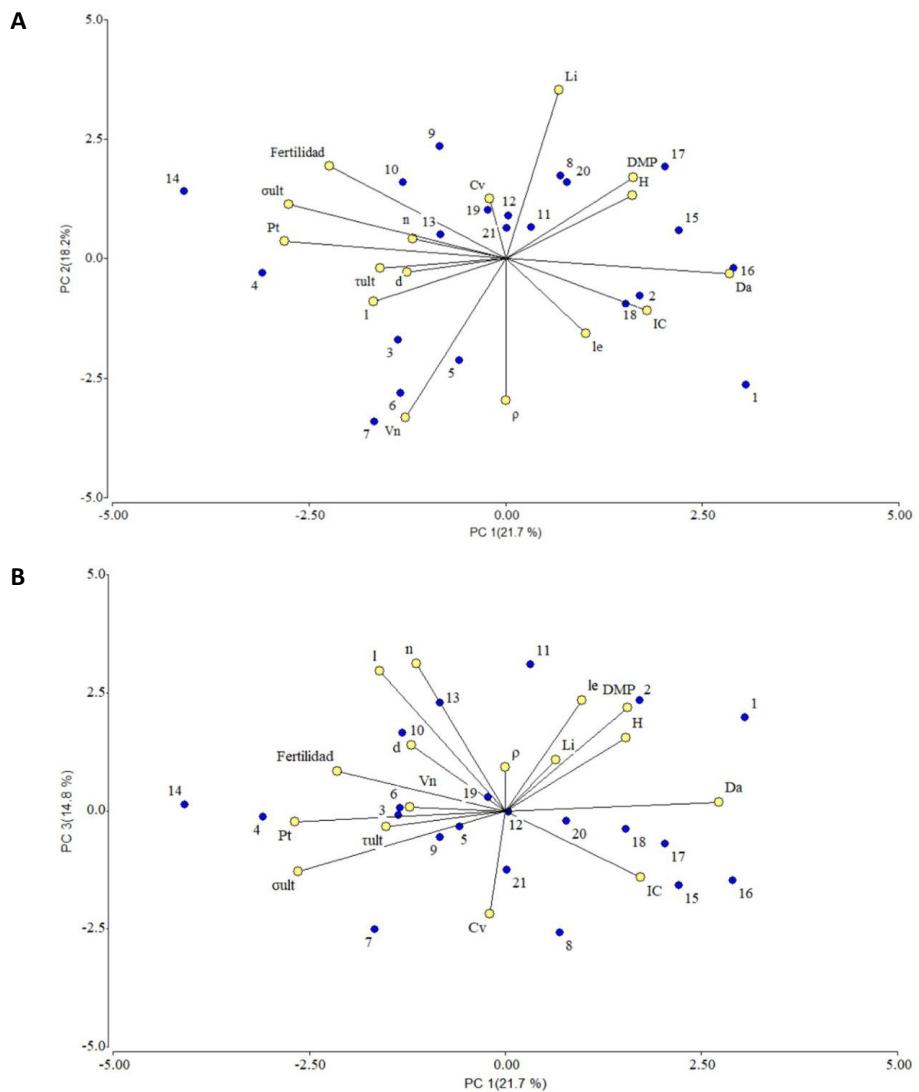
En contraste, el rodal 1, aunque presentó un alto volumen neto del culmo ( $Vn=0.04\text{ m}^3$ ), no mostró las mejores características físico-mecánicas ni las mejores condiciones de sitio. Esto resalta la relación —y su importancia— entre la fertilidad del suelo, la estructura de los agregados y la calidad de los culmos de guadua. Además, se encontraron otras relaciones significativas ( $p<0.05$ ) entre variables dendrométricas como el diámetro ( $d$ ), la longitud ( $l$ ) y el volumen neto ( $Vn$ ), así como entre propiedades físico-mecánicas como la resistencia a la compresión ( $oult$ ), la resistencia al corte ( $tult$ ) y la dureza ( $H$ ); y entre la densidad ( $\rho$ ) y el contenido de lignina ( $Li$ ) (Tabla 3). Estos resultados subrayan la influencia de las características del sitio en la calidad y productividad de los culmos analizados.

