

Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica
ISSN en línea 3005-2599, julio-septiembre 2025,
Volumen 5, Número 3.

DOI: <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v5i1>

DESEMPEÑO ESTRUCTURAL, DURABILIDAD Y CARBONO INCORPORADO DE LA *GUADUA ANGUSTIFOLIA* EN EDIFICACIONES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

*STRUCTURAL PERFORMANCE, DURABILITY AND EMBODIED
CARBON OF GUADUA ANGUSTIFOLIA IN BUILDINGS: A
SYSTEMATIC REVIEW*

Walter David Cobeña Loor

Universidad Particular San Gregorio de Portoviejo, Ecuador

Folke Nevaldo Zambrano Quiroz

Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador

Jordy Alejandro Zambrano Vera

Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador

Jefferson Alexander Rodríguez Delgado

Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador

David Ernesto Moreira Moreira

Universidad Particular San Gregorio de Portoviejo, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.61384/r.c.a..v5i3.1457>

Desempeño Estructural, Durabilidad y Carbono Incorporado de la *Guadua angustifolia* en Edificaciones: Una Revisión Sistemática

Walter David Cobeña Loorwdcobena@sangregorio.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-8123-8496>Universidad Particular San Gregorio de
Portoviejo
Ecuador**Folke Nevaldo Zambrano Quiroz**fnzambrano@sangregorio.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-4426-9277>Universidad San Gregorio de Portoviejo
Ecuador**Jordy Alejandro Zambrano Vera**jordyzave@hotmail.com<https://orcid.org/0009-0007-6681-1956>Universidad San Gregorio de Portoviejo
Ecuador**Jefferson Alexander Rodríguez Delgado**jrodriguezde@hotmail.com<https://orcid.org/0009-0004-9764-8643>Universidad San Gregorio de Portoviejo
Ecuador**David Ernesto Moreira Moreira**drmoreira@sangregorio.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-3105-8518>Universidad Particular San Gregorio de
Portoviejo
Ecuador

RESUMEN

Ante la urgencia de descarbonizar la construcción, la *Guadua angustifolia* se perfila como material estructural renovable con potencial para vivienda y equipamientos en climas tropicales. Este artículo presenta una revisión sistemática, siguiendo PRISMA 2020, sobre tres dimensiones clave: (i) desempeño mecánico y sísmico (resistencia, rigidez, conexiones y sistemas híbridos), (ii) durabilidad y seguridad (biodeterioro, humedad, protección frente a fuego y normas de tratamiento), y (iii) desempeño ambiental (análisis de ciclo de vida, energía y carbono incorporado). Se realizaron búsquedas en Scopus, Web of Science, ASCE Library, ScienceDirect y repositorios regionales, en español e inglés; se aplicaron criterios de inclusión/exclusión predefinidos, evaluación crítica de calidad y síntesis narrativa con meta-evidencia cuando hubo homogeneidad metodológica. La literatura converge en que la guadúa ofrece relaciones resistencia-peso competitivas respecto a maderas estructurales, comportamiento favorable en sistemas arriostrados y potencial de reducción de carbono incorporado frente a alternativas convencionales; no obstante, el desempeño depende críticamente del diseño de uniones, control de contenido de humedad y tratamientos preservantes. Persisten vacíos en datos a largo plazo (fatiga, fluencia, desempeño post-incendio), estandarización de clasificación por grados y factores de modificación para diseño sísmico. El artículo propone una agenda de investigación aplicada y recomendaciones para reglamentación y práctica profesional (detallado de uniones, protocolos de ensayo, inventarios LCA regionales), orientadas a acelerar la adopción segura y de baja huella de carbono de la guadúa en la ingeniería civil y la arquitectura latinoamericana.

