

Primera Edición Digital



Caracterización físico-mecánica y aplicación estructural del bambú de la región Huánuco en el diseño de vivienda social sostenible para la Amazonía peruana

Erasmó Alejandro FERNÁNDEZ SIXTO.
Edgar Grimaldo MATTO PABLO.
Elisa Raquel QUINTANILLA HERRERA.
Jose Luis VILLAVICENCIO GUARDIA.



Ho Nexus
EDITORIAL

Caracterización físico-mecánica y aplicación estructural del bambú de la región Huánuco en el diseño de vivienda social sostenible para la Amazonía peruana

*Primera Edición
Digital*

Erasmus Alejandro FERNÁNDEZ SIXTO.
Edgar Grimaldo MATTO PABLO.
Elisa Raquel QUINTANILLA HERRERA.
Jose Luis VILLAVICENCIO GUARDIA.

HN
Ho Nexus
EDITORIAL

Caracterización físico-mecánica y aplicación estructural del bambú de la región Huánuco en el diseño de vivienda social sostenible para la Amazonía peruana

© Erasmo Alejandro FERNÁNDEZ SIXTO.

© Edgar Grimaldo MATTO PABLO.

© Elisa Raquel QUINTANILLA HERRERA.

© Jose Luis VILLAVICENCIO GUARDIA.

Editor de contenido: Natalia Beltran

Diseño de cubierta: Ho Nexus

1ª edición digital, setiembre 2026

Editado por:

© HO NEXUS E.I.R.L.

Dirección legal: Urb. Paseo del Mar Mz L4, Lt 33

Nuevo Chimbote, Santa, Áncash - Perú

Correo electrónico; ed.honexus@gmail.com

teléfono: 978 653 152

<https://books.honexus.org>

DOI: <https://doi.org/10.70504/978-612-99541-1-0>

Reservados todos los derechos de publicación en cualquier idioma; siendo su contenido protegido por la Ley vigente que establece penas de prisión y/o multas a quienes intencionadamente reprodujeren o plagiaran, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica.

Depósito Legal: 2026-11086

ISBN: 978-612-99541-1-0

Revisión por pares:

Este libro (o monografía) fue sometido a evaluación de pares mediante el sistema de doble ciego (doubleblinded review), garantizando la calidad, pertinencia, ética y rigor académico de la obra, conforme a los estándares internacionales de revisión científica y las políticas editoriales de Ho Nexus.

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	4
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
PARTE I: EL BAMBÚ Y SU POTENCIAL CONSTRUCTIVO	12
Capítulo 1. Un gigante de la naturaleza: el bambú en el contexto peruano	12
1.1 Más que una planta: el bambú como ecosistema.....	12
1.2 Diversidad de especies y su presencia en Huánuco.....	13
1.3 Razones para mirar al bambú: ventajas frente a materiales convencionales	15
1.4 Mitos y realidades: lo que la ingeniería dice sobre su uso estructural	17
Capítulo 2. Fundamentos físico-mecánicos del bambú como material estructural	21
2.1 Anatomía del culmo: nudos, fibras y su comportamiento mecánico.....	21
2.2 Propiedades físicas que definen su durabilidad	25
2.3 Propiedades mecánicas que lo convierten en “acero vegetal”	29
2.4 El módulo de elasticidad y la rigidez del bambú.....	36
.....	38
PARTE II: DE LA TEORÍA AL LABORATORIO: CARACTERIZACIÓN LOCAL ..	39
Capítulo 3. Metodología de investigación: cómo se estudiaron las muestras	39
3.1 Zonas de estudio y criterios de selección del bambú	39
3.2 Técnicas de campo: extracción, tratamiento y secado	41
3.3 Ensayos de propiedades físicas.....	42
3.4 Ensayos de propiedades mecánicas.....	43
3.5 Normativa técnica aplicada	45
Capítulo 4. Resultados experimentales y caracterización físico-mecánica del bambú...	48
4.1 Comportamiento físico del bambú de la región	48
4.2 Desempeño mecánico en compresión, tracción y flexión.....	49
4.3 Comparativa con normativas nacionales e internacionales	51
4.4 Lecciones aprendidas: variabilidad y consistencia del material	53
PARTE III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BAMBÚ: HACIA UNA VIVIENDA SOCIAL	56
Capítulo 5. Criterios de diseño estructural con bambú	56
5.1 Normativa aplicable y esfuerzos admisibles	56
5.2 Sistemas de unión: amarres, pernos y morteros	57
5.3 Arriostres, anclajes y comportamiento sísmico	60
5.4 Consideraciones de durabilidad: protección contra humedad e insectos	63

.....	65
Capítulo 6. Diseño arquitectónico de una vivienda de interés social	66
6.1 Concepto y programa de necesidades para familias de la selva.....	66
6.2 Distribución de espacios y flexibilidad de uso	68
6.3 Materiales complementarios: esterillas, hojas de yarina y bahareque	70
6.4 Instalaciones sanitarias y eficiencia en el consumo de agua.....	72
6.5 Planos estructurales y detalles constructivos	74
Capítulo 7. Viabilidad económica y ambiental.....	76
7.1 Comparativa de costos: bambú vs. sistemas tradicionales.....	76
7.2 Reducción de la huella de carbono y aprovechamiento de recursos locales	78
7.3 Impacto social: empleo, identidad y autoconstrucción	79
PARTE IV: REFLEXIONES FINALES	83
Capítulo 8. Discusión y perspectivas futuras	83
8.1 ¿Es el bambú una solución real para el déficit habitacional?	83
8.2 Limitaciones del estudio y recomendaciones para próximas investigaciones.....	84
8.3 El bambú en el contexto de la arquitectura sostenible del siglo XXI.....	86
CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFÍA.....	90

PRÓLOGO

El bambú ha acompañado a la humanidad durante milenios como un recurso versátil y generoso. En las culturas ancestrales de Asia y América Latina, este material ha sido utilizado para construir viviendas, puentes, utensilios y herramientas, demostrando una resistencia y durabilidad que desafían su aparente sencillez. Sin embargo, en el contexto de la construcción moderna, el bambú ha sido frecuentemente marginado frente a materiales industrializados como el acero y el concreto, a pesar de sus innegables ventajas ambientales y su notable relación resistencia-peso (Rosales Zapata, 2013).

La presente obra nace de la necesidad de revalorizar el bambú como un material estructural de pleno derecho, especialmente en regiones donde su disponibilidad es abundante y su aprovechamiento puede representar una solución tangible a problemas habitacionales apremiantes. En la Amazonía peruana, particularmente en las provincias de Leoncio Prado y Huamalíes, el bambú crece en condiciones naturales óptimas, pero su uso en la construcción sigue siendo predominantemente rústico y sin el respaldo de estudios técnicos que garanticen su correcta aplicación (Gutiérrez-Collao et al., 2024).

Este manuscrito es el resultado de un esfuerzo interdisciplinario que integra investigaciones realizadas en diferentes localidades de la región Huánuco, entre ellas el distrito de Pueblo Nuevo, el centro poblado de Carpish, la localidad de Palo de Acero-Monzón y el distrito de Pucayacu. A través de un riguroso proceso de evaluación de las propiedades físico-mecánicas del bambú *Guadua angustifolia*, se han establecido parámetros confiables que permiten su uso seguro y eficiente en la construcción de viviendas de interés social.

La obra se estructura en cuatro partes que abordan desde el contexto habitacional de la Amazonía peruana hasta las aplicaciones prácticas del bambú

en el diseño arquitectónico. El lector encontrará un análisis detallado de las propiedades físicas y mecánicas del material, los procedimientos de ensayo de laboratorio, los resultados obtenidos y su comparación con la normativa vigente, así como una propuesta concreta de vivienda social que integra los principios de sostenibilidad, eficiencia estructural y confort habitacional.

Este manuscrito está dirigido a estudiantes, profesionales de la arquitectura e ingeniería, así como a todos aquellos interesados en las alternativas constructivas sostenibles. Confiamos en que el conocimiento aquí compartido contribuirá a la difusión y adopción del bambú como un material estructural viable, promoviendo un desarrollo habitacional que respete el entorno y mejore la calidad de vida de las comunidades rurales de nuestra región.

Los autores

RESUMEN

La presente obra aborda la caracterización físico-mecánica del bambú *Guadua angustifolia* procedente de la región Huánuco (Perú) y su aplicación en el diseño de viviendas de interés social para la Amazonía peruana. La investigación surge como respuesta al déficit habitacional cuantitativo y cualitativo que afecta a distritos como Pueblo Nuevo, Carpish, Palo de Acero-Monzón y Pucayacu, donde la pobreza alcanza al 33.2% de la población y los materiales de construcción convencionales resultan inaccesibles. La metodología incluyó la selección, extracción y preparación de muestras siguiendo los estándares de la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 y la norma ISO 22157. Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar propiedades físicas (densidad, contenido de humedad y peso específico) y mecánicas (resistencia a la compresión, tracción y flexión), cuyos resultados fueron comparados con los parámetros del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (norma E.100). Los resultados obtenidos demuestran que el bambú *Guadua angustifolia* de la región presenta valores de resistencia que superan ampliamente los esfuerzos admisibles establecidos por la normativa peruana: resistencia a la compresión (23.5-49 MPa), tracción (58.8-247.1 MPa) y flexión (15.8-52.4 MPa), con densidades que oscilan entre 576 y 1,071 kg/m³. Estos hallazgos validan la idoneidad del bambú como material estructural para la construcción de viviendas sociales sostenibles. La obra culmina con una propuesta arquitectónica integral que integra criterios de diseño sísmico, eficiencia energética, confort térmico y viabilidad económica, demostrando que el bambú constituye una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable para enfrentar el déficit habitacional en la Amazonía peruana.

Palabras clave: Bambú, *Guadua angustifolia*, propiedades físico-mecánicas, vivienda social, construcción sostenible, Amazonía peruana.

INTRODUCCIÓN

La construcción de viviendas en zonas rurales de la Amazonía peruana enfrenta desafíos significativos derivados de la precariedad de los materiales disponibles, los altos costos de transporte y la falta de asistencia técnica especializada. En este contexto, el bambú emerge como una alternativa prometedora, ofreciendo ventajas ambientales y técnicas que lo posicionan como un material idóneo para la construcción de viviendas de interés social (Bello Zambrano & Villacreses Viteri, 2021).

El distrito de Pueblo Nuevo, ubicado en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, presenta un déficit habitacional cuantitativo significativo, agravado por condiciones de pobreza que afectan al 33.2% de su población (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018). Esta realidad se replica en otras localidades de la región, como Carpish, Palo de Acero-Monzón y Pucayacu, donde la falta de viviendas adecuadas y seguras representa un desafío que requiere soluciones innovadoras y sostenibles. La población de estas zonas, con recursos económicos limitados, encuentra en el bambú un material accesible y de bajo costo que puede ser aprovechado para mejorar sus condiciones habitacionales (Rosales Zapata, 2013).

El bambú *Guadua angustifolia*, especie ampliamente distribuida en la región, ha sido utilizado tradicionalmente de manera rústica, sin un conocimiento profundo de sus propiedades estructurales. Esta situación limita su potencial como material constructivo, ya que la ausencia de estudios técnicos impide su correcta aplicación en proyectos de edificación formal. Como señalan diversos investigadores (Oré Urbay, 2021) (Rosales Zapata, 2013), el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas del

bambú es fundamental para garantizar su uso seguro y eficiente en la construcción.

La investigación sobre las propiedades físico-mecánicas del bambú ha avanzado significativamente en las últimas décadas, con contribuciones importantes de autores como (Sánchez Escobar et al., 2019), quien realizó comparaciones entre diferentes municipios de Colombia, y (Pérez Sánchez & Quintana Jaramillo, 2019), quienes estudiaron el comportamiento mecánico del bambú en ensayos de compresión y flexión. Asimismo, el estudio de (Rosales Zapata, 2013) constituye un referente local importante al analizar las propiedades del bambú en la región Huánuco y proponer su aplicación en viviendas sismorresistentes. Más recientemente, (Gutiérrez-Collao et al., 2024) han documentado las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* para su uso y preservación en la Amazonía peruana, confirmando su idoneidad para la construcción civil.

La presente obra integra los hallazgos de cuatro investigaciones complementarias realizadas en diferentes localidades de la región Huánuco: el estudio de las propiedades físico-mecánicas del bambú en el distrito de Pueblo Nuevo, el análisis del bambú procedente de Carpish, la propuesta de vivienda ecológica en Palo de Acero-Monzón, y el diseño de una vivienda social sismorresistente en Pucayacu. Esta integración permite ofrecer una visión comprensiva del potencial del bambú como material estructural en la región.

El objetivo general de esta obra es determinar las propiedades físico-mecánicas del bambú *Guadua angustifolia* con fines de diseño de un módulo de vivienda de interés social en el distrito de Pueblo Nuevo y localidades aledañas. Este objetivo se desglosa en metas específicas que incluyen la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del

material, la elaboración de un cuadro comparativo con la normativa de construcción, particularmente el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú en su norma E.100 (Sencico, 2006) (Ministerio de Vivienda, 2020), el diseño arquitectónico de un módulo de vivienda, el diseño de instalaciones sanitarias y el diseño estructural de la vivienda.

Desde una perspectiva técnica, esta obra determina con precisión los valores reales de las propiedades físicas y mecánicas del bambú en la región, permitiendo su utilización como material estructural en diferentes proyectos. Desde el enfoque económico, se anticipa un impacto positivo en la economía de las personas con recursos limitados, al ofrecer un material propio del lugar que no genera gastos energéticos de transporte y tiene menor costo constructivo (Pozo Ancho et al., 2021). Desde el punto de vista ambiental, la investigación propone un impulso significativo para la integración del bambú en la arquitectura e ingeniería, frente a los materiales tradicionales que emiten grandes cantidades de CO₂ (García Ochoa et al., 2020). El bambú, conocido como el "acero vegetal" por su increíble resistencia, ha demostrado ser una alternativa sostenible y viable a otros materiales convencionales (Banco Interamericano de Desarrollo, 2023).

La metodología empleada incluyó la recolección de muestras de bambú en las localidades de estudio, la preparación de probetas según la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 (ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2007) y la realización de ensayos de laboratorio para determinar propiedades físicas (densidad, contenido de humedad, peso específico) y mecánicas (resistencia a la compresión, tracción y flexión). Los resultados obtenidos fueron

comparados con los parámetros establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones y otras normativas internacionales.

Esta obra representa una contribución significativa al conocimiento del bambú como material estructural en la región Huánuco, ofreciendo bases técnicas para su aplicación en proyectos de vivienda social que puedan mejorar la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables de la Amazonía peruana.



PARTE I: EL BAMBÚ Y SU POTENCIAL CONSTRUCTIVO

Capítulo 1. Un gigante de la naturaleza: el bambú en el contexto peruano

1.1 Más que una planta: el bambú como ecosistema

El bambú (Bambusoideae) es mucho más que una simple planta; constituye un ecosistema en sí mismo y un recurso natural de extraordinario valor para las comunidades que habitan en regiones tropicales y subtropicales. Perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae), al igual que el maíz, el trigo o el arroz, el bambú se distingue por su rápido crecimiento, su tallo leñoso y su capacidad de regeneración, características que lo convierten en un aliado estratégico para el desarrollo sostenible (Oré Urbay, 2021).

Características botánicas. El bambú presenta una estructura única que lo diferencia de otros vegetales. Sus tallos, denominados culmos, son cilíndricos, generalmente huecos y están divididos en segmentos llamados entrenudos, separados por los nudos o septos transversales. Los nudos actúan como refuerzos estructurales que impiden la propagación de grietas y aumentan la resistencia a la compresión axial (Fernández Sánchez, 2022). La pared del culmo está compuesta por fibras de celulosa embebidas en una matriz de lignina y hemicelulosa, lo que le confiere una notable resistencia mecánica con un peso relativamente bajo.

La altura del bambú varía desde unos pocos centímetros hasta los 40 metros, dependiendo de la especie. Casi todos los bambúes son erguidos, aunque algunas especies presentan tallos curvos en los extremos. Sus hojas, largas y delgadas, crecen en los nudos de los árboles jóvenes, mientras que las ramas frondosas emergen de los ejemplares más maduros.

Distribución geográfica. El bambú se encuentra en todos los continentes, excepto en la Antártida y Europa, con una concentración particular en las regiones tropicales y subtropicales de Asia, América Latina y África. En el Perú, el bambú *Guadua angustifolia* se distribuye en 16 de los 24 departamentos, creciendo desde el nivel del mar hasta los 2,000 metros de altitud (SERFOR - Servicio Nacional Forestal y de Fauna, 2022). En la región Huánuco, particularmente en las provincias de Leoncio Prado y Huamalíes, esta especie es abundante y ha sido utilizada tradicionalmente por las comunidades locales.

Funciones ecológicas. El bambú desempeña un papel fundamental en la protección de los ecosistemas. Sus raíces fibrosas estabilizan el suelo, previniendo la erosión y reduciendo el riesgo de deslizamientos e inundaciones. Además, el bambú tiene una capacidad excepcional para capturar carbono: un bosque de bambú puede absorber hasta 12 toneladas de CO₂ por hectárea al año, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático (González Camargo, 2022). La hojarasca que genera se incorpora al suelo, mejorando su calidad y fertilidad.

1.2 Diversidad de especies y su presencia en Huánuco

La subfamilia Bambusoideae comprende más de 115 géneros y aproximadamente 1,400 especies distribuidas en todo el mundo. En América Latina, las especies más utilizadas en construcción pertenecen al género

Guadua, destacando la *Guadua angustifolia* por sus excepcionales propiedades estructurales.

Especies relevantes para la construcción. Entre las especies de bambú con mayor potencial estructural se encuentran:

- *Guadua angustifolia*: considerada uno de los mejores bambúes del mundo para construcción, con culmos que pueden alcanzar los 20 metros de altura y diámetros de 10 a 15 centímetros. Su pared es gruesa y sus fibras presentan una excelente orientación longitudinal, lo que le confiere una alta resistencia a la tracción y flexión. Es la especie más utilizada en el Perú y en gran parte de América Latina (SERFOR - Servicio Nacional Forestal y de Fauna, 2022).
- *Dendrocalamus asper*: Especie de gran tamaño originaria del sudeste asiático, con culmos que pueden superar los 30 metros de altura y 30 centímetros de diámetro. Se utiliza en construcción, aunque su resistencia es ligeramente inferior a la de la *Guadua angustifolia*.
- *Phyllostachys aurea*: Especie de tamaño medio, originaria de China, que ha sido introducida en varias regiones de América. Se utiliza en estructuras ligeras y en la fabricación de muebles.

