

Variación axial de propiedades físicas de *Bambusa longispiculata* y *Gigantochloa apus* en la amazonia peruana

Axial variation of physical properties of *Bambusa longispiculata* and *Gigantochloa apus* in the Peruvian Amazon

Geronimo-Macedo, Fiorella Lynn¹; Pecho-de la Cruz, Robert Gilbert²; Santos-Flores, Cleide³; Ochoa-Cuya, Ricardo⁴; Daza-Panduro, Gunter⁵.

Recibido: 15/06/2026

Aceptado: 02/07/2026

Publicado: 31/07/2026

Cita: Geronimo-Macedo, F. L., Pecho-de la Cruz, R. G., Santos-Flores, C., Ochoa-Cuya, R., & Daza-Panduro, G. (2026). Variación axial de propiedades físicas de *Bambusa longispiculata* y *Gigantochloa apus* en la amazonia peruana. *Space Scientific Journal of Multidisciplinary*, 4(3), 1-22. <https://doi.org/10.63618/omd/ssjm/v4/n3/77>

Resumen

El estudio evaluó la variación axial de las propiedades físicas de *Bambusa longispiculata* y *Gigantochloa apus* procedentes de Tingo María, Amazonía peruana. Se seleccionaron cinco culmos maduros por especie y se obtuvieron probetas de los niveles base, medio y ápice, siguiendo criterios de la NTC 5525 y la NTC 5300. Se determinaron la humedad saturada, la densidad básica y las contracciones tangencial, radial y longitudinal. La humedad saturada fue mayor en la base y disminuyó hacia el ápice, con valores máximos en *Gigantochloa apus* base (79.602 %) y menores en el ápice de ambas especies. La densidad básica mostró variaciones moderadas, con valores entre 0.657 y 0.770 g/cm³. Las contracciones presentaron un claro gradiente axial descendente, con mayores valores en la base y menores en el ápice, especialmente en las contracciones radial y tangencial. El agrupamiento jerárquico diferenció principalmente los grupos por nivel de altura, antes que por especie. Se concluye que la posición axial del culmo condiciona de manera importante la estabilidad dimensional, por lo que la selección del material debe considerar el nivel del culmo y no únicamente la especie.

Palabras clave: bambú; contenido de humedad; densidad básica; estabilidad dimensional; propiedades físicas.

Abstract

This study evaluated the axial variation of the physical properties of *Bambusa longispiculata* and *Gigantochloa apus* from Tingo Maria, Peruvian Amazon. Five mature culms per species were selected, and specimens were obtained from the base, middle and apex levels, following NTC 5525 and NTC 5300 criteria. Saturated moisture content, basic density and tangential, radial and longitudinal shrinkage were determined. Saturated moisture content was higher at the base and decreased toward the apex, with the highest value recorded in the base of *Gigantochloa apus* (79.602%) and lower values at the apex of both species. Basic density showed moderate variation, ranging from 0.657 to 0.770 g/cm³. Shrinkage showed a clear decreasing axial gradient, with higher values at the base and lower values at the apex, especially for radial and tangential shrinkage. Hierarchical clustering mainly separated groups according to height level rather than species. It is concluded that the axial position of the culm strongly affects dimensional stability; therefore, material selection should consider the culm level and not only the species.

Keywords: bamboo; basic density; dimensional stability; moisture content; physical properties.

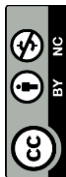
¹ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; <https://orcid.org/0009-0008-0076-6176>; fiorella.geronimo@unas.edu.pe

² Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; <https://orcid.org/0000-0002-6675-4441>; robert.pecho@unas.edu.pe

³ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; <https://orcid.org/0000-0001-6810-0604>; cleide.santos@unas.edu.pe

⁴ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; <https://orcid.org/0000-0002-5612-5422>; ricardo.cohoa@unas.edu.pe

⁵ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; <https://orcid.org/0009-0005-6809-6859>; gunter.dazap@unas.edu.pe



1. Introducción

El bambú es un recurso lignocelulósico renovable de creciente interés científico y tecnológico por su rápido crecimiento, disponibilidad en regiones tropicales y potencial para sustituir parcialmente materiales maderables convencionales en aplicaciones constructivas, industriales y de valor agregado. Sin embargo, su incorporación eficiente en cadenas productivas requiere información técnica precisa sobre sus propiedades físicas, debido a que estas condicionan el secado, la estabilidad dimensional, la transformación y el desempeño del material durante su uso. Revisiones recientes coinciden en que el aprovechamiento del bambú depende de la estandarización de sus propiedades, métodos de tratamiento y criterios de selección según especie y condición del culmo (Adier et al., 2023; Madhushan et al., 2023).

A diferencia de la madera convencional, el culmo de bambú presenta una estructura anatómica heterogénea, con variaciones en espesor de pared, distribución de haces vasculares, proporción de fibras y tejido parenquimático desde la base hacia el ápice. Esta condición genera variación axial en sus propiedades físicas, por lo que no resulta adecuado asumir que todo el culmo posee comportamiento uniforme. En la Amazonía peruana, Portal-Cahuana et al. (2023) demostraron que las propiedades físicas y anatómicas de *Bambusa vulgaris*, *Gigantochloa apus* y *Guadua weberbaueri* varían entre especies y posiciones axiales, confirmando que la calidad tecnológica del material depende de la sección evaluada.

El contenido de humedad constituye una variable crítica porque el bambú es un material higroscópico, capaz de absorber y perder agua según las condiciones ambientales. Esta variación influye en el secado, transporte, almacenamiento, preservación y susceptibilidad al deterioro biológico. Mou et al. (2022) evidenciaron que el bambú responde de forma anisotrópica a la absorción y desorción de humedad, con cambios dimensionales más evidentes en las direcciones transversales que en la longitudinal. Por ello, conocer la humedad por nivel del culmo permite anticipar diferencias en el comportamiento del material y orientar mejores criterios de acondicionamiento.

La densidad básica también es una propiedad fundamental, debido a que expresa la relación entre la masa seca y el volumen verde o saturado del material. En bambú, esta variable se asocia con la proporción de tejido fibroso, la compactación de los haces vasculares y la aptitud potencial para usos estructurales, industriales o artesanales. La norma ISO 22157:2019 considera la determinación de humedad y densidad dentro de los procedimientos necesarios para establecer propiedades físicas y mecánicas de culmos de bambú con fines científicos, comerciales y de diseño estructural (International Organization for Standardization [ISO], 2019).

Las contracciones tangencial, radial y longitudinal complementan la caracterización física porque permiten estimar la estabilidad dimensional frente a la pérdida de humedad.

Durante el secado, las diferencias entre direcciones anatómicas pueden generar deformaciones, rajaduras, alabeos o tensiones internas, afectando la calidad final del material. Awotwe-Mensah et al. (2023), al estudiar *Bambusa vulgaris*, reportaron que las propiedades físicas y el comportamiento de secado varían según edad y sección del culmo, mientras que Zhang et al. (2022) encontraron que la humedad, densidad básica y contracciones de *Thyrsostachys oliveri* cambian con la posición del culmo.

La problemática central radica en que el uso tecnológico del bambú en la Amazonía peruana avanza más rápido que la disponibilidad de información experimental específica para cada especie. Aunque existen estudios sobre *Gigantochloa apus* y otros bambúes amazónicos, la información verificable sobre *Bambusa longispiculata* continúa siendo limitada en bases científicas abiertas. Esta brecha restringe la posibilidad de definir con precisión qué secciones del culmo presentan mejores condiciones de humedad, densidad básica y estabilidad dimensional, información necesaria para orientar el secado, la selección de material y su transformación en productos con valor agregado.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la variación axial de las propiedades físicas de *Bambusa longispiculata* y *Gigantochloa apus* en Tingo María, Amazonía peruana, mediante la determinación de la humedad saturada, densidad básica y contracciones tangencial, radial y longitudinal en diferentes niveles del culmo. El aporte principal consiste en generar evidencia experimental local para orientar la caracterización tecnológica y el uso racional de estas especies como materiales lignocelulósicos tropicales.

