

Propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* para uso y preservación medioambiental de la Amazonia peruana¹

Jairo Edson Gutiérrez-Collao², Mercedes Acosta-Román³, Carlos Abanto-Rodríguez⁴,
Evelyn Ruth Palomino-Santos⁵, Esmila Yeime Chavarría Márquez⁶, Luis Alberto Massa-Palacios⁷

Resumen

Introducción: existen infinidad de especies de bambú que son cultivadas, por ejemplo, en Perú, Brasil y Bolivia por ser una alternativa sostenible y económica. Actualmente en la amazonia peruana, se comercializa la especie *Guadua angustifolia* que posee propiedades físicas y mecánicas idóneas para la construcción

civil. **Objetivo:** determinar las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth en cultivos de la ciudad de Tingo María, Huánuco. **Materiales y métodos:** la investigación en laboratorio utilizo bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth, extraída del fundo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) en Perú.

- 1 Artículo original de investigación científica derivado del proyecto de investigación *Evaluación de las propiedades mecánicas del culmo de guadua angustifolia kunth* en tres niveles de altura, en una región de la selva del Perú; ejecutado en 2015. Autofinanciado.
- 2 Estudios de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán en Perú, magíster en Ciencias Económicas, mención en Proyectos de Inversión, ingeniero en recursos naturales renovables, mención Forestal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Perú. Docente e investigador de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Correo: jairo.gutierrez@unat.edu.pe, Orcid: 0000-0001-8984-6245.
- 3 Doctora en Ciencias de la Salud y Salud Pública, magíster en Salud Pública de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Docente investigadora de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Correo: mercedesacosta@unat.edu.pe, Orcid: 0000-0002-4792-4185.
- 4 Doctor en Biodiversidad y Biotecnología, magíster en Producción Vegetal de la Universidad Federal de Roraima, Boa Vista, Brasil, ingeniero forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Miembro del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Correo: cabanto@iiap.gob.pe, Orcid: 0000-0001-7956-5482.
- 5 Doctora en Gestión ambiental y Desarrollo Sostenible, magíster en Planificación y Proyectos de Inversión, ingeniera Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Docente de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Correo: evelyn.palomino@unat.edu.pe, Orcid: 0009-0003-5991-2899.
- 6 Doctora en Ingeniería Química Ambiental, magíster en Gestión Integral: Calidad, Medio Ambiente y Prevención de Riesgos Laborales, ambos de la Universidad Nacional del Centro del Perú, ingeniera ambiental de la Universidad Continental en Perú. Docente investigadora de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Correo: esmilachavarría@unat.edu.pe, Orcid: 0000-0002-1531-2694.
- 7 Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Universidad Alas Peruanas, magíster en Ingeniería Química, mención Procesos Químicos y Ambientales de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Perú, ingeniero químico de la Universidad Nacional San Antonio Abad, Perú. Docente e investigador de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Correo: vicepresidencia.investigacion@unat.edu.pe, Orcid: 0000-0002-6570-2869.

Autor para Correspondencia: mercedesacosta@unat.edu.pe
Recibido: 23/01/2024 Aceptado: 18/11/2024

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Para la obtención de culmos muestras se seleccionaron matas y culmos maduros, luego fueron cortadas y codificadas hasta obtener ocho probetas, dos para cada prueba (flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, cizallamiento paralelo a la fibra). **Resultados:** existen diferencias estadísticas significativas entre los tres niveles del culmo: registra el nivel superior el esfuerzo más alto (37,8 MPa); en el esfuerzo unitario en límite proporcional en compresión paralela (ELP), no existieron diferencias estadísticas significativas entre los niveles inferior y

medio, pero ambos reportan diferencias estadísticas significativas con el nivel superior con un esfuerzo más alto (39,4 MPa). **Conclusiones:** la *Guadua angustifolia* posee propiedades mecánicas adecuadas que la hacen apta para diversos usos, sin embargo, se recomienda aumentar su rigidez y resistencia para estructuras complejas. Este estudio sirve como fuente primordial para el desarrollo del cultivo a nivel industrial y para la preservación del medio ambiente en la Amazonía peruana.

Palabras clave: bambú, especie, propiedades, preservación, amazonia.

Mechanical properties of *Guadua angustifolia* for use and environmental preservation of the Peruvian Amazon

Abstract

Introduction: Worldwide there are countless species of bamboo; In Peru, Brazil and Bolivia they have plantations, as it is a sustainable and economic alternative. Currently in the Peruvian Amazon, the *Guadua angustifolia* species is marketed, as it has ideal physical and mechanical properties in civil construction. **Objective:** Determine the mechanical properties of *Guadua angustifolia* Kunth. in the city of Tingo María, Huánuco. **Materials and methods:** The laboratory research used bamboo of the species *Guadua angustifolia* Kunth, extracted from the Farm of the Faculty of Agronomy of the National Agrarian University of the Selva (UNAS) in Peru. Obtaining sample culms was by selecting mature bushes and culms; Then they were cut and coded,

obtaining eight specimens, two for each test (static bending, compression parallel to the fiber, compression perpendicular to the fiber, shear parallel to the fiber). **Results:** there are significant statistical differences between the three levels of the culm, with the upper level registering the highest stress (37.8 MPa); in the unit stress in proportional limit in parallel compression (ELP), there were no significant statistical differences between the lower and middle levels, but both report significant statistical differences with the upper level with a higher stress (39.4 MPa). **Conclusions:** *Guadua angustifolia* has adequate mechanical properties, and can be used in different uses; However, it is recommended to increase its rigidity and resistance for complex structures. This study serves as a primary source for the development of cultivation at an industrial level and for the preservation of the environment in the Peruvian Amazon.