Presencia en la región Huánuco. En la región Huánuco, el bambú *Guadua angustifolia* crece en condiciones naturales en varias localidades, entre las que destacan:

- Distrito de Pueblo Nuevo (provincia de Leoncio Prado): Ubicado a una altitud de 612 m.s.n.m., con coordenadas aproximadas -9.078207, -76.063805. Esta zona se caracteriza por su clima tropical húmedo, que favorece el crecimiento vigoroso del bambú. Según el Censo Nacional 2017, el distrito presenta niveles significativos de pobreza que afectan al

33.2% de su población (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

- Centro Poblado de Carpish (distrito de Chinchao): Ubicado en el Área de Conservación Regional Bosque Montano de Carpish, con coordenadas 9°42'05"S 76°07'06"O. Esta zona presenta un clima de transición entre el andino y el amazónico, con condiciones que favorecen el crecimiento de bambú de alta calidad.
- Localidad de Palo de Acero (distrito de Monzón): Ubicada en un valle selvático donde crece una variedad de plantas, incluyendo el bambú *Guadua angustifolia*. Según el (GRH - Gobierno Regional Huánuco, 2022), esta localidad presenta grados significativos de pobreza y pobreza extrema.
- Distrito de Pucayacu (provincia de Leoncio Prado): Zona con condiciones climáticas y geográficas similares a las de Pueblo Nuevo, donde el bambú es abundante.

1.3 Razones para mirar al bambú: ventajas frente a materiales convencionales

El bambú presenta numerosas ventajas que lo posicionan como un material constructivo de gran potencial, especialmente en el contexto de la vivienda social en regiones como la Amazonía peruana.

Sostenibilidad ambiental. El bambú es uno de los recursos renovables de más rápido crecimiento en el planeta. Algunas especies pueden crecer hasta un metro por día, alcanzando su madurez en 4 a 6 años. Su capacidad de regeneración es notable: después de la cosecha, el sistema radicular permanece vivo y produce nuevos brotes sin necesidad de replantación (Torres et al., 2019). Esta característica lo convierte en una alternativa sostenible frente a la madera

de bosques nativos, cuya tala indiscriminada es uno de los principales impulsores de la deforestación en la Amazonía.

Relación resistencia-peso. El bambú presenta una relación resistencia-peso superior a la del acero, lo que lo convierte en un material excepcional para aplicaciones estructurales. Esta característica se debe a la disposición y composición de sus fibras, que le proporcionan una gran resistencia a la tracción y flexión con un peso relativamente bajo (Dans Vilela et al., 2020). El bambú es un material estructuralmente eficiente con un excelente ratio peso-resistencia, que se usa en un amplio abanico de aplicaciones estructurales (Rosales Zapata, 2013).

Comportamiento sísmico. La ligereza y flexibilidad del bambú le otorgan un comportamiento sísmico favorable. Las estructuras de bambú pueden absorber energía sísmica mediante deformaciones elásticas, reduciendo el riesgo de colapso frente a movimientos telúricos. Esta propiedad es especialmente relevante en la región Huánuco, que se encuentra en una zona de alta sismicidad.

Aislamiento térmico y acústico. La estructura celular del bambú le confiere propiedades de aislamiento térmico y acústico que mejoran el confort interior de las viviendas, reduciendo la necesidad de sistemas de climatización artificial (Cholán Villacorta, 2021). En las condiciones climáticas de la Amazonía, caracterizadas por altas temperaturas y humedad, esta propiedad contribuye significativamente al bienestar de los ocupantes.

Bajo costo y accesibilidad. En regiones donde el bambú es abundante, su costo es significativamente inferior al de materiales convencionales como el acero, el concreto o la madera industrializada. Un análisis comparativo realizado por (Pozo Ancho et al., 2021) Demostró que el costo de construcción de una vivienda de bambú es aproximadamente el 36.5% del costo de una vivienda de

concreto armado de características similares. Esta ventaja económica es crucial para la viabilidad de proyectos de vivienda social.

1.4 Mitos y realidades: lo que la ingeniería dice sobre su uso estructural

A pesar de sus numerosas ventajas, el bambú ha sido tradicionalmente considerado un "material para pobres" o una solución temporal, percepciones que no se corresponden con la realidad de sus propiedades estructurales. La ingeniería moderna ha demostrado que, con los tratamientos y diseños adecuados, el bambú puede competir con los materiales convencionales en términos de resistencia, durabilidad y seguridad.

Mito 1: "El bambú es un material débil y poco durable"

Realidad: El bambú *Guadua angustifolia* presenta valores de resistencia que superan ampliamente los de muchos materiales convencionales. La resistencia a la compresión del bambú (23.5-49 MPa) es comparable o superior a la del concreto convencional (20-40 MPa). Su resistencia a la tracción (58.8-247.1 MPa) es superior a la de la madera estructural y, en términos de resistencia específica, puede superar al acero. La durabilidad del bambú, cuando recibe los tratamientos de preservación adecuados, puede superar los 50 años.

Mito 2: "El bambú no es un material seguro para la construcción"

Realidad: El Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú incluye la Norma E.100 "Bambú", que establece los requisitos técnicos para el diseño y construcción de edificaciones con este material (Ministerio de Vivienda, 2020). Esta norma, basada en investigaciones internacionales y ensayos de laboratorio,

garantiza que las estructuras de bambú cumplan con los estándares de seguridad exigidos.

Mito 3: "La construcción con bambú es solo para zonas rurales"

Realidad: El bambú se utiliza actualmente en proyectos arquitectónicos de vanguardia en todo el mundo, incluyendo edificios de múltiples pisos, centros culturales y viviendas de lujo. En países como Colombia, Costa Rica y Ecuador, el bambú es un material reconocido y valorado en la construcción formal.

Mito 4: "El bambú atrae insectos y se pudre fácilmente"

Realidad: Si bien el bambú es susceptible al ataque de insectos xilófagos y hongos, existen tratamientos de preservación efectivos que garantizan su durabilidad. La inmersión en soluciones de bórax y ácido bórico, el secado al horno y el curado con humo son métodos que eliminan los organismos dañinos y protegen el material. La clave está en aplicar estos tratamientos correctamente y proteger el bambú de la humedad excesiva mediante diseños arquitectónicos adecuados (aleros amplios, elevación del piso, etc.) (Morán Ubidia, 2015).

Mito 5: "El bambú no tiene normativa técnica"

Realidad: Existen numerosas normas técnicas que regulan el uso del bambú en construcción. A nivel internacional, la ISO 22157:2019 establece los métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los culmos de bambú (International Organization for Standardization, 2019). En Colombia, la NTC 5525 especifica los métodos de ensayo para la *Guadua angustifolia* Kunth (ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y

Certificación, 2007). En el Perú, la Norma E.100 del Reglamento Nacional de Edificaciones regula el diseño y construcción con bambú (Ministerio de Vivienda, 2020).



Capítulo 2. Fundamentos físico-mecánicos del bambú como material estructural

2.1 Anatomía del culmo: nudos, fibras y su comportamiento mecánico

Para comprender las propiedades estructurales del bambú, es fundamental conocer su anatomía y cómo esta influye en su comportamiento bajo carga. El bambú *Guadua angustifolia* presenta una organización jerárquica que va desde la escala macroscópica del culmo hasta la microestructura de sus fibras (Rodríguez Sotelo et al., 2023).

Estructura del culmo. El culmo o tallo del bambú es una estructura cilíndrica, generalmente hueca, compuesta por una serie de segmentos llamados entrenudos, separados por los nudos o septos transversales. Esta estructura segmentada es característica de la familia de las gramíneas y confiere al bambú propiedades mecánicas particulares.

Los nudos son las articulaciones del culmo que marcan puntos de crecimiento y refuerzo estructural. Presentan un engrosamiento de la pared y un septo interno que divide el espacio hueco en compartimentos. Esta estructura actúa como refuerzo transversal que impide la propagación de grietas y aumenta la resistencia a la compresión axial. (Fernández Sánchez, 2022) Señala que los nudos actúan como puntos de concentración de tensiones, pero también como refuerzos que evitan el pandeo y la fractura.

Los entrenudos son las secciones entre nudos, generalmente huecas, con una pared de espesor variable que disminuye desde la base hacia el ápice del

culmo. La pared del entrenudo está compuesta por varias capas con diferente densidad y orientación de fibras.

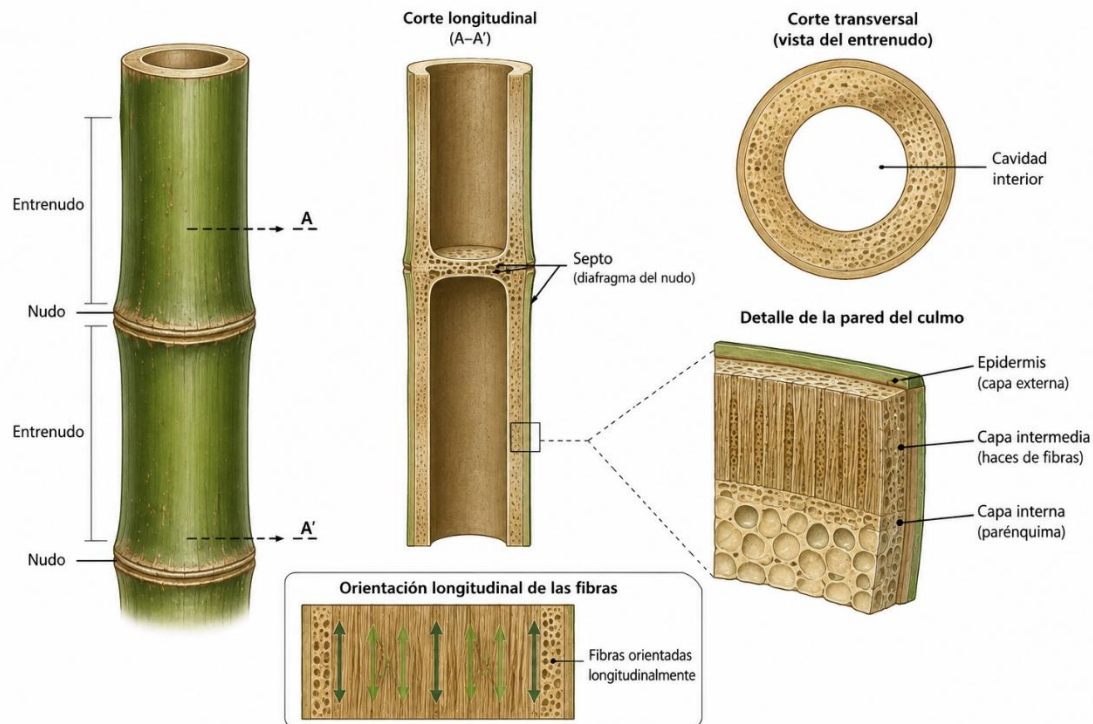


Figura 2.1. Anatomía del culmo de *Guadua angustifolia*

Microestructura y composición. La pared del bambú está compuesta por fibras de celulosa embebidas en una matriz de lignina y hemicelulosa. Esta estructura, similar a la de los materiales compuestos, confiere al bambú propiedades anisotrópicas, es decir, diferentes comportamientos según la dirección de la carga.

- Fibras de celulosa: Constituyen el elemento de refuerzo de la pared del bambú, proporcionando resistencia a la tracción. Las fibras están orientadas longitudinalmente, paralelas al eje del culmo, lo que explica la elevada resistencia a la tracción en esta dirección. La densidad de fibras varía radialmente, siendo mayor en la capa externa que en la interna (Alvarez Vega, 2019).

- **Matriz de lignina:** Actúa como aglutinante de las fibras, proporcionando rigidez y resistencia a la compresión. La lignina es un polímero complejo que confiere al bambú su carácter leñoso y su resistencia a la degradación biológica.
- **Hemicelulosa:** Es un componente intermedio que contribuye a la cohesión de la estructura y a la capacidad del bambú para absorber y liberar humedad.

Distribución de fibras y su influencia mecánica. La distribución de fibras en la pared del bambú es un factor determinante de sus propiedades mecánicas. La densidad de fibras aumenta desde la zona interna (más próxima a la cavidad) hacia la zona externa, que presenta la mayor concentración de fibras.

La capa externa (epidermis) presenta una alta densidad de fibras de esclerénquima que le confieren gran resistencia a la tracción y al desgaste. La capa intermedia es la más gruesa y está compuesta por fibras de esclerénquima distribuidas en haces junto con parénquima. La capa interna presenta la menor densidad de fibras y está compuesta principalmente por parénquima y vasos.

La distribución radial de fibras influye directamente en la resistencia a la flexión y compresión del bambú. Las secciones con mayor densidad de fibras (zona externa) son las que soportan las mayores tensiones, como ocurre en el ensayo de flexión, donde la zona externa está sometida a tracción y la interna a compresión.

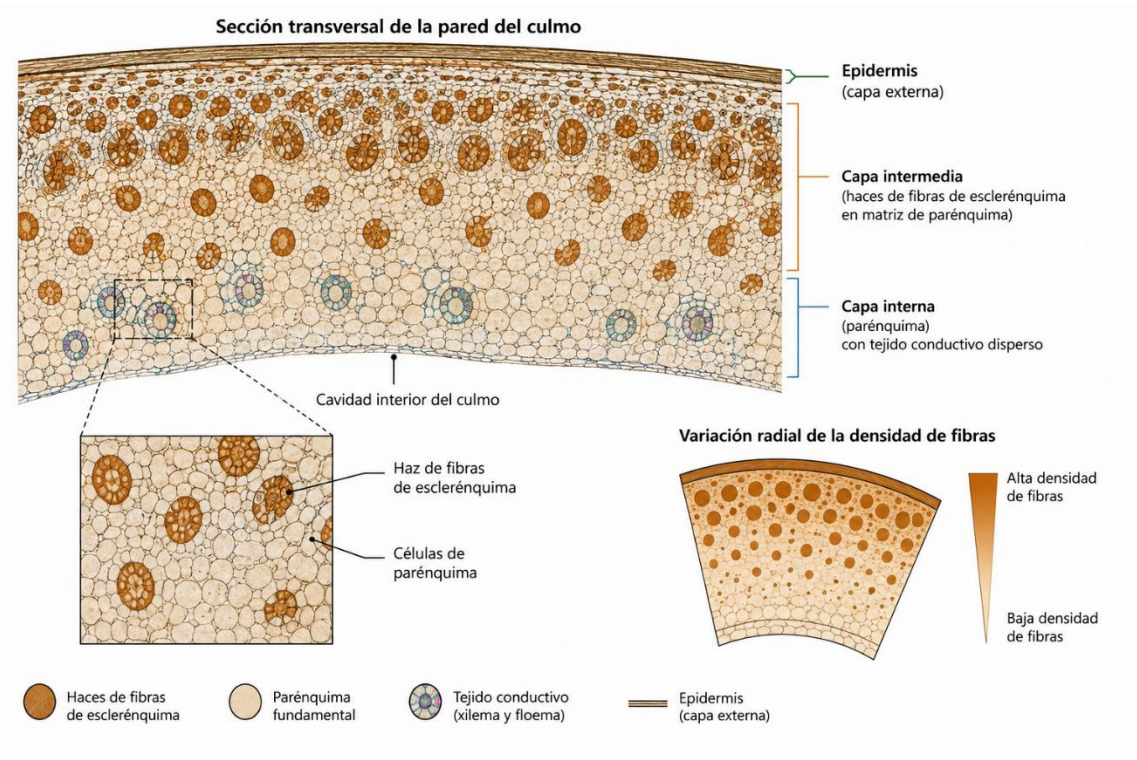


Figura 2.2. Sección transversal de la pared del culmo

Influencia de los nudos en el comportamiento mecánico. Los nudos desempeñan un papel fundamental en el comportamiento estructural del bambú. Aunque son puntos de discontinuidad en la orientación de las fibras, actúan como refuerzos transversales que mejoran la resistencia y la estabilidad del culmo.

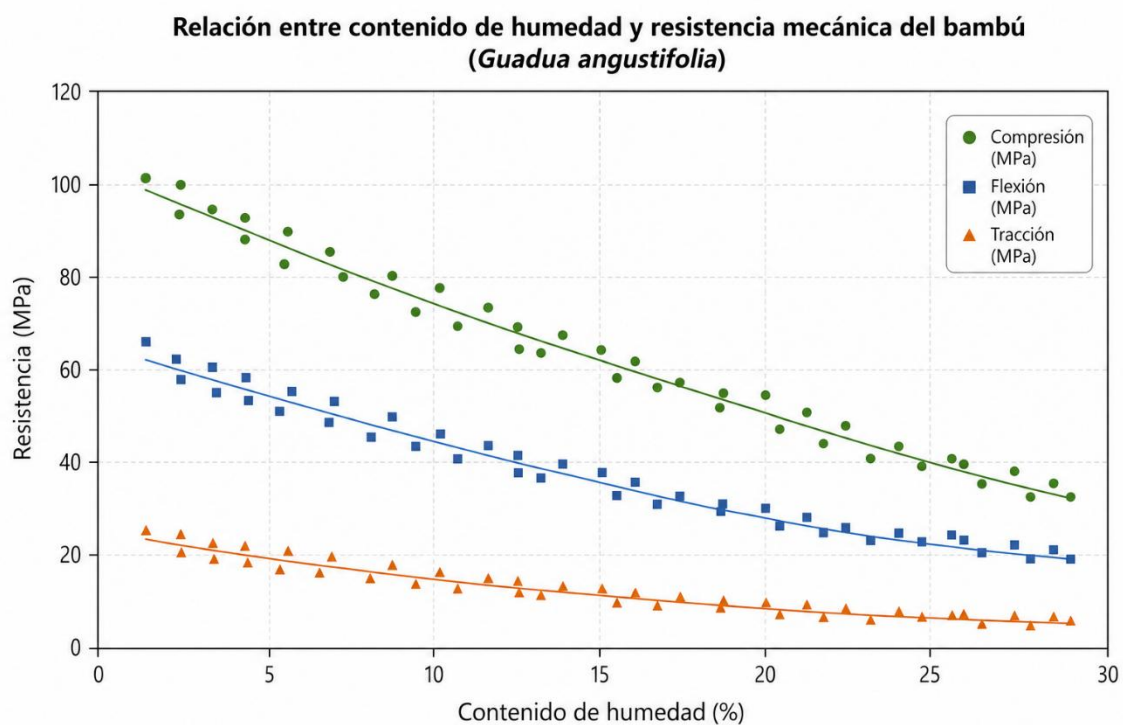
(Fernández Sánchez, 2022) Estudió el efecto de los nudos en las propiedades mecánicas del bambú y encontró que las muestras con nudos presentaban mayor resistencia a la compresión que las muestras sin nudos. Este comportamiento se debe a que el nudo actúa como una "barrera" que impide la propagación de grietas y redistribuye las tensiones en la pared del culmo. Investigaciones recientes confirman que las muestras con nudo en el medio son más resistentes a los esfuerzos de compresión, mientras que las muestras sin nudo son más resistentes a los esfuerzos de flexión y tracción (Rodríguez Sotelo et al., 2023).