## Análisis multivariado

A partir del ACP se seleccionaron tres que explicaron el 55 % de la variabilidad total. Se obtuvo una correlación cofenética de 0.963, lo que indica que la reducción realizada fue apropiada. El primer componente dio cuenta del 22 % de la variabilidad total y mostró una mayor asociación con condiciones de baja fertilidad, baja porosidad total y alta densidad aparente, así como con culmos con valores bajos de resistencia a la compresión. El segundo componente, con una variabilidad total de 18 %, se asoció a mejores condiciones de fertilidad y a culmos con alto contenido de lignina, pero con baja densidad y volumen neto. El tercer componente (15 % de la variabilidad total) mostró una mayor influencia del DMP, con mayores valores para variables como el número total y la longitud de los culmos. Los valores de correlación entre las variables y los componentes principales se presentan en la Tabla 2. En cada componente fue posible evidenciar la relación entre las variables del suelo y aquellas que describen los bosques de guadua, ya sea en términos de productividad o de calidad.

La representación gráfica de los componentes (CP1 vs. CP2, Figura 1a) y (CP1 vs. CP3, Figura 1b) permite visualizar las variables con mayor contribución en la definición de los CP, incluyendo las parcelas de donde se genera la información que aporta variabilidad a los componentes, para así asociarlas a las variables con respecto a la posición de los CP.

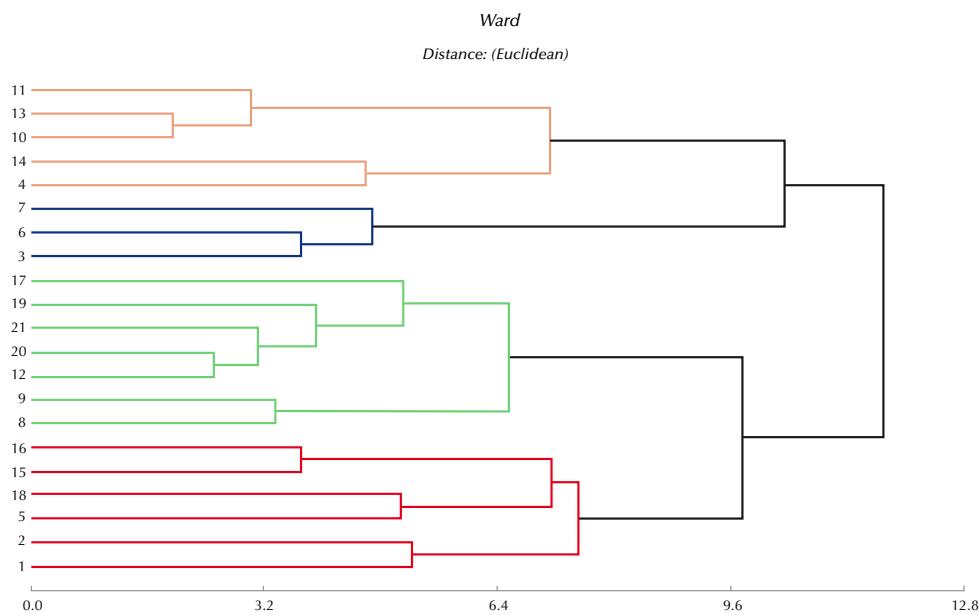
Del análisis de conglomerados resultaron cuatro grupos de parcelas que no necesariamente pertenecían a los mismos rodales, lo que permitió describir la variabilidad dentro de los rodales y agrupar los datos según las variables evaluadas en este análisis, con las agrupaciones representadas en la Figura 2. El primer conglomerado, con cinco parcelas (4, 10, 11, 13 y 14), corresponde a valores bajos en el CP1, pero altos en CP2 y CP3, lo que implicaría mayor productividad, mayores dimensiones de los culmos, mejores propiedades físico-mecánicas y alto contenido de lignina. El segundo conglomerado agrupó tres parcelas del rodal 1 (3, 6 y 7) que se asociaron a valores bajos en los tres CP y, por tanto, a culmos con valores altos de  $oult$  y  $\rho$  y un mayor  $Vn$ , pero con un  $n$  bajo y una menor  $l$ . El tercer conglomerado incluyó siete parcelas de los rodales 2 y 3 (8, 9, 12, 17, 19, 20 y 21) que presentaron valores medios para los tres componentes y para las variables que los definen. Finalmente, el cuarto conglomerado, con seis parcelas de los rodales 1 y 3 (1, 2, 5, 15, 16 y 18), mostró asociación con valores altos del CP1 y, por tanto, con culmos de valores bajos de  $oult$  en suelos con menor fertilidad y mayor Da.



**Figura 1.** Representación de las variables analizadas respecto al valor de los componentes principales (CP) incluyendo las parcelas de muestreo (1 a 7, rodal 1; 8 a 14, rodal 2; y 15 a 21, rodal 3). A) CP1 vs. CP2 y B) CP1 vs. CP3.

