UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

RIEMAT
Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología:

Desafíos y Evolución de las Normativas en el Diseño de structuras de Bambú: Un Estudio Comparativo Global y la Perspectiva Ecuatoriana.

Challenges and Evolution of Regulations in the Design of Bamboo Structures: A Global Comparative Study and the Ecuadorian Perspective

Autores

Ángel Chicaiza [1]*
https://orcid.org/0000-0002-2405-2783

Marcia Ortiz [2]
https://orcid.org/0000-0002-9981-763X

Luis Chávez [3]
https://orcid.org/0000-0001-9063-3968

Mishelle Toaza [1]
https://orcid.org/0009-0001-7219-1219

[1]Facultad de Ciencias Socio Ambientales, Universidad Regional Amazónica Ikiam. Tena, Ecuador.
[2]Ministerio de Educación. Archidona, Ecuador.
[3]Facultad de Diseño y Arquitectura, Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

* Autor para correspondencia.
angel.chicaiza@ikiam.edu.ec

Citacion sugerida: Chicaiza, A., Ortiz, M. & Chávez, L. (2023). Normativas en el Diseño de Estructuras de Bambú: Un Estudio Comparativo Global y la Perspectiva Ecuatoriana. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología. RIEMAT, 8(2), pp. 49-55.* https://doi.org/10.33936/riemat.v8i2.6436

Recibido: 24/10/2023
Aceptado: 20/11/2023
Publicado: 29/12/2023

Resumen

El bambú es un material ampliamente utilizado, cuenta con múltiples beneficios: entre ellos su alta relación resistencia/peso, crece bastante rápido en comparación con la madera, es renovable, biodegradable, ecológico, genera recursos económicos para la gente de las localidades, todo ello y otros aspectos más lo convierten en un material sostenible. Sin embargo, su uso técnico, su implementación y difusión se enfrenta a una serie de desafíos entre ellos: deficiencias en las normativas de los diferentes países que promueven su uso y en algunos casos las normativas son inexistentes, en ciertos lugares es considerado como un material para construcciones destinadas únicamente para personas con escasos recursos económicos o como andamios. En el presente artículo se realiza un estudio de las normativas de diseño de estructuras de bambú a lo largo del tiempo a nivel mundial y la situación en Ecuador a través de una revisión de bibliografía relevante y fuentes oficiales. Se encontró que la Normativa aplicada en Ecuador tiene ciertas deficiencias y debe ser actualizada.

Palabras clave: Bambú; Normativa Ecuatoriana de la Construcción; Estructuras de Guadúa; Comparación Global; Ecuador.

Abstract

Bamboo is a widely used material with multiple benefits. These include its high strength-to-weight ratio, its rapid growth rate compared to wood, its renewability, its biodegradability, and its ability to generate economic resources for local communities. These and other factors make bamboo a sustainable material. However, its implementation and diffusion face a number of challenges. These include deficiencies in the design codes of different countries that promotes the use, and in some cases, their non- existence. In some places, bamboo is considered a material for construction intended only for people with limited economic resources or as scaffolding. This paper presents a study of the design codes for bamboo structures over time at a global level and the situation in Ecuador through a review of relevant bibliography and official sources. The study found that the Ecuadorian code has certain deficiencies and must be updated.

Keywords: Bamboo; Ecuadorian Construction Regulation; Guadua Structures; Global Comparison; Ecuador.

1. Introduccción

El bambú es un material prometedor para el sector de la construcción por su gran número de beneficios entre los que se destacan: su rápido crecimiento (entre 3 y 8 años) (Mahdavi et al.,2011; Khoshbakht et al., 2018; Chen et al., 2023) en comparación con los bosques de madera (que puede llegar a tardar hasta 10 veces más) dependiendo del tipo de madera y otros factores, su alta resistencia a la tensión (paralela a las fibras) (Mahdavi et al.,2011; Goonewardena et al, 2022) y flexión en relación a su peso lo cual lo ha llevado a ser conocido como "acero vegetal", es renovable (Ramírez et al., 2012), amigable con el medio ambiente (Ramirez et al., 2012), biodegradable (Mahdavi et al.,2011), puede generar recursos económicos para la gente de la localidad (en comparación con otros materiales "tradicionales" que permiten la salida de capitales de los sectores rurales y pequeñas ciudades). En conclusión, es un material que aporta en los indicadores de sostenibilidad (Van der Lugt et al, 2006; Chen et al., 2023).