2.2 Propiedades físicas que definen su durabilidad

Las propiedades físicas del bambú son aquellas que definen su comportamiento en respuesta a estímulos no mecánicos, como la humedad, la temperatura o el peso. Estas propiedades son fundamentales para comprender el comportamiento del material en condiciones reales de servicio y para garantizar su durabilidad y desempeño.

2.2.1 Contenido de humedad y su relación con la resistencia

El contenido de humedad es una de las propiedades físicas más importantes del bambú, ya que influye directamente en todas sus propiedades mecánicas y en su durabilidad. Se define como la cantidad de agua presente en el material, expresada como porcentaje de la masa seca.



Definición y medición. El contenido de humedad se determina mediante el método de secado en horno, que consiste en pesar la probeta en estado húmedo, secarla en un horno a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, y pesar nuevamente. El contenido de humedad se calcula con la fórmula:

$$CH = (m_h - m_s) / m_s \times 100$$

Donde CH es el contenido de humedad (%), m_h es la masa húmeda (g) y m_s es la masa seca (g).

Contenido de humedad de equilibrio. El bambú, al ser un material higroscópico, absorbe o libera humedad hasta alcanzar el equilibrio con el ambiente que lo rodea. El contenido de humedad de equilibrio depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente, y varía entre 8% y 15% en condiciones interiores normales.

Para aplicaciones estructurales, es fundamental que el bambú se utilice en un contenido de humedad cercano al de equilibrio, ya que los cambios de humedad provocan variaciones dimensionales (hinchamiento y contracción) que pueden afectar la integridad de las uniones y la estabilidad de la estructura.

Influencia en las propiedades mecánicas. El contenido de humedad tiene un efecto significativo en las propiedades mecánicas del bambú. En general, a mayor contenido de humedad, menor resistencia mecánica. Esta relación se debe a que el agua actúa como plastificante, reduciendo la rigidez y resistencia de las fibras.

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) establece que el bambú estructural debe tener un contenido de humedad correspondiente al contenido de humedad de equilibrio del sitio de construcción. En la región Huánuco, las condiciones climáticas determinan contenidos de humedad de equilibrio que

oscilan entre 10% y 18%, dependiendo de la ubicación y la época del año (Ministerio de Vivienda, 2020).

2.2.2 Densidad y peso específico: claves para estructuras ligeras

Densidad. La densidad es una propiedad física fundamental del bambú que influye directamente en su resistencia mecánica y durabilidad. Se define como la relación entre la masa y el volumen del material, y se expresa comúnmente en kg/m^3 .

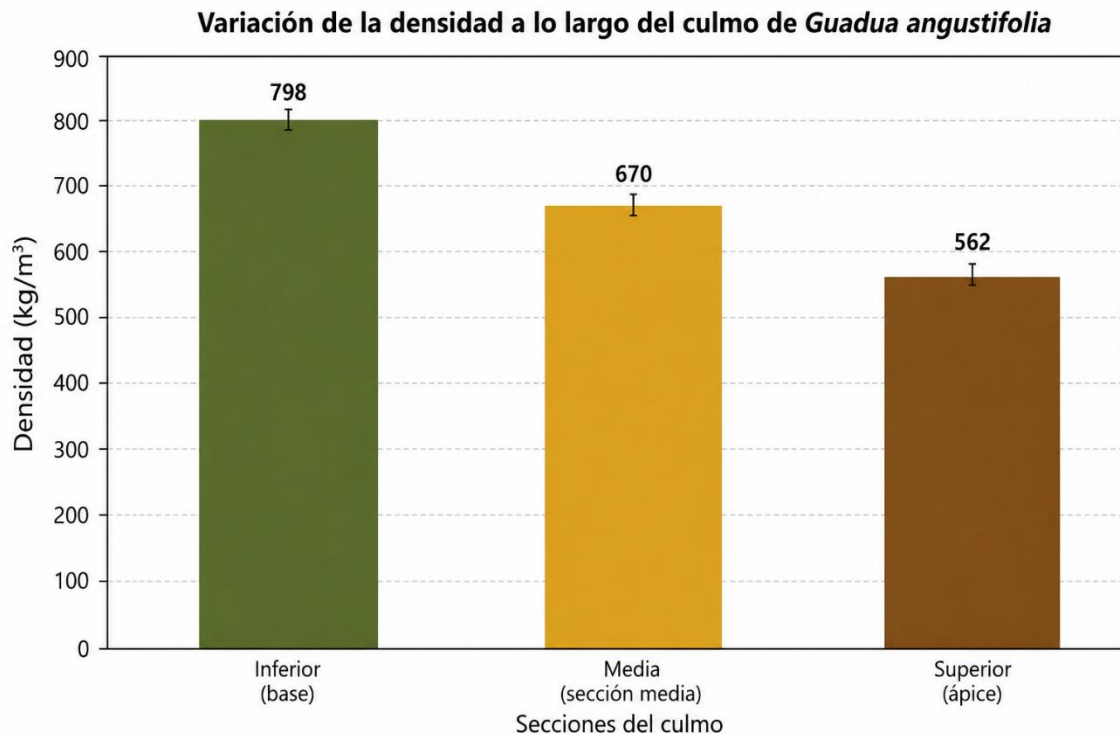
La densidad del bambú no es uniforme a lo largo del culmo, sino que varía significativamente desde la base hasta el ápice. (Alvarez Vega, 2019), en su estudio sobre *Bambusa vulgaris*, encontró que la densidad más alta se encuentra en la parte inferior o basal, donde el culmo es más grueso, y que disminuye hacia la parte superior.

Los valores de densidad del bambú *Guadua angustifolia* en la región Huánuco, determinados a partir de los ensayos realizados, presentan un rango de variación que refleja esta heterogeneidad. Los valores promedio obtenidos en las diferentes investigaciones son:

- Pueblo Nuevo: 576 kg/m^3
- Carpish: $810.76 - 1071.03 \text{ kg/m}^3$
- Palo de Acero-Monzón: 847.87 kg/m^3
- Pucayacu: $752.52 - 1917.99 \text{ kg/m}^3$

La variabilidad observada entre las diferentes localidades puede atribuirse a factores como las condiciones del suelo, el clima y la edad de los culmos muestreados. En general, la densidad de la *Guadua angustifolia* se encuentra en el rango de 600 a 900 kg/m^3 .

Existe una correlación positiva entre la densidad del bambú y su resistencia mecánica. Cuanto mayor es la densidad, mayor es la resistencia a la compresión, tracción y flexión. Esta relación se debe a que una mayor densidad implica una mayor proporción de fibras, que son el elemento de refuerzo principal del material.



Peso específico. El peso específico es la relación entre el peso de un material y su volumen. Se diferencia de la densidad en que considera el peso (fuerza gravitacional) en lugar de la masa. En el Sistema Internacional, el peso específico se expresa en N/m^3 .

El peso específico se calcula multiplicando la densidad por la aceleración de la gravedad: $\gamma = \rho \times g$, donde γ es el peso específico (N/m^3), ρ es la densidad (kg/m^3) y g es la aceleración de la gravedad (m/s^2).

Para la región Huánuco, la aceleración de la gravedad tiene un valor de 9.7760 m/s^2 , ligeramente inferior al valor estándar de 9.80665 m/s^2 debido a la altitud y la ubicación geográfica. Los valores de peso específico del bambú

Guadua angustifolia en la región Huánuco varían según la localidad de procedencia y la sección del culmo. Los valores promedio obtenidos son:

- Palo de Acero-Monzón: 8,288.87 N/m³
- Carpish: 10,365.38 N/m³ (promedio)

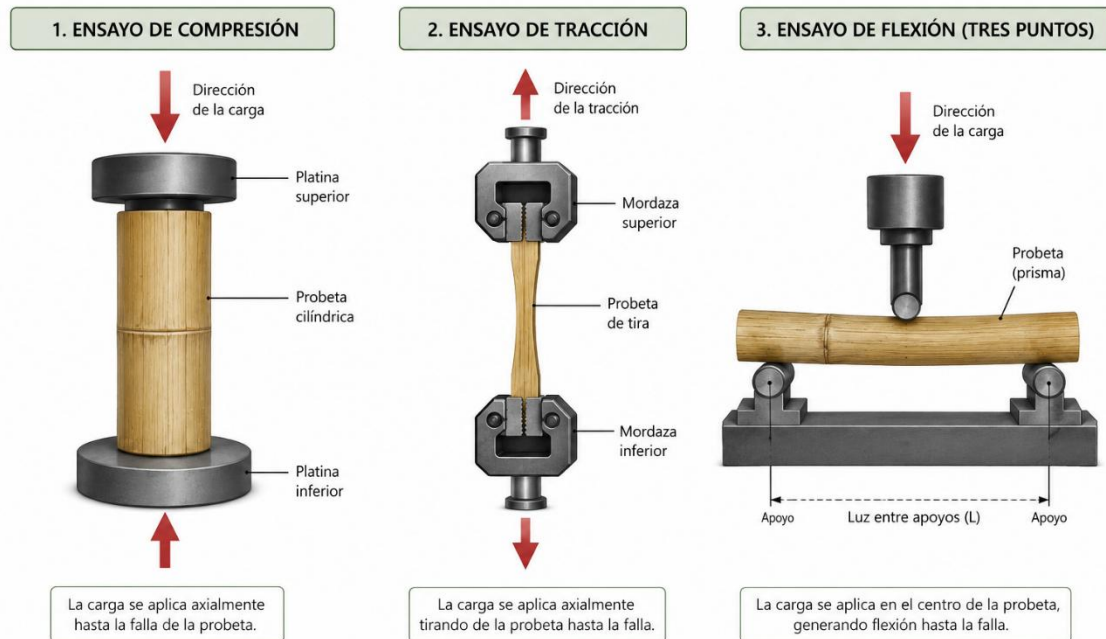
El peso específico del bambú es un parámetro importante para el diseño estructural, ya que determina el peso propio de los elementos y las cargas que deben ser soportadas por la cimentación y los elementos de soporte. Un material con bajo peso específico permite estructuras más ligeras, reduciendo los costos de cimentación y facilitando el transporte y manejo.

2.3 Propiedades mecánicas que lo convierten en “acero vegetal”

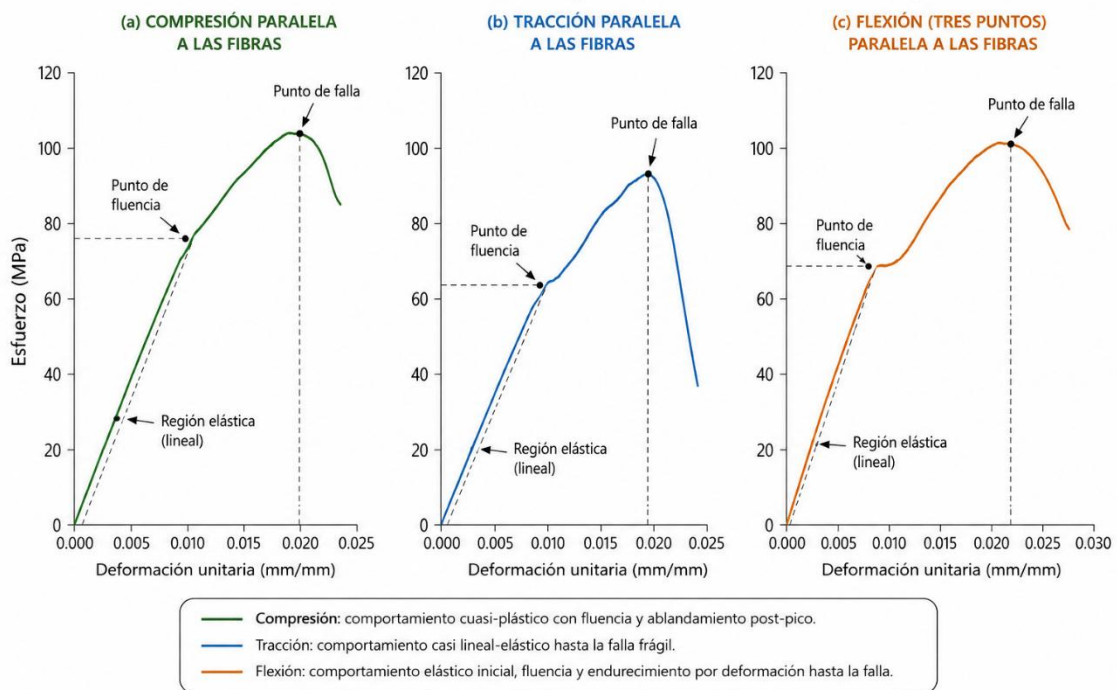
Las propiedades mecánicas del bambú son aquellas que describen su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas. Estas propiedades incluyen la resistencia a la compresión, tracción y flexión, así como la rigidez (módulo de elasticidad) y la tenacidad. El conocimiento de estas propiedades es fundamental para el diseño estructural y la garantía de seguridad de las construcciones con bambú.

El bambú presenta un comportamiento mecánico que lo asemeja a los materiales compuestos, con una excelente resistencia en la dirección longitudinal de las fibras y una resistencia significativamente menor en las direcciones transversales. Esta anisotropía debe ser considerada en el diseño estructural, orientando los elementos según las direcciones de las cargas principales.

Esquema de los ensayos mecánicos en probetas de bambú (*Guadua angustifolia*)



Curvas esfuerzo-deformación típicas del bambú (*Guadua angustifolia*)



2.3.1 Resistencia a la compresión: el soporte vertical

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para soportar fuerzas que tienden a acortarlo o aplastarlo. En el bambú, esta

propiedad es particularmente importante para elementos verticales como columnas y puntales.

Definición y medición. La resistencia a la compresión se determina mediante ensayos de compresión axial, en los que se aplica una carga gradual a una probeta de bambú hasta que se produce la falla. El esfuerzo último de compresión (σ_{ult}) se calcula como la carga máxima dividida por el área de la sección transversal:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A$$

Donde σ_{ult} es el esfuerzo último de compresión (MPa o N/mm²), F_{ult} es la carga máxima aplicada (N) y A es el área de la sección transversal (mm²).

Comportamiento observado. Los ensayos de compresión realizados en las diferentes localidades de estudio revelan un comportamiento consistente del bambú *Guadua angustifolia*, con valores de resistencia que varían según la sección del culmo y la localidad de procedencia.

(Pérez Sánchez & Quintana Jaramillo, 2019) Encontraron que la resistencia a la compresión de muestras con nudos (33.13 MPa promedio) es superior a la de muestras sin nudos (26.5 MPa promedio), lo que confirma el efecto de refuerzo de los nudos. Los autores también observaron que la respuesta mecánica de las muestras anudadas es mayor que la de las muestras sin nudo, tanto en términos de esfuerzo unitario como de resistencia a la compresión perpendicular a la fibra.

(Rosales Zapata, 2013) Obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión de 49 MPa para el bambú de la región Huánuco, significativamente superior al esfuerzo admisible de 13 MPa establecido por el RNE.

Las investigaciones realizadas en el marco de la presente obra han obtenido los siguientes valores promedio:

- Carpish: 23.49 MPa
- Palo de Acero-Monzón: 29.5 MPa
- Pueblo Nuevo: 32.6 MPa

Estos valores, aunque presentan variaciones, son superiores al esfuerzo admisible establecido por el RNE, lo que indica la viabilidad del bambú para aplicaciones estructurales con un margen de seguridad adecuado.

Factores que influyen. La resistencia a la compresión del bambú está influenciada por varios factores: el contenido de humedad (a mayor contenido de humedad, menor resistencia), la presencia de nudos (actúan como refuerzos, aumentando la resistencia), la sección del culmo (la base presenta mayor resistencia que la parte superior), la especie y la edad del culmo (la resistencia aumenta con la madurez, alcanzando un máximo entre los 4 y 6 años).

2.3.2 Resistencia a la tracción: la fibra que tira

La resistencia a la tracción es la capacidad de un material para soportar fuerzas que tienden a estirarlo. Esta propiedad es fundamental en elementos sometidos a fuerzas de tensión, como los tirantes y los elementos de unión.

Definición y medición. La resistencia a la tracción se determina mediante ensayos de tracción axial, en los que se aplica una carga gradual a una probeta de bambú hasta que se produce la falla. El esfuerzo último de tracción (σ_{ult}) se calcula de manera similar al de compresión:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A$$

Comportamiento observado. El bambú presenta una resistencia a la tracción excepcionalmente alta en la dirección de las fibras, superando en algunos casos a la del acero en términos de resistencia específica. Esta propiedad se debe a la alta proporción de fibras de celulosa orientadas longitudinalmente.

(Rosales Zapata, 2013) obtuvo un valor promedio de resistencia a la tracción de 59 MPa para el bambú de la región Huánuco, con un esfuerzo admisible de 29 MPa. Estos valores superan ampliamente el esfuerzo admisible de 16 MPa establecido por el RNE.

Las investigaciones realizadas han obtenido los siguientes valores promedio:

- Carpish: 151.2 MPa
- Palo de Acero-Monzón: 124.03 MPa
- Pueblo Nuevo: 58.82 MPa

La notable diferencia entre los valores obtenidos en diferentes localidades puede atribuirse a variaciones en la metodología de ensayo, el contenido de humedad de las muestras y las condiciones de crecimiento del bambú.

Influencia de los nudos. Los nudos tienen un efecto complejo en la resistencia a la tracción. Por un lado, actúan como puntos de concentración de tensiones, lo que puede reducir la resistencia en la sección del nudo. Por otro lado, las fibras que rodean al nudo se orientan para seguir la forma de este, lo que puede aumentar la resistencia al requerir que la grieta recorra un camino más tortuoso.