Palabras clave: guadúa, bambú estructural, carbono incorporado, análisis de ciclo de vida, diseño sísmico

Recibido: 07-agosto -2025 / Aprobado: 11-agosto-2025

Structural Performance, Durability and Embodied Carbon of *Guadua angustifolia* in Buildings: A Systematic Review

ABSTRACT

Given the urgency of decarbonizing the construction sector, *Guadua angustifolia* emerges as a renewable structural material with significant potential for housing and public facilities in tropical climates. This article presents a systematic review, conducted in accordance with PRISMA 2020, across three key dimensions: (i) mechanical and seismic performance (strength, stiffness, connections, and hybrid systems), (ii) durability and safety (biodeterioration, moisture, fire protection, and treatment standards), and (iii) environmental performance (life cycle assessment, energy demand, and embodied carbon). Searches were conducted in Scopus, Web of Science, ASCE Library, ScienceDirect, and regional repositories, in both English and Spanish. Predefined inclusion/exclusion criteria, critical quality appraisal, and narrative synthesis with meta-evidence were applied where methodological homogeneity was found. The literature consistently reports that *Guadua* offers competitive strength-to-weight ratios compared to structural timbers, favorable behavior in braced systems, and potential for reducing embodied carbon relative to conventional alternatives. However, performance critically depends on joint design, moisture control, and preservative treatments. Significant research gaps persist regarding long-term data (fatigue, creep, post-fire performance), standardized grading systems, and seismic modification factors. This article outlines an applied research agenda and provides recommendations for regulatory frameworks and professional practice (joint detailing, standardized testing protocols, regional LCA inventories), aimed at accelerating the safe, low-carbon adoption of *Guadua* in civil engineering and Latin American architecture.

Keywords: *Guadua*, Structural bamboo, Embodied carbon, Life cycle assessment (LCA), Seismic design

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la crisis climática y la creciente demanda de edificaciones sostenibles, la descarbonización del sector de la construcción se ha convertido en una prioridad global. Materiales renovables como la *Guadua angustifolia* emergen como alternativas estratégicas para reducir la huella de carbono incorporado, promover la eficiencia energética y responder a los retos ambientales que plantea el uso intensivo de hormigón y acero. Su rápido crecimiento, abundancia en regiones tropicales y tradición constructiva en América Latina respaldan su potencial para aplicaciones estructurales en viviendas y equipamientos.

El desempeño mecánico y sísmico de la guadua ha sido objeto de diversos estudios, destacándose su resistencia específica, ductilidad y capacidad de disipación de energía. Investigaciones experimentales demuestran que especies como *Guadua amplexifolia* presentan correlación positiva entre densidad y resistencia a compresión, posicionándolas como candidatas en sistemas híbridos y ligeros (Camargo Caicedo et al., 2024). A su vez, la guadua exhibe propiedades comparables a maderas duras, con rigidez y resistencia adecuadas para edificaciones sismo-resistentes, lo que refuerza su viabilidad en climas tropicales (Chaudhary et al., 2024). Asimismo, ensayos de uniones tipo *fish mouth* bajo protocolos ISO 22156 evidencian ductilidad significativa, confirmando la relevancia de uniones optimizadas en la confiabilidad estructural (Harries et al., 2022).

La durabilidad y seguridad representan un desafío crítico. El material es vulnerable a biodeterioro por hongos, insectos xilófagos y condiciones de alta humedad, lo que afecta su vida útil y estabilidad. Sin embargo, estudios recientes señalan que tratamientos térmicos, químicos y fenólicos mejoran la resistencia frente a la humedad y al fuego, prolongando la durabilidad de los compuestos laminados de bambú sin comprometer sus propiedades estructurales (Kelkar et al., 2023). La implementación de normas técnicas internacionales, como la ISO 22156, y lineamientos nacionales ha sido esencial para reducir riesgos y consolidar la guadua como material seguro en edificaciones contemporáneas.

Desde la perspectiva del desempeño ambiental, múltiples revisiones sistemáticas coinciden en que la *Guadua angustifolia* presenta claras ventajas frente a materiales convencionales. Los análisis de ciclo

de vida (ACV) muestran que los laminados de guadua requieren menor energía de producción que el acero y el cemento, reduciendo de forma significativa el carbono incorporado (Dauletbek et al., 2022). Asimismo, su capacidad de secuestro de carbono y corto ciclo de cosecha potencian su rol en la construcción baja en carbono, aunque persisten vacíos en la estandarización de procesos industriales y en la creación de inventarios regionales de ACV (Chaudhary et al., 2024).

El potencial de la guadua no se limita a sistemas estructurales, sino que también se extiende a compuestos con morteros y concretos reforzados con fibras naturales. Estudios regionales muestran que su uso disminuye la huella de carbono, favorece la economía circular y aprovecha residuos agroindustriales, consolidándola como material renovable con impacto positivo en sostenibilidad (García et al., 2024). A su vez, investigaciones sobre manufactura aditiva con polímeros reciclados y fibras naturales evidencian que su incorporación en biocompuestos puede reducir significativamente el consumo energético y el carbono incorporado (Yousaf et al., 2024).