Keywords: bamboo, species, properties, preservation, amazon.

Propiedades mecánicas de *Guadua angustifolia* para aprovechamiento e preservación ambiental de la Amazonia Peruana

Resumo

Introdução: Em todo o mundo existem inúmeras espécies de bambu; No Peru, Brasil e Bolívia possuem plantações, por ser uma alternativa sustentável e econômica. Atualmente na Amazônia peruana é comercializada a espécie *Guadua angustifolia*, por apresentar propriedades físicas e mecánicas ideais na construção civil. **Objetivo:** Determinar as propriedades mecánicas de *Guadua angustifolia* Kunth na cidade de Tingo María, Huánuco. **Materiais e métodos:** A pesquisa laboratorial utilizou bambu da espécie *Guadua angustifolia* Kunth, extraído da Fazenda da Faculdade de Agronomia da Universidade Nacional Agrária da Selva (UNAS), no Peru. A obtenção de amostras de colmos foi através da seleção de arbustos e colmos maduros; Em seguida foram cortados e codificados,

obtendo-se oito corpos de prova, dois para cada ensaio (flexão estática, compressão paralela à fibra, compressão perpendicular à fibra, cisalhamento paralelo à fibra). **Resultados.** Existem diferenças estatísticas significativas entre os três níveis do colmo, sendo que o nível superior registra a tensão mais elevada (37,8 MPa); Na tensão unitária no limite proporcional em compressão paralela (ELP), não houve diferenças estatísticas significativas entre os níveis inferior e médio, mas ambos reportam diferenças estatísticas significativas com o nível superior com tensão mais elevada (39,4 MPa). **Conclusões:** *Guadua angustifolia* possui propriedades mecánicas adequadas, podendo ser utilizada em diversos usos; porém, recomenda-se aumentar sua rigidez e resistência para estruturas complexas. Este estudo serve como fonte primária para o desenvolvimento do cultivo em nível industrial e para a preservação do meio ambiente na Amazônia peruana.

Palavras-chave: bambu, espécies, propriedades, preservação, amazônia.

Introducción

El bambú es una poácea perteneciente a la familia *Poaceae* y a la subfamilia *Bambusoideae*, existen 1.400 especies y en el territorio peruano se cuentan con aproximadamente 100 de ellas (Barnett y Jabrane, 2017), los bambús son reconocidos como pastos altos (Das *et al.*, 2023) y por poseer excelentes reservas respecto a sus propiedades mecánicas (Mao *et al.*, 2023),

naturalmente crece en regiones tropicales de Centroamérica y Sudamérica.

En Perú, el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) y el Registro Nacional de Proveedores (RNP) reportan 1.100 plantaciones de bambú en los bosques nativos mixtos en la Amazonia suroriental de Perú, Brasil y Bolivia, con un área de entre 161.500 y 200.000 km²; en Perú el área de bosques de bambú abarca una extensión de 39.978 km² en los departamentos de

Junín (960,52 km²), Ucayali (19.035,35 km²), Cusco (3.867,91 km²) y Madre de Dios (16.114,22 km²); encontrándose principalmente en los departamentos de Cajamarca, Piura y Amazonas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022).

Como problema mundial, la crisis ambiental ya no es solo catalogada como una crisis ecológica, sino que ahora involucra el aspecto social y obliga a los Estados, a las autoridades y a la población a buscar alternativas de solución (Lima-Pisco *et al.*, 2018); una alternativa son las investigaciones en el uso de recursos renovables y naturales para sustituir los materiales convencionales de las construcciones y con mínimo impacto medioambiental (Espitia *et al.*, 2018) dado que las fibras vegetales son renovables y biodegradables (Monsalve Alarcón *et al.*, 2018). El bambú es considerado una alternativa forestal sostenible y con alto potencial para apoyar el crecimiento económico de las comunidades rurales de la costa, sierra y Amazonia peruana; además, brinda servicios ecosistémicos puesto que disminuye la erosión de suelos, ayuda en la restauración de áreas degradadas y en la regeneración de los bosques (Aguirre-Cadena *et al.*, 2018). Valga señalar que el bambú es considerado como especie vegetal no maderable, leñosa, con un crecimiento veloz y sin necesidad de semilla en reproducirse (Gaitán-Bermúdez y Fonthal-Rivera, 2020).

Además, las hojas se utilizan en la elaboración de platos desechables y en forraje para ganado, almacenamiento de carbono, purifica el agua, disminuye la intensidad de los desastres naturales protegiendo las riberas de los ríos, aporta materia orgánica al

suelo, así mismo es usado en la restauración de paisajes y para prácticas tradicionales y recreativas como ecoturismo en bambusales (Cruz-Armendáriz *et al.*, 2021).

Cadena *et al.* (2022) refieren que el bambú es un insumo utilizado en la construcción de todo tipo de viviendas rurales y urbanas que no causan daño al medio ambiente y brindan condiciones adecuadas de seguridad y confort para los usuarios, según García *et al.* (2019), el bambú se utiliza como material de construcción alternativo dadas sus propiedades físicas y mecánicas. Su uso va desde el consumo de brotes tiernos por el ser humano, hasta el uso de tallos maduros en fabricación de artesanía, muebles, tableros y otros productos (Zaragoza *et al.*, 2015).