2. Materiales y Métodos

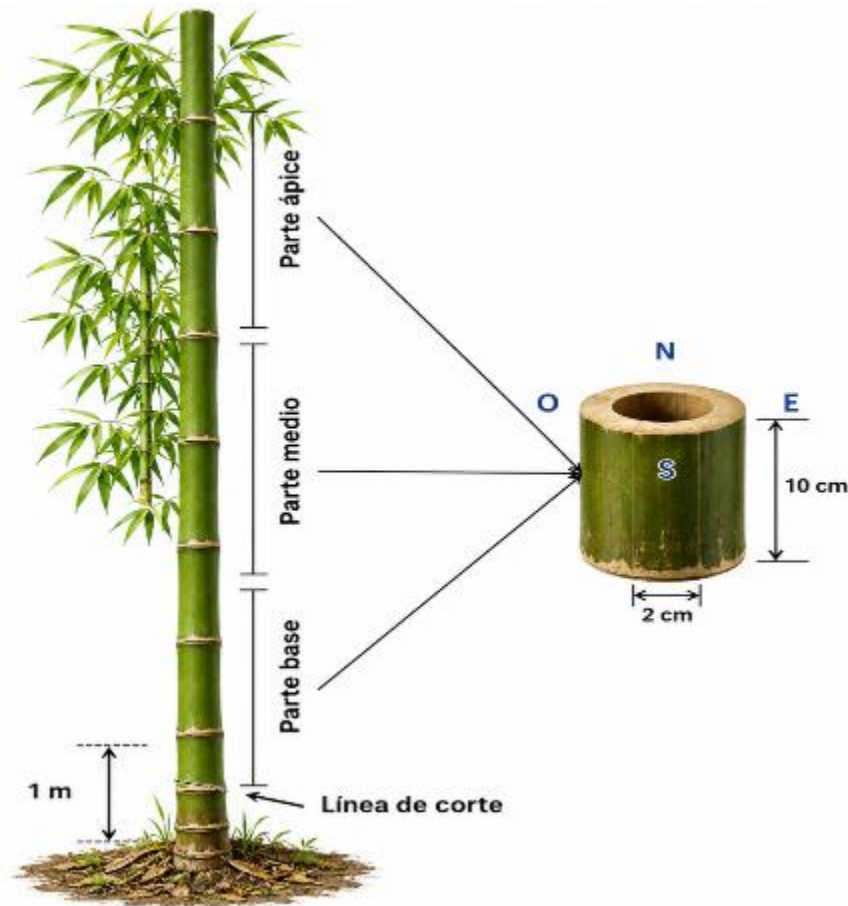
Área de estudio y material vegetal

La investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Tingo María, Huánuco, Perú. Los culmos de *Gigantochloa apus* y *Bambusa longispiculata* fueron extraídos del Bosque Reservado de la UNAS; la obtención de probetas se efectuó en el Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal, y las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal.

Se seleccionaron cinco culmos maduros por especie, considerando individuos rectos, sanos, sin daños patológicos, sin quiebres ni defectos visibles. El corte inicial se realizó a 1 m sobre el nivel del suelo y cada culmo se dividió en tres niveles axiales: base, medio y ápice. De cada nivel se obtuvo un anillo de 10 cm, del cual se prepararon probetas de 2 cm × 10 cm × espesor de pared, distribuidas según las orientaciones norte, sur, este y oeste (Figura 1). La selección y preparación se realizó siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 y los criterios de corte y seccionamiento establecidos en la NTC 5300 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2007, 2008).

Figura 1.

Esquema de seccionamiento axial del culmo y obtención de probetas para la evaluación de propiedades físicas.



Determinación de humedad saturada

Las probetas fueron pesadas en condición saturada y posteriormente secadas gradualmente en estufa desde 30 °C hasta 103 ± 2 °C, hasta alcanzar masa constante. Luego fueron colocadas en desecador durante 15 min y pesadas nuevamente para registrar la masa seca al horno. La humedad saturada se calculó mediante la siguiente fórmula editable:

$$CH_s = [(P_h - P_{sh}) / P_{sh}] \times 100$$

donde CH_s es el contenido de humedad saturada (%), P_h es el peso húmedo o saturado y P_{sh} es el peso seco al horno.

Determinación de densidad básica

La densidad básica se determinó con el peso seco al horno y el volumen húmedo de cada probeta. El volumen húmedo se obtuvo mediante desplazamiento de agua, aplicando el principio de Arquímedes. La densidad básica se calculó con la siguiente fórmula editable:

$$DB = P_{sh} / V_h$$

donde DB es la densidad básica (g/cm³), P_{sh} es el peso seco al horno (g) y V_h es el volumen húmedo o saturado (cm³).

Determinación de contracciones tangencial, radial y longitudinal

Para las contracciones, se midieron las dimensiones tangencial, radial y longitudinal de cada probeta en condición húmeda y luego en condición seca al horno. Las mediciones longitudinales se realizaron con vernier digital, mientras que las mediciones tangenciales y radiales se realizaron con micrómetro. Las contracciones totales se calcularon mediante las siguientes fórmulas editables:

$$CT_t = [(D_{th} - D_{tsh}) / D_{th}] \times 100$$

donde CT_t es la contracción tangencial total (%), D_{th} es la dimensión tangencial húmeda y D_{tsh} es la dimensión tangencial seca al horno.

$$CR_t = [(D_{rh} - D_{rsh}) / D_{rh}] \times 100$$

donde CR_t es la contracción radial total (%), D_{rh} es la dimensión radial húmeda y D_{rsh} es la dimensión radial seca al horno.

$$CL_t = [(D_{lh} - D_{lsh}) / D_{lh}] \times 100$$

donde CL_t es la contracción longitudinal total (%), D_{lh} es la dimensión longitudinal húmeda y D_{lsh} es la dimensión longitudinal seca al horno.

Diseño experimental y análisis estadístico

El estudio presentó un arreglo bifactorial con dos factores: especie, con dos niveles (*Gigantochloa apus* y *Bambusa longispiculata*), y nivel axial del culmo, con tres niveles (base, medio y ápice). Cada combinación especie-nivel contó con cinco repeticiones. Las variables respuesta fueron humedad saturada, densidad básica y contracciones tangencial, radial y longitudinal. Se aplicó análisis descriptivo mediante media, desviación estándar, mínimo, máximo y coeficiente de variación. Además, se empleó prueba de Tukey HSD ($p < .05$) para comparar niveles de altura dentro de cada especie y se elaboró un mapa de calor con dendrograma jerárquico mediante distancia euclidiana y método de Ward, a partir de medias estandarizadas.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} representa la variable respuesta, μ la media general, α_i el efecto de la especie, β_j el efecto del nivel axial, $(\alpha\beta)_{ij}$ la interacción especie $\times$ nivel axial y ε_{ijk} el error experimental.

3. Resultados

Humedad saturada

Como se muestra en la Tabla 1, la humedad saturada presentó una tendencia descendente desde la base hacia el ápice en ambas especies. En *Bambusa longispiculata*, los valores medios fueron 68.137 % en la base, 65.210 % en el nivel medio y 59.235 % en el ápice. En *Gigantochloa apus*, la base registró el mayor promedio (79.602 %), seguida del nivel medio (69.825 %) y el ápice (58.209 %). La mayor variabilidad se observó en el ápice de *Gigantochloa apus*, con un CV de 33.68 %, lo que evidencia mayor dispersión de los valores individuales.

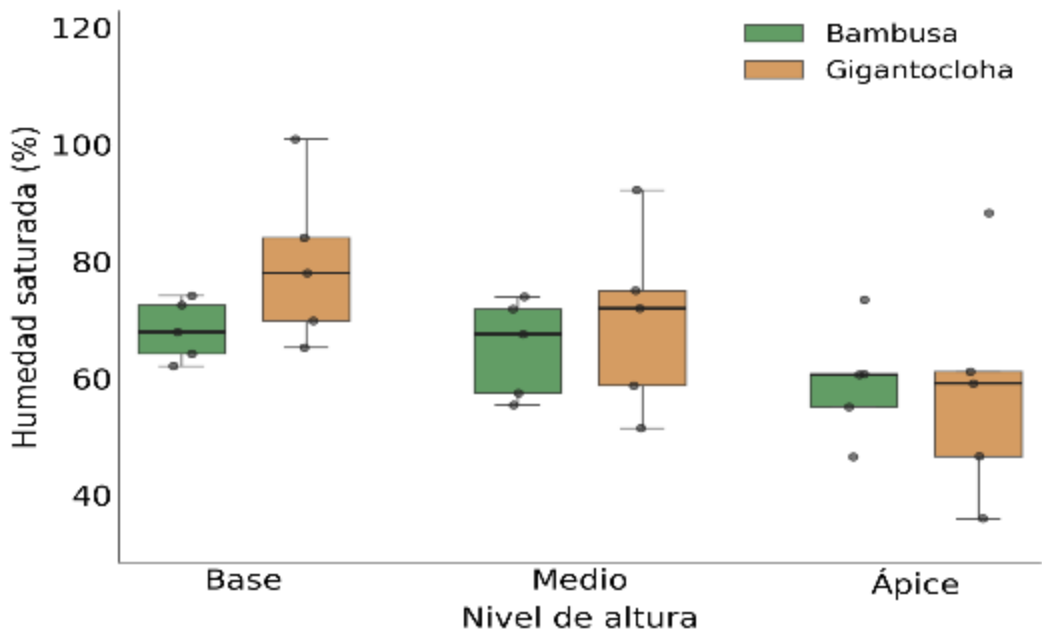
Tabla 1
Estadística descriptiva de la humedad saturada según especie y nivel de altura

Especie	Nivel	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.	CV (%)
Bambusa	Base	5	68.137	5.159	62.099	74.079	7.57
Bambusa	Medio	5	65.210	8.389	55.412	73.953	12.86
Bambusa	Ápice	5	59.235	9.776	46.561	73.385	16.50
Gigantochloa	Base	5	79.602	13.947	65.261	100.911	17.52
Gigantochloa	Medio	5	69.825	15.750	51.408	92.153	22.56
Gigantochloa	Ápice	5	58.209	19.605	36.008	88.216	33.68

Nota. D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; n = 5 repeticiones por combinación especie-nivel.