### Evaluación de la intensidad y frecuencia de la cosecha

Los escenarios de cosecha simulados mostraron diferentes posibilidades entre los rodales. Para el rodal 1, donde la IC estimada en el inventario fue del 18 %, el mejor escenario correspondió a un valor del 20 % y a una FC de 12 meses, resultando en un promedio cosechado de 366 culmos. $\text{ha}^{-1}$ . En el rodal 2, con un estimado inicial del 15 %, el mejor escenario fue una IC del 25 % y una FC de 12 meses, permitiendo la cosecha de un promedio de 496 culmos. $\text{ha}^{-1}$ . En el rodal 3, cuyo número de culmos ( $n$ ) fue el más bajo entre los tres rodales (3657 culmos. $\text{ha}^{-1}$ ), los diferentes escenarios evaluados mostraron respuestas que hacen poco viable su manejo, pues se requiere ampliar mucho la frecuencia (hasta 36 meses) y aplicar una IC del 5 %, la cual es muy baja e insostenible en el tiempo.



**Figura 2.** Las parcelas de muestreo (1 a 7, rodal 1; 8 a 14, rodal 2; y 15 a 21, rodal 3). a) CP1 vs. CP2 y b) CP1 vs. CP3.

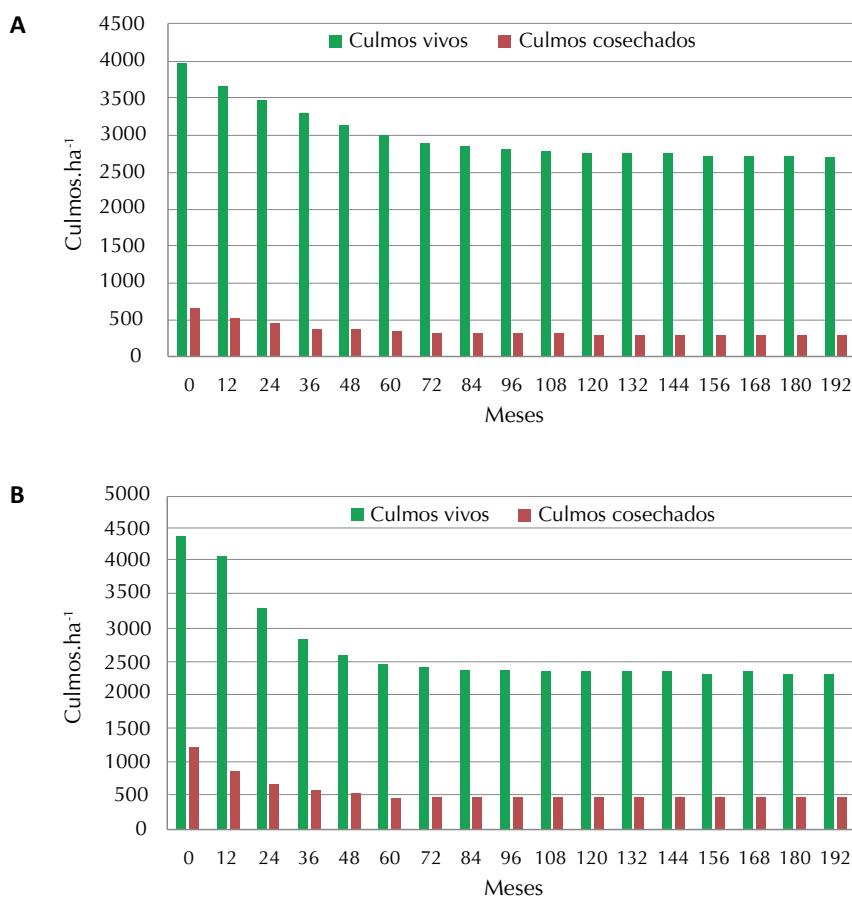
La [Tabla 4](#) presenta información sobre los tres escenarios de cosecha para cada rodal, incluyendo el promedio de culmos vivos remanentes después de la cosecha y el promedio de culmos cosechados por hectárea. En la columna de observaciones se hace referencia a la posible situación que podría resultar de la aplicación de la cosecha, y se considera un rango de entre 2500 y 3000 culmos vivos por hectárea como el equilibrio ecológico que podría permitirla. Es importante enfatizar que la cosecha debe ser de culmos que ya han alcanzado su madurez.