La gran mayoría del comercio del bambú en Perú tiene como destino la construcción. Según información del Centro de Investigación sobre la Desertificación de la Universidad de Sassari (NRD, UNISS) en 2017 el comercio anual de cañas de bambú fue aproximadamente de 1.167.330 cañas, sin embargo, hubo un déficit en la oferta y se tuvieron que importar unas 585.410 cañas del Ecuador.

En Perú, la mayor producción proviene de los departamentos de Piura, Amazonas, Cajamarca, Pasco y Junín; como principales ciudades que comercializan están Trujillo, Chiclayo y Lima (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022). La mayor producción de bambú proviene de Amazonas (367 ha), Piura (230 ha), Cajamarca (217 ha) y Junín (120 ha), con menor escala en su producción los departamentos de San Martín, Pasco,

Ucayali y Cusco (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

De todas las especies de bambú que crecen en el territorio peruano, *Guadua angustifolia* es la más comercializada debido a sus propiedades físicas y mecánicas aptas para la construcción civil (Barnett y Jabrane, 2017). Se destaca la rugosidad de la superficie y la cristalinidad de las fibras –pueden ser mejoradas mediante el tratamiento de corona y de plasma (Sánchez *et al.*, 2020) images were obtained by means of scanning electron microscopy (SEM– así como por la dirección de sus fibras y la resistencia a la tracción y a la flexión (Elejoste *et al.*, 2022).

Sin embargo, Maya *et al.* (2017) culms were assessed in order to elucidate possible changes in physical- mechanical properties and lignin content as well. Test pieces were collected from the two sites and were obtained from guadua culms with ages between 1 and 5 years. Among sites the values obtained of physical-mechanical properties and lignin content tend to increase with culms age; however, these changes were not always significantly different ($p > 0.05$) mencionan que *Guadua angustifolia* Kunth al crecer en diferentes áreas geográficas, con diferentes temperaturas y calidad de suelos, muestra diferencias en su desarrollo y crecimiento. Así, la especie se desarrolla adecuadamente en altitudes de 1.200 a 1.500 msnm, respecto a la temperatura de 19,6 °C y 21,3 °C. En relación con el suelo, necesita terrenos con densidades bajas y con altos niveles de aluminio. Sin embargo, no en todas las regiones del país donde crece el bambú se cuenta con las mismas condiciones, lo cual es un inconveniente porque influirá en su

crecimiento y desarrollo. Al respecto, Salazar *et al.* (2012) refieren que los rendimientos de las especies forestales y sus productos están relacionados con las características ambientales y con la calidad de los terrenos, es por ello que, a mejores condiciones climáticas y edáficas tendrán mejores tasas de crecimiento.

Por tal motivo, al variar el crecimiento según las condiciones edafoclimáticas, las características de resistencia, durabilidad y la trabajabilidad del producto final también serán diferentes. Perú posee diversidad de especies de bambús, pero solo de algunas se conocen sus propiedades físicas y mecánicas (Rodríguez-Sotelo *et al.*, 2023) *Guadua weberbaueri* and *Guadua superba*. Three culms were collected from each species, later they were sectioned into three levels: stump (S. Ahora bien, para la *Guadua angustifolia* que crece en la región de Huánuco, no se han determinado sus propiedades mecánicas para recomendar su uso más adecuado para la construcción civil y otros derivados y por tanto, es necesario generar información tecnológica para su aprovechamiento sostenible. En ese contexto, el objetivo en este estudio fue determinar las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth en la ciudad de Tingo María, Huánuco.

Materiales y métodos

Área de estudio

Los culmos de *G. angustifolia* se extrajeron del fundo de la Facultad de Agronomía, la elaboración de las probetas se realizó en el Laboratorio Taller de Aprovechamiento

y Maquinaria Forestal –ambas unidades adscritas a la Universidad Nacional Agraria de la Selva– y luego ensayadas mecánicamente en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali. La primera universidad está ubicada en la provincia Leoncio Prado, distrito Rupa Rupa, Región Huánuco, Perú; mientras la segunda universidad está ubicada en la provincia Coronel Portillo, distrito Yarinacocha, Región Ucayali, Perú.

Las coordenadas geográficas de la zona de extracción y elaboración de las probetas fueron: 09°18'00" sur de latitud y 76°01'00" oeste de longitud, a una altitud de 660 msnm; las coordenadas geográficas de la zona de ejecución de ensayos mecánicos de las probetas fueron: 08°23'06" sur de latitud y 74°31'00" oeste de longitud, a una altitud de 154 msnm.

La zona de extracción, de acuerdo con el SENAMHI, reportó las siguientes condiciones climáticas: 29,4 °C de temperatura máxima, 18,6 °C de temperatura mínima, 24 °C de temperatura promedio, 3.200 mm de precipitación promedio anual y 63,8 % de humedad relativa.

La zona de aplicación de ensayos mecánicos, de acuerdo con el SENAMHI, reportó las siguientes condiciones climáticas: 33,3 °C de temperatura máxima, 21,2 °C de temperatura mínima, 27,2 °C de temperatura promedio, 3151,2 mm de precipitación promedio anual y, 84 % de humedad relativa.