(Fernández Sánchez, 2022) Observó que las muestras con nudos presentaban menor rigidez y mayor uniformidad que las muestras sin nudos en ensayos de tracción. Este comportamiento se atribuye al efecto uniformador

del nudo sobre las deformaciones en los bordes interiores y exteriores del bambú.

2.3.3 Resistencia a la flexión: la capacidad de doblarse sin romperse

La resistencia a la flexión es la capacidad de un material para resistir fuerzas que tienden a doblarlo o flexionarlo. Esta propiedad es fundamental para elementos horizontales como vigas y viguetas, así como para elementos sometidos a cargas laterales.

Definición y medición. La resistencia a la flexión se determina mediante ensayos de flexión, en los que se aplica una carga gradual a una probeta apoyada en dos puntos (flexión simple) o mediante la aplicación de dos cargas en puntos específicos (flexión pura). El esfuerzo último de flexión (σ_{ult}) se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = (F \times L \times D) / (12 \times I_B)$$

Donde F es la carga máxima aplicada (N), L es la luz de la probeta (mm), D es el diámetro externo (mm) y I_B es el momento de inercia (mm^4).

El momento de inercia para una sección tubular circular se calcula como:

$$I_B = \pi/64 \times [D^4 - (D - 2t)^4]$$

Donde t es el espesor de la pared (mm).

Comportamiento observado. En los ensayos de flexión, el bambú muestra un comportamiento que combina elasticidad y ductilidad. Las probetas se deforman elásticamente hasta alcanzar una carga máxima, a partir de la cual la deformación continúa con una disminución gradual de la tensión, mostrando un comportamiento dúctil (Fernández Sánchez, 2022).

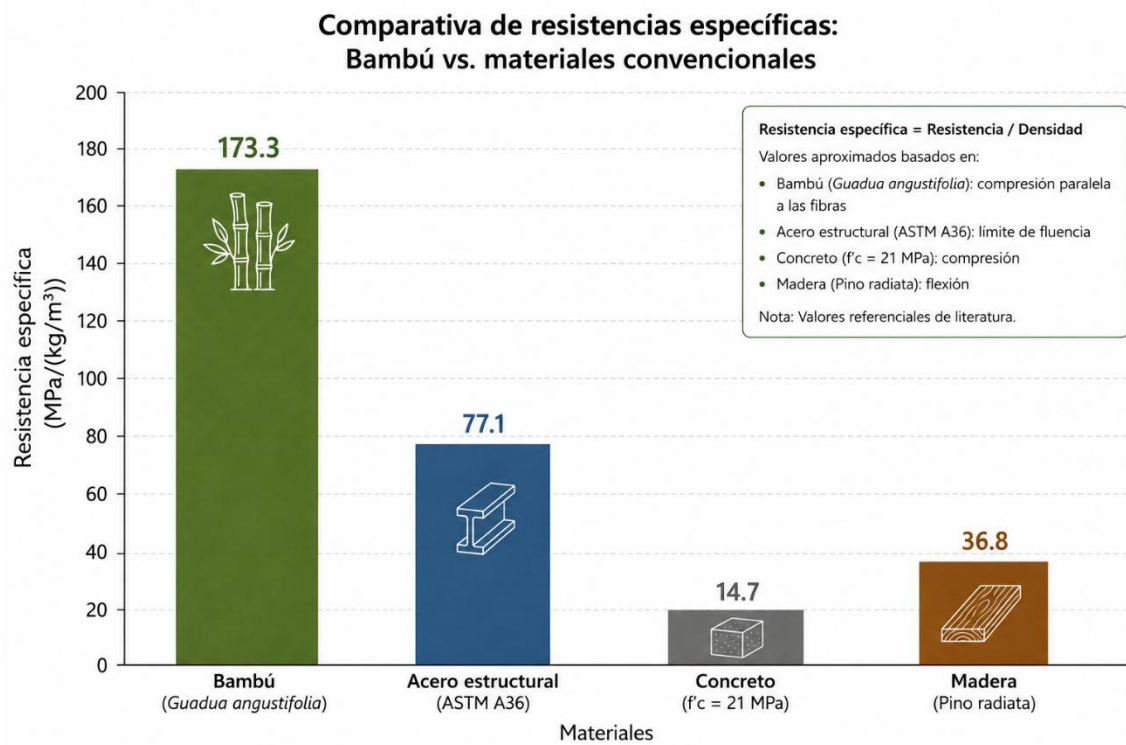
Las investigaciones realizadas han obtenido los siguientes valores promedio de resistencia a la flexión:

- Carpish: 15.80 MPa
- Palo de Acero-Monzón: 31.10 MPa
- Pueblo Nuevo: 42.00 MPa

Estos valores, aunque variables, son superiores al esfuerzo admisible de 5 MPa establecido por el RNE para el bambú en flexión, lo que evidencia un amplio margen de seguridad.

Modos de falla. En el ensayo de flexión, se pueden observar dos modos principales de falla: la falla por tracción en la fibra inferior (la más común, que ocurre cuando la carga genera tensiones de tracción en la parte inferior de la viga que superan la resistencia del material) y la falla por compresión en la fibra superior (que ocurre cuando las tensiones de compresión en la parte superior de la viga superan la resistencia del material).

La presencia de nudos influye en el modo y la localización de la falla, ya que estos actúan como puntos de concentración de tensiones y como barreras que pueden desviar la propagación de grietas.



2.4 El módulo de elasticidad y la rigidez del bambú

El módulo de elasticidad (E) es una medida de la rigidez del material, es decir, de su capacidad para resistir deformaciones bajo carga. Cuanto mayor es el módulo de elasticidad, más rígido es el material y menos se deforma bajo carga.

Definición y medición. El módulo de elasticidad se define como la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en la región elástica del material:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Donde E es el módulo de elasticidad (MPa), σ es el esfuerzo (MPa) y ε es la deformación unitaria (mm/mm).

En el bambú, el módulo de elasticidad se determina típicamente mediante ensayos de compresión, tracción o flexión, registrando la curva esfuerzo-deformación y calculando la pendiente de la región elástica.

Valores típicos. El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) establece un módulo de elasticidad mínimo de 7,300 MPa (73,000 kg/cm²) y un módulo de elasticidad promedio de 9,500 MPa (95,000 kg/cm²) para el bambú estructural (Ministerio de Vivienda, 2020).

(Rosales Zapata, 2013) Obtuvo un valor promedio del módulo elástico de 7,686 MPa para el bambú *Guadua angustifolia* de la región Huánuco, valor que se encuentra dentro del rango establecido por el RNE.

Factores que influyen. El módulo de elasticidad del bambú está influenciado por varios factores: el contenido de humedad (a mayor contenido de humedad, menor módulo de elasticidad), la densidad (existe una correlación positiva entre densidad y módulo de elasticidad), la posición en el culmo (la base presenta mayor rigidez que la parte superior) y la temperatura (el módulo de elasticidad disminuye al aumentar la temperatura).

Importancia práctica. El módulo de elasticidad es un parámetro fundamental para el diseño estructural, ya que determina las deformaciones de los elementos bajo carga. En el diseño de viviendas de bambú, debe verificarse que las deformaciones estén dentro de los límites aceptables para garantizar el confort y la estabilidad de la estructura.



PARTE II: DE LA TEORÍA AL LABORATORIO: CARACTERIZACIÓN LOCAL

Capítulo 3. Metodología de investigación: cómo se estudiaron las muestras

3.1 Zonas de estudio y criterios de selección del bambú

La selección y extracción de muestras son un paso fundamental para garantizar la representatividad y confiabilidad de los resultados de los ensayos. En la presente investigación, se siguieron procedimientos estandarizados basados en las normas técnicas colombianas NTC 5525, NTC 5300 y NTC 5301, así como en las normas internacionales ISO 22157-1 e ISO/TR 22157-2 (International Organization for Standardization, 2019) (ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2007).

Zonas de estudio. Las muestras se extrajeron de cuatro localidades de la región Huánuco, permitiendo comparar las propiedades del bambú en diferentes condiciones de crecimiento:

- Distrito de Pueblo Nuevo (provincia de Leoncio Prado): Zona con coordenadas aproximadas -9.078207, -76.063805, caracterizada por su clima tropical húmedo y su altitud de 612 m.s.n.m.
- Centro Poblado de Carpish (distrito de Chinchao): Ubicado en el Área de Conservación Regional Bosque Montano de Carpish, con

coordenadas 9°42'05"S 76°07'06"O, presentando un clima de transición entre el andino y el amazónico.

- Localidad de Palo de Acero (distrito de Monzón): Ubicada con coordenadas 18S 3800828979307, cota 692 m, en un valle selvático.
- Distrito de Pucayacu (provincia de Leoncio Prado): Zona con condiciones climáticas y geográficas similares a las de Pueblo Nuevo.



Criterios de selección de los culmos. La selección de los culmos se realizó mediante una evaluación visual por personal calificado, que identificó la especie y comprendió los diferentes efectos asociados al corte y a los ensayos. Los criterios de selección incluyeron:

- Madurez del culmo: Se seleccionaron culmos con edades comprendidas entre 4 y 6 años, que es el rango en el que el bambú alcanza sus mejores propiedades mecánicas. La madurez se determinó mediante indicadores visuales: color verde oscuro con bandas blancas en los nudos perceptibles; presencia de manchas espaciadas de líquenes en el culmo

en forma de motas de color blanquecino (indica culmo maduro); y ausencia de líquenes que cubran completamente el culmo (indicaría culmo viejo).

- Estado sanitario: Se descartaron culmos que presentaban signos de ataque de insectos, hongos o enfermedades. Se seleccionaron culmos sanos y sin defectos que representaran el promedio de los culmos del bosque o lugar.
- Geometría: Se seleccionaron culmos con conicidad inferior al 1% y sin deformaciones significativas, fisuras o grietas que pudieran afectar los resultados de los ensayos.

3.2 Técnicas de campo: extracción, tratamiento y secado

Procedimiento de extracción. El procedimiento de extracción se realizó siguiendo los lineamientos de la NTC 5525. Antes del corte, se marcó un anillo a la altura de un metro desde el suelo con pintura blanca o negra, y se registraron los siguientes datos: nombre botánico y local, nombre de la localidad, cantidad de rodales y culmos seleccionados, estado de madurez de los culmos, detalles acerca de marcas y defectos, número de entrenudos entre el suelo y el anillo de pintura, fecha de corte y despacho, y nombre y firma del responsable.

El corte se realizó a ras del primer nudo inferior, sin dejar hueco o vaso en el tocón o base del culmo, para preservar de la pudrición al sistema radicular de la planta. Las ramas se cortaron con machete y sierra, obteniendo culmos de 2 metros de largo por 10 cm de diámetro para facilitar el transporte y la realización de los ensayos.

Tratamiento de preservación. Posterior al proceso de recolección, se aplicó la NTC 5301, procediendo a la rotura de los nudos con ayuda de una

varilla de acero para permitir que la solución impregne todo el culmo de manera uniforme. Luego, se limpió minuciosamente cada muestra empleando agua y una escobilla, eliminando cualquier agente externo adherido a la superficie del bambú.

Como tratamiento de preservación, se preparó una solución compuesta por bórax y ácido bórico. (Hoyos Brown, 2021) Menciona que se emplean 25 kilogramos de ácido bórico y bórax por metro cúbico de agua. Los trozos de bambú se sumergieron en esta solución durante un período de 7 días.

Secado del bambú. Se empleó el método de secado natural siguiendo los lineamientos de la NTC 5301, sin intervención adicional. El bambú se mantuvo en posición vertical durante todo el proceso de secado, el cual tuvo una duración promedio de 14 días, en un lugar protegido de influencias externas como la radiación solar y las precipitaciones.

Finalizado el tiempo de secado, se verificó que el contenido de humedad del bambú resultara en un porcentaje admitido dentro de la NTC 5301 (aproximadamente 14%). Este paso es fundamental para asegurar que las muestras alcancen la condición adecuada antes de proceder a los ensayos correspondientes, garantizando así la fiabilidad de los resultados.

3.3 Ensayos de propiedades físicas

Los ensayos de propiedades físicas se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos en la NTC 5525 y la ISO 22157:2019 (International Organization for Standardization, 2019) (ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2007).

Contenido de humedad. El contenido de humedad se determinó mediante el método de secado en horno. Se pesaron las probetas con una

precisión de 0.01 g, se secaron en un horno a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, y se registró la masa a intervalos regulares de al menos 2 horas hasta alcanzar masa constante (diferencia entre mediciones sucesivas inferior a 0.01 g). El contenido de humedad se calculó con la fórmula:

$$CH = (m_h - m_s) / m_s \times 100$$

Donde m_h es la masa de la probeta antes del secado y m_s es la masa de la probeta después del secado.

Densidad. La densidad se determinó mediante el método de inmersión en agua. Se midieron las dimensiones de las probetas con una precisión de 0.1 mm y se calculó el volumen. La masa se determinó con una balanza con precisión de 0.01 g. La densidad se calculó con la fórmula:

$$\rho = m / V \times 10^6$$

Donde ρ es la densidad (kg/m^3), m es la masa de la probeta seca en horno (g) y V es el volumen húmedo de la probeta (mm^3).

Peso específico. El peso específico se calculó multiplicando la densidad por la aceleración de la gravedad en la ciudad de Huánuco ($g = 9.7760 \text{ m}/\text{s}^2$):

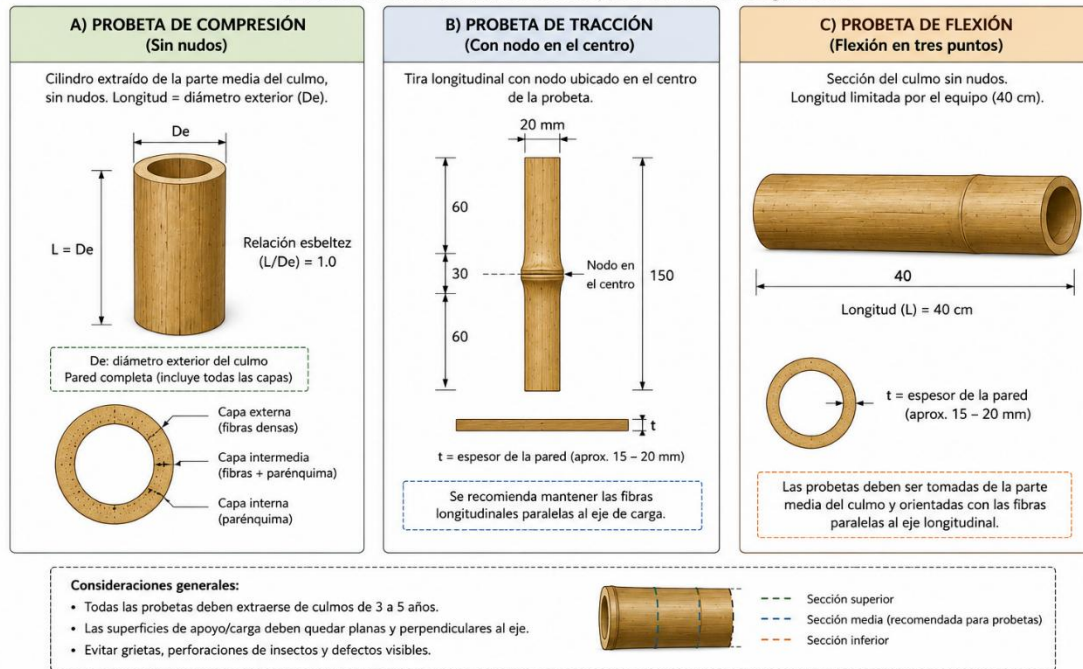
$$\gamma = \rho \times g.$$

3.4 Ensayos de propiedades mecánicas

Los ensayos de propiedades mecánicas se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos en la NTC 5525 y la ISO 22157:2019 (International Organization for Standardization, 2019) (ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2007).

Preparación de probetas para ensayos mecánicos

Dimensiones en centímetros (cm). Las medidas pueden variar ± 2 mm según norma.



Ensayo de compresión. Se utilizaron probetas sin nudos, con una longitud igual al diámetro exterior. Las superficies de los extremos de las probetas se cortaron de manera precisa y perpendicular a su longitud, garantizando planitud con una tolerancia máxima de 0.2 mm.

La probeta se situó en la máquina de ensayo de manera que el centro del cabezal móvil estuviera alineado verticalmente con el centro de la sección transversal. Se aplicó inicialmente una carga pequeña (no superior a 1 kN) para acomodar la probeta, y luego se aplicó carga de forma continua a una velocidad constante de 0.01 mm/s hasta la falla. El esfuerzo último de compresión se calculó con la fórmula:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A$$

Ensayo de tracción. Se utilizaron probetas en tiras con nudos ubicados estratégicamente en el sitio de prueba. Las probetas se insertaron en las mordazas de la máquina de prueba universal y se aplicó carga a una velocidad

de 0.01 mm/s hasta la falla. El esfuerzo último de tracción se calculó con la misma fórmula que la de compresión.