La variable de referencia para el equilibrio ecológico es el número de culmos vivos por hectárea, donde se espera estabilidad en el valor a lo largo del tiempo, dentro del rango definido. En las [Figuras 3a](#) y [3b](#) se puede observar el comportamiento simulado de los rodales 1 y 2 a través del tiempo para los escenarios considerados viables.

**Tabla 4.** Escenarios de cosecha simulados: culmos vivos remantes y cosechados

R	E	FC (meses)	IC (%)	PCVR / ha	PPC/ha	Observación
1	1	12	18	3197 ( $\pm 324$ )	340 ( $\pm 86$ )	Subexplotación
	2	12	20	3108 ( $\pm 334$ )	366 ( $\pm 98$ )	Equilibrio
	3	12	25	2899 ( $\pm 363$ )	423 ( $\pm 130$ )	Sobreexplotación
2	1	12	15	3940 ( $\pm 366$ )	350 ( $\pm 86$ )	Subexplotación
	2	12	25	3411 ( $\pm 413$ )	496 ( $\pm 163$ )	Equilibrio
	3	12	35	3169 ( $\pm 446$ )	548 ( $\pm 207$ )	Sobreexplotación
3	1	18	21	1978 ( $\pm 275$ )	265 ( $\pm 86$ )	Sobreexplotación
	2	18	15	2100 ( $\pm 277$ )	201 ( $\pm 59$ )	Sobreexplotación
	3	36	5	2347 ( $\pm 278$ )	79 ( $\pm 20$ )	Sobreexplotación

R = rodal, E = escenario, PCVR = promedio de culmos vivos remanentes, PCC = promedio de culmos cosechados

**Figura 3.** Culmos vivos y cosechados simulados:

A) rodal 1, con 20 % de IC y 12 meses de FC; B) rodal 2, con 25 % de IC y 12 meses de FC

## DISCUSIÓN

Los resultados presentados destacan la importancia de las variables de calidad del sitio, *i.e.*, la fertilidad del suelo y el DMP, como factores determinantes en la productividad y la calidad en los rodales de *Guadua angustifolia*. El concepto de *equilibrio ecológico* es fundamental para el manejo sostenible de estos bosques, considerándose un rango de 2500-3000 culmos vivos por hectárea como el óptimo para mantener la estabilidad del ecosistema y permitir la cosecha sostenible. Este equilibrio es esencial para garantizar la regeneración natural, la conservación de la biodiversidad asociada y la provisión continua de servicios ecosistémicos.

El mecanismo mediante el cual estos factores edáficos influyen en el desarrollo de los culmos puede explicarse a través de la fertilidad del suelo, la cual, caracterizada por la disponibilidad de nutrientes esenciales, tiene un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Un suelo fértil proporciona los elementos necesarios para la síntesis de compuestos estructurales y funcionales en la planta, lo que se traduce en un mayor número de culmos y mejores propiedades físico-mecánicas (Díaz *et al.*, 2023). Asimismo, la estructura

del suelo, reflejada en el DMP, influye en la capacidad de retención de agua, la aireación y la penetración de las raíces. Un mayor DMP indica agregados más estables y un mejor espacio poroso, lo que facilita el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes y agua, y resulta en una mejor distribución de los recursos para la planta ([Duarte Toro et al., 2016](#)).

La importancia observada en las diferencias significativas ( $p<0.05$ ) y en las correlaciones entre variables ambientales y de calidad de los culmos y del sitio ([Tablas 2 y 3](#)) subrayan la heterogeneidad en los rodales, lo que puede influir en el crecimiento y desarrollo del bambú ([Lizarazo et al., 2020](#)). La mayor fertilidad del suelo y el mayor tamaño de los agregados (DMP) se observó en el rodal 2 y se asoció a un mayor número total de tallos, una mayor resistencia a la compresión y mejor productividad general y calidad de la materia prima ([Ares, 1993](#)).

Por el contrario, si bien el rodal 1 presentó un alto volumen neto de culmos, no mostró las mejores características físico-mecánicas en sus culmos y suelo, lo que enfatiza el papel crucial de la fertilidad y la estructura de los agregados (DMP) en la calidad de los culmos de guadua ([Lizarazo et al., 2020](#); [Maya et al., 2017](#)). Además, se encontraron relaciones significativas entre variables dendrométricas como el diámetro, la longitud y el volumen neto, así como entre las propiedades físico-mecánicas de resistencia a la compresión, la resistencia al corte, la dureza y la densidad, lo que resalta aún más la naturaleza interconectada de estos factores en los rodales de bambú ([Tabla 3](#)).