Colecta del material

La *Guadua angustifolia* Kunth reporta excelentes propiedades mecánicas (Barnett y Jabrane, 2017); motivo por el cual, el comportamiento de esta especie, como material natural, prueba una gran dispersión de propiedades mecánicas; por lo que se procedió a utilizar los culmos en su forma original como material estructural (Elejoste *et al.*, 2022). La selección del material se realizó conforme a las precisiones de la norma técnica colombiana NTC 5525, la norma 549-03 y la norma ISO 22157:2019.

En primer lugar, se ubicó y seleccionó el área de extracción que presentó más de siete matas de bambú *Guadua angustifolia* Kunth, en segundo lugar, se realizó el llenado del formato de descripción de las matas, evaluando el estado fitosanitario de las matas, el número de cañas verdes, maduras y sobremaduras, el número de brotes y la circunferencia de las matas.

Posteriormente, se efectuó la selección de los culmos maduros de los bambúes, descartando los quebrados, dañados y descoloridos. A continuación, con una motosierra Stihl Ms 250 se efectuó el corte de los culmos, la codificación, la medición y luego se registraron los datos en un formulario. Los datos registrados fueron: i) circunferencia de los culmos a diversas alturas, ii) la altura total de los culmos, iii) la cantidad de nudos e internudos y iv) la distancia entre los nudos. Luego, los culmos seleccionados fueron seccionados en tres partes: inferior, media y superior.

Las secciones de los culmos fueron codificadas con un corrector, de estas secciones se prepararon las probetas

para las pruebas mecánicas, en forma de latas, con dimensiones de acuerdo con las especificaciones de las normas utilizadas.

Tabla 1.

Cantidad de probetas de un culmo (por nivel y por tipo de ensayo mecánico)

Nivel del culmo	Número de probetas/tipo de ensayo mecánico		Total
	Flexión	Compresión paralela	
Inferior	2	2	4
Medio	2	2	4
Superior	2	2	4
Total	6	6	12

Nota. Elaboración de los autores.

Las probetas elaboradas fueron secadas al aire en condiciones naturales, hasta lograr registrar la cantidad de agua en equilibrio que osciló entre 12 y 14 % conforme a la NTC 5301. Por último, antes de ser ensayadas, se determinaron las dimensiones de las probetas utilizando un calibrador vernier digital. Las dimensiones evaluadas fueron amplitud de la probeta (ancho) y grosor de la probeta (espesor) en las probetas de flexión, y radio externo e interno en las probetas de compresión paralela.

Tabla 2.

Dimensión de las probetas para las pruebas mecánicas

Dimensión	Flexión (cm)	Compresión paralela (cm)
B	6,8–14,5	
E	1,4–4,7	
Re		4,3–8,0
Ri		3,4–6,2

Nota. B es ancho de la probeta, E el espesor de la probeta, Re es el radio externo, Ri es el radio interno.

Elaboración de los autores.

Variables evaluadas

En cada probeta se determinó la cantidad de agua, expresada en porcentaje, antes de realizar los ensayos mecánicos (Maya et al., 2017), para ello, se empleó el método de las pesadas, es decir, se pesaron las muestras

húmedas, luego se secaron en una estufa a 103 +/- 2 °C durante 48 horas, al cabo de ese lapso se volvió a pesar para registrar el peso seco al horno, conforme a la NTC 5525.

$$CH = \frac{Ph - Psh}{Psh} \times 100$$

Donde:

CH = contenido de humedad; PH = peso húmedo; Psh = peso seco al horno.

Para el análisis de datos se usaron indicadores para la determinación de las pruebas mecánicas respaldados por la norma técnica colombiana NTC 5525 y, para el cálculo de las fórmulas se empleó la norma American Society for Testing and Materials (ASTM D 143-94). Los valores específicos se obtuvieron a través de las curvas de deformación-esfuerzo para cada ensayo mecánico (Elejoste *et al.*, 2022).

Para determinar la flexión, se colocaron las probetas en la prensa universal de la marca Tinius Olsen 300S implementada con el soporte y el cabezal de flexión a una velocidad de 2,5 mm/min sobre la probeta. Se calculó el esfuerzo unitario en el límite proporcional, el esfuerzo unitario máximo (módulo de ruptura) y el módulo de elasticidad.

$$ELPF = \frac{1,5 \times L \times P1}{b \times e^2}$$

$$MORF = \frac{1,5 \times L \times P2}{b \times e^2}$$

$$MOEF = \frac{0,25 \times L^3 \times P1}{b \times e^3 \times \Delta}$$

Donde:

ELPF = esfuerzo unitario en límite proporcional en flexión; MOR = módulo de ruptura en flexión; MOEF = módulo de elasticidad en flexión; L = luz de la probeta; P1 = carga en el límite proporcional; P2 = carga máxima obtenida; b = ancho de la probeta; e = espesor de la probeta; Δ = deflexión en el límite proporcional (ajustado en el gráfico).

Figura 1.

Ensayo mecánico de flexión



Nota. Elaboración de los autores.