La Figura 2 muestra la dispersión de la humedad saturada por especie y nivel axial. Se observa que *Gigantochloa apus* presentó mayor amplitud de valores en base y ápice, mientras que *Bambusa longispiculata* mostró una distribución más compacta, especialmente en la base.

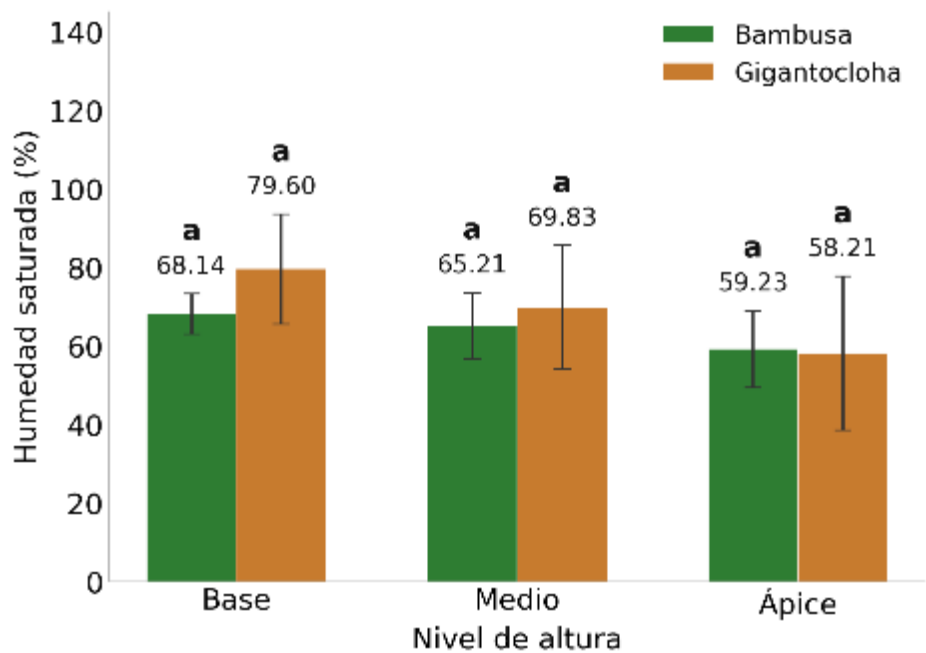
Figura 2
Distribución de humedad saturada según especie y nivel de altura



Nota. Los puntos representan los valores individuales de cada caña (n = 5 por grupo).

En la Figura 3 se confirma la tendencia de disminución axial de la humedad saturada. Aunque las letras indican ausencia de diferencias significativas entre niveles dentro de cada especie, los promedios evidencian una reducción numérica desde la base hacia el ápice.

Figura 3
Media (± D.E.) de humedad saturada según especie y nivel de altura



Densidad básica

La Tabla 2 muestra que la densidad básica presentó variaciones moderadas entre especies y niveles. *Bambusa longispiculata* registró valores medios entre 0.745 y 0.770 g/cm³, con el mayor valor en el ápice. *Gigantochloa apus* presentó un incremento desde la base (0.657 g/cm³) hacia el ápice (0.758 g/cm³). Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos a moderados, lo que indica una variabilidad controlada dentro de cada combinación especie-nivel.

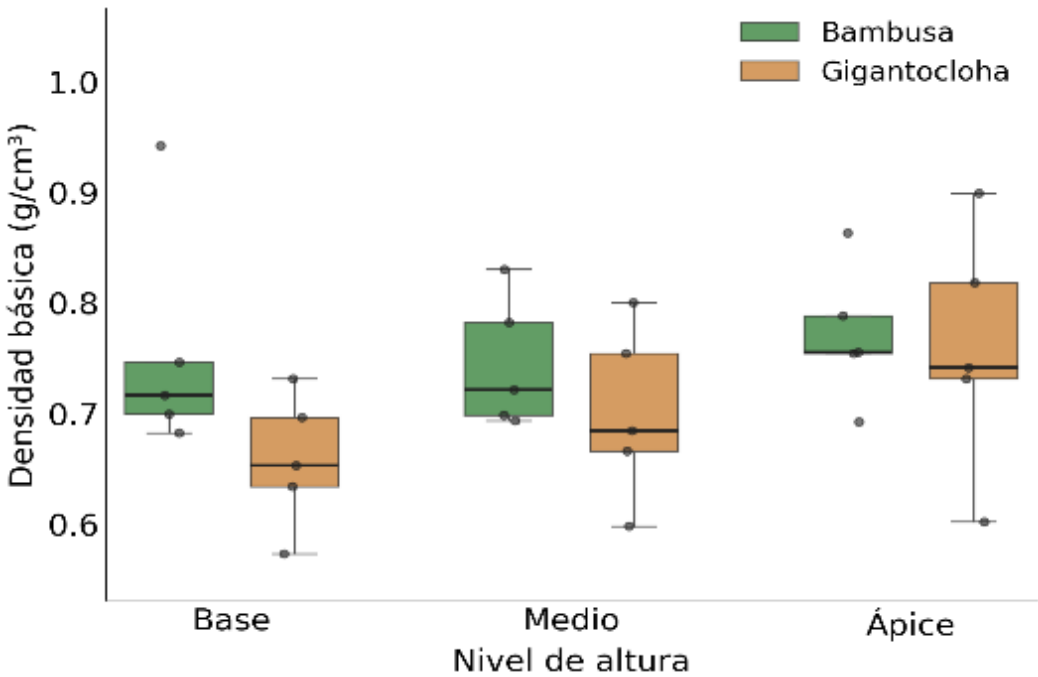
Tabla 2
Estadística descriptiva de la densidad básica según especie y nivel de altura

Especie	Nivel	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.	CV (%)
Bambusa	Base	5	0.757	0.106	0.682	0.942	14.01
Bambusa	Medio	5	0.745	0.059	0.693	0.830	7.97
Bambusa	Ápice	5	0.770	0.062	0.692	0.863	8.09
Gigantochloa	Base	5	0.657	0.060	0.573	0.731	9.19
Gigantochloa	Medio	5	0.700	0.079	0.598	0.800	11.23
Gigantochloa	Ápice	5	0.758	0.110	0.602	0.899	14.57

Nota. D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; n = 5 repeticiones por combinación especie-nivel.

La Figura 4 permite observar la distribución de los valores individuales de densidad básica. En *Bambusa longispiculata* se aprecia mayor estabilidad entre niveles, mientras que *Gigantochloa apus* muestra una tendencia creciente hacia el ápice, aunque con mayor dispersión en este nivel.