Los resultados sugieren que la calidad del sitio, en particular la fertilidad del suelo y la estructura de los agregados (DMP), es determinante en la productividad de los rodales de guadua y las características de los culmos ([Lizarazo et al., 2020](#); [Maya et al., 2017](#)). Mejorar nuestra comprensión de estas relaciones puede contribuir a estrategias de gestión más informadas para mejorar la producción y la calidad de la biomasa de guadua, siempre manteniendo el equilibrio ecológico necesario para la sostenibilidad del ecosistema.

Si bien estudios en la región reportan tamaños promedio de rodales (7-10 ha) mayores al valor de 2.9 ha encontrado por [Kleinn y Morales-Hidalgo \(2006\)](#), e incluso superiores al promedio de 7.9 ha citado por [Camargo y Cardona \(2005\)](#), esta variabilidad en tamaño plantea desafíos y oportunidades para el manejo sostenible. Rodales de mayor tamaño podrían facilitar la implementación de prácticas de manejo a escala, siempre y cuando se consideren las características específicas del sitio y las condiciones edafoclimáticas locales.

Por otro lado, las variables evaluadas en los rodales se encuentran dentro de los rangos registrados en estudios anteriores ([Ospina, 2002](#); [Camargo, 2006](#); [García & Camargo, 2010](#); [Maya et al., 2017](#)). No obstante, se observó una alta variabilidad al interior de los rodales, la cual puede atribuirse a cambios en los patrones de distribución de los culmos ([Camargo, 2006](#)) y a la influencia de variables del sitio como la elevación, la pendiente y la exposición solar, que afectan factores como el agua y la temperatura ([Banik, 2015](#)).

Otra condición que puede incrementar la variabilidad en los rodales o en las condiciones ambientales es la ubicación de los rodales a lo largo de pequeños drenajes, con variaciones topográficas que implican probables cambios en las características del suelo. Esto puede incidir en el desarrollo de los culmos y se observa en los análisis de correlación, mostrando las relaciones existentes entre la fertilidad del suelo y parámetros como

el DMP, el número de culmos por hectárea ( $n$ ) y la resistencia a la compresión ( $\sigma_{ult}$ ). Aunque la fertilidad se encuentra en un rango moderado para todos los rodales ([Ortega, 1995](#)), se observaron valores más altos de  $Li$ ,  $n$  y  $\sigma_{ult}$  en el rodal con mejores condiciones edáficas.

En el ACP se corroboraron las relaciones previamente identificadas mediante análisis univariados. La representación gráfica de los componentes principales permitió visualizar claramente cómo se agrupan las parcelas con base en características compartidas. Se identificaron asociaciones positivas entre variables clave como el número de culmos por hectárea, la longitud de los culmos, la resistencia a la compresión, el contenido de lignina, y la densidad y volumen neto. Estas correlaciones sugieren que las parcelas con mejor productividad también presentan mejores propiedades físico-mecánicas de los culmos, indicando la influencia conjunta de las condiciones edáficas sobre múltiples dimensiones del rendimiento del rodal. Esto facilitó la identificación de patrones de cambio dentro de los rodales, los cuales se atribuyeron principalmente a factores edáficos como la fertilidad y la estructura de los suelos, lo que a su vez proporcionó información valiosa para la toma de decisiones de manejo a escala de finca, complementando estudios previos que abordaron patrones de cambio en áreas geográficas más amplias ([Ospina, 2002](#); [García, 2004](#)).

El análisis de conglomerados reveló patrones que reflejan la heterogeneidad ecológica y productiva de los rodales de guadua estudiados. Los cuatro grupos formados representan diferentes combinaciones de características edáficas y de los culmos, sugiriendo una variabilidad significativa dentro y entre los rodales. Cada conglomerado refleja condiciones específicas, desde sitios óptimos con alta productividad y calidad de culmos hasta áreas con recursos limitados o condiciones edáficas menos favorables. La distribución de parcelas de diferentes rodales en los mismos conglomerados indica que la variabilidad intra-rodal puede ser tan significativa como la variabilidad entre rodales. Esto subraya la importancia de considerar la heterogeneidad espacial en el manejo de los guaduales, ya que las prácticas uniformes pueden no ser apropiadas para todas las áreas de un mismo rodal. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han destacado la importancia de la variabilidad espacial en el manejo forestal sostenible ([Binkley et al., 2013](#)).