Para determinar la compresión paralela a la fibra se colocaron las probetas en la prensa universal de la marca Tinius Olsen 300S implementada con el plato diametral específicamente para el ensayo, reportó una velocidad de 0,6 mm/min sobre la probeta. Se calculó el esfuerzo en el límite proporcional, el esfuerzo de ruptura en compresión paralela y el módulo de elasticidad.

$$ELPCP = \frac{P1}{\text{Área de la corona}}$$

$$ERCP = \frac{P2}{\text{Área de la corona}}$$

$$MOECP = \frac{L \times P1}{\text{Área de la corona} \times \Delta}$$

Donde:

ELPCP = esfuerzo en límite proporcional en compresión paralela; ERCP = esfuerzo de ruptura en compresión paralela; MOECP = módulo de elasticidad en compresión paralela; P1 = carga en el límite proporcional; P2 = carga máxima obtenida; Δ = deflexión en el límite proporcional (ajustado en el gráfico).

Figura 2.

Ensayo mecánico de compresión paralela



Nota. Elaboración de los autores.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se determinaron los valores promedios expresados en megapascales (MPa): desviación estándar; coeficiente de variación, máximos y mínimos de flexión y compresión paralela. Así mismo, se determinó el análisis de la distribución normal de datos y se realizó la comparación de medias a través de la prueba Tukey para determinar las diferencias significativas en los ensayos mecánicos. Se utilizó el programa estadístico SPSS 20.

Resultados

En primer lugar, se presenta la **tabla 3** que plasma los datos de cantidad de agua en porcentaje de las probetas para las pruebas mecánicas de flexión estática y compresión paralela, se observa que la cantidad de agua promedio de las probetas para el ensayo de flexión estática fue 14,6 %; mientras que, para la compresión paralela, la cantidad de agua promedio de las probetas fue 14 %.

Tabla 3.

Contenido de humedad promedio de las probetas.

Ensayo	Nivel	Ph promedio (G)	Psh promedio (G)	Ch promedio (%)
Flexión estática	Inferior	3400,0	2964,6	14,7
	Medio	1457,5	1272,8	14,5
	Superior	987,5	861,0	14,7
Compresión paralela	Inferior	1497,5	1310,0	14,3
	Medio	925,0	812,5	13,8
	Superior	305,0	267,5	14,0

Nota. PH es el peso húmedo, PSH es el peso seco al horno, CH es el contenido de humedad. Elaboración de los autores.

En las tablas 4 y 5 se muestran las estadísticas descriptivas de las variables del ensayo de flexión estática y de compresión paralela. Los coeficientes de variación se encuentran en un rango aceptable en el

ensayo de flexión estática, que oscila entre 4,18 % y 18,3 %, sin embargo, en el ensayo de compresión paralela, los coeficientes de variación superan el 20 %, oscilando entre 5,4 % y 37,8 %.

Tabla 4.

Descriptivo del ensayo de flexión estática. DE es la desviación estándar; C.V es el coeficiente de variación; MÍN es el mínimo; MÁX es el máximo

Variables	Nivel del culmo	Media (Mpa)	De	CV (%)	Mín	Máx
ELP	Inferior	13,5	1,5	11,0	10,8	15,8
	Medio	21,4	1,0	4,8	19,7	22,8
	Superior	37,8	2,1	5,7	34,8	41,0
MOR	Inferior	52,9	5,5	10,5	44,7	62,5
	Medio	69,0	7,2	10,4	59,2	79,2
	Superior	72,4	8,7	12,0	60,9	88,5
MOE	Inferior	4469,8	273,9	6,1	4017,8	4823,8
	Medio	16771,8	2348,4	14,0	13947,4	20022,7
	Superior	42188,9	7737,8	18,3	30393,9	53867,3

Nota. DE es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación; MÍN es el mínimo; MÁX es el máximo. Elaboración de los autores.

Tabla 5.

Descriptivo del ensayo de compresión paralela

Variables	Nivel del culmo	Media (mpa)	DE	CV (%)	MÍN	MÁX
ELP	Inferior	28,7	2,9	9,9	25,3	33,2
	Medio	27,3	5,2	18,9	20,5	36,2
	Superior	39,4	6,5	16,4	31,2	48,4
ERP	Inferior	30,9	1,7	5,4	28,4	33,4
	Medio	31,3	4,2	13,3	24,2	36,6
	Superior	43,7	8,7	20,0	30,0	56,7
MOE	Inferior	12232,9	1087,3	8,9	10319,8	13654,6
	Medio	6218,8	1517,0	24,4	4635,4	9223,2
	Superior	4514,8	1750,8	37,8	2149,4	6984,4

Nota. DE es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación; MÍN es el mínimo; MÁX es el máximo.

Elaboración de los autores.

En las tablas 6 y 7 se muestran las mediciones de normalidad para las pruebas mecánicas de flexión estática y compresión

paralela por cada nivel de culmo. Los datos registrados reportan una distribución normal (sig. > 0,05).

Tabla 6.

Prueba de normalidad de los datos en el ensayo de flexión estática

Variables	Nivel del culmo	Sig.
ELP	Inferior	0,417
	Medio	0,168
	Superior	0,062
MOR	Inferior	0,470
	Medio	0,164
	Superior	0,257
MOE	Inferior	0,248
	Medio	0,060
	Superior	0,341

Nota. Elaboración de los autores.

Tabla 7.

Prueba de normalidad de los datos en el ensayo de compresión paralela

Variables	Nivel del culmo	Sig.
ELP	Inferior	0,110
	Medio	0,402
	Superior	0,059
ERP	Inferior	0,299
	Medio	0,106
	Superior	0,471
MOE	Inferior	0,311
	Medio	0,076
	Superior	0,131

Nota. Elaboración de los autores.