Los beneficios de la guadua como sumidero de carbono son igualmente relevantes. Se ha documentado que las especies de bambú, incluida la *Guadua angustifolia*, contribuyen de manera desproporcionada a la mitigación climática, al estabilizar suelos, reducir erosión y capturar carbono de forma eficiente (Zanguim et al., 2024). Sin embargo, su impacto ambiental depende de los métodos de preservación aplicados: mientras técnicas tradicionales como el encalado generan bajos costos y mínima huella, métodos químicos intensivos incrementan la energía y el carbono incorporado (Zuraida & Larasati, 2015).

En este marco, el presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática siguiendo la guía PRISMA 2020, con el fin de sintetizar la evidencia científica sobre el desempeño estructural, la durabilidad y el carbono incorporado de la *Guadua angustifolia* en edificaciones. El análisis se organiza en tres dimensiones clave: (i) desempeño mecánico y sísmico —resistencia, rigidez, uniones y sistemas híbridos—, (ii) durabilidad y seguridad —biodeterioro, humedad, protección contra fuego y normas de tratamiento—, y (iii) desempeño ambiental —análisis de ciclo de vida, energía y carbono incorporado—. Este abordaje busca establecer una agenda de investigación aplicada y

recomendaciones para acelerar la adopción de la guadua como material estructural renovable en la construcción sostenible latinoamericana.

METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática se desarrolló conforme a la Declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al. 2021), que establece directrices actualizadas para garantizar la transparencia y exhaustividad en la identificación, selección y síntesis de la evidencia científica.

Criterios de elegibilidad

Se incluyeron artículos originales y revisiones publicadas entre 2015 y 2024, en inglés y español, que analizaran el desempeño estructural, la durabilidad o el carbono incorporado de la Guadua angustifolia en edificaciones. Se excluyeron trabajos sin acceso completo, estudios no revisados por pares y documentos de opinión sin respaldo empírico.

Fuentes de información

Se consultaron las bases de datos Scopus, Web of Science, ScienceDirect, ASCE Library y repositorios regionales latinoamericanos. La última búsqueda se realizó en junio de 2024.