Los escenarios de simulación de cosecha revelaron diferentes posibilidades de manejo para los tres rodales, las cuales solo eran recomendables para dos de ellos (1 y 2) según los criterios de equilibrio ecológico establecidos ([Camargo, 2006](#); [Morales, 2007](#)). Estos escenarios viables permiten una cosecha potencial de 7327 culmos maduros por año, considerando las 17 ha disponibles en los rodales 1 y 2. La cosecha de culmos maduros es preferible para aplicaciones estructurales y puede mejorar la resistencia del rodal ante eventos de volcamiento ([Rodríguez et al., 2010](#); [Zhou et al., 2011](#); [Nölke et al., 2016](#)).

Para el rodal 3, se recomienda una estrategia de recuperación enfocada en aumentar la densidad de culmos, en aras de alcanzar niveles que permitan su integración en futuras cosechas bajo criterios de equilibrio ecológico. Esta aproximación basada en datos permitirá tomar decisiones informadas y evitar la sobreexplotación del recurso.

Así las cosas, este estudio proporciona valiosas percepciones sobre la variabilidad entre rodales de *Guadua angustifolia* en la zona cafetera colombiana. Sin embargo, es importante reconocer algunas limitaciones que podrían afectar la aplicabilidad de los resultados en otros contextos. Las condiciones edafoclimáticas

específicas de la región estudiada, como los suelos inceptisoles de fertilidad moderada y el clima particular del Eje Cafetero, podrían no ser representativas de otras zonas con guaduales. Además, la respuesta de *Guadua angustifolia* a estas condiciones podría diferir de la de otras especies de bambú. Este estudio no realizó una exploración completa de factores como la altitud, los patrones de precipitación y las variaciones microclimáticas, lo que podría limitar la extrapolación de los resultados a áreas con características ambientales significativamente diferentes. Las investigaciones futuras deberían considerar un rango más amplio de condiciones ambientales y posiblemente incluir otras especies de bambú para desarrollar modelos más robustos y aplicables a diversos contextos ecológicos y productivos.

## CONCLUSIONES

Esta investigación sobre los guaduales de la zona cafetera colombiana reveló una notable variabilidad en productividad y calidad de culmos, influenciada por condiciones edafoclimáticas y prácticas de manejo. Se identificaron correlaciones entre la fertilidad del suelo, el DMP y los parámetros de calidad de los culmos. El análisis estadístico permitió establecer cuatro grupos de sitios con características distintivas, proporcionando una base para decisiones de manejo específicas. Se determinó un régimen de cosecha viable de 431 culmos.ha<sup>-1</sup> cada 12 meses, equilibrando la productividad y la conservación del ecosistema.

Los hallazgos contribuyen significativamente al manejo sostenible de *Guadua angustifolia*, ofreciendo herramientas para optimizar la producción, mejorar la calidad de los culmos y conservar estos ecosistemas. Se recomienda implementar programas de monitoreo a largo plazo para evaluar la respuesta de los guaduales a diferentes prácticas y condiciones ambientales cambiantes. Es crucial ajustar las prácticas de manejo a las condiciones específicas del sitio, especialmente considerando las limitaciones observadas en el rodal 3. Por lo tanto, se recomienda implementar programas de monitoreo a largo plazo para evaluar cómo responden los guaduales a diferentes prácticas de cosecha y a condiciones ambientales cambiantes.

Este estudio resalta el papel de la guadua como recurso económico y elemento clave en la conservación de biodiversidad y los servicios ecosistémicos, subrayando la importancia de su manejo integral y sostenible en la región cafetera colombiana.

## CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

J.C.G.C. y J.D.F.S. contribuyeron al diseño de la investigación y los cálculos correspondientes. J.D.F.S. y J.A.R. contribuyeron a los muestreos de suelos y de los guaduales. Los tres autores contribuyeron a la redacción y el ajustes del documento.