En la **tabla 8** se observa la comparación de medias de las variables del ensayo de flexión estática a través de la prueba de Tukey. En el esfuerzo unitario en límite proporcional en flexión (ELP), se determinó que existen diferencias estadísticas significativas entre los tres niveles del culmo, registrando el nivel superior el esfuerzo más alto (37,8 MPa). En relación con el módulo de ruptura (MOR), se determinó que no existen diferencias estadísticas significativas entre

los niveles medio y superior; sin embargo, ambos reportan diferencias estadísticas significativas con el nivel inferior, registrando el nivel superior el módulo de ruptura más alto (72,4 MPa). En lo que concierne al módulo de elasticidad (MOE), se determinó que existen diferencias estadísticas significativas entre los tres niveles del culmo, registrando el nivel superior el módulo de elasticidad más alto (42188,9 MPa).

Tabla 8.

Prueba de Tukey para el ensayo de flexión estática

Nivel del culmo	N	Variables		
		ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Inferior	14	13,5	52,9	4469,7
Medio	14	21,4	69,1	16771,8
Superior	14	37,8	72,4	42188,9

Nota. Elaboración de los autores.

En la **tabla 9** se observa la comparación de medias de las variables del ensayo de flexión estática a través de la prueba de Tukey. En el esfuerzo unitario en límite proporcional en compresión paralela (ELP), se determinó que no existen diferencias estadísticas significativas entre los niveles inferior y medio; sin embargo, ambos reportan diferencias estadísticas significativas con el nivel superior, el cual registró el esfuerzo más alto (39,4 MPa). En relación con el esfuerzo de ruptura (ERP), se determinó

que no existen diferencias estadísticas significativas entre los niveles inferior y medio, sin embargo, ambos reportan diferencias estadísticas significativas con el nivel superior, registrando el nivel superior el esfuerzo de ruptura más alto (43,7 MPa). En lo que concierne al módulo de elasticidad (MOE), se determinó que existen diferencias estadísticas significativas entre los tres niveles del culmo, registrando el nivel inferior el módulo de elasticidad más alto (12232,9 MPa).

Tabla 9.

Prueba de Tukey para el ensayo de compresión paralela

Nivel del culmo	N	Variables		
		ELP (MPa)	ERP (MPa)	MOE (MPa)
Inferior	14	28,7	30,9	12232,9
Medio	14	27,3	31,3	6218,7
Superior	14	39,4	43,7	4514,8

Nota. Elaboración de los autores.

Discusión

Antes de efectuar las pruebas mecánicas de flexión estática y compresión paralela, se determinó la cantidad de agua de las probetas expresada en porcentaje, esto debido a que de acuerdo con Sánchez Cruz y Morales (2019), un incremento en la cantidad de agua disminuye la resistencia mecánica del material (bambú).

Rodríguez-Sotelo *et al.* (2023) reportaron que no existen diferencias estadísticas significativas entre los niveles del culmo

para las variables de flexión estática, esta investigación arrojó que sí hay diferencias estadísticas entre los niveles del culmo para las variables de flexión estática.

Los esfuerzos en el límite proporcional en flexión (ELP) de la especie *Guadua angustifolia* en el nivel inferior reporta valores menores en comparación a los valores del nivel medio y del nivel ápice; es decir que, a mayor nivel de altura del culmo, existe mayor ELP, coincidiendo con lo reportado por Rodríguez-Sotelo *et al.* (2023), con los valores de ELP en flexión de

la especie *Guadua superba*, los cuales fueron 43,52 MPa en cepa, 67,05 MPa en basa y 58,08 MPa en sobrebasa. Sin embargo, los valores promedio de ELP en *Guadua superba* (56,22 MPa) fueron superiores a los valores promedio de ELP en *Guadua angustifolia* (24,3 MPa). No obstante, nuestros valores son superiores a los valores promedio de ELP en *Guadua lynnclarkiae* (15,76 MPa) y *Guadua weberbaueri* (13,95 MPa) (Rodríguez-Sotelo *et al.*, 2023).

El módulo de ruptura en flexión (MOR) de la *Guadua angustifolia* en el nivel inferior reporta valores menores en comparación a los valores del nivel medio y del nivel ápice, coincidiendo con lo reportado por Rodríguez-Sotelo *et al.* (2023), con los valores de MOR en flexión de la especie *Guadua superba*, los cuales fueron 55,15 MPa en cepa, 84,49 MPa en basa y 73,97 MPa en sobrebasa; y por lo registrado por Zaragoza *et al.* (2015), quienes determinaron un incremento de 51,9 a 79,6 MPa en culmos de *Guadua aculeata*, desde la sección inferior a la superior. Sin embargo, los valores promedio de MOR en *Guadua superba* (71,20 MPa) fueron superiores a los valores promedio de MOR en *Guadua angustifolia* (64,8 MPa). No obstante, nuestros valores son superiores a los valores promedio de MOR en *Guadua lynnclarkiae* (21,01 MPa) y *Guadua weberbaueri* (17,70 MPa) (Rodríguez-Sotelo *et al.*, 2023). Los valores comprueban que las propiedades mecánicas oscilan y están relacionadas extremadamente con las características de la densidad, microestructura, posición del culmo y contenido de humedad (Rodríguez-Sotelo *et al.*, 2023).