Ensayo de flexión. Se utilizaron probetas con una longitud mínima de 30 veces el diámetro exterior (limitada a 40 cm por las características de la máquina de ensayo). Se aplicó una carga en el centro de la probeta apoyada en dos puntos (flexión de tres puntos) a una velocidad de 0.5 mm/s. El esfuerzo último de flexión se calculó con la fórmula:

$$\sigma_{ult} = (F \times L \times D) / (12 \times I_B)$$

$$\text{Donde } I_B = \pi/64 \times [D^4 - (D - 2t)^4]$$

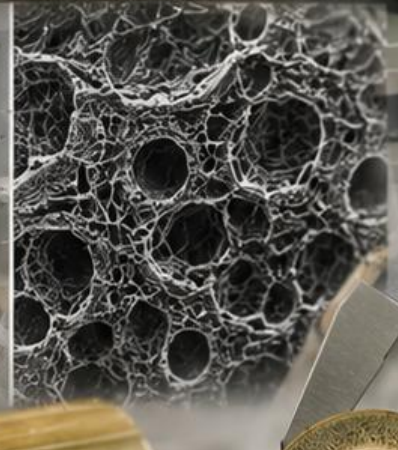
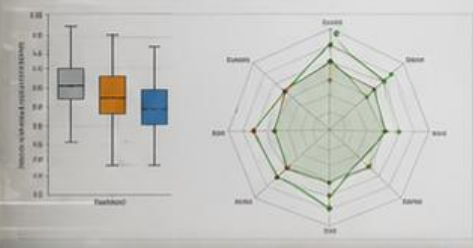
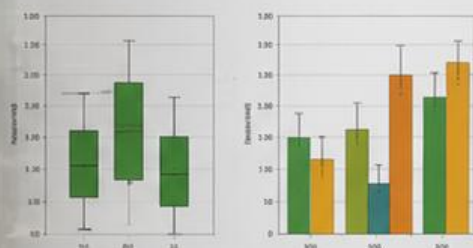
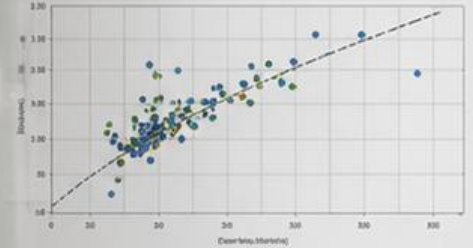
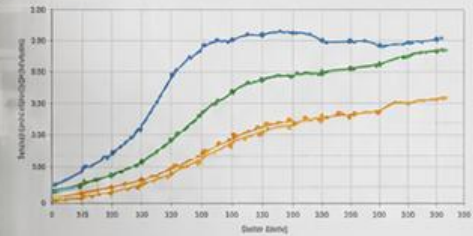
3.5 Normativa técnica aplicada

La presente investigación se basó en las siguientes normas técnicas:

- NTC 5525 (ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2007): "Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth". Esta norma establece los procedimientos para la preparación de probetas, la realización de ensayos y el cálculo de resultados.
- NTC 5300 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación): "*Guadua angustifolia*. Recolección y selección de culmos". Esta norma establece los criterios para la selección de culmos aptos para construcción.
- NTC 5301 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación): "*Guadua angustifolia*. Preservación". Esta norma establece los métodos de preservación para garantizar la durabilidad del bambú.
- ISO 22157:2019 (International Organization for Standardization, 2019): "Bamboo structures Determination of physical and mechanical

properties of bamboo culms Test methods". Esta norma internacional especifica los métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los culmos de bambú.

- Norma E.100 "Bambú" del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (Ministerio de Vivienda, 2020): Establece los requisitos técnicos para el diseño y construcción de edificaciones con bambú en el Perú.

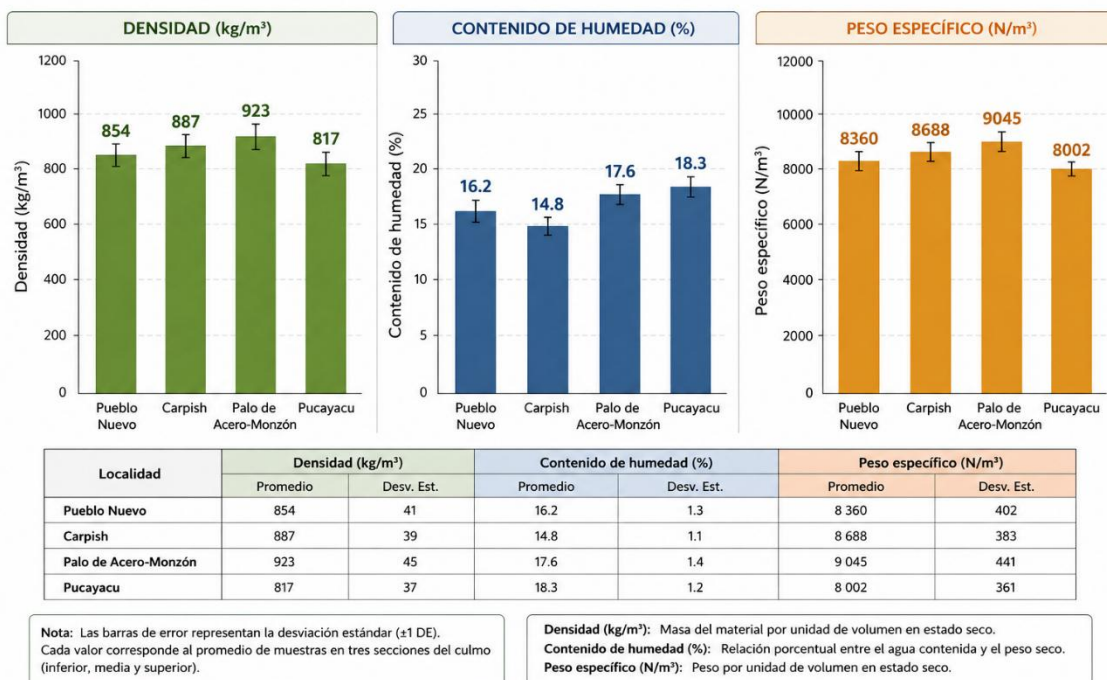


Capítulo 4. Resultados experimentales y caracterización físico-mecánica del bambú

4.1 Comportamiento físico del bambú de la región

Los ensayos de propiedades físicas realizados en las diferentes localidades de estudio permitieron caracterizar el comportamiento del bambú *Guadua angustifolia* en términos de su contenido de humedad, densidad y peso específico.

Resumen de propiedades físicas por localidad



Contenido de humedad. El contenido de humedad promedio del bambú en las diferentes localidades varió entre 12% y 18%, dependiendo de las condiciones de secado y la época de recolección. En general, se observó que el contenido de humedad es mayor en la base del culmo y disminuye hacia el ápice, lo que se relaciona con la mayor proporción de tejido vascular en la base.

Los valores de contenido de humedad obtenidos son consistentes con los rangos establecidos por la normativa para el bambú estructural (12-15%). En el distrito de Pueblo Nuevo, el contenido de humedad promedio fue de 14.2%; en Carpish, de 13.8%; en Palo de Acero-Monzón, de 14.25%; y en Pucayacu, de 15.3%.

Densidad. La densidad del bambú *Guadua angustifolia* presentó una variación significativa entre las diferentes localidades y a lo largo del culmo. Los resultados promedio obtenidos fueron:

Localidad	Peso específico promedio (N/m ³)
Palo de Acero-Monzón	8,288.87
Carpish	10,365.38

Estos valores sitúan al bambú como un material de peso relativamente bajo en comparación con el concreto (aprox. 24,000 N/m³) y el acero (aprox. 78,000 N/m³), lo que confirma su idoneidad para estructuras ligeras.

4.2 Desempeño mecánico en compresión, tracción y flexión

Los ensayos de propiedades mecánicas realizados en las diferentes localidades permitieron caracterizar el comportamiento estructural del bambú *Guadua angustifolia*.

Resistencia a la compresión. Los valores de resistencia a la compresión obtenidos en las diferentes localidades son:

Localidad	Resistencia a compresión (MPa)	Esfuerzo admisible RNE (MPa)
Carpish	23.49	13

Localidad	Resistencia a compresión (MPa)	Esfuerzo admisible RNE (MPa)
Palo de Acero-Monzón	29.5	13
Pueblo Nuevo	32.6	13
Pucayacu	22.92-78.62	13

La resistencia a la compresión varió significativamente entre las diferentes secciones del culmo, siendo mayor en la base (34-49 MPa) que en la parte media (25-35 MPa) y superior (18-28 MPa). Esta variación se relaciona con la mayor densidad y proporción de fibras en la base.

La presencia de nudos aumentó la resistencia a la compresión en aproximadamente un 20-25%, confirmando su efecto de refuerzo. Las muestras con nudo en el centro presentaron una resistencia a la compresión de 33.13 MPa, mientras que las muestras sin nudo alcanzaron 26.5 MPa (Pérez Sánchez & Quintana Jaramillo, 2019).

Resistencia a la tracción. Los valores de resistencia a la tracción obtenidos fueron:

Localidad	Resistencia a tracción (MPa)	Esfuerzo admisible RNE (MPa)
Carpish	151.2	16
Palo de Acero-Monzón	124.03	16
Pueblo Nuevo	58.82	16

La resistencia a la tracción presentó una variación significativa según la presencia de nudos. Las muestras sin nudo mostraron una mayor resistencia a la tracción (hasta 247.1 MPa en algunos casos), mientras que las muestras con

nudo presentaron valores ligeramente inferiores debido a la concentración de tensiones en el nudo.

Resistencia a la flexión. Los valores de resistencia a la flexión obtenidos fueron:

Localidad	Resistencia a flexión (MPa)	Esfuerzo admisible RNE (MPa)
Carpish	15.80	5
Palo de Acero-Monzón	31.10	5
Pueblo Nuevo	42.00	5

La resistencia a la flexión presentó una variación relacionada con el espesor de la pared y la presencia de nudos. Las muestras con mayor espesor de pared mostraron una mayor resistencia a la flexión debido al mayor momento de inercia.

4.3 Comparativa con normativas nacionales e internacionales

Los resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (Norma E.100) y otras normativas internacionales.

Comparación con la Norma E.100 del RNE. La Norma E.100 establece los siguientes esfuerzos admisibles para el bambú estructural:

Propiedad	Esfuerzo admisible (MPa)	Valor obtenido (promedio)
Flexión	5	15.80-42.00
Tracción paralela	16	58.82-151.20

Propiedad	Esfuerzo admisible (MPa)	Valor obtenido (promedio)
Compresión paralela	13	23.49-32.60
Corte	1	1.0-1.4
Compresión perpendicular	1.3	1.2-1.8

Los valores obtenidos superan ampliamente los esfuerzos admisibles establecidos por la normativa, lo que demuestra un amplio margen de seguridad para el uso estructural del bambú *Guadua angustifolia* de la región Huánuco.

Comparación con la NTC 5525. La NTC 5525 establece los procedimientos para la determinación de las propiedades del bambú. Los valores obtenidos en la presente investigación son consistentes con los reportados en la literatura para la *Guadua angustifolia* en Colombia y Ecuador, donde se han reportado resistencias a la compresión de 28-57 MPa, tracción de 58-92 MPa y flexión de 52-80 MPa (Zaragoza-Hernández et al., 2025) (Takeuchi Tam et al., 2013).

Comparación con la ISO 22157. La ISO 22157:2019 establece los métodos de ensayo para la determinación de las propiedades del bambú. Los resultados obtenidos en la presente investigación siguen los procedimientos establecidos en esta norma, lo que garantiza la comparabilidad con estudios internacionales.

4.4 Lecciones aprendidas: variabilidad y consistencia del material

El análisis de los resultados obtenidos permite extraer varias lecciones importantes sobre el comportamiento del bambú *Guadua angustifolia* en la región Huánuco:

Variabilidad del material. El bambú presenta una variabilidad significativa en sus propiedades, tanto a lo largo del culmo como entre diferentes localidades. Esta variabilidad se debe a factores como:

- Posición en el culmo: La base presenta mayor densidad y resistencia que la parte media y superior.
- Condiciones de crecimiento: El clima, el suelo y la altitud influyen en las propiedades del bambú.
- Edad del culmo: La resistencia aumenta con la madurez, alcanzando un máximo entre los 4 y 6 años.
- Presencia de nudos: Los nudos actúan como refuerzos, aumentando la resistencia a la compresión pero reduciendo la resistencia a la tracción.

Consistencia del material. A pesar de la variabilidad observada, el bambú *Guadua angustifolia* presenta un comportamiento consistente que permite su utilización estructural con un adecuado margen de seguridad:

- Todos los valores obtenidos superan los esfuerzos admisibles establecidos por el RNE.
- La relación entre densidad y resistencia es consistente con la literatura internacional.
- El comportamiento bajo carga es predecible, con una región elástica bien definida y una falla dúctil en flexión.

Recomendaciones para el diseño estructural. Con base en los resultados obtenidos, se recomienda:

- 1) Seleccionar culmos de 4 a 6 años de edad, que presentan las mejores propiedades mecánicas.
- 2) Utilizar la base y la parte media del culmo para elementos estructurales principales, reservando la parte superior para elementos secundarios.
- 3) Aprovechar los nudos como puntos de refuerzo y anclaje en el diseño estructural.
- 4) Controlar el contenido de humedad para garantizar que el bambú se encuentre en el rango de equilibrio (12-15%).
- 5) Aplicar tratamientos de preservación para garantizar la durabilidad del material.
- 6) Diseñar con un factor de seguridad adecuado, considerando la variabilidad natural del material.



PARTE III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BAMBÚ: HACIA UNA VIVIENDA SOCIAL

Capítulo 5. Criterios de diseño estructural con bambú

5.1 Normativa aplicable y esfuerzos admisibles

El diseño estructural con bambú en el Perú se rige por la Norma E.100 "Bambú" del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, 2020). Esta norma establece los requisitos técnicos para el diseño y construcción de edificaciones con bambú, incluyendo los esfuerzos admisibles, los criterios de selección del material y las especificaciones para las uniones.

Esfuerzos admisibles. La Norma E.100 establece los siguientes esfuerzos admisibles para el bambú estructural (especie *Guadua angustifolia*):

Tipo de esfuerzo	Esfuerzo admisible
Flexión	5 MPa (50 kg/cm ²)
Tracción paralela	16 MPa (160 kg/cm ²)
Compresión paralela	13 MPa (130 kg/cm ²)
Corte	1 MPa (10 kg/cm ²)
Compresión perpendicular	1.3 MPa (13 kg/cm ²)

Módulo de elasticidad. La norma establece un módulo de elasticidad mínimo de 7,300 MPa (73,000 kg/cm²) y un módulo de elasticidad promedio de 9,500 MPa (95,000 kg/cm²) para el bambú estructural.

Requisitos del material. La Norma E.100 establece los siguientes requisitos para el bambú estructural:

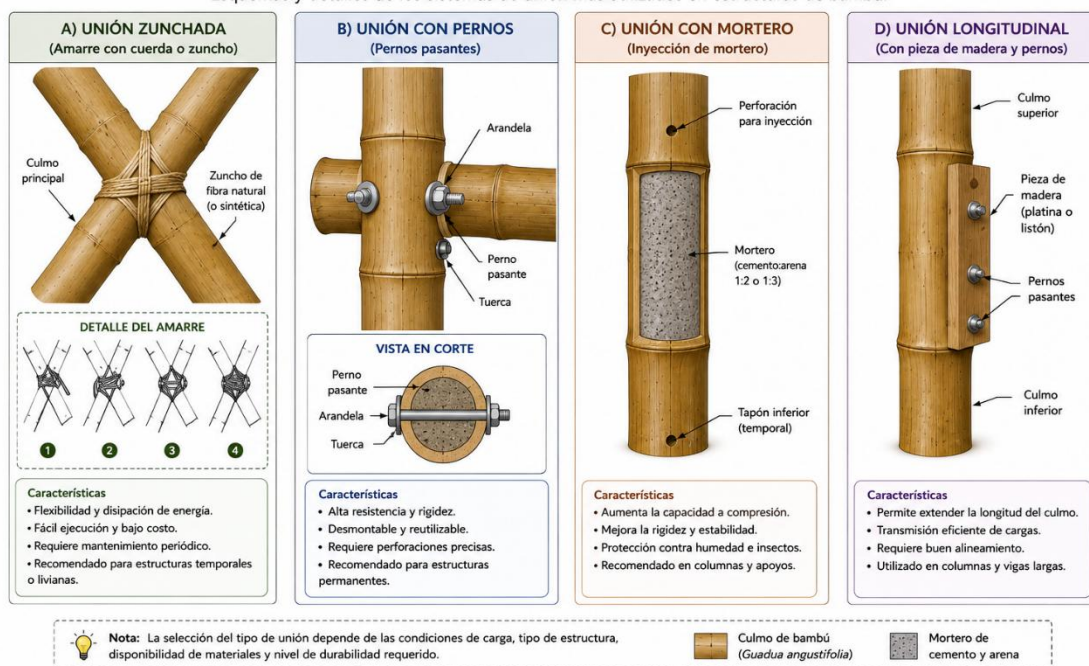
- La edad de cosecha debe estar entre 4 y 6 años.
- El contenido de humedad debe corresponder al contenido de humedad de equilibrio del sitio.
- La conicidad no debe superar el 1.0%.
- La deformación inicial del eje no debe superar el 0.33% de la longitud.
- No deben presentar grietas circunferenciales en los nudos ni grietas longitudinales a lo largo del eje neutro.
- No deben presentar agujeros causados por insectos xilófagos ni signos de descomposición.

5.2 Sistemas de unión: amarres, pernos y morteros

Las uniones son uno de los aspectos más críticos en el diseño estructural con bambú, ya que determinan la capacidad de transmisión de cargas y la estabilidad de la estructura. La Norma E.100 establece tres tipos principales de uniones para elementos de bambú.

Tipos de uniones estructurales con bambú

Esquemas y detalles de los sistemas de unión más utilizados en estructuras de bambú.



Uniones zunchadas o amarraderas. Este tipo de unión utiliza zunchos o amarres para fijar los elementos de bambú. Es esencial evitar que el zuncho o el amarre se muevan. Se pueden utilizar cuerdas, correas, plásticos u otros materiales similares, pero su elección debe estar respaldada por una justificación adecuada por parte del diseñador.

Los amarres deben realizarse con materiales que no dañen la superficie del bambú y que mantengan su tensión a lo largo del tiempo. Se recomienda utilizar cuerdas de fibras naturales tratadas o sintéticas con alta resistencia a la tracción.

Uniones con tarugos o pernos. Este tipo de unión utiliza tarugos de madera estructural o pernos metálicos para fijar los elementos. Se deben utilizar arandelas, placas metálicas u otro material resistente similar entre la cabeza o tuerca del perno y el bambú para evitar el aplastamiento de la superficie.

La perforación del nudo para el perno debe atravesar el eje central del bambú. Los pernos deben tener un diámetro mínimo de 9 mm y deben estar

dispuestos de manera perpendicular entre sí en el caso de uniones con piezas de madera.