## REFERENCIAS

- Ares, A.** (1993). Application of multivariate analysis to site quality evaluation for coniferous plantations. *South African Forestry Journal*, 167(1), 27-34.  
<https://doi.org/10.1080/00382167.1993.9629408>
- Banik, R. L.** (2015). Bamboo silviculture. En M. K. W. Liese (Ed.), *Bamboo, The Plant and its Uses. Tropical Forestry 10* (pp. 113-174). Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- Binkley, D., Campoe, O. C., Gspaltl, M., & Forrester, D. I.** (2013). Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. *Forest Ecology and Management*, 288, 5-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.002>
- Boissière, M., Beyessa, M., & Atmadja, S.** (2019). *Guiding principles for sustainable bamboo forest management planning: Benishangul-Gumuz Regional State (BGRS)*. FAO.
- Buckingham, K. C., Wu, L., & Lou, Y.** (2014). Can't see the (bamboo) forest for the trees: Examining bamboo's fit within international forestry institutions. *AMBIO*, 43(6), 770-78.  
<https://doi.org/10.1007/s13280-013-0466-7>
- Bysthakova, N., Kapos, V., Stapleton, C., & Lysenko, I.** (2003). *Bamboo biodiversity: Information for planning conservation and management in the Asia-Pacific region*. UNEP-WCMC/INBAR.
- Camargo, J. C.** (2006). *Growth and productivity of the bamboo species Guadua angustifolia Kunth in the coffee region of Colombia* [PhD thesis, Universität Göttingen].
- Camargo, J. C., & Cardona, G.** (2005). *Análisis de fragmentos de bosque y guaduales; enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas*. CIPAV, CATIE, Banco Mundial, GEF, LEAD.
- Camargo, J. C., Dossman, M. A., Cardona, G., García, J. H., & Arias, L. M.** (2007a). *Zonificación detallada del recurso guadua en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca*. Postergraph S.A.
- Camargo, J. C., García, J. H., & Morales, T.** (2007b). *Bases para la planificación y manejo silvicultural de bosques de guadua. Una aplicación a nivel de finca en la zona cafetera de Colombia*. Postergraph S.A.
- Camargo, J. C., Morales, T., & García, J. H.** (2007c). *Mensura e inventario forestal para la planificación y manejo sostenible de bosques de guadua*. Postergraph S.A.
- Camargo, J. C., Morales, T., & García, J. H.** (2008). *Términos de referencia para la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible de guadales*. Gobernanza Forestal – Proyectos Bosques FLEGT/Colombia.

**Casanoves, F., Balzarini, M. G., di Rienzo, J. A., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W.** (2012). *InfoStat. User's manual.*

<https://es.scribd.com/document/269781979/Manual-Infostat-Eng>

**Clark, L. G., Londoño, X., & Ruiz-Sánchez, E.** (2015). Bamboo taxonomy and habitat. En W. Liese & M. Köhl (Eds.), *Bamboo, The Plant and its Uses. Tropical Forestry* (pp. 1-30). Springer.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>

**Congreso de Colombia** (2022). Ley 2206 de 2022, por medio de la cual se incentiva el uso productivo de la guadua y el bambú y su sostenibilidad ambiental en el territorio nacional. Diario Oficial No. 52.037.

<https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes%2F30044204>

**di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W.** (2019). *InfoStat/Free*. Universidad Nacional de Córdoba.

<https://www.infostat.com.ar>

**Díaz, A., Cabrera, M., Mendoza, A., Torres, V., Júarez, A., García, A., & Sandoval, A.** (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 41, e1646.

<https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1646>

**Duarte Toro, M., López, G. A., & Campos, M. C.** (2016). Factores edáficos asociados a las propiedades mecánicas de la Guadua angustifolia. *Ingeniería y Región*, 15, 9.

<https://doi.org/10.25054/22161325.1175>

**Ferreira, E., Kalliola, R., & Ruokolainen, K.** (2019). Bamboo, climate change and forest use: A critical combination for southwestern Amazonian forests? *AMBIO*, 49, 1353-1363.

<https://doi.org/10.1007/s13280-019-01299-3>

**García, J. H.** (2004). Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (*Guadua angustifolia Kunth*), orientada a satisfacer las necesidades del mercado [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira].

**García, J. H., & Camargo, J. C.** (2010). Condiciones de calidad de *Guadua angustifolia* para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 67-76.

<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8444>

**ISO** (2004). *Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 1: Requirements* (22157-1). ISO.

**Judziewicz, E., Clark, L., Londoño, X., & Stern, M.** (1999). *American bamboos*. Smithsonian Institution Press.

**Kleinn, C., & Morales-Hidalgo, D.** (2006). An inventory of guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. *European Journal of Forest Research*, 4(125), 361-368.