El módulo de elasticidad en flexión (MOE) de la *Guadua angustifolia* en el nivel inferior reporta valores menores en comparación a los valores del nivel medio y del nivel ápice, es decir, a mayor nivel de altura del culmo, existe mayor MOE; coincidiendo con Zaragoza *et al.* (2015), quienes determinaron un incremento de 15.100 a 21.100 MPa en culmos de *Guadua aculeata*, desde la sección inferior a la superior. Los valores promedio de MOE reportados por Rodríguez-Sotelo *et al.* (2023) en *Guadua superba* (593106 MPa) fueron superiores a los valores promedio de MOE en *Guadua angustifolia* (21143,5 MPa). No obstante, nuestros valores son superiores a los valores promedio de MOE de *Guadua lynnclarkiae* (733,31 MPa) y de *Guadua weberbaueri* (663,78 MPa).

Los valores obtenidos en términos generales para flexión estática son buenos, sin embargo, no son superiores a los resultados logrados por compuestos a base de bambú, tal como lo muestran Hao *et al.* (2023) quienes reportan una deformación que se prolonga por más tiempo y también una mayor carga de flexión, por lo cual dichos compuestos están surgiendo como un material nuevo en la industria de la construcción y la decoración (Ding *et al.*, 2023); para ello, mediante tratamiento alcalino y tratamiento plasma se obtienen los compuestos, a través de un proceso de trituración mecánica de fibras de bambú (Sánchez *et al.*, 2020).

Rodríguez-Sotelo *et al.* (2023) en su investigación reportaron que no existen diferencias estadísticas significativas entre los niveles del culmo para las variables de compresión paralela, nuestro trabajo arroja

que existen diferencias estadísticas entre los niveles del culmo para las variables de compresión paralela, esto porque las probetas del nivel inferior reportaron un nudo, mientras que las probetas del nivel medio y superior no reportaron nudos, por lo cual, registran más altos valores en ELP y ERP, pero bajos valores en MOE. La ausencia de nudos en las probetas medio y superior para compresión paralela dificultan la determinación de las propiedades mecánicas del bambú, porque no existen normas específicas para dicho fin, por lo tanto, las probetas de *G. angustifolia* reportan diversas propiedades mecánicas en función a la posición de los nudos (Blanco *et al.*, 2020).

El ERP promedio en compresión paralela incrementó de 30,89 a 43,71 MPa desde la sección inferior hasta la sección superior, coincidiendo con Zaragoza *et al.* (2015), quienes determinaron un incremento de 28,2 a 56,7 MPa en culmos de *Guadua aculeata*, desde la sección inferior a la superior.

El MOE promedio en compresión paralela disminuyó de 12.232,86 MPa en el nivel inferior a 4514,78 MPa en el nivel superior, valores que difieren de lo reportado por Zaragoza *et al.* (2015), quienes determinaron un incremento de 13.700 a 20.700 MPa en culmos de *Guadua aculeata*, desde la sección inferior a la superior.

Con los resultados obtenidos se confirma que el bambú es un material que tiene múltiples usos y que puede ser empleado incluso en construcción, sin embargo, coincidiendo con Liu *et al.* (2023), la problemática apunta a incrementar la eficiencia para recolectar materiales y

disminuir los costos de la cosecha, con el fin de efectuar un buen y adecuado manejo del bambú. Además, es necesario actuar adecuadamente frente a la degradación, ya que el bambú es un material susceptible a la degradación por la escasez de toxinas naturales y por sus paredes delgadas (Elejoste *et al.*, 2022).

Conclusiones

Se determina las propiedades mecánicas de *Guadua angustifolia* a través de los ensayos de flexión estática y compresión paralela en probetas provenientes de un fundo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. Además, este estudio sirve como fuente primordial para el desarrollo del cultivo a nivel industrial y con sus cultivos da gran importancia a la preservación del medio ambiente en la Amazonia peruana.

Guadua angustifolia posee propiedades mecánicas adecuadas, por lo tanto, pueden ser empleadas en distintos usos considerando la construcción civil, sin embargo, se recomienda aumentar su rigidez y resistencia para ser empleada en estructuras complejas.