Uniones con mortero. Cuando un entrenudo está sujeto a una fuerza de aplastamiento, o cuando se requiera por diseño ser rellenado con mortero, se procede de la siguiente manera:

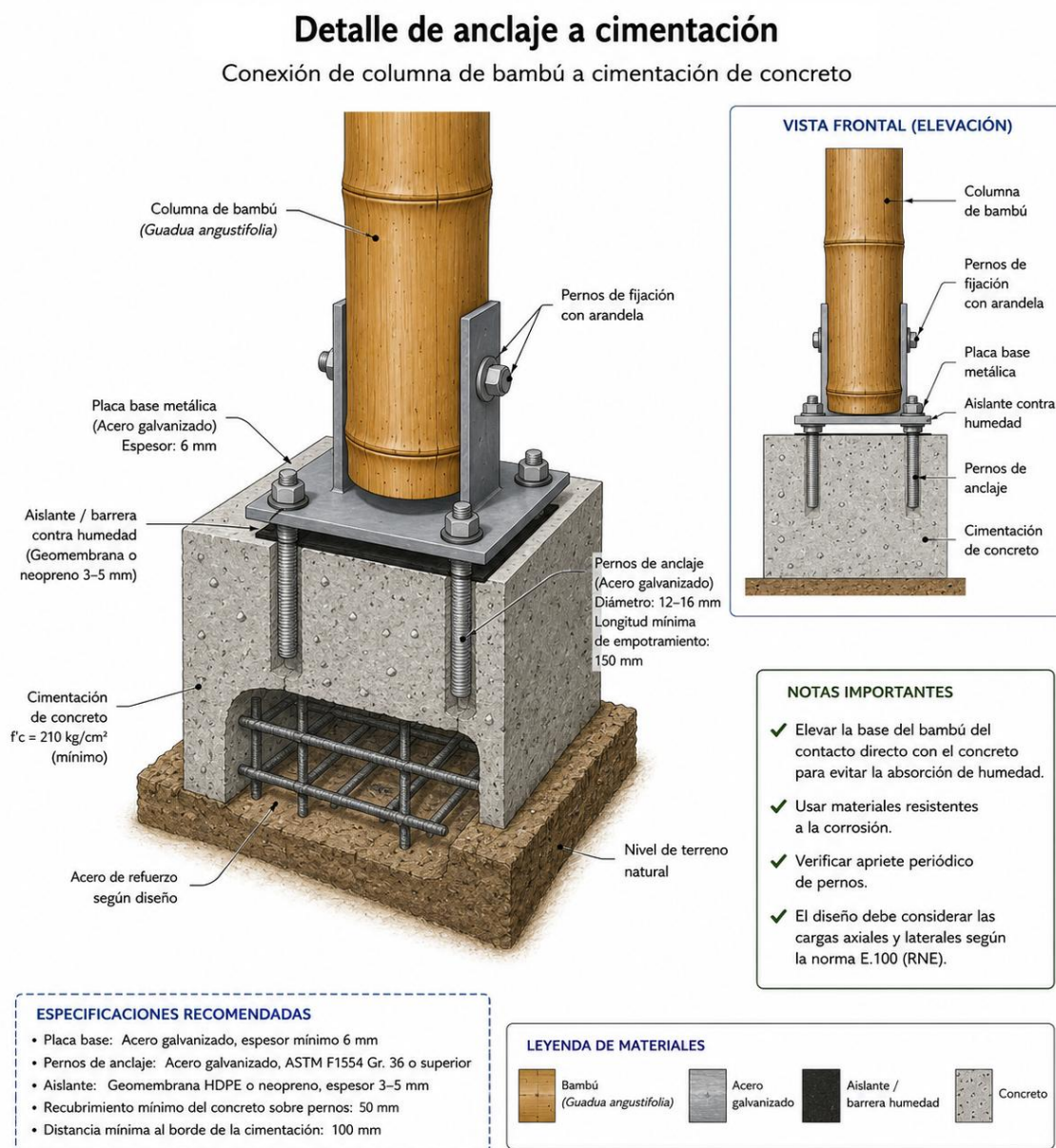
- El mortero se prepara conforme a las especificaciones de la norma, asegurándose de que tenga la fluidez necesaria para llenar por completo el espacio entre los segmentos de bambú. Se pueden emplear aditivos reductores de agua de mezcla que no sean corrosivos.
- Para aplicar el mortero, es necesario hacer una perforación con un diámetro que no exceda los 4 cm en el punto más próximo al nudo superior del segmento de bambú. El mortero se introduce a través de esta apertura, utilizando ya sea presión a través de un embudo o mediante el uso de una bomba.

Uniones longitudinales. Para la unión longitudinal de elementos de bambú, se pueden utilizar dos situaciones principales:

- Situación 1: Utilizando una pieza de madera, dos segmentos de bambú se ensamblan mediante la inserción de dos pernos de al menos 9 mm de diámetro en cada uno de ellos, dispuestos de manera perpendicular entre sí.
- Situación 2: Dos elementos de bambú se unen mediante dos piezas metálicas, utilizando pernos de al menos 9 mm de diámetro, dispuestos en paralelo al eje de la conexión. Estos pernos deben estar posicionados a una distancia máxima de 30 mm de los puntos de unión entre los segmentos de bambú.

5.3 Arriostres, anclajes y comportamiento sísmico

El comportamiento sísmico de las estructuras de bambú es uno de sus aspectos más destacables. La ligereza y flexibilidad del material, combinadas con un diseño adecuado de arriostres y anclajes, permiten que las estructuras de bambú tengan un excelente desempeño frente a movimientos telúricos.

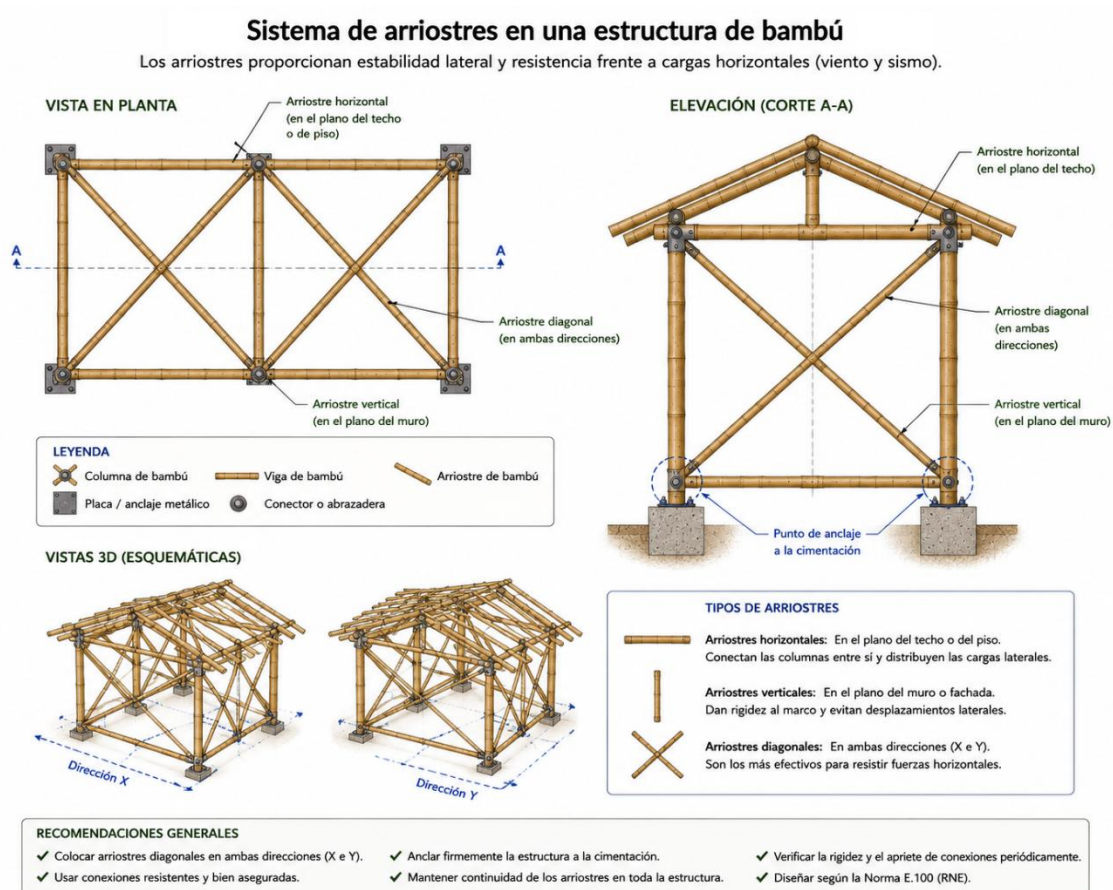


Arriostres. Los arriostres son elementos de refuerzo (horizontales y verticales) o muros transversales que cumplen la función de asegurar la

estabilidad y resistencia de los muros portantes y no portantes sometidos a una carga perpendicular a su plano.

En estructuras de bambú, los arriostres diagonales son fundamentales para proporcionar rigidez frente a cargas laterales. Se recomienda:

- Utilizar arriostres en ambas direcciones de la estructura.
- Colocar arriostres en todos los paños de muros portantes.
- Hay que asegurar que los arriostres estén correctamente anclados a los elementos estructurales principales.



Anclajes. Los anclajes son armaduras metálicas de diferentes formas, utilizadas como soporte y fijación de elementos constructivos. En estructuras de bambú, los anclajes son fundamentales para:

- Conectar la estructura de bambú a la cimentación.

- Unir elementos estructurales entre sí.
- Fijar elementos no estructurales (cubiertas, revestimientos, etc.).

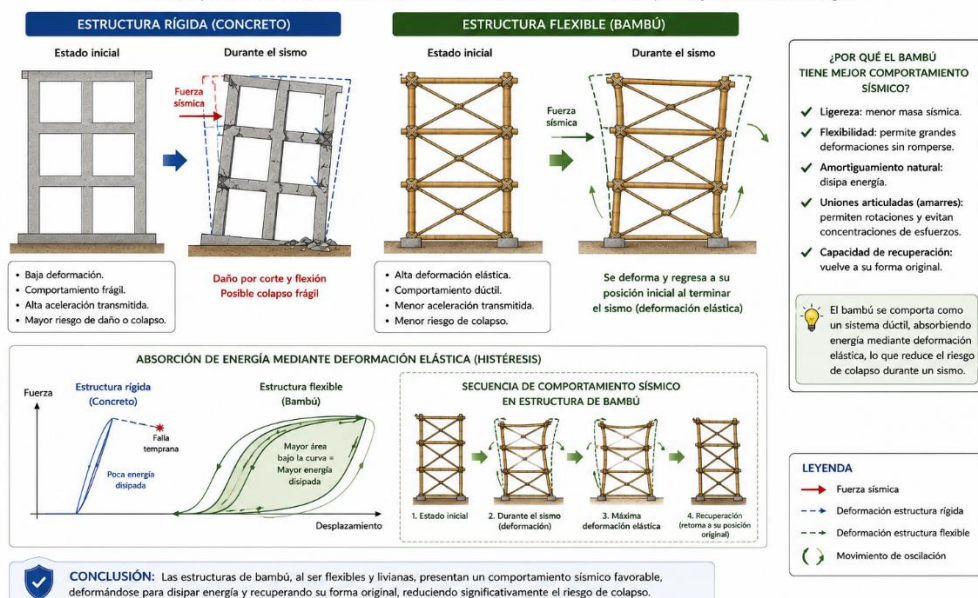
Se recomienda utilizar anclajes metálicos galvanizados o de acero inoxidable para evitar la corrosión. Los anclajes deben estar diseñados para resistir las cargas de tracción, compresión y corte a las que estarán sometidos.

Comportamiento sísmico. Las estructuras de bambú presentan un comportamiento sísmico favorable debido a:

- Bajo peso propio: La estructura es ligera, lo que reduce las fuerzas sísmicas inerciales.
- Flexibilidad: El bambú puede deformarse elásticamente bajo cargas sísmicas, absorbiendo energía sin colapsar.
- Ductilidad: El bambú presenta un comportamiento dúctil en flexión, lo que permite que la estructura se deforme sin fracturarse.
- Redundancia: Las uniones adecuadamente diseñadas proporcionan redundancia estructural, permitiendo que la estructura redistribuya cargas en caso de falla local.

Esquema de comportamiento sísmico del bambú

El bambú, por su flexibilidad, se deforma elásticamente durante un sismo, disipando y absorbiendo energía.



5.4 Consideraciones de durabilidad: protección contra humedad e insectos

La durabilidad del bambú es uno de los aspectos más críticos para su utilización estructural. El bambú es susceptible al ataque de insectos xilófagos y hongos, especialmente en condiciones de alta humedad. Sin embargo, con los tratamientos y diseños adecuados, su vida útil puede superar los 50 años.

Factores que afectan la durabilidad. Los principales factores que afectan la durabilidad del bambú son:

- **Humedad:** El bambú es higroscópico y absorbe humedad del ambiente. La exposición prolongada a la humedad favorece el crecimiento de hongos y la pudrición.
- **Insectos xilófagos:** Termitas, carcomas y otros insectos pueden atacar el bambú, especialmente si contiene almidón.
- **Radiación solar:** La exposición prolongada al sol puede causar agrietamiento y degradación de la superficie.
- **Contacto con el suelo:** El contacto directo con el suelo facilita la absorción de humedad y el ataque de organismos.

Tratamientos de preservación. Los tratamientos de preservación más comunes para el bambú incluyen:

- **Inmersión en soluciones:** Sumergir el bambú en soluciones de bórax y ácido bórico, sales de cobre o creosota. Este método es efectivo y relativamente económico.
- **Boucheirie:** Inyección a presión de solución preservante en el interior del culmo. Este método es más costoso pero muy efectivo.

- Secado al horno: Eliminación de humedad y destrucción de organismos mediante calor. Este método reduce el contenido de humedad a niveles seguros.
- Curado con humo: Exposición al humo para eliminar insectos y hongos. Este método es tradicional en algunas culturas.

Diseño para la durabilidad. Además de los tratamientos de preservación, el diseño arquitectónico puede contribuir significativamente a la durabilidad del bambú:

- Elevación del piso: Mantener el bambú alejado del suelo para evitar la absorción de humedad.
- Aleros amplios: Proteger las paredes de la lluvia directa.
- Ventilación adecuada: Permitir la circulación de aire para reducir la humedad.
- Cubiertas impermeables: Utilizar techos que impidan la filtración de agua.
- Mantenimiento periódico: Inspeccionar y reparar la estructura regularmente.

El Reglamento Nacional de Edificaciones establece que el bambú estructural debe tener una buena durabilidad natural y estar adecuadamente protegido ante agentes externos (humos, humedad, insectos, hongos, etc.) (Ministerio de Vivienda, 2020).



Capítulo 6. Diseño arquitectónico de una vivienda de interés social



6.1 Concepto y programa de necesidades para familias de la selva

El diseño de una vivienda de interés social con bambú para la Amazonía peruana debe responder a las necesidades específicas de las familias de la región, considerando sus condiciones climáticas, culturales y económicas.

Concepto de vivienda social. La vivienda social se define como aquella que es accesible para toda persona, especialmente para aquellas que tienen pocos ingresos económicos. Este tipo de viviendas se ha convertido en una alternativa de solución para todos los países en crisis, porque ha ayudado a las personas que no tenían un hogar donde vivir (Chang Lobatón, 2022).

En el contexto de la Amazonía peruana, la vivienda social debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser accesible económicamente para familias de bajos recursos.
- Utilizar materiales locales y sostenibles.
- Adaptarse a las condiciones climáticas de la selva (altas temperaturas, alta humedad, lluvias intensas).
- Ser sismorresistente, considerando la alta sismicidad de la región.
- Promover la participación comunitaria en el proceso constructivo.

Programa de necesidades. Basado en las condiciones mínimas establecidas por la Resolución Ministerial N° 236-2018-VIVIENDA (Ministerio de Vivienda, 2020) Para viviendas de interés social en el Perú, el programa de necesidades para una vivienda unifamiliar en la Amazonía incluye:

- Sala-comedor: Espacio para la socialización y alimentación de la familia (mínimo 10 m²).
- Cocina: Espacio para la preparación de alimentos, con ventilación adecuada (mínimo 7 m²).
- Dormitorio principal: Para los padres (mínimo 10 m²).
- Dormitorio secundario: Para los hijos (mínimo 9 m²).
- Baño completo: con lavabo, ducha e inodoro (mínimo 4 m²).
- Lavandería: Espacio para el lavado y secado de ropa (puede ser exterior).

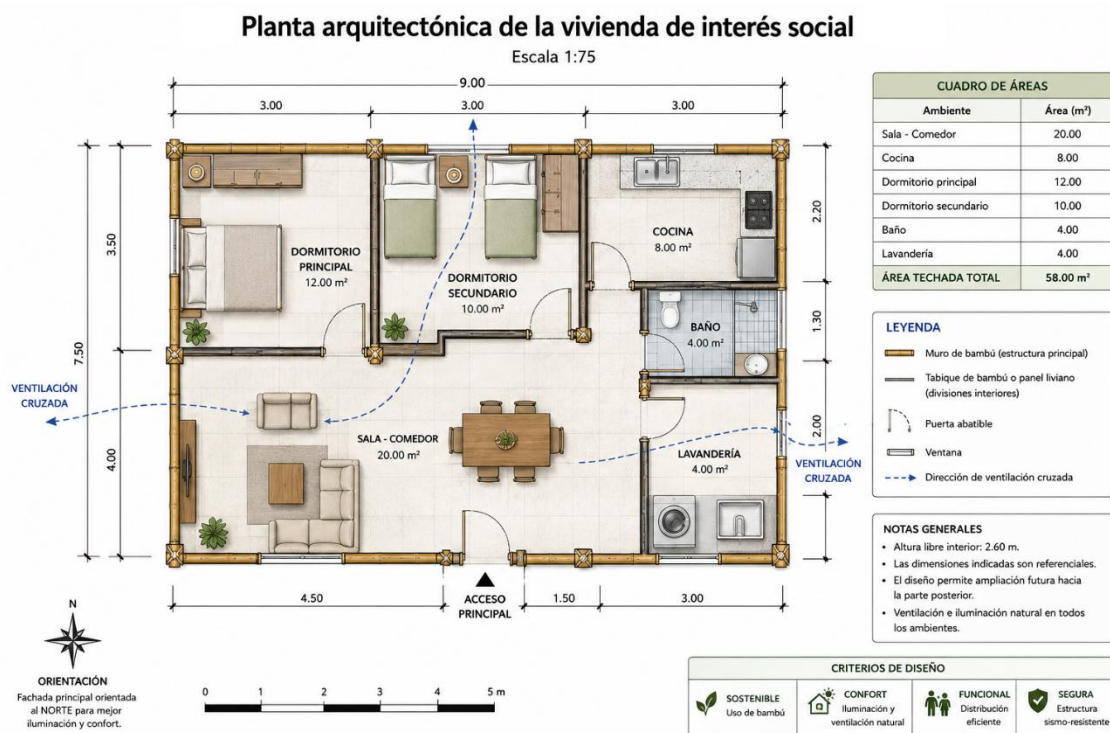
El área total cubierta mínima es de 35 m², aunque se recomienda un área de 55-70 m² para garantizar condiciones adecuadas de habitabilidad.