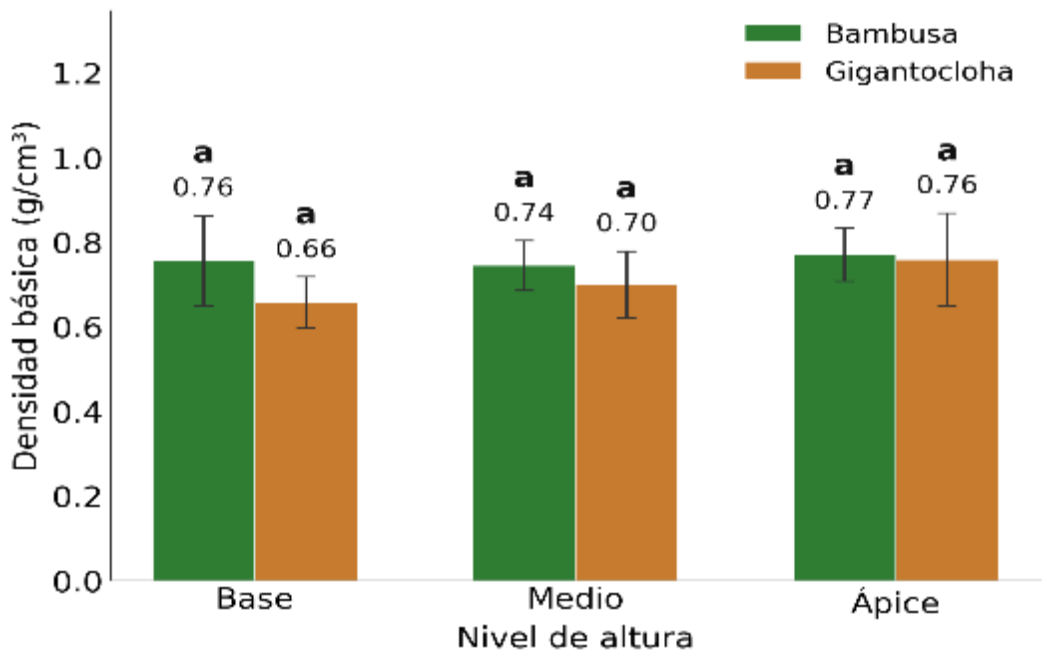
Figura 4
Distribución de densidad básica según especie y nivel de altura



Nota. Los puntos representan los valores individuales de cada caña (n = 5 por grupo).

Según la Figura 5, no se observaron diferencias significativas entre niveles de altura dentro de cada especie. Aun así, los valores medios sugieren que *Bambusa longispiculata* conserva densidades básicas relativamente uniformes, mientras que *Gigantochloa apus* incrementa su densidad básica hacia el ápice.

Figura 5
Media (± D.E.) de densidad básica según especie y nivel de altura



Contracción tangencial

La contracción tangencial presentó una marcada variación axial. En la Tabla 3 se observa que los valores más altos se registraron en la base de ambas especies, con 8.978 % para *Bambusa longispiculata* y 10.049 % para *Gigantochloa apus*. La contracción disminuyó en el nivel medio y alcanzó los valores más bajos en el ápice, con 3.952 % y 4.177 %, respectivamente.

Tabla 3
Estadística descriptiva de la contracción tangencial según especie y nivel de altura

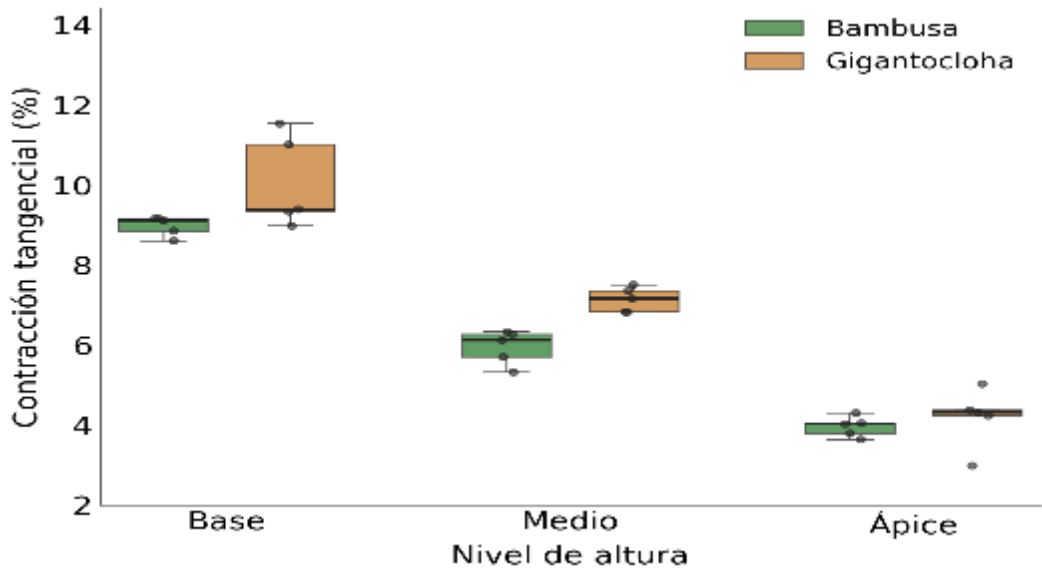
Especie	Nivel	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.	CV (%)
Bambusa	Base	5	8.978	0.245	8.608	9.161	2.73
Bambusa	Medio	5	5.940	0.424	5.317	6.317	7.14
Bambusa	Ápice	5	3.952	0.256	3.627	4.293	6.48
Gigantochloa	Base	5	10.049	1.146	8.975	11.539	11.41
Gigantochloa	Medio	5	7.128	0.311	6.816	7.508	4.37
Gigantochloa	Ápice	5	4.177	0.745	2.974	5.027	17.84

Nota. D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; n = 5 repeticiones por combinación especie-nivel.

La Figura 6 evidencia una separación clara entre los niveles axiales, especialmente entre base, medio y ápice. La base de *Gigantochloa apus* presentó los valores individuales más

altos, mientras que el ápice de ambas especies concentró los menores valores de contracción tangencial.

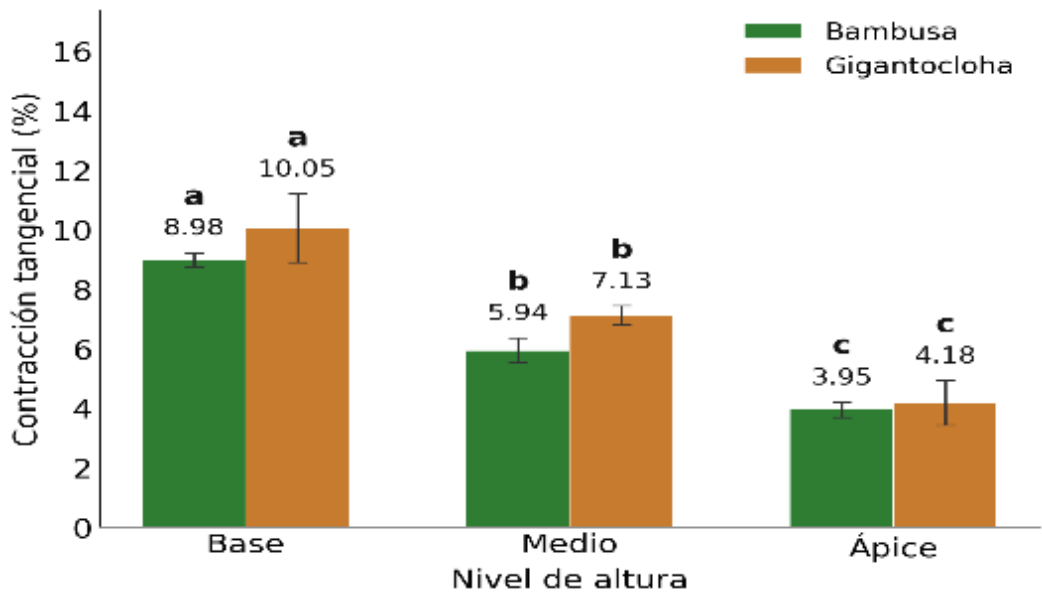
Figura 6
Distribución de contracción tangencial según especie y nivel de altura



Nota. Los puntos representan los valores individuales de cada caña (n = 5 por grupo).

En la Figura 7, las letras muestran diferencias significativas entre niveles de altura dentro de cada especie. La base presentó la mayor contracción tangencial, el nivel medio valores intermedios y el ápice los menores valores, lo que confirma un gradiente axial descendente.

Figura 7
Media (± D.E.) de contracción tangencial según especie y nivel de altura



Contracción radial

La contracción radial mostró el mismo patrón axial que la contracción tangencial. Como se observa en la Tabla 4, los mayores valores se registraron en la base, con 13.253 % en *Bambusa longispiculata* y 13.640 % en *Gigantochloa apus*. En el nivel medio los valores disminuyeron a 9.826 % y 9.765 %, respectivamente, mientras que en el ápice fueron 5.772 % y 6.597 %.