Referencias

- Aguirre-Cadena, J. F., Cadena- Iñíguez, J., Mora Tello, M., Ramírez-Valverde, B., Caso-Barrera, J., Martínez-Carrera, D. C. y Juárez-Sánchez, J. P. (2018). Bambú (*Bambusoideae*) comestible: cultivo promisorio para México. *Agroproductividad*, 11(9), 49-54.
- Barnett, Y. y Jabrane, F. (2017). Diseño de proyectos con bambú en Lima como estrategia de difusión de un método constructivo alternativo y sostenible. *Campus*, 22(23), 87-108. <https://doi.org/10.24265/campus.2017.v22n23.07>.
- Blanco, E., Fajardo, J., Carrasquero, E., Urbina, C. y Balbino León, J. (2020). Estudio de las propiedades a tensión de un material biocompuesto reforzado con haces de fibras cortas de bambú. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 163-176. <https://lc.cx/rDlyZN>.
- Cadena, D., Jácome, P. y Córdova, P. (2022). Determinación de las propiedades geométricas y mecánicas de compresión y tracción de la especie *Phyllostachys aurea* del Ecuador. *Campus*, 27(34), 261-282. <https://doi.org/10.24265/campus.2022.v27n34.07>.
- Cruz-Armendáriz, N., Ruiz-Sánchez, E. y Reyes-Agüero, J. (2021). Servicios ecosistémicos de las especies nativas e introducidas de bambú en la Huasteca Potosina, México: usos del bambú. *Acta Botánica Mexicana*, 128, 1-17. <https://lc.cx/Rlly6E>.
- Das, K., Rödel, M. O., Stanley, E., Srikanthan, A. N., Shanker, K. and Vijayakumar, S. P. (2023). Reed bamboos drive skull shape evolution in bush frogs of the Western Ghats, Peninsular India. *Ecology and Evolution*, 13(9), 1-10. <https://doi.org/10.1002/ece3.10493>.
- Ding, Y., Liu, T., Ma, Y., Yang, C., Shi, C., Cao, Y. and Zhang, J. (2023). Study on the Milling Machinability of Bamboo-Based Fiber Composites. *Forests*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/f14091924>.
- Elejoste, A., Osa, J. L., Arevalillo-Román, A., Eceiza, A., Abascal, J. M., Rico-Martínez, J. M., Butron, A. and Peña-Rodríguez, C. (2022). Mechanical Properties of Three Bamboo Species: Effect of External Climatic Conditions and Fungal Infestation in Laboratory Conditions. *Forests*, 13(12), 1-17. <https://doi.org/10.3390/f13122084>.
- Espitia, M., Sjogreen, C., Rodríguez, N., Calderón, J., Benavides, A., Peraza, R., Espitia, G. and Nemocón, R. (2018). Physical and mechanical characterization of *Guadua angustifolia* “Kunth” fibers from Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 33-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018003>.
- Gaitán-Bermúdez, A. y Fonthal-Rivera, G. (2020). Fabricación y análisis mecánico de compuestos de bambú *Guadua angustifolia* Kunth. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 207-214.

- <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020019>.
- García, B., Preciado, C., Bedoya, M. and Mendoza, O. (2019). Mechanical Characterization of *Angustifolia Kunth* and *Rayada Amarilla* Guadua Bamboo. *MATEC Web of Conferences*, 303(2), 1-6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930303002>
- Hao, X., Yu, Y., Yang, C. and Yu, W. (2023). In Situ Detection of the Flexural Fracture Behaviors of Inner and Outer Bamboo-Based Composites. *Forests*, 14(3), 1-11. <https://doi.org/10.3390/f14030515>.
- Lima-Pisco, R.-J., Rodríguez Rodríguez, A., Padilla Orlando, M. A. y Luna Báez, A. A. (2018). Contribuciones económicas ancestrales sustentadas en la caña guadua en Jipijapa -Manabi- Ecuador. *3c Empresa: Investigación y Pensamiento Crítico*, 7(3), 45-58. <https://lc.cx/ng9t7u>.
- Liu, L., Zhou, X., Li, Z., Zhang, X. and Guan, F. (2023). Effects of Different Cutting Widths on Physical and Mechanical Properties of Moso Bamboo under Strip Cutting. *Forests*, 14(10), 1-12. <https://doi.org/10.3390/f14102068>.
- Mao, S., Xu, Z., Wang, Q., Han, X., Wang, X., Chen, M. and Li, Y. (2023). Effect of Irradiation Process on Physical and Chemical Properties and Mildew Resistance of Bamboo. *Forests*, 14(5), 1-14. <https://doi.org/10.3390/f14051055>.
- Maya, J. M., Camargo, J. C. y Marino, O. (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/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06>.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Estrategia Nacional para el Desarrollo del Bambú (Probambú) 2022-2025*. <https://lc.cx/jcuizv>.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Manual de manejo integral del bambú (Guadua angustifolia Kunth). Experiencias en la región Amazonas*. <https://lc.cx/P12U6w>.
- Monsalve Alarcón, J., Sánchez Cruz, M. and Baquero Bastos, D. (2018). Evaluation of the physical and mechanical properties of caña brava (*Arundo donax*) reinforced panels. *Inge Cuc*, 14(1), 66-74. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.06>.
- Rodríguez-Sotelo, J. A., Abanto-Rodríguez, C., Flores-Romayna, M. A., Rodríguez-Vásquez, K. I., del Castillo-Torres, D., Guerra-Arévalo, W. F., García-Soria, D. G., Guerra-Arévalo, H. y Revilla-Chávez, J. M. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de *Guadua lynclarkiae*, *Guadua weberbaueri* y *Guadua superba* en Ucayali, Perú. *Ciencia Florestal*, 33(1), 1-23. <https://doi.org/10.5902/1980509868029>.
- Salazar, J. G., Santiago, O., Sánchez, V., Monroy, C. y Couttolenc, E. (2012). Modelo para determinar calidad de

Sitio a Edades tempranas de cuatro especies tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(11), 71-80. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i11.518>.

Sánchez Cruz, M. L. and Morales, L. Y. (2019). Influence of moisture content on the mechanical properties of Guadua Culms. *Inge Cuc*, 15(1), 99-108. <https://lc.cx/NITaxS>.

Sánchez, M. L., Patiño, W. A. y Cárdenas, J. W. (2020). Métodos de tratamiento superficial y su efecto en las propiedades físico mecánicas de fibra de guadua. *Scientia et Technica*, 25(1), 183-188. <https://lc.cx/cN3JBR>.

Zaragoza, I., Ordóñez, V., Bárcenas, G., Borja, A. y Zamudio, F. (2015). Propiedades físico-mecánicas de una guadua Mexicana (*Guadua aculeata*). *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 17(3), 505-516. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000045>.