El bambú es un material con múltiples beneficios, pero su uso y difusión se ven afectados por varios factores. Entre ellos está el hecho de que es un material no homogéneo y su forma es aproximadamente como cilindro hueco con cierto grado de conicidad. Otro de los principales desafíos es la falta de códigos y normativas adecuadas y actualizadas para el análisis, diseño y construcción con bambú. A nivel mundial, se evidencia que varias normativas están desactualizadas, y en ciertos casos se ve una completa ausencia de ellas. Esta situación es importante en Ecuador, donde la Normativa Ecuatoriana de Construcción NEC – SE – GUADÚA muestra ciertas deficiencias que requieren atención (por ejemplo, el capítulo de la NEC en mención está basado en ISO 22156: 2004 Bamboo - Structural Design -ISO, 2004- cuando ya está disponible la versión 2021 -ISO, 2021-).

Las aplicaciones del uso de bambú en un sentido estructural se ven aplicado en columnas, diagonales, vigas, pisos estructurales, cubiertas, muros (Jayanetti y Follett, 2008). Por otro lado, la existencia del bambú laminado o plybamboo, un producto industrializado, ofrece la ventaja de generar secciones de elementos estructurales con mayor inercia y con una resistencia elevada para la construcción de puentes modernos (Xiao, 2010). Sin embargo, existen visiones culturales y enfoques educativos (donde las universidades ecuatorianas mayormente están enfocadas en la enseñanza del uso del hormigón armado y acero) que relegan al bambú a un segundo plano, considerándolo un material para construcciones sencillas, de bajo costo o para usos temporales como andamios.

Este artículo busca analizar las normativas y estándares globales en el diseño de estructuras de bambú, con un enfoque particular en la situación de Ecuador. Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura relevante y de fuentes oficiales, con el objetivo de proponer vías para la actualización y mejora de lo normativa local. Esta investigación no solo es crucial para el desarrollo sostenible en Ecuador, sino que también ofrece perspectivas valiosas para la adopción global del bambú como material de construcción sostenible y eficiente.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos es necesario trabajar de forma conjunta y articulada entre las instituciones públicas como el MIDUVI, los GADs provinciales, cantonales y parroquiales, la academia, organizaciones internacionales como INBAR, instituciones privadas: empresas y emprendimientos en la actualización de la Normativa Ecuatoria de la Construcción (NEC) para el diseño y construcción técnica de estructuras de bambú (Gatóo et al., 2014).

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

Para el presente estudio se utilizaron los siguientes materiales:

Bibliografía: Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre normativas y estándares a nivel mundial en el diseño de estructuras de bambú. Se utilizaron artículos científicos, actas de conferencias,

libros, informes técnicos y documentos oficiales de organizaciones internacionales, gobiernos y academia.

Fuentes oficiales: Se consultaron fuentes oficiales de gobiernos y organizaciones internacionales para obtener información sobre normativas y estándares en el diseño de estructuras de bambú.

2.2. Métodos

El estudio se realizó en dos fases:

Fase 1: Revisión bibliográfica y de fuentes oficiales

En la primera fase, se realizó una revisión bibliográfica y de fuentes oficiales para identificar las principales normativas y estándares globales en el diseño de estructuras de bambú. Se utilizaron los siguientes criterios para la selección de la literatura:

Pertinencia: La literatura debía estar relacionada con el tema del estudio, es decir, las normativas, códigos y estándares en el diseño de estructuras de bambú.

Relevancia: La literatura debía ser relevante para el contexto del estudio.

La revisión bibliográfica se realizó utilizando las siguientes plataformas: ResearchGate, Scopus, Web of Science y Google Scholar

La revisión de fuentes oficiales se realizó consultando los siguientes documentos: Normativas nacionales e internacionales, informes técnicos y documentos de organizaciones internacionales.

Fase 2: Análisis de normativas

En la segunda fase, se realizó un análisis de las normativas y estándares identificados en la fase 1.

El análisis se realizó utilizando una matriz, la cual incluyó los siguientes datos: Nombre de la normativa o estándar, País o región, Año de publicación y un análisis de la actualidad del mismo.

3. Resultados y discusión

En la Tabla No 1 se presenta el resultado de la búsqueda bibliográfica relevante y fuentes oficiales, donde se incluye un análisis del vínculo con la NEC y de la actualidad de estas.

Tabla 1

Normas, Códigos, Reglamento, Estándares y Especificación para el diseño de estructuras de bambú.