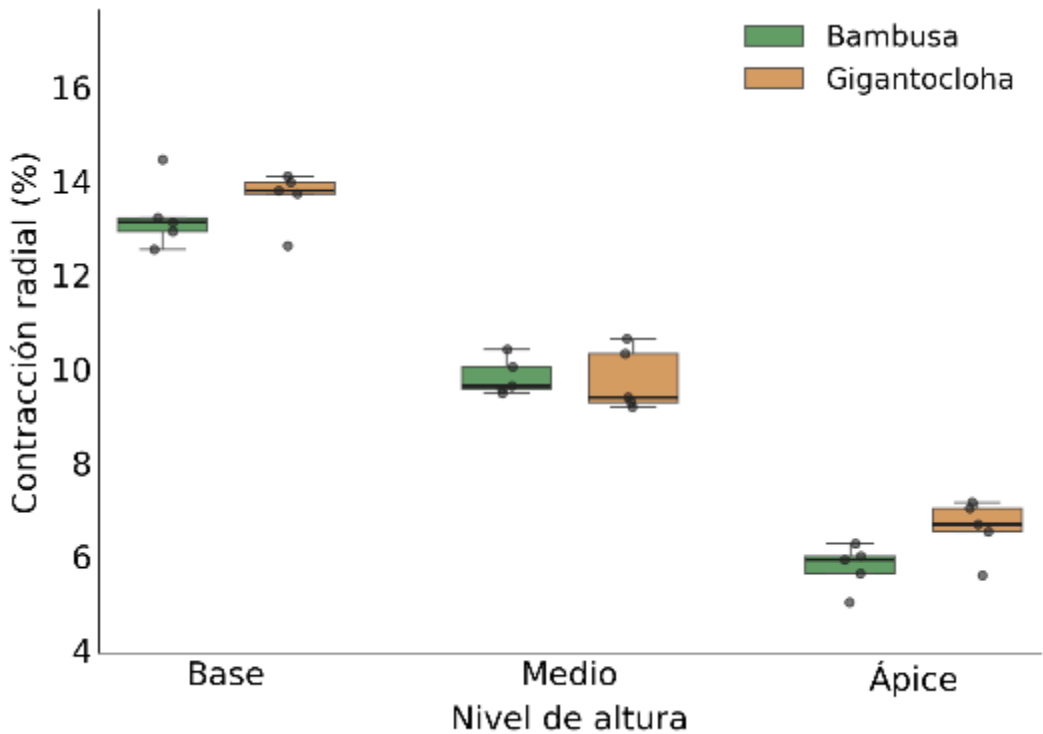
Tabla 4
Estadística descriptiva de la contracción radial según especie y nivel de altura

Especie	Nivel	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.	CV (%)
Bambusa	Base	5	13.253	0.722	12.544	14.459	5.45
Bambusa	Medio	5	9.826	0.391	9.479	10.410	3.97
Bambusa	Ápice	5	5.772	0.475	5.023	6.271	8.24
Gigantochloa	Base	5	13.640	0.590	12.617	14.093	4.33
Gigantochloa	Medio	5	9.765	0.669	9.180	10.643	6.85
Gigantochloa	Ápice	5	6.597	0.611	5.601	7.151	9.27

Nota. D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; n = 5 repeticiones por combinación especie-nivel.

La Figura 8 muestra que la contracción radial se distribuyó de manera diferenciada por nivel axial. La base concentró los valores más altos, mientras que el ápice presentó los valores más bajos y menor amplitud relativa en comparación con los niveles inferiores.

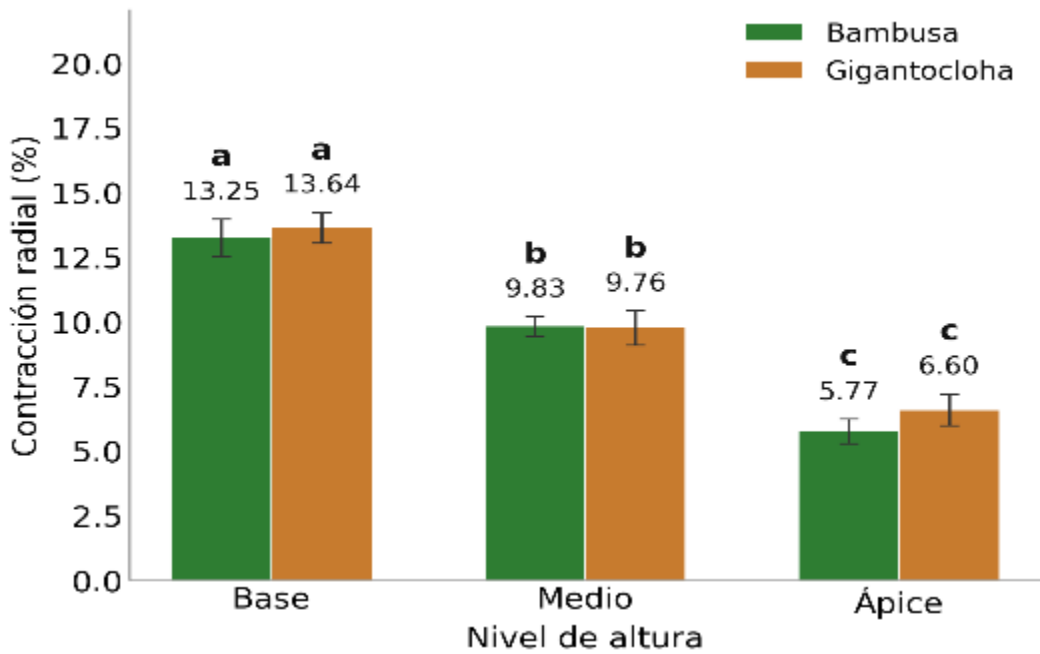
Figura 8
Distribución de contracción radial según especie y nivel de altura



Nota. Los puntos representan los valores individuales de cada caña (n = 5 por grupo).

En la Figura 9 se observa que la base, el nivel medio y el ápice fueron estadísticamente diferentes dentro de cada especie. Este resultado confirma que la contracción radial fue más dependiente del nivel axial que de la especie evaluada.

Figura 9
Media (± D.E.) de contracción radial según especie y nivel de altura



Contracción longitudinal

La Tabla 5 evidencia que la contracción longitudinal fue menor que las contracciones radial y tangencial, aunque también presentó un gradiente axial claro. En *Bambusa longispiculata*, la contracción fue de 0.764 % en la base, 0.463 % en el nivel medio y 0.225 % en el ápice. En *Gigantochloa apus*, los valores fueron 0.828 %, 0.626 % y 0.378 %, respectivamente.

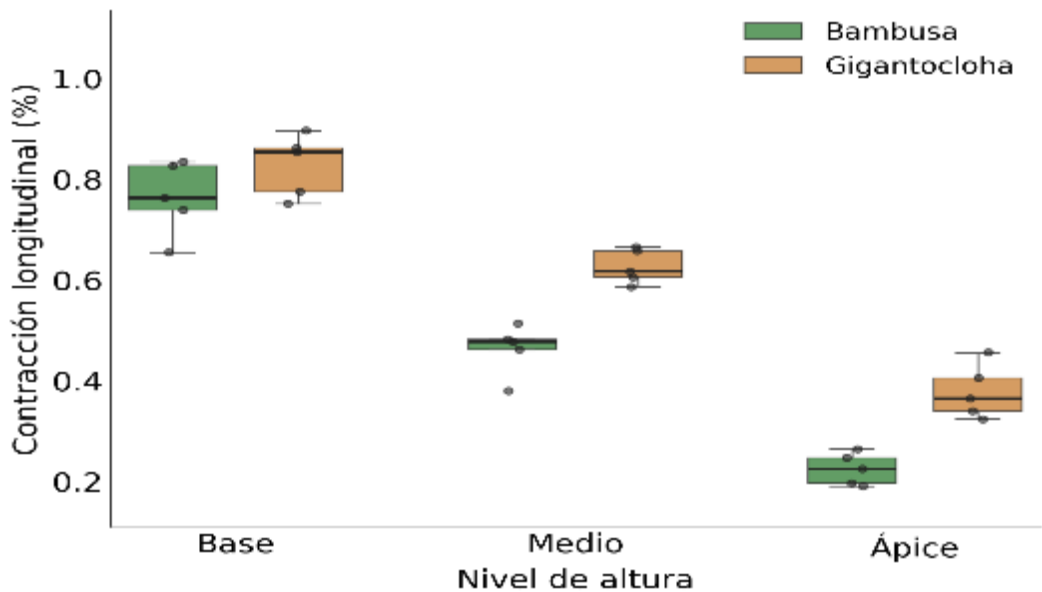
Tabla 5
Estadística descriptiva de la contracción longitudinal según especie y nivel de altura

Especie	Nivel	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.	CV (%)
Bambusa	Base	5	0.764	0.073	0.655	0.835	9.60
Bambusa	Medio	5	0.463	0.050	0.380	0.514	10.83
Bambusa	Ápice	5	0.225	0.031	0.191	0.264	13.97
Gigantochloa	Base	5	0.828	0.062	0.752	0.897	7.44
Gigantochloa	Medio	5	0.626	0.034	0.586	0.666	5.50
Gigantochloa	Ápice	5	0.378	0.053	0.324	0.456	14.11

Nota. D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; n = 5 repeticiones por combinación especie-nivel.