Consideraciones climáticas. El diseño debe considerar las condiciones climáticas de la Amazonía:

- Techos con pendiente pronunciada (30-40%) para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia.
- Aleros amplios (mínimo 0.80 m) para proteger las paredes de la humedad.
- Ventilación cruzada para permitir la circulación de aire y reducir la sensación térmica.
- Elevación de la vivienda (mínimo 0.50 m) para proteger el bambú del contacto con el suelo y las inundaciones.

6.2 Distribución de espacios y flexibilidad de uso

La distribución de espacios en una vivienda de interés social debe ser eficiente y flexible, permitiendo la adaptación a las necesidades cambiantes de la familia.



Distribución propuesta. Basada en el programa de necesidades y las condiciones mínimas establecidas por la normativa, se propone la siguiente distribución:

- Zona social: sala-comedor y cocina, integradas en un espacio abierto para facilitar la interacción familiar y la ventilación.
- Zona privada: Dos dormitorios, con capacidad para albergar a una familia de 4 personas (padres y dos hijos).
- Zona de servicio: baño completo y área de lavandería exterior.
- Área total: aproximadamente 55-70 m², dependiendo de las necesidades específicas de la familia.

Flexibilidad de uso. El diseño debe permitir la flexibilidad de uso y la posibilidad de expansión futura:

- Divisores móviles: Los espacios pueden ser subdivididos o integrados según las necesidades.
- Ampliación futura: La estructura debe permitir la adición de nuevos módulos sin afectar la estabilidad de la construcción existente.
- Uso mixto: Los espacios pueden adaptarse para usos productivos (tienda, taller, etc.) que generen ingresos para la familia.

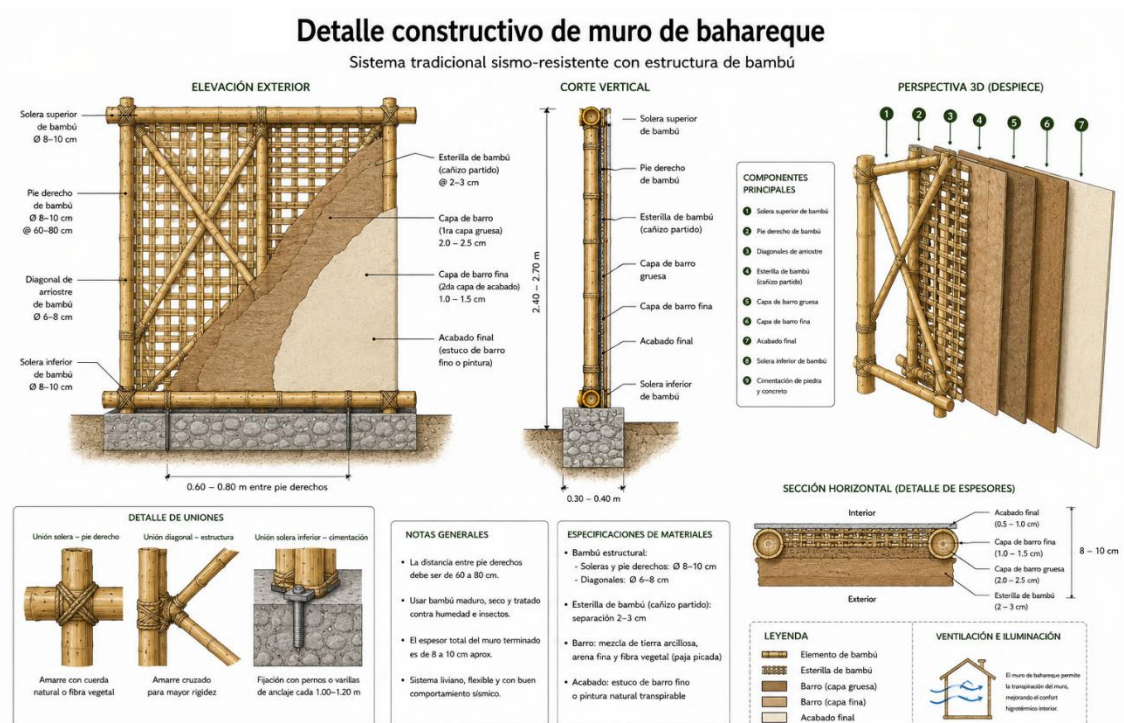
Criterios de diseño. El diseño de la vivienda se basa en los siguientes criterios:

- Proporciones áureas: El uso de la proporción áurea (aproximadamente 1:1.618) en la distribución de espacios genera ambientes armónicos y agradables.
- Eficiencia energética: La orientación de la vivienda debe aprovechar la luz natural y la ventilación para reducir el consumo de energía.

- Accesibilidad: La vivienda debe ser accesible para personas con movilidad reducida.
- Seguridad: La estructura debe ser segura frente a cargas sísmicas y condiciones climáticas extremas.

6.3 Materiales complementarios: esterillas, hojas de yarina y bahareque

Además del bambú como material estructural principal, la vivienda de interés social puede utilizar materiales complementarios disponibles en la región.



Esterilla de bambú. La esterilla es un artículo fabricado a partir de bambú, obtenido mediante un procedimiento manual que involucra la separación de los tallos para producir láminas planas. Se utiliza para:

- Revestimiento de muros y techos.
- Divisores interiores.

- Elementos decorativos.

La esterilla es ligera, fácil de instalar y proporciona una textura natural que se integra armoniosamente con el entorno.

Hojas de yarina. Las hojas de yarina se emplean en las zonas selváticas para techos de construcciones típicas de la región. La yarina (*Phytelephas spp.*) es una palma amazónica cuyas hojas, debidamente tratadas, proporcionan una cubierta impermeable y duradera.

Las ventajas de las hojas de yarina incluyen:

- Impermeabilidad natural.
- Aislamiento térmico.
- Disponibilidad local y bajo costo.
- Sostenibilidad (recurso renovable).



Muros de bahareque. Los muros de bahareque consisten en una estructura de bambúes entrelazados, que comprende componentes horizontales (soleras), componentes verticales (pie-derechos), además de diagonales y revestimientos. Los bambúes seleccionados para este propósito deben tener un diámetro de al menos 8 cm.

El bahareque ofrece varias ventajas:

- Resistencia estructural: Proporciona rigidez y resistencia a cargas laterales.
- Aislamiento térmico: El entramado de bambú con revestimiento de barro o mortero proporciona aislamiento.
- Flexibilidad: Se adapta a diferentes formas y diseños.
- Sostenibilidad: Utiliza materiales locales y de bajo impacto ambiental.

6.4 Instalaciones sanitarias y eficiencia en el consumo de agua

El diseño de las instalaciones sanitarias en una vivienda de interés social debe garantizar el acceso al agua potable y la disposición adecuada de aguas residuales, con un enfoque en la eficiencia y la sostenibilidad.

Dotación de agua. Según la Norma I.S.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones, cada hogar debe recibir 150 litros de agua por habitante al día, dependiendo del número de habitantes. Para una familia de 4 personas, la dotación diaria sería de 600 litros.

Para el almacenamiento de agua, la normativa establece que, en zonas donde el suministro de agua pública no sea continuo o carezca de presión, la edificación debe estar provista de tanques de almacenamiento con una capacidad mínima de 1,000 litros.

Sistema de almacenamiento y regulación. Se propone un sistema con:

- Cisterna: Depósito subterráneo para el almacenamiento de agua, con capacidad mínima de 1,000 litros.
- Tanque elevado: Depósito elevado para garantizar la presión adecuada en la red de distribución.
- Bomba de agua: Para elevar el agua desde la cisterna al tanque elevado.

Máxima demanda simultánea. Para el cálculo de las tuberías de distribución, se utiliza el Método de Gastos Probables o Método Hunter, que asigna unidades de gasto a cada aparato sanitario:

- Inodoro: 3 unidades de gasto.
- Lavatorio: 1 unidad de gasto.
- Ducha: 2 unidades de gasto.
- Lavadero: 2 unidades de gasto.

Sistema de desagüe. El sistema de desagüe debe diseñarse para evacuar las aguas residuales por gravedad, con las siguientes consideraciones:

- Pendiente mínima: 1.5% para tuberías de 75 mm (3") o inferiores; 1% para tuberías de 100 mm (4") o mayores.
- Cajas de registro: Se instalarán en todo cambio de dirección, pendiente, material o diámetro, y cada 15 metros como máximo en tramos rectos.
- Ventilación: Cada aparato sanitario debe tener una tubería de ventilación con diámetro igual a la mitad del conducto de desagüe (mínimo 50 mm).

Eficiencia en el consumo de agua. Para promover la eficiencia en el consumo de agua, se recomienda:

- Grifos ahorradores: Reducen el caudal sin comprometer la funcionalidad.
- Inodoros de doble descarga: permiten seleccionar entre descarga completa y reducida.
- Sistema de captación de agua de lluvia: para usos no potables (riego, limpieza).
- Educación y sensibilización: Promover prácticas de consumo responsable entre los usuarios.



6.5 Planos estructurales y detalles constructivos

Los planos estructurales son fundamentales para la correcta ejecución de la vivienda. Deben incluir:

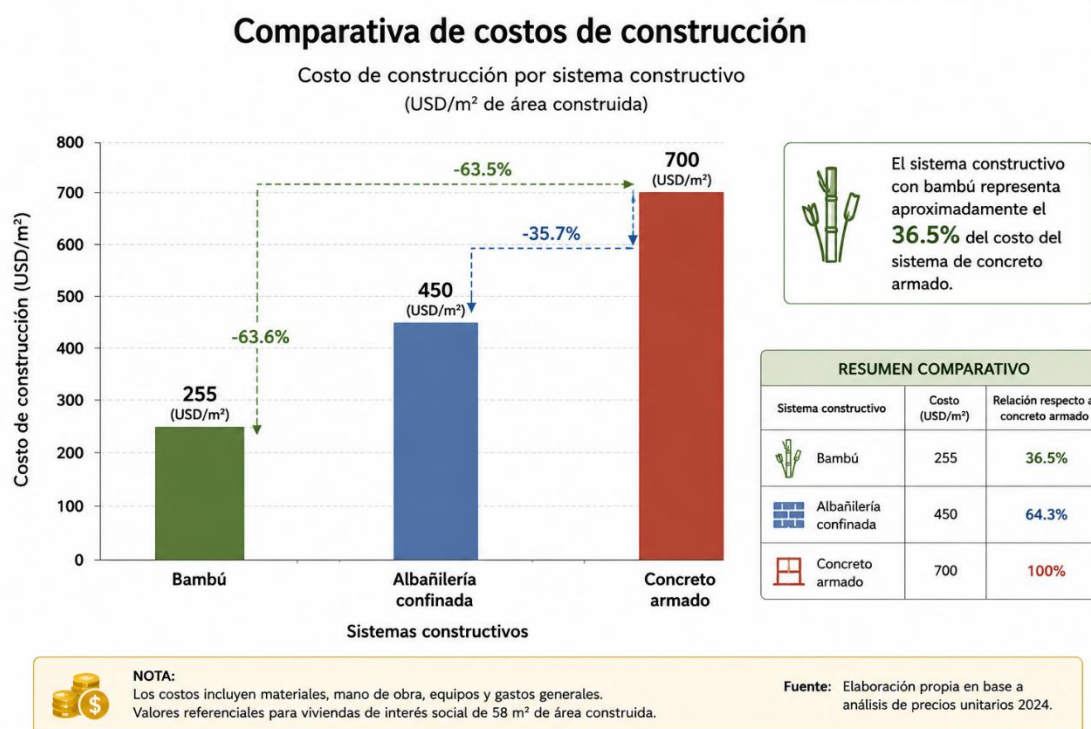
Planos de cimentación. La cimentación para una vivienda de bambú debe ser diseñada considerando el bajo peso de la estructura. Se pueden utilizar:



Capítulo 7. Viabilidad económica y ambiental

7.1 Comparativa de costos: bambú vs. sistemas tradicionales

El análisis económico es fundamental para demostrar la viabilidad del bambú como material para vivienda social. Los estudios realizados muestran que la construcción con bambú es significativamente más económica que la construcción con materiales convencionales.



Análisis comparativo. (Pozo Ancho et al., 2021) Demostraron que el costo de construcción de una vivienda de bambú es aproximadamente el 36.5% del costo de una vivienda de concreto armado de características similares. Esta diferencia de costos se debe principalmente a:

- Disponibilidad local del bambú: Elimina los gastos de transporte desde centros urbanos distantes.

- Menor costo de la materia prima: El bambú es un recurso renovable de bajo costo en regiones donde es abundante.
- Menor mano de obra especializada: La construcción con bambú requiere habilidades que pueden ser adquiridas rápidamente por la mano de obra local.
- Mayor rapidez de construcción: El plazo de construcción se optimiza en un 67% en comparación con métodos tradicionales (Hurtado Hermoza & Vega Casas, 2021).

Comparación de partidas. Un análisis detallado de las partidas muestra que:

- La partida de muros es más costosa en la albañilería confinada que en el bambú, con un ahorro del 71% al usar bambú debido al gran volumen de ladrillos y mortero requeridos en la albañilería (Asencio Roca et al., 2021).
- La estructura de bambú representa el 41.64% del costo total de la vivienda, mientras que en una vivienda de ladrillo la estructura representa el 51.34% del costo total.
- El bambú es un material estructural 38.8% más rentable que la albañilería confinada para construir viviendas sociales de un nivel (Asencio Roca et al., 2021).

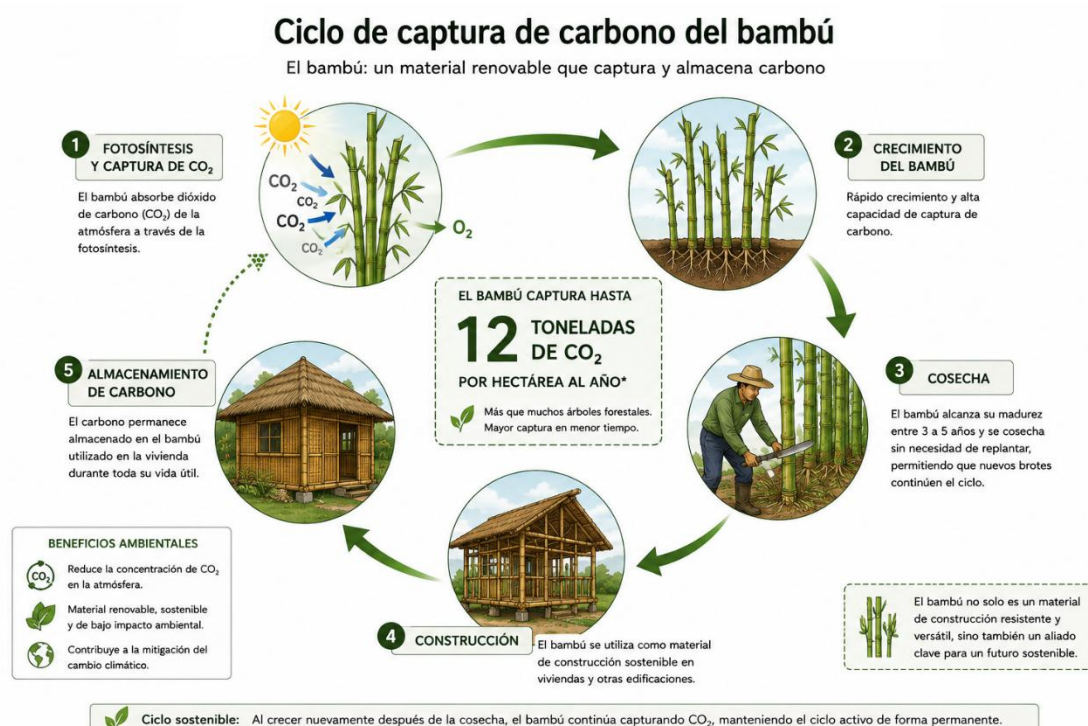
Costos referenciales. Según información referencial, una vivienda de bambú de aproximadamente 56 m² tiene un costo referencial de alrededor de 22,500 dólares, significativamente inferior al costo de una vivienda similar con materiales convencionales.

7.2 Reducción de la huella de carbono y aprovechamiento de recursos locales

El bambú ofrece ventajas ambientales significativas en comparación con los materiales de construcción convencionales, especialmente en términos de reducción de la huella de carbono.

Captura de carbono. El bambú tiene una capacidad excepcional para absorber dióxido de carbono y liberar oxígeno. Un bosque de bambú puede capturar hasta 12 toneladas de CO₂ por hectárea al año, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático.

(González Camargo, 2022) Encontró que la *Guadua angustifolia* es un material de baja emisión de CO₂, tanto en las etapas de siembra, cosecha y extracción, como en el procesamiento y construcción. Durante su crecimiento, el bambú captura CO₂ de la atmósfera, compensando las emisiones asociadas a su procesamiento y tratamiento.



Comparación con materiales convencionales. El análisis de ciclo de vida muestra que:

- El bambú tiene emisiones de CO₂ significativamente menores que el acero y el concreto.
- El consumo de energía en la producción de bambú es mucho menor que en la producción de materiales convencionales.
- El bambú es un material renovable, mientras que el acero y el concreto requieren recursos no renovables.

Aprovechamiento de recursos locales. El uso del bambú en la construcción promueve el aprovechamiento de recursos locales:

- Reduce la dependencia de materiales importados.
- Genera oportunidades de empleo local en el cultivo, recolección y procesamiento del bambú.
- Fomenta la economía circular y el desarrollo sostenible.
- Contribuye a la conservación de los bosques nativos al ofrecer una alternativa a la madera de tala indiscriminada.

7.3 Impacto social: empleo, identidad y autoconstrucción

El impacto social del uso del bambú en la construcción de viviendas de interés social es multidimensional y significativo.

Impacto social del uso del bambú

El bambú como motor de desarrollo local y bienestar comunitario



Generación de empleo. La promoción del bambú como material constructivo genera oportunidades de empleo para la población local:

- Cultivo y manejo de plantaciones: Actividades de siembra, mantenimiento y cosecha.
- Recolección y procesamiento: extracción, tratamiento y preparación del material.
- Construcción: Mano de obra para la edificación de viviendas.
- Capacitación: Formación de técnicos y profesionales especializados en construcción con bambú.