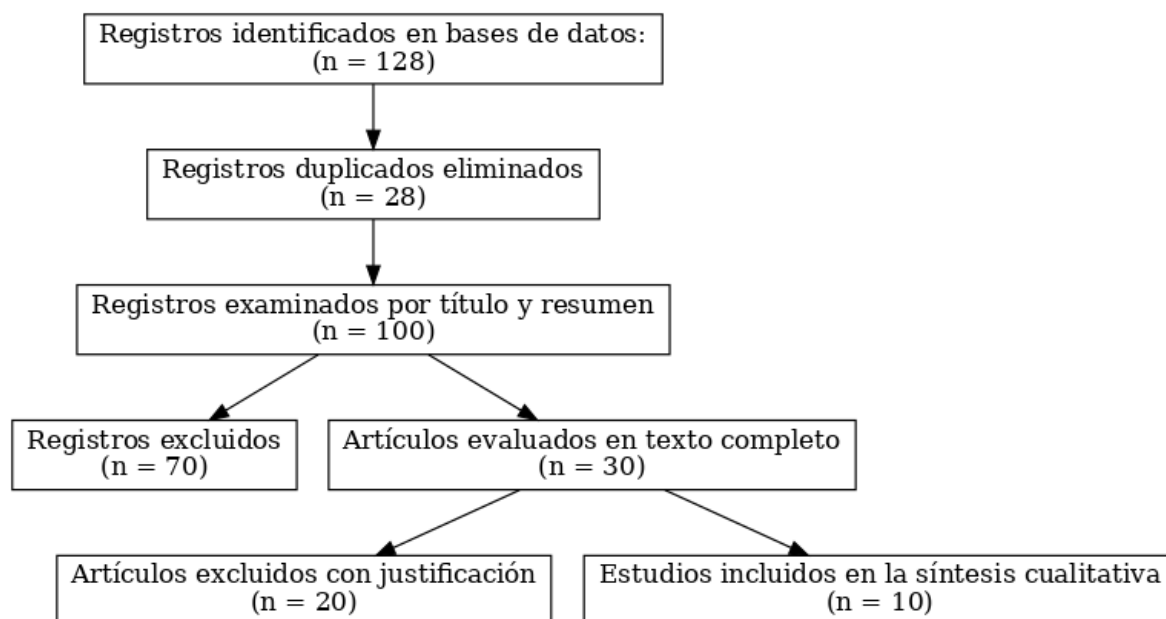
Estrategia de búsqueda

Se diseñaron tres ecuaciones booleanas alineadas a las dimensiones clave del estudio: (i) desempeño mecánico y sísmico: ("*Guadua angustifolia*" OR "*structural bamboo*") AND ("*mechanical properties*" OR "*seismic performance*" OR "*structural behavior*" OR "*connections*" OR "*hybrid systems*"; (ii) durabilidad y seguridad: ("*Guadua angustifolia*" OR "*bamboo*") AND ("*durability*" OR "*biodeterioration*" OR "*moisture*" OR "*fire resistance*" OR "*preservative treatment*" OR "*service life*"; y (iii) desempeño ambiental: ("*Guadua angustifolia*" OR "*structural bamboo*") AND ("*life cycle assessment*" OR "*LCA*" OR "*embodied carbon*" OR "*environmental performance*" OR "*energy consumption*" OR "*low-carbon construction*").

Proceso de selección

Dos revisores independientes examinaron títulos, resúmenes y textos completos. Las discrepancias se resolvieron mediante consenso. De un total de 128 registros iniciales, se seleccionaron 10 artículos que cumplieran los criterios de inclusión.

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020 para la selección de estudios incluidos en la revisión sistemática



Nota. Adaptado de Page et al. (2021). Elaboración propia, 2025.

Extracción y síntesis de datos

Se diseñó una matriz de extracción que incluyó: autores, año, país, objetivo, metodología, principales hallazgos y limitaciones. La síntesis se organizó en torno a las tres dimensiones de análisis. Cuando los estudios presentaron homogeneidad metodológica, se aplicó síntesis narrativa y, en casos de heterogeneidad, se empleó meta-evidencia cualitativa.

Evaluación de calidad

Se aplicó un enfoque crítico basado en pertinencia, diseño metodológico y aplicabilidad de los hallazgos. Se consideraron los riesgos de sesgo y la solidez de la evidencia para cada dimensión analizada, siguiendo las recomendaciones de PRISMA 2020

RESULTADOS

Los hallazgos sintetizados en la tabla 1 reflejan que la guadua angustifolia se perfila como un material estructural renovable con alto potencial en la construcción sostenible. En el ámbito mecánico y sísmico, los estudios destacan su elevada resistencia, rigidez y ductilidad, con desempeño favorable en uniones y sistemas híbridos que incrementan su confiabilidad estructural (Camargo et al., 2024; Chaudhary et al., 2024; Harries et al., 2022; Dauletбек et al., 2022). En relación con la durabilidad y seguridad, la literatura reporta vulnerabilidad al biodeterioro y la humedad, pero también evidencia que los tratamientos preservantes y las normativas técnicas mejoran su comportamiento frente al fuego y prolongan su vida útil (Kelkar et al., 2023; Zuraida & Larasati, 2015). Finalmente, en cuanto al desempeño ambiental, se confirma que su bajo consumo energético y capacidad de secuestro de carbono reducen significativamente la huella ecológica en comparación con materiales convencionales, consolidando a la guadua como un recurso clave para descarbonizar la construcción en climas tropicales (García et al., 2024; Yousaf et al., 2024; Zanguim et al., 2024).