La Figura 10 muestra la distribución individual de la contracción longitudinal. En ambas especies, los valores se agruparon de forma diferenciada según el nivel del culmo, con mayor contracción en la base y menor en el ápice.

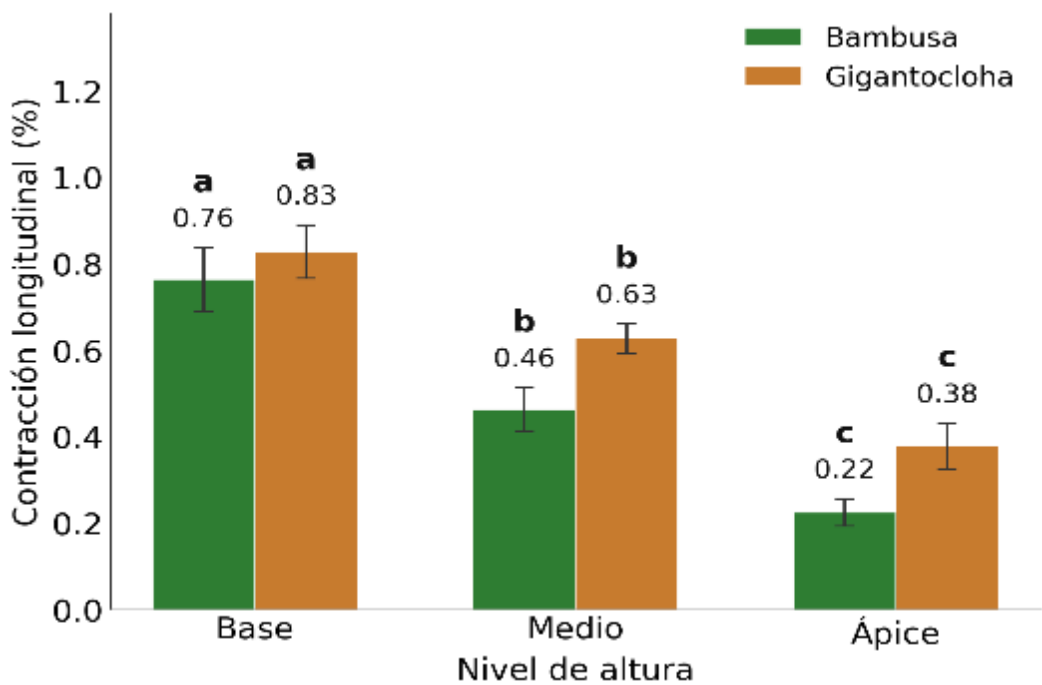
Figura 10
Distribución de contracción longitudinal según especie y nivel de altura



Nota. Los puntos representan los valores individuales de cada caña (n = 5 por grupo).

La Figura 11 confirma diferencias significativas entre los tres niveles de altura dentro de cada especie. Aunque los valores absolutos fueron bajos, la reducción desde la base hacia el ápice fue consistente, lo que demuestra que la contracción longitudinal también estuvo influenciada por la posición axial del culmo.

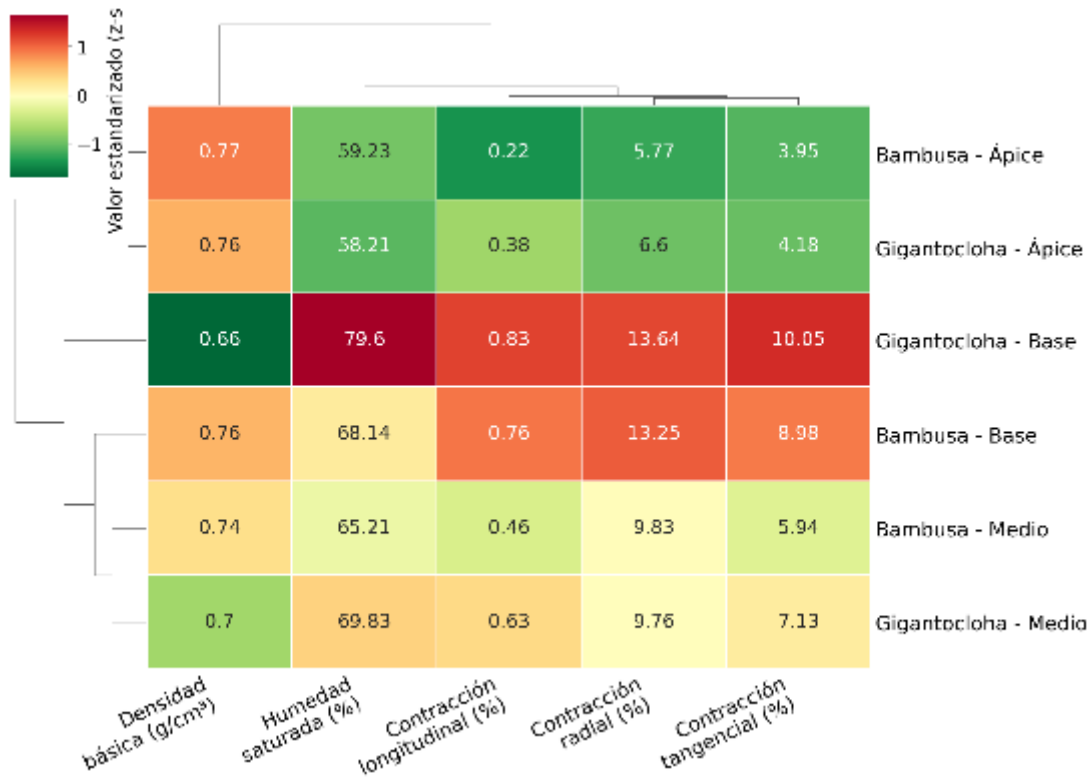
Figura 11
Media (± D.E.) de contracción longitudinal según especie y nivel de altura



Análisis de agrupamiento jerárquico

El mapa de calor con dendrograma jerárquico se construyó con los valores promedio estandarizados de las cinco propiedades físicas evaluadas. Como se muestra en la Figura 12, los seis grupos se organizaron principalmente según el nivel de altura. Las posiciones apicales de ambas especies se agruparon por sus menores valores de humedad y contracciones, mientras que las posiciones basales se diferenciaron por mayor humedad saturada y mayores contracciones.

Figura 12
Mapa de calor con dendrograma jerárquico de las propiedades físicas promedio, por especie y nivel de altura



Nota. Los valores dentro de las celdas corresponden a las medias en su escala original; el color representa el valor estandarizado (z-score). El dendrograma agrupa los seis grupos principalmente según el nivel de altura.

4. Discusión

Interpretación general de los resultados

Los resultados muestran que la variación axial del culmo influyó de manera consistente en las propiedades físicas de *Bambusa longispiculata* y *Gigantochloa apus*. En ambas especies, la humedad saturada y las contracciones tangencial, radial y longitudinal disminuyeron desde la base hacia el ápice, mientras que la densidad básica fue más

estable en *B. longispiculata* y aumentó hacia el ápice en *G. apus*. Este comportamiento confirma que el culmo no debe interpretarse como un material homogéneo, sino como una estructura lignocelulósica con gradientes físicos asociados a la posición axial, la distribución anatómica y el contenido de humedad. El dendrograma jerárquico reforzó esta tendencia, debido a que los grupos se organizaron principalmente por nivel de altura, lo que indica que la sección del culmo explica una parte importante de la variación conjunta de las propiedades evaluadas.

Contenido de humedad saturada

La humedad saturada fue mayor en la base y menor en el ápice en ambas especies. En *B. longispiculata*, la media disminuyó de 68,137 % en la base a 59,235 % en el ápice; en *G. apus*, la reducción fue de 79,602 % a 58,209 %. Este patrón sugiere que la sección basal posee mayor capacidad de retención de agua, probablemente por mayor proporción de tejido parenquimático, lúmenes celulares y espacios disponibles para almacenamiento hídrico. La mayor variabilidad observada en *G. apus*, especialmente en la base y el ápice, también sugiere una estructura interna más heterogénea o mayor variación individual entre culmos.

La tendencia decreciente de la humedad hacia el ápice coincide con Portal-Cahuana et al. (2023), quienes reportaron variación axial en especies de bambú de la Amazonía oriental peruana, incluyendo *G. apus*. Asimismo, Wei et al. (2021) demostraron que la higroscopicidad del bambú está relacionada con su estructura fibrosa gradiente, mientras que Yuan et al. (2021) y Mou et al. (2022) señalaron que los cambios de humedad provocan deformaciones diferenciales entre fibras y parénquima. En este estudio, la mayor humedad basal no solo constituye una diferencia descriptiva, sino una condición tecnológica relevante, porque puede incrementar el tiempo de secado y el riesgo de deformación si el material se procesa sin acondicionamiento previo.