País	Año de publicación	Norma/Código/ Reglamentos	Estándar/ Especificación	Es una fuente directa de la NEC vigente	Documento: Actualizado/ Desactualizado
India	1973		IS:6874: Method of test for round bamboo	NO	
India	1976		IS:8242: Method of test for split bamboo	NO	
Ecuador	1976		INEN 42: Bambú Caña Guadua (INEN,1976)	NO	
India	1979		IS 9096:2006. Indian Standard. PRESERVATION OF BAMBOO FOR STRUCTURAL PURPOSES	NO	
India	1994		IS:13958: Specification for bamboo mat board for general purposes	NO	
China	1995		GB/T 15780-1995: Testing methods for physical and mechanical properties of bamboo	NO	
China	2000		GB/T 2690-2000: Bamboo timber	NO	

International	2004		ISO 22156:2004 Bamboo—Structural Design. ISO 22157-1:2004 Bamboo — Determina- tion of physical and mechanical properties.(ISO,2004)	NO	
International	2004		ISO/TR 22157-2:2004 Bamboo— Determi- nation of physical and mechanical proper- ties — Part 2: Laboratory manual (ISO/TR, 2004)	SI	Desactualizado
International	2004			SI	Desactualizado
India	2005	The National Building Code of India—developed a Code of Practice for Bamboo De- sign-Section 3—Timber and Bamboo: 3B.		NO	
Colombia	2006		NTC 5407: Uniones de Estructuras con Guadua angustifolia Kunth.	SI	
China	2007		JG/T 199-2007: A testing method for phys- ical and mechanical properties of bamboo used in building.	NO	
Colombia	2007		NTC 5525: Métodos de Ensayo para Deter- minar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth (ICONTEC, 2007)	SI	Desactualizado
India	2008		IS 6874: Method of tests for round bam- boos	NO	
Perú	2009	Norma Técnica E.100 Bam- bú (Norma Técnica, 2012)		SI	Desactualizado
India	2010		IS 6874: Method of tests for round bam- boos	NO	
Colombia	2010	Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Capítulo G.12 Estructuras de Guadua (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012)		SI	Desactualizado
China	2011	JGJ 254-2011 Technical code for safety of bamboo scaffold in construction.		NO	
Ecuador	2011	Normas técnicas para la utilización de la guadua an- gustifolia Kunth en la con- strucción.		NO	
India	2012				
China	2014		IS 6874: Method of tests for bamboos	NO	
China	2014		GB/T 30762: Quality grading standards of main bamboo shoot	NO	
Ecuador	2016	NEC Norma Ecuatoriana de La Construcción. Estructuras de Guadúa (GaK)	JG/T 428: Composite ply bamboo form with steel frame	NO	

International	2019		ISO 22157:2019 Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test meth- ods (ISO, 2019)	NO	Actualizado
Brasil	2020	NBR16828-1 de 12/2020 Estruturas de bambu - Parte 1: Projeto		NO	
Brasil	2020		NBR16828-2 de 12/2020 Estruturas de bambu - Parte 2: Determinação das pro- priedades físicas e mecânicas do bambu	NO	2021
International	2021		ISO 22156:2021 Bamboo structures — Bamboo culms — Structural design (ISO,2021)	NO	Actualizado

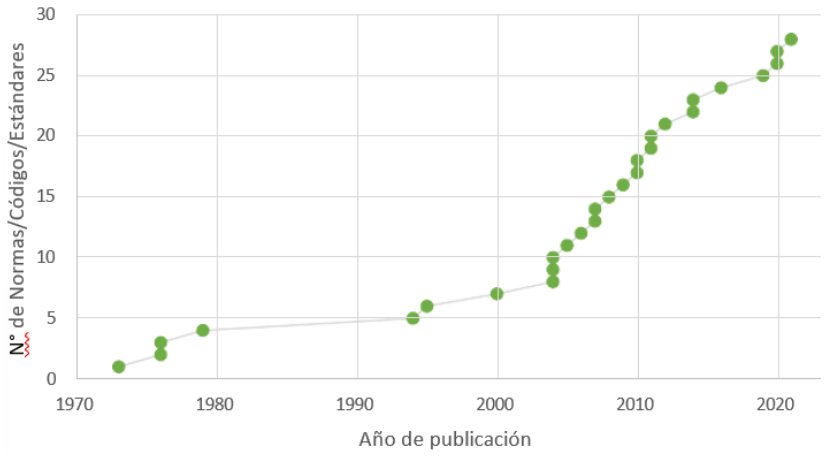
Fuente: Los autores.