<https://doi.org/10.1007/s10342-006-0129-3>

**Lizarazo, K., Álvarez, J., & Pachón, M.** (2020). Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de Guadua angustifolia Kunth en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia) Introducción. *Revistas Ciencias Agropecuarias*, 6(2), 9-20.  
<https://doi.org/10.36436/24223484.265>

**Londoño, X.** (2011). El bambú en Colombia. *Biotecnología Vegetal*, 11(3), 143-154.  
<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/485/882>

**Maya, J. M., Camargo, J. C., & Mosquera, O. M.** (2017). Características de los culmos de guadua de acuerdo al sitio y su estado de madurez. *Colombia Forestal*, 20(2), 171-180.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06>

**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible** (2016). *Resolución 1740*.  
<https://www.ica.gov.co/getattachment/d5d75826-23c4-4b35-8620-37acb8df3d5c/2017R17463.aspx>

**Montenegro, H., & Malagón, D.** (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Editorial I. G. A. Codazzi.

**Moonlight, P., Banda-r, K., Phillips, O. L., Dexter, K. G., Toby, R., Baker, T. R., de Lima, H. C., Fajardo, L., Linares-Palomino, R., Lloyd, J., Nascimento, M., Quintana, C., Riina, R., M, G. M. R., Villela, D. M., Aquino, A. C. M. M., Arroyo, L., Bezerra, C., Brunello, A. T., ... Veenendaal, E.** (2020). Expanding tropical forest monitoring into dry forests: The DRYFLOR protocol for permanent plots. *Plants, People, Planet*, 3(3), 295-300.  
<https://doi.org/10.1002/ppp3.10112>

**Morales, M., Morales, T., & Camargo, J. C.** (2008). *SilvGuadua: hoja de excel para estimar el régimen de cosecha de guadua en guaduales naturales*. Universidad Tecnológica de Pereira.

**Morales, T.** (2007). Implementación del modelo Silvcamark en operaciones forestales de guadua en proceso de certificación forestal voluntaria. *Scientia et Technica Año XIII*, 34, 601-606.

**Muñoz, D. A.** (2020). *Análisis comparativo de la dinámica de cobertura de bosques de guadua angustifolia Kunth mediante imágenes Landsat, en las cuencas bajas de los ríos Otún y Consota, Pereira – Colombia entre 1989 y 2020*. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Manizales].

**Nölke, N., Camargo García, J. C., Kleinn, C., & Polle, A.** (2016). Changes in culm surface temperature with maturity of the bamboo species Guadua angustifolia. *Journal of Forestry Research*, 27(2), 419-425.  
<https://doi.org/10.1007/s11676-015-0152-7>

**NTC** (2007). *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth* (NTC 5525). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec).

**Ortega, D.** (1995). Consideraciones generales para interpretar análisis de suelos. En D. Malagón, C. Chamorro, J. Fernández, & R. Llinás (Eds.), *Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso* (p. 424). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

**Ospina, R.** (2002). *Factores que determinan las características florísticas y estructurales de los fragmentos dominados por Guadua angustifolia Kunth en el eje cafetero colombiano y su relación con el aprovechamiento de guadua* [Tesis de maestría, CATIE].

**Porbounmixaithor, H., Huynh, P., Herchuechang, A., Saengmany, B., Éditions, S. M., & Gret, D.** (2017). *Community-based management of natural bamboo forests Practical Guideline*. Publisher Gret.

**Rabik, A., & Brown, B.** (2014). *Towards resilient bamboo forestry. A reference guide for improved management of clumping bamboo for timber bamboo*. Linda Garland.

**Ramírez-Díaz, F., & Camargo, J. C.** (2019). Floristic structure and composition of guadua forests in the Colombian coffee region. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 49, 1-8.

<https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955425>

**Rodríguez, J. A., Sepúlveda, I. C., García, J. C. C., & Quintero, J. H. G.** (2009). Soil and nutrient loss under different vegetation covers in Colombia's Andean region. *Acta Agronomica, Universidad Nacional de Colombia*, 58(3), 160-166.

[https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/11510](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/11510)

**TAPPI** (2006). *T 222 om-06. Acid-insoluble lignin in wood and pulp*. Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

**Zhao, C., Zhao, J., Wu, J., Classen, A. T., Li, Y., Lou, Y., Zhang, W., Jing, X., Shao, Y., & Fu, S.** (2019). Bamboo forest management leads to a shift in the soil energy channel. *Geoderma*, 353, 201-203.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.001>

**Zhou, B., Li, Z., Wang, X., Cao, Y., An, Y., Deng, Z., Letu, G., Wang, G., & Gu, L.** (2011). Impact of the 2008 ice storm on moso bamboo plantations in southeast China. *Journal of Geophysical Research*, 116(1), G00H06.

<https://doi.org/10.1029/2009JG001234>