La importancia tecnológica de esta variable también ha sido demostrada por Wang, Harries, et al. (2022), quienes reportaron que el contenido de humedad modifica el desempeño mecánico del bambú, y por Jia et al. (2023), quienes evidenciaron que la humedad relativa durante el almacenamiento afecta la calidad visual y el comportamiento del material. Estas evidencias son particularmente pertinentes para Tingo María, donde las condiciones ambientales húmedas pueden ralentizar el secado natural y aumentar la susceptibilidad a deterioro, manchas, deformaciones o agrietamientos en culmos recién aprovechados.

Densidad básica

La densidad básica mostró un comportamiento diferenciado entre especies. En *B. longispiculata*, los valores fueron relativamente homogéneos entre base, medio y ápice, con medias de 0,757; 0,745 y 0,770 g/cm³, respectivamente. En *G. apus*, la densidad aumentó desde la base hacia el ápice, de 0,657 a 0,758 g/cm³. Esta diferencia sugiere

que *B. longispiculata* presenta mayor uniformidad axial en la relación masa seca/volumen saturado, mientras que *G. apus* muestra un gradiente físico más marcado, con menor densidad en la base y mayor densidad en la sección apical.

El incremento de la densidad hacia el ápice en *G. apus* es consistente con Portal-Cahuana et al. (2023), quienes también observaron menor densidad básica basal y mayor densidad apical en esta especie. Desde una perspectiva anatómica, Maulana et al. (2021) demostraron que las especies de *Gigantochloa* presentan variación en la distribución de haces vasculares, fibras y parénquima dentro del culmo, lo que puede explicar los cambios en densidad. De manera complementaria, Hartono et al. (2022) señalaron que las propiedades físicas de diferentes bambúes dependen de la especie y de la sección del culmo, reforzando la necesidad de evitar generalizaciones entre materiales aparentemente similares.

Los valores de densidad básica obtenidos son relevantes para la caracterización tecnológica de ambas especies. Zhang et al. (2022) reportaron una densidad básica promedio de 0,64 g/cm³ en *Thyrsostachys oliveri*, valor inferior al registrado en *B. longispiculata* y cercano al nivel basal de *G. apus*. Además, Jiang et al. (2024) demostraron que la densidad y el área de haces vasculares se correlacionan con propiedades físicas y mecánicas del bambú moso. Por tanto, la mayor densidad básica de *B. longispiculata* y del ápice de *G. apus* podría indicar mayor proporción de material sólido; sin embargo, esta interpretación debe complementarse con estudios anatómicos y ensayos mecánicos específicos.

Contracciones tangencial y radial

Las contracciones tangencial y radial presentaron un claro patrón decreciente desde la base hacia el ápice. La contracción tangencial disminuyó de 8,978 % a 3,952 % en *B. longispiculata* y de 10,049 % a 4,177 % en *G. apus*. La contracción radial mostró valores superiores, reduciéndose de 13,253 % a 5,772 % en *B. longispiculata* y de 13,640 % a 6,597 % en *G. apus*. Estos resultados indican que la base del culmo fue la sección con menor estabilidad dimensional, mientras que el ápice presentó menor susceptibilidad a deformación durante el secado.

La reducción de la contracción hacia el ápice coincide con Marasigan y Daguinod (2025), quienes reportaron en *G. apus* una disminución de la contracción radial y volumétrica hacia la sección superior del culmo. También concuerda con Hartono et al. (2022), al señalar que la variación dimensional del bambú depende de la especie y de la posición. Una explicación probable es que la base, al presentar mayor humedad y mayor proporción de tejidos de almacenamiento, experimenta mayor pérdida de agua durante el secado, lo que incrementa los cambios dimensionales. En cambio, el ápice, con menor humedad inicial y mayor proporción relativa de tejido fibroso, presenta menor contracción.

Un aspecto importante es que la contracción radial fue mayor que la tangencial en ambas especies. Este comportamiento no es universal en bambúes, debido a que Awotwe-Mensah et al. (2023) encontraron en *Bambusa vulgaris* contracciones tangenciales superiores a las radiales y longitudinales. No obstante, Zhao et al. (2025) reportaron que, en bambú redondo durante el secado, la contracción radial puede ser mayor que la tangencial por la migración de humedad y la deformación asincrónica de estructuras gradientes. Por ello, la predominancia radial observada en *B. longispiculata* y *G. apus* podría relacionarse con el espesor de pared, la distribución de fibras y parénquima, y la ruta de salida del agua desde la pared del culmo.

Los estudios a escala celular refuerzan esta interpretación. Yuan et al. (2023) demostraron que las tensiones de contracción se concentran en regiones intercelulares de las fibras, mientras que Zhu et al. (2024) evidenciaron que la contracción e hinchamiento transversal varían radialmente en función de la estructura del culmo. Asimismo, Wang, Zhang, et al. (2022) indicaron que el anillo medular puede mejorar la estabilidad dimensional, y Zhang et al. (2024) mostraron que los nudos pueden limitar la deformación y el agrietamiento por su estructura vascular particular. En conjunto, estas investigaciones demuestran que la contracción del bambú no depende únicamente de la pérdida de humedad, sino de la interacción entre anatomía, posición del tejido y geometría del culmo.

Contracción longitudinal

La contracción longitudinal fue la de menor magnitud en ambas especies, aunque también disminuyó desde la base hacia el ápice. En *B. longispiculata*, pasó de 0,764 % a 0,225 %, mientras que en *G. apus* disminuyó de 0,828 % a 0,378 %. Estos valores fueron muy inferiores a las contracciones radial y tangencial, lo que confirma la mayor estabilidad del bambú en dirección axial. Esta respuesta puede atribuirse a la orientación longitudinal predominante de las fibras y haces vasculares, que restringe la deformación en esa dirección.

Este patrón coincide con Mou et al. (2022), quienes reportaron que las deformaciones longitudinales del bambú son menores que las transversales durante procesos de absorción y desorción de humedad. Zhang et al. (2022) también observaron que la contracción longitudinal fue la menor en *Thyrsostachys oliveri*. Aunque sus valores sean bajos, esta propiedad no debe considerarse irrelevante, porque en piezas largas, laminados o productos ensamblados pequeñas deformaciones acumuladas pueden afectar el ajuste dimensional. Al respecto, do Amaral et al. (2025) demostraron que el comportamiento de hinchamiento y contracción del bambú genera esfuerzos que pueden ocasionar grietas, y do Amaral et al. (2023) mostraron que los ciclos de humedecimiento y secado pueden modificar la estabilidad dimensional de *Dendrocalamus asper*.

Interpretación multivariada y valor tecnológico

El mapa de calor con dendrograma mostró que las combinaciones especie-nivel se agruparon principalmente por nivel axial. Las bases se asociaron con mayor humedad y mayores contracciones, mientras que los ápices se vincularon con menor humedad y mayor estabilidad dimensional. Este patrón confirma que la posición del culmo es un criterio práctico para clasificar el material antes del secado o transformación. Li et al. (2025) demostraron que la sorción de agua varía radialmente en el bambú saturado por su estructura fibrosa gradiente, y Jiang et al. (2024) relacionaron la variación de densidad y haces vasculares con el desempeño del material. Estos antecedentes explican por qué la combinación de humedad, densidad y contracciones permite diferenciar secciones del culmo con comportamiento tecnológico distinto.

Desde una perspectiva aplicada, *B. longispiculata* mostró mayor uniformidad en densidad básica, mientras que *G. apus* presentó un gradiente axial más evidente y mayor humedad basal. Esto sugiere que *B. longispiculata* podría ofrecer mayor regularidad física a lo largo del culmo, en tanto que *G. apus* requeriría una clasificación más cuidadosa por secciones. Las revisiones de Adier et al. (2023) y Madhushan et al. (2023) destacan que la variabilidad por especie, edad, procedencia y sección del culmo limita la estandarización del bambú, por lo que la caracterización local es necesaria para definir usos adecuados, procesos de secado y estrategias de transformación.

Aportes, implicaciones y limitaciones del estudio

El principal aporte de esta investigación es generar evidencia experimental sobre la variación axial de propiedades físicas en *B. longispiculata* y *G. apus* bajo condiciones de Tingo María, Amazonía peruana. El estudio es especialmente relevante porque la información científica disponible sobre *B. longispiculata* es limitada y porque permite compararla con *G. apus*, especie con antecedentes recientes en Perú y Asia. Los resultados aportan criterios para seleccionar secciones del culmo, optimizar el secado y orientar posibles usos en productos forestales no maderables.