En base a la información de la Tabla 1 se puede mencionar que los documentos en los cuales está basado la NEC – SE – GUADÚA están desactualizados: ISO 22157-1:2004 Bamboo — Determination of physical and mechanical properties

—Part 1: Requirements (ISO, 2004), ISO/TR 22157-2:2004 Bamboo— Determination of physical and mechanical properties — Part 2: Laboratory manual (ISO/TR, 2010), NTC 5525: Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth, Norma Técnica E 100 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2012) Bambú y el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Capítulo G.12 Estructuras de Guadua (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). A medida que han pasado los años se han ido afinando los conceptos, las fórmulas de cálculo, las metodologías de caracterización físico mecánicas de las propiedades del bambú y han aparecido nuevas consideraciones de diseño plasmadas en nuevos estándares y nuevas investigaciones plasmadas en publicaciones (Sharma et al., 2013, Estrada et al., 2022, Madhushan et al.,2023, Nugroho et al., 2023).

Figura 1

Número de normas, estándares y códigos vs el año de publicación.



Fuente: Los autores.

En base a la información de la Figura 1 se puede ver que desde el año 2004, existe un incremento significativo del 300% del número de normas, códigos y estándares ligados al diseño de estructuras de bambú, la construcción técnica y su caracterización físico- mecánica. Lo cual evidencia un notable interés a nivel mundial y en particular en Sudamérica de mejorar los procesos de diseño y construcción de estructuras de bambú. También se puede indicar que las ISO publicadas en 2004 son un punto de partida importante en el desarrollo de normas a nivel mundial (Amede, 2021) y su actualización del 2019 y 2021 deberían ser consideradas, ya que se han actualizado conceptos, coeficientes, metodologías e incluso fórmulas ligadas

al dimensionamiento de elementos estructurales de bambú (Jayanetti, 2008). Lo cual repercute de forma directa en el diseño final de las viviendas, oficinas, e infraestructura de bambú.

Esta investigación toma como referencia a Amede (2021), la cual muestra una ventaja de actualidad.

4. Conclusiones

A nivel mundial, se observa un incremento significativo en el desarrollo de normativas, códigos y estándares relacionados con el bambú desde 2004, lo que indica un creciente reconocimiento de su potencial. Sin embargo, en Ecuador, la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC – SE – GUADÚA aún se basa en versiones desactualizadas de normativas internacionales, lo que sugiere la necesidad de una revisión y actualización para reflejar los avances más recientes en este campo.

El estudio destaca la importancia de actualizar y armonizar las normativas a nivel nacional e internacional para fomentar el uso del bambú en la construcción. Esto no solo respaldará el desarrollo sostenible, sino que también abrirá nuevas oportunidades económicas, especialmente en regiones donde el bambú es abundante.

Se analiza que un número significativo de estándares y especificaciones que se enfocan en métodos de ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas del bambú, siendo una base importante en la toma de decisiones para la creación de normativas, reglamentos y códigos de diseño estructural.

Se debe hacer un hincapié, donde pocas normativas y códigos se enfocan netamente en el diseño estructural de conexiones de bambú y sus diferentes variantes para conectar los elementos que conforman la infraestructura.

En resumen, este trabajo subraya la urgencia de una revisión normativa integral que considere las innovaciones recientes y las características únicas del bambú, asegurando su papel como un material clave en la construcción sostenible y resiliente del futuro. Además, de la Guadua Angustifolia Kunth se debería considerar incorporar en la NEC el Dendrocalamus Asper.

5. Referencias bibliográficas

Mahdavi, M., Clouston, PL y Arwade, S. (2011). Desarrollo de madera laminada de bambú: revisión de consideraciones económicas, de rendimiento y de procesamiento. *Journal of Materials in Civil Engineering, 23, 1036-1042*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000253

Chen L., S. Han, D. Li, J. Deng, F. Chen, and G. Wang, (2023).Vibration Performance of Bamboo Bundle/ Wood Veneer Composite Floor Slabs for Joist-Type Floor Coverings. *Buildings, vol. 13, no. 5, p. 1265*. doi: 10.3390/ buildings13051265

Khoshbakht N., P. L. Clouston, S. R. Arwade, and A. C. Schreyer. (2018). *Computational modeling of laminated veneer bamboo dowel connections, J. Mater. Civ. Eng., vol. 30, no. 2, p. 4017285*. https:// doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.000213