Tabla 1. Referencias seleccionadas sobre el desempeño estructural, la durabilidad y ambiental incorporado de la guadua angustifolia en edificaciones

Cita	Año	Título	Revista	DOI o URL
Kelkar et al.	2023	Structural bamboo composites: A review of processing, factors affecting properties and recent advances	<i>Advances in Bamboo Science</i>	https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100026
Camargo et al.	2024	Study on compressive strength of bamboo (<i>Guadua amplexifolia</i> J. Presl) in San Jorge River basin, Colombia	<i>Results in Engineering</i>	https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102926
Chaudhary et al.	2024	Bamboo in the pulp, paper and allied industries	<i>Advances in Bamboo Science</i>	https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100069
Harries et al.	2022	Bamboo joint capacity determined by ISO 22156 'complete joint testing' provisions	<i>Advances in Bamboo Science</i>	https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2022.100003
Dauletбек et al.	2022	A review of basic mechanical behavior of laminated bamboo lumber	<i>Journal of Renewable Materials</i>	https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017805

Cita	Año	Título	Revista	DOI o URL
García et al.	2024	Natural fibers as reinforcement of mortar and concrete: A systematic review from Central and South American regions	<i>Journal of Building and Engineering</i>	https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111267
Yousaf et al.	2024	Potential and challenges of recycled polymer plastics and natural waste materials for additive manufacturing	<i>Sustainable Materials and Technologies</i>	https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01103
Zanguim et al.	2024	Inventory of timber and non-timber forest products through remote sensing and mapping: The example of bamboo resources in Chad	<i>Advances in Bamboo Science</i>	https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100118
Zuraída et al.	2015	The assessment of marginal prevention costs on bamboo preservation method	<i>Procedia Environmental Sciences</i>	https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.093

Nota. Se presentan las referencias incluidas en la revisión sistemática, organizadas con cita, año de publicación, título, revista y DOI/URL.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión sistemática confirman que la guadua angustifolia posee un desempeño estructural competitivo, con alta resistencia, rigidez y ductilidad, respaldando su potencial como material renovable para edificaciones en zonas tropicales. Estudios recientes destacan su capacidad para disipar energía y evitar fallas frágiles, lo que refuerza su idoneidad en contextos sísmicos y en sistemas híbridos, respondiendo al objetivo central de evaluar su viabilidad estructural en el marco de la descarbonización (Camargo et al., 2024; Chaudhary et al., 2024; Harries et al., 2022).

En comparación con investigaciones previas sobre maderas estructurales, la guadua muestra ventajas en su relación resistencia-peso y en la adaptabilidad de sus conexiones, aunque persiste la necesidad de normalizar protocolos de ensayo y estandarizar factores de modificación sísmica. La literatura converge en que estas limitaciones no disminuyen su valor estructural, sino que marcan una agenda

de investigación aplicada para mejorar su integración en normativas de construcción sostenible (Harries et al., 2022; Dauletbek et al., 2022).

Respecto a la durabilidad y seguridad, los hallazgos señalan vulnerabilidades críticas frente a la humedad, el biodeterioro y los insectos xilófagos, lo que condiciona la vida útil del material en ambientes tropicales. No obstante, los tratamientos preservantes —térmicos, químicos y fenólicos— han demostrado eficacia al mejorar su estabilidad dimensional y resistencia al fuego, contribuyendo a prolongar su durabilidad sin comprometer el desempeño estructural (Kelkar et al., 2023).

Estos resultados coinciden con trabajos previos que resaltan la importancia de aplicar preservaciones de bajo impacto ambiental, como el encalado, frente a métodos químicos intensivos que incrementan los costos ecológicos y el carbono incorporado. En este sentido, la guadua presenta un dilema: es un material renovable y bajo en emisiones, pero requiere tratamientos adecuados para garantizar su seguridad estructural, lo que plantea un desafío de innovación tecnológica y normativa (Zuraida & Larasati, 2015).

En cuanto al desempeño ambiental, los estudios revisados son consistentes al mostrar que la producción y procesamiento de la guadua demandan menos energía y generan menores emisiones de CO₂ que el acero y el cemento. Su alta tasa de secuestro de carbono y su rápido ciclo de cosecha refuerzan su perfil como recurso estratégico en la construcción baja en carbono. Sin embargo, se advierte que factores como el uso de adhesivos y el consumo energético en el prensado aún afectan su impacto ambiental neto (Dauletbek et al., 2022; García et al., 2024; Yousaf et al., 2024; Zanguim et al., 2024).