Las implicaciones prácticas indican que la base del culmo requiere mayor control durante el secado por su mayor humedad y mayor contracción radial y tangencial. La parte media presentó un comportamiento intermedio y podría ser útil cuando se requiera equilibrio entre densidad y estabilidad dimensional. El ápice mostró menor humedad y menor contracción, aunque debe evaluarse junto con propiedades mecánicas antes de recomendar aplicaciones estructurales. Como limitación, el estudio se concentró en propiedades físicas y no incorporó análisis anatómico, mecánico ni de durabilidad biológica. Además, los resultados corresponden a una procedencia específica, por lo que futuras investigaciones deberían ampliar el número de culmos, edades, sitios de colecta y ensayos de flexión, compresión, cizallamiento, preservación y secado controlado.

5. Conclusiones

La variación axial influyó de manera clara en las propiedades físicas de *Bambusa longispiculata* y *Gigantochloa apus*. La humedad saturada fue mayor en la base y disminuyó hacia el ápice, mientras que la densidad básica mostró cambios moderados entre niveles. Las contracciones tangencial, radial y longitudinal presentaron un patrón descendente desde la base hasta el ápice, con mayores cambios dimensionales en las direcciones radial y tangencial. El análisis multivariado confirmó que los grupos se diferenciaron principalmente por nivel axial, lo que evidencia que la posición del culmo debe considerarse como criterio técnico para seleccionar, secar y transformar el material. Los resultados aportan información experimental local para fortalecer el uso tecnológico de ambas especies en la Amazonía peruana.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias Bibliográficas

- Adier, M. F. V., Sevilla, M. E. P., Valerio, D. N. R., & Ongpeng, J. M. C. (2023). Bamboo as sustainable building materials: A systematic review of properties, treatment methods, and standards. *Buildings*, 13(10), 2449. <https://doi.org/10.3390/buildings13102449>
- Awotwe-Mensah, M., Mitchual, S. J., Appiah-Kubi, E., Dadzie, P. K., Mensah, P., & Donkor, M. B. (2023). Assessment of the drying behaviour of young and mature *Bambusa vulgaris* from Ghana. *Advances in Bamboo Science*, 5, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100044>
- do Amaral, L. M., Molari, L., & Savastano, H. (2025). Swelling and shrinking behaviour of bamboo and its application on a hygro-mechanical model. *Wood Science and Technology*, 59(2), 36. <https://doi.org/10.1007/s00226-025-01631-z>
- do Amaral, L. M., Rodrigues, C. de S., & Poggiali, F. S. J. (2023). Assessment of physical, mechanical, and chemical properties of *Dendrocalamus asper* bamboo after application of wetting and drying cycles. *Advances in Bamboo Science*, 2, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2022.100014>
- Hartono, R., Iswanto, A. H., Priadi, T., Herawati, E., Farizky, F., Sutiawan, J., & Sumardi, I. (2022). Physical, chemical, and mechanical properties of six bamboo from Sumatera Island Indonesia and its potential applications for composite materials. *Polymers*, 14(22), 4868. <https://doi.org/10.3390/polym14224868>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 5525: Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia Kunth. ICONTEC.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2008). Norma Técnica Colombiana NTC 5300: Cosecha y poscosecha de los culmos de guadua angustifolia Kunth. ICONTEC.
- International Organization for Standardization. (2019). ISO 22157:2019 Bamboo structures—Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms—Test methods. ISO. <https://www.iso.org/standard/65950.html>
- Jia, H., Chen, L., Fang, C., Liu, H., Ma, X., Zhang, X., Fei, B., & Sun, F. (2023). Visual evaluation of warehousing humidity and time on bamboo performance. *Industrial Crops and Products*, 194, 116334. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116334>
- Jiang, T., Feng, X., Xia, Z., Deng, S., & Wang, X. (2024). Gradient variation and correlation analysis of physical and mechanical properties of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*). *Materials*, 17(9), 2069. <https://doi.org/10.3390/ma17092069>
- Li, Z., Xiang, E., Yang, C., Huang, H., Jiang, J., & Lyu, J. (2025). Radial variation in the sorption behavior of water-saturated bamboo with graded fibrous structure. *Construction and Building Materials*, 494, 143324. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143324>
- Madhushan, S., Buddika, S., Bandara, S., Navaratnam, S., & Abeysuriya, N. (2023). Uses of bamboo for sustainable construction—A structural and durability perspective—A review. *Sustainability*, 15(14), 11137. <https://doi.org/10.3390/su151411137>
- Marasigan, O. S., & Daguinod, S. A. (2025). Characterization and potential utilization of string bamboo (*Gigantochloa apus*). *BIOTROPIA*, 32(3), 363–372. <https://doi.org/10.11598/btb.2025.32.3.2506>
- Maulana, M. I., Jeon, W. S., Purusatama, B. D., Nawawi, D. S., Nikmatin, S., Sari, R. K., Hidayat, W., Febrianto, F., Kim, J. H., Lee, S. H., & Kim, N.-H. (2021). Variation of anatomical characteristics within the culm of the three *Gigantochloa* species from Indonesia. *BioResources*, 16(2), 3596–3606. <https://doi.org/10.15376/biores.16.2.3596-3606>
- Mou, Q., Hao, X., Xu, K., Li, X., & Li, X. (2022). Hygroexpansion behaviors of bamboo in response to moisture absorption and desorption. *Construction and Building Materials*, 341, 127895. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127895>
- Portal-Cahuana, L. A., Caceres Velarde, A., & Pires de Moura Palermo, G. (2023). Anatomical and variation of physical properties in the axial direction of three bamboo species in the eastern Amazon of Peru. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 39–48. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.004>
- Wang, M., Harries, K. A., Zhao, Y., Xu, Q., Wang, Z., & Leng, Y. (2022). Variation of mechanical properties of *P. edulis* (Moso) bamboo with moisture content. *Construction*

- and Building Materials, 324, 126629.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126629>
- Wang, X., Zhang, S., Chen, L., Huang, B., Fang, C., Ma, X., Liu, H., Sun, F., & Fei, B. (2022). Effects of pith ring on the hygroscopicity and dimensional stability of bamboo. Industrial Crops and Products, 184, 115027.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115027>
- Wei, X., Wang, G., Smith, L. M., & Jiang, H. (2021). The hygroscopicity of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) with a gradient fiber structure. Journal of Materials Research and Technology, 15, 4309–4316. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.10.038>
- Yuan, J., Chen, L., Mi, B., Lei, Y., Yan, L., & Fei, B. (2023). Synergistic effects of bamboo cells during shrinkage process. Industrial Crops and Products, 193, 116232.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116232>
- Yuan, J., Fang, C., Chen, Q., & Fei, B. (2021). Observing bamboo dimensional change caused by humidity. Construction and Building Materials, 309, 124988.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124988>
- Zhang, Y., Xu, H., Li, J., & Wang, H. (2024). Unraveling the inhibition of bamboo node on dry shrinkage: Insights from the specific vascular structure of bamboo node. Industrial Crops and Products, 211, 118193. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118193>
- Zhang, Z., Rao, F., & Wang, Y. (2022). Morphological, chemical, and physical–mechanical properties of a clumping bamboo (*Thyrsostachys oliveri*) for construction applications. Polymers, 14(17), 3681. <https://doi.org/10.3390/polym14173681>
- Zhao, W., Chen, K., Peng, H., Chen, H., Zhan, T., Cai, L., & Lyu, J. (2025). Moisture migration, strain evolution, and cracking behavior of round bamboo during drying: A gradient structure-based study. Construction and Building Materials, 502, 144470.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.144470>
- Zhu, J., Tan, Y., Chen, K., Peng, H., Zhu, L., Zhu, L., Jiang, J., Lyu, J., & Zhan, T. (2024). Evaluation of transverse shrinking and swelling of bamboo using digital image correlation technique. Industrial Crops and Products, 211, 118274.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118274>

Reseña de autores

Fiorella Lynn Geronimo Macedo

Bachiller en Ciencias Forestales por la Universidad Nacional Agraria de la Selva, con interés en tecnología de productos forestales, propiedades físicas del bambú y aprovechamiento sostenible de recursos lignocelulósicos.

Robert Gilbert Pecho de la Cruz

Docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, vinculado a investigación en tecnología y aprovechamiento de productos forestales.

Cleide Santos Flores

Docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, con experiencia en investigación forestal, propiedades tecnológicas de la madera y bambú.