Fortalecimiento de la identidad cultural. El uso del bambú en la construcción promueve la valorización de los recursos locales y la identidad cultural:

- Recupera y actualiza técnicas constructivas tradicionales.
- Fomenta el orgullo por los recursos y conocimientos locales.

- Contribuye a la preservación del patrimonio constructivo de la región.
- Genera un sentido de pertenencia y apropiación comunitaria.

Autoconstrucción y participación comunitaria. La simplicidad de las técnicas de construcción con bambú permite la participación de los propios beneficiarios en el proceso constructivo:

- Reducción de costos: La autoconstrucción reduce significativamente los costos de mano de obra.
- Apropiación: Los beneficiarios se apropian del proyecto y desarrollan habilidades que pueden ser transferidas a otras iniciativas.
- Fortalecimiento del tejido social: La construcción comunitaria fomenta la colaboración y el trabajo en equipo.
- Sostenibilidad a largo plazo: Los beneficiarios adquieren conocimientos para el mantenimiento y reparación de sus viviendas.



PARTE IV: REFLEXIONES FINALES

Capítulo 8. Discusión y perspectivas futuras

8.1 ¿Es el bambú una solución real para el déficit habitacional?

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el bambú *Guadua angustifolia* de la región Huánuco constituye una alternativa viable para enfrentar el déficit habitacional en la Amazonía peruana. Las evidencias que sustentan esta afirmación son múltiples:

Desde la perspectiva técnica. El bambú presenta propiedades mecánicas que superan ampliamente los esfuerzos admisibles establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones. Las resistencias a la compresión (23.5-49 MPa), tracción (58.8-247.1 MPa) y flexión (15.8-52.4 MPa) del bambú de la región son superiores a los requisitos mínimos para materiales estructurales.

La disponibilidad de normativa técnica (Norma E.100 del RNE, NTC 5525, ISO 22157) proporciona el marco regulatorio necesario para el diseño, construcción y control de calidad de las estructuras de bambú.

Desde la perspectiva económica. El costo de construcción con bambú es significativamente inferior al de los materiales convencionales (aproximadamente el 36.5% del costo de una vivienda de concreto armado). Esta ventaja económica hace que el bambú sea accesible para familias de bajos recursos, contribuyendo a reducir el déficit habitacional cuantitativo.

Desde la perspectiva social. El uso del bambú en la construcción promueve la generación de empleo local, el fortalecimiento de la identidad cultural y la participación comunitaria en los procesos constructivos. La simplicidad de las técnicas de construcción permite la autoconstrucción, reduciendo aún más los costos y fomentando la apropiación de las viviendas por parte de los beneficiarios.

Desde la perspectiva ambiental. El bambú es un material sostenible que contribuye a la captura de carbono, la conservación de los bosques nativos y la reducción de la huella de carbono de la construcción. Su rápido crecimiento y capacidad de regeneración lo convierten en una alternativa renovable y de bajo impacto ambiental.

8.2 Limitaciones del estudio y recomendaciones para próximas investigaciones

La presente investigación, aunque exhaustiva, presenta limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación de los resultados y que abren oportunidades para futuras investigaciones.

Limitaciones del estudio. Las principales limitaciones identificadas son:

- **Distancia geográfica:** El lugar de estudio es ajeno a la provincia de Huánuco, lo que generó costos de transporte y limitaciones logísticas.
- **Tiempo:** La investigación se realizó dentro del tiempo académico establecido, lo que limitó la posibilidad de realizar ensayos adicionales o de seguimiento a largo plazo.
- **Laboratorio:** Los equipos de laboratorio de la universidad no estaban en condiciones óptimas para todos los ensayos, lo que limitó la precisión de algunos resultados.

- **Muestra:** El tamaño de la muestra (15 probetas por ensayo) es adecuado para un estudio exploratorio, pero se recomienda ampliarlo para estudios definitivos.
- **Variabilidad:** El bambú presenta una variabilidad natural significativa, por lo que los resultados obtenidos pueden no ser representativos de toda la población de bambú en la región.

Recomendaciones para futuras investigaciones. Con base en las limitaciones identificadas y los resultados obtenidos, se recomienda:

- 1) **Ampliar el estudio a otras localidades:** Evaluar el bambú en otras zonas de la región Huánuco y la Amazonía peruana para establecer patrones de variabilidad regional.
- 2) **Realizar estudios a largo plazo:** Evaluar la durabilidad del bambú en condiciones reales de servicio, incluyendo el comportamiento frente a cargas cíclicas (sísmicas) y la degradación por agentes biológicos.
- 3) **Desarrollar modelos de diseño específicos:** Generar modelos de diseño estructural adaptados a las condiciones locales, considerando la variabilidad del material.
- 4) **Evaluar diferentes tratamientos de preservación:** Comparar la efectividad de diferentes métodos de preservación en las condiciones climáticas de la Amazonía.
- 5) **Realizar estudios de ciclo de vida:** Evaluar el impacto ambiental completo del bambú, desde la plantación hasta el fin de su vida útil.
- 6) **Desarrollar prototipos de vivienda:** Construir y monitorear prototipos de vivienda de bambú en condiciones reales para validar los diseños propuestos.
- 7) **Capacitar a profesionales y técnicos:** Desarrollar programas de capacitación en diseño y construcción con bambú para profesionales de la arquitectura e ingeniería.

8.3 El bambú en el contexto de la arquitectura sostenible del siglo XXI

El bambú está llamado a desempeñar un papel fundamental en la arquitectura sostenible del siglo XXI. Sus propiedades únicas lo posicionan como un material estratégico para enfrentar los desafíos globales del cambio climático, la escasez de recursos y el déficit habitacional.

Tendencias globales. El interés por el bambú como material de construcción está creciendo a nivel global. En países como Colombia, Costa Rica, Ecuador y China, el bambú se utiliza cada vez más en proyectos arquitectónicos de vanguardia, incluyendo edificios de múltiples pisos, centros culturales y viviendas de lujo.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) han reconocido el potencial del bambú para el desarrollo sostenible, promoviendo su uso en programas de vivienda social y reforestación (Banco Interamericano de Desarrollo, 2023).

Desafíos pendientes. A pesar de su potencial, el bambú enfrenta desafíos que deben ser superados para su adopción generalizada:

- Falta de estandarización: Aunque existen normas técnicas, la estandarización del bambú como material de construcción todavía es limitada en comparación con el acero o el concreto.
- Prejuicios culturales: En muchas regiones, el bambú es percibido como un "material para pobres" o una solución temporal.
- Falta de profesionales capacitados: La formación en diseño y construcción con bambú es limitada en muchas escuelas de arquitectura e ingeniería.

- Cadena de suministro: La cadena de suministro del bambú todavía es informal en muchas regiones, lo que dificulta su incorporación en proyectos formales.

Oportunidades para el Perú. El Perú tiene un potencial significativo para el desarrollo de la construcción con bambú:

- Biodiversidad: El país cuenta con una gran diversidad de especies de bambú, incluyendo la *Guadua angustifolia*.
- Demanda habitacional: El déficit habitacional en zonas rurales y periurbanas crea una demanda que el bambú puede ayudar a satisfacer.
- Políticas públicas: El Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.100) proporciona el marco regulatorio necesario.
- Experiencia local: Existen experiencias exitosas de construcción con bambú en diversas regiones del país.

Visión de futuro. La visión de futuro para el bambú en la arquitectura peruana incluye:

- Viviendas sociales sostenibles: el bambú como material principal para programas de vivienda social en zonas rurales y periurbanas.
- Arquitectura bioclimática: El bambú como material para edificios que aprovechan las condiciones climáticas locales para reducir el consumo de energía.
- Turismo sostenible: El bambú como material para infraestructura turística de bajo impacto ambiental.
- Desarrollo rural: El bambú como motor de desarrollo económico en zonas rurales, generando empleo y valor agregado.

CONCLUSIONES

Primera. El bambú *Guadua angustifolia* de la región Huánuco presenta propiedades físico-mecánicas que lo hacen idóneo para su empleo como material estructural en la construcción de viviendas de interés social. Los valores de resistencia obtenidos superan ampliamente los esfuerzos admisibles establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.100), lo que demuestra la viabilidad técnica del material.

Segunda. Las propiedades físicas del bambú de la región, incluyendo la densidad ($576\text{-}1,071\text{ kg/m}^3$), el contenido de humedad (12-18%) y el peso específico ($8,289\text{-}10,365\text{ N/m}^3$), son consistentes con los rangos reportados en la literatura internacional para la *Guadua angustifolia*. La variabilidad observada entre diferentes localidades y a lo largo del culmo debe ser considerada en el diseño estructural.

Tercera. Las propiedades mecánicas del bambú de la región presentan valores que lo posicionan como un material de alta resistencia: compresión ($23.5\text{-}49\text{ MPa}$), tracción ($58.8\text{-}247.1\text{ MPa}$) y flexión ($15.8\text{-}52.4\text{ MPa}$). La presencia de nudos actúa como refuerzo, aumentando la resistencia a la compresión en aproximadamente un 20-25%.

Cuarta. La comparación de los resultados con la normativa vigente demuestra que el bambú *Guadua angustifolia* de la región Huánuco cumple con los parámetros establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones, la NTC 5525 y la ISO 22157, lo que garantiza su utilización segura en proyectos de edificación formal.

Quinta. El diseño arquitectónico de una vivienda de interés social con bambú debe responder a las condiciones climáticas, culturales y económicas de

la Amazonía peruana. La propuesta presentada integra criterios de eficiencia energética, confort térmico, flexibilidad de uso y sostenibilidad, demostrando que el bambú puede ser la base de soluciones habitacionales integrales.

Sexta. La viabilidad económica del bambú para vivienda social es significativa, con costos de construcción que representan aproximadamente el 36.5% del costo de una vivienda de concreto armado. Esta ventaja económica, combinada con la disponibilidad local del material y la posibilidad de autoconstrucción, hace que el bambú sea accesible para familias de bajos recursos.

Séptima. El bambú ofrece ventajas ambientales sustanciales en comparación con los materiales de construcción convencionales, incluyendo la captura de carbono, la reducción de la huella de carbono de la construcción y la conservación de los bosques nativos. Estas características lo posicionan como un material estratégico para la arquitectura sostenible del siglo XXI.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Vega, F. L. (2019). *Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del bambú Bambusa vulgaris para uso estructural en Colombia*.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/items/bc07a574-f04b-4e40-be9d-901406865f9c>
- Asencio Roca, J. L., Lavarello Calderón, M. K., Llamapponcca Velarde, E. C., Huisa Valdivia, M. J., & Vílchez Trujillo, M. A. (2021). *El bambú como material alternativo en la construcción de viviendas sociales de un nivel*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/23311>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2023). *BID | Día Mundial del Medio Ambiente: bambú, el acero vegetal para las construcciones del siglo XXI*.
<https://www.iadb.org/es/blog/desarrollo-urbano-y-vivienda/dia-mundial-del-medio-ambiente-bambu-el-acero-vegetal-para-las-construcciones-del-siglo-xxi>
- Bello Zambrano, J. A., & Villacreses Viteri, C. G. (2021). Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 6, Nº. 9, 2021 (Ejemplar Dedicado a: SEPTIEMBRE 2021), Págs. 1987-2011, 6(9), 1987–2011.
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3152>
- Chang Lobatón, R. (2022). La vivienda de interés social y la planificación urbana en el Perú: Disociación entre el marco regulatorio de los diferentes niveles de gobierno. *Revista Doctrina Distrital*, ISSN-e 2745-2719, Vol. 2, Nº. 2, 2022 (Ejemplar Dedicado a: Discusiones Actuales En Materia de Urbanismo - ISSN 2745-2719 -), Págs. 161-191, 2(2), 161–191.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9086967&info=resumen&idioma=SPA>
- Cholán Villacorta, S. A. (2021). Características constructivas del Bambú para el confort térmico en una vivienda en Shapaja, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84444>
- Dans Vilela, Chamba-Ontaneda, M., & León-Cueva, O. (2020). El bambú y su importancia como un material estructural para la construcción. *Bosques Latitud Cero*, 10(1), 57–68.
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/719>
- Fernández Sánchez, A. (2022). Estudio del bambú y su uso en la construcción. Caracterización mecánica. *Estudio Del Bambú y Su Uso En La Construcción. Caracterización Mecánica*.

- García Ochoa, J. A., Quito Rodríguez, J. C., & Perdomo Moreno, J. A. (2020). *Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente*. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Ingeniería Civil. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/16031>
- González Camargo, S. A. (2022). *Modelo de vivienda de emergencia en bambú Guadua angustifolia Kunth, una solución sostenible al desastre ocurrido en Mocoa, Putumayo, Colombia*. <http://hdl.handle.net/2183/32499>
- GRH - Gobierno Regional Huánuco. (2022, October). *Huánuco: GOREHCO REFORESTARÁ SUELOS DEGRADADOS DE CUATRO PROVINCIAS Y CINCO DISTRITOS*. <https://www.gob.pe/institucion/regionhuanuco/noticias/663442-huanuco-gorehco-reforestara-suelos-degradados-de-cuatro-provincias-y-cinco-distritos>
- Gutiérrez-Collao, J. E., Acosta-Román, M., Abanto-Rodríguez, C., Palomino-Santos, E. R., Márquez, E. Y. C., & Massa-Palacios, L. A. (2024). Propiedades mecánicas de la Guadua angustifolia para uso y preservación medioambiental de la Amazonia peruana. *Produccion y Limpia*, 19(2), 66–83. <https://doi.org/10.22507/PML.V19N2A3480>
- Hoyos Brown, B. M. (2021). *Experiencias de capacitación en manejo y transformación del Bambú en cuatro regiones de la Amazonía peruana*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5008>
- Hurtado Hermoza, L. O., & Vega Casas, S. I. (2021). *Diseño y análisis de una vivienda ecológica que cumpla criterios sismo resistentes, utilizando el bambú como elemento estructural*. Universidad Ricardo Palma - URP. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4954>
- ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2007). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5525 MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH – GUADUA Y BAMBU COLOMBIA*. <https://guaduabambucolombia.co/tag/norma-tecnica-ntc-colombiana-5525-metodos-de-ensayo-para-determinar-las-propiedades-fisicas-y-mecanicas-de-la-guadua-angustifolia-kunth/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *INEI difunde Base de Datos de los Censos Nacionales 2017 y el Perfil Sociodemográfico del Perú*. <https://censo2017.inei.gob.pe/inei-difunde-base-de-datos-de-los-censos-nacionales-2017-y-el-perfil-sociodemografico-del-peru/>

- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 22157:2019 - Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods*. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/59/65950.html>
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2020). *Resolución Ministerial N.º 236-2020-VIVIENDA - Normas y documentos legales - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - Plataforma del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/1217660-236-2020-vivienda>
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2020). *Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) - Informes y publicaciones - Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - Plataforma del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Morán Ubidia, J. (2015). *Construir con bambú: manual de construcción*.
- Oré Urbay, K. R. (2021). *Guadua Angustifolia Como Material Estructural en Puentes Peatonales de la Zona Rural del Distrito de Pichanaqui*.
- Pérez Sánchez, J., & Quintana Jaramillo, E. E. (2019). *Evaluación de las características físico mecánicas del bambú (Guadua angustifolia Kunth) como material alternativo para el diseño de una vivienda*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/items/0e6aad81-34c1-4472-9902-911016b1e0d6>
- Pozo Ancho, G., Rodriguez Condor, J., & Yupari Bravo, C. R. (2021). *Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropon en la región de Piura*.
- Rodríguez Sotelo, J., Abanto Rodriguez, C., Flores Romaina, M., Rodríguez Vásquez, K., Del Castillo Torres, D., Guerra Arévalo, W., García Soria, D., Guerra Arévalo, H., & Revilla Chávez, J. (2023). *Propiedades físicas y mecánicas de Guadua lynnclarkiae, Guadua weberbaueri y Guadua superba en Ucayali, Perú*.
- Rosales Zapata, E. del P. (2013). *Propiedades físico-mecánicas del bambú guadua angustifolia y planteamiento sismorresistente de una vivienda unifamiliar de 02 pisos utilizando refuerzo de bambú como ecomaterial, en la Región Huánuco*. <https://repositorio.unheval.edu.pe/item/96953e75-fbf9-44bd-8a49-cbc59611585d>
- Sánchez Escobar, L. C., Guerra R., C. A. F., & Lozano P., J. E. (2019, July). *Comparison of physical and mechanical properties of bamboo Guadua angustifolia Kunth*

from different municipalities of Colombia.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24133/ciencia.v22i1.1289>

Sencico. (2006). *NORMA E.100 BAMBÚ Reglamento Nacional de Edificaciones*. 1–61.

[https://drive.google.com/file/d/1xTu8Cg5b-](https://drive.google.com/file/d/1xTu8Cg5b-Nw6bUyfbYI1GHuT2JsuYEBY/view?usp=sharing&usp=embed_facebook)

[Nw6bUyfbYI1GHuT2JsuYEBY/view?usp=sharing&usp=embed_facebook](https://drive.google.com/file/d/1xTu8Cg5b-Nw6bUyfbYI1GHuT2JsuYEBY/view?usp=sharing&usp=embed_facebook)

SERFOR - Servicio Nacional Forestal y de Fauna. (2022). Estrategia Nacional para el Desarrollo del Bambú (PROBAMBÚ). *Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. <https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/937>

Takeuchi Tam, C. P., Duarte Toro, M., & Javier Erazo, W. (2013). Análisis Comparativo en Muestras de Guadua Angustifolia Kunth Solicitadas a Compresión Paralela a la Fibra. *Ingeniería y Región, ISSN 1657-6985, No. 10, 2013, Págs. 117-124*, (10), 117–124. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432159&info=resumen&idioma=SPA>

Torres, B., Segarra, M., & Bragança, L. (2019). El bambú como alternativa de construcción sostenible. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 389–400. <https://doi.org/10.30972/EITT.503787>

Zaragoza-Hernández, I., Ordóñez-Candelaria, V. R., Pazos, G. M. B., Rosa, A. M. B. la, & Zamudio-Sánchez, F. J. (2025). Propiedades Físico-Mecánicas de una Guadua Mexicana (*Guadua aculeata*). *Maderas-Cienc Tecnol*, 17(3), 505–516. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000045>



Dirección legal: Urb. Paseo del Mar
Nuevo Chimbote, Santa, Ancash
Correo electrónico: ed.honexus@gmail.com
Teléfono: 978653152

ISBN: 978-612-99541-1-0