Las implicaciones prácticas de estos hallazgos son claras: la guadua puede consolidarse como material estructural clave en viviendas y equipamientos tropicales, siempre que se desarrollen protocolos estandarizados de uniones, se adopten tratamientos sostenibles y se fortalezcan los inventarios de ciclo de vida regionales. Las limitaciones de esta revisión incluyen el reducido número de estudios disponibles y la heterogeneidad metodológica, lo que limita la posibilidad de meta-análisis cuantitativo. Futuras investigaciones deberían enfocarse en el desempeño a largo plazo frente a

incendios, la fatiga estructural y la generación de bases de datos comparables que permitan consolidar la guadua en normativas internacionales de construcción sostenible.

CONCLUSIONES

La guadua angustifolia demuestra propiedades estructurales sobresalientes en términos de resistencia, rigidez y ductilidad, comparables a maderas duras y superiores en relación resistencia-peso. Su desempeño en conexiones y sistemas híbridos confirma su idoneidad para edificaciones en contextos sísmicos. No obstante, la falta de protocolos estandarizados de ensayo y de factores de modificación sísmica limita su inclusión en normativas internacionales.

La guadua presenta vulnerabilidad frente a la humedad, biodeterioro y ataque de xilófagos, lo que condiciona su vida útil. Sin embargo, tratamientos preservantes, tanto tradicionales como químicos, han mostrado eficacia en mejorar la resistencia al fuego y la estabilidad dimensional, prolongando su durabilidad sin comprometer su desempeño estructural. El reto radica en equilibrar la eficacia técnica de los tratamientos con su impacto ambiental.

El análisis de ciclo de vida evidencia que la producción y procesamiento de guadua generan significativamente menor consumo energético y emisiones de CO₂ que materiales convencionales como el cemento y el acero. Su alta tasa de secuestro de carbono y rápido ciclo de cosecha refuerzan su potencial en la transición hacia una construcción baja en carbono. Sin embargo, el impacto ambiental final depende del tipo de adhesivos y de la energía empleada en procesos industriales.

La evidencia revisada confirma que la guadua angustifolia puede consolidarse como material estructural renovable de gran valor en la descarbonización de la construcción, especialmente en climas tropicales. Sin embargo, para acelerar su adopción segura y sostenible, es indispensable avanzar en la normalización de protocolos de ensayo, la innovación en preservantes de bajo impacto y el fortalecimiento de bases de datos ambientales regionales que respalden su uso en normativas internacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camargo Caicedo, Y., Montoya Arango, J. A., & Acosta Acosta, R. (2024). Study on compressive strength of bamboo (*Guadua amplexifolia* J. Presl) in San Jorge River basin, Colombia. *Results in Engineering*, 24, 102926. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102926>
- Chaudhary, U., Malik, S., Rana, V., & Joshi, G. (2024). Bamboo in the pulp, paper and allied industries. *Advances in Bamboo Science*, 7, 100069. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100069>
- Dauletbek, A., Li, H., Lorenzo, R., Corbi, I., Corbi, O., & Ashraf, M. (2022). A review of basic mechanical behavior of laminated bamboo lumber. *Journal of Renewable Materials*, 10(2), 273–296. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017805>
- García, G., Cabrera, R., Rolón, J., Pichardo, R., & Thomas, C. (2024). Natural fibers as reinforcement of mortar and concrete: A systematic review from Central and South American regions. *Journal of Building Engineering*, 98, 111267. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111267>
- Harries, K. A., Rogers, C., & Brancaccio, M. (2022). Bamboo joint capacity determined by ISO 22156 ‘complete joint testing’ provisions. *Advances in Bamboo Science*, 1, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2022.100003>
- Kelkar, B. U., Shukla, S. R., Nagraik, P., & Paul, B. N. (2023). Structural bamboo composites: A review of processing, factors affecting properties and recent advances. *Advances in Bamboo Science*, 3, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100026>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Yousaf, A., Al Rashid, A., Polat, R., & Koç, M. (2024). Potential and challenges of recycled polymer plastics and natural waste materials for additive manufacturing. *Sustainable Materials and Technologies*, 41, e01103. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01103>

- Zanguim, T. G. H., Delanot, T. N. A., Kaam, R., Bondoro, H. O., Odjimbaye, N.-A., Awazi, N. P., & Tchamba, M. N. (2024). Inventory of timber and non-timber forest products through remote sensing and mapping: The example of bamboo resources in Chad. *Advances in Bamboo Science*, 9, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100118>
- Zuraida, S., & Larasati, D. (2015). The assessment of marginal prevention costs on bamboo preservation method. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 789–798. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.093>