Goonewardena J., M. Ashraf, J. Reiner, B. Kafle, and M. Subhani. (2022). Constitutive Material Model for the Compressive Behaviour of Engineered Bamboo. *Buildings, vol. 12, no. 9, p. 1490*. Doi: 10.3390/ buildings12091490

Ramirez F., J. Correal, L. Yamin, J. Atoche, and C. Piscal. (2012). Dowel-Bearing Strength Behavior of Glued Laminated Guadua Bamboo," J. Mater. *Civ. Eng., vol. 24, no. 11, pp. 1378–1387*. Doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000515

Van der Lugt P., A. A. J. F. van den Dobbelsteen, and J. J. A. Janssen. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures, Constr. *Build.*

Mater., vol. 20, no. 9, pp. 648–656. Doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.023.

ISO 22156:2004. (2004). Bamboo—Structural Desig. Geneva, Switzerland. https://www.iso.org/standard/36149.html

ISO 22156:2021. (2021) "Bamboo structures — Bamboo culms— Structural design," Geneva, Switzerland. https://www.iso.org/standard/73831.html

Jayanetti D. L. and P. R. Follett. (2008). *Bamboo in construction, in Modern Bamboo Structures: Proceedings of the First International Conference, pp. 23–32*. https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203888926-7/bamboo-construction-jayanetti-follett

Xiao Y., Q. Zhou, and B. Shan. (2010). Design and construction of modern bamboo bridges, J. *Bridg. Eng., vol. 15, no. 5, pp. 533–541*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.000008

12Gatóo A., B. Sharma, M. Bock, H. Mulligan, and M. H. Ramage.(2014).Sustainable structures: bamboo standards and building codes, in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability, vol. 167, no.5, pp. 189–196*.

E. A. Amede, E. K. Hailemariama, L. M. Hailemariam, and D. A. Nuramo. (2021). *A Review of Codes and Standards for Bamboo Structural Design, Adv. Mater. Sci. Eng., vol. 2021, p. 4788381*. Doi: 10.1155/2021/4788381.

Adier M. F. V, M. E. P. Sevilla, D. N. R. Valerio, and J. M. C. Ongpeng. (2023). Bamboo as Sustainable Building Materials: *A Systematic Review of Properties, Treatment Methods, and Standards, Buildings, vol. 13, no. 10, p. 2449*. https://doi.org/10.3390/edificios13102449

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). (1976). Bambú Caña Guadua, Quito, Ecuador. https://archive.org/details/ec.gpe.42.1976

ISO 22157-1:2004. (2004). Bamboo — Determination of physical and mechanical properties — Part 1: Requirements, Geneva, Switzerland. https://www.iso.org/standard/36150.html

ISO/TR 22157-2:2004.. (2004). Bamboo—Determination of physical and mechanical properties — Part 2: Laboratory manual, Geneva, Switzerland. https://www.iso.org/standard/36150.html

ICONTEC. (2007). Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth, Bogotá, Colombia. https://n9.cl/metodosdeensayo

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2012) Norma Técnica E.100, Lima, Perú. https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/275920-192-2018-vivienda

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010) G.12 Estructuras de estructuras de guadua. Bogotá, Colombia. https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/geoamenazas/Paginas/Sistema-de-Consulta-de-la-Amenaza-Sismica-de-Colombia.aspx

ISO 22157:2019. (2019). Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culm s— Test methods, Geneva, Switzerland. https://www.iso.org/standard/65950.html

Sharma, B., Harries, KA y Ghavami, K. (2013). Métodos para determinar las propiedades mecánicas transversales del bambú de tallo completo. *Construcción y materiales de construcción, 38, 627-637*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.116

Estrada Meza M. G., E. González Meza, D. A. Chi Pool, and J. S. McNamara Trujillo. (2022). *Design Exploration of Bamboo Shells Structures by Using Parametric Tools, Appl. Sci., vol. 12, no. 15, p. 7522.* https://www.mdpi.com/2076- 3417/12/15/7522

Madhushan S., S. Buddika, S. Bandara, S. Navaratnam, and N. Abeysuriya.(2023). Uses of Bamboo for Sustainable Construction—A Structural and Durability Perspective—*A Review, Sustainability, vol. 15, no. 14, p. 11137*. https://doi.org/10.3390/su151411137

Nugroho N., E. T. Bahtiar, L. Karlinasari, and U. Adzkia. (2023) Structural Design of Round Bamboo, in Multifaceted Bamboo: Engineered Products and Other Applications. *Springer, pp. 145–191*. Doi: 10.1007/978-981-19-9327-5_9