

Artículo original

Evaluación experimental de la reacción al fuego de paneles de caña guadua en viviendas tradicionales de la costa ecuatoriana

Valeria Jiménez-Tenorio ^[1]  Andrés Hidalgo ^[1]  Víctor Espín Guerrero ^[1]  Mayra Viscaíno-Cuzco ^[1]  Bolívar Paredes-Beltrán ^[1] 

[1] Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato (UTA). Ambato, Ecuador.

Autor para correspondencia: vjimenez6474@uta.edu.ec



Resumen

La caña guadua es un material de origen vegetal ampliamente utilizado en viviendas tradicionales y soluciones habitacionales ligeras en la región costa del Ecuador, debido a su disponibilidad local, bajo costo y adecuadas propiedades mecánicas. No obstante, su comportamiento frente al fuego constituye un aspecto crítico que requiere evaluación técnica bajo condiciones controladas. El presente estudio tiene como objetivo evaluar experimentalmente la reacción al fuego de paneles de caña guadua utilizados en viviendas tradicionales de la costa ecuatoriana, mediante el ensayo de pequeña llama conforme a la norma NTE INEN-ISO 11925-2. Se realizó una caracterización física y mecánica del material, así como el análisis de parámetros asociados a la propagación de la llama, el comportamiento térmico y el índice de carbonización. Los resultados evidencian que ninguna de las probetas alcanzó una propagación significativa de la llama ni presentó combustión sostenida para tiempos de exposición de 30 y 120 segundos, tanto en ensayos a borde como a superficie. Asimismo, se registraron valores reducidos de carbonización, lo que indica una degradación térmica progresiva del material. En conjunto, los resultados permiten asociar el comportamiento de los paneles de caña guadua a una contribución limitada al fuego, destacando su viabilidad técnica para aplicaciones constructivas ligeras en edificaciones tradicionales bajo criterios adecuados de diseño y seguridad frente al fuego.

Palabras Clave: *caña guadua; construcción tradicional; reacción al fuego; ensayo de pequeña llama; vivienda ligera.*

Article

Experimental Evaluation of the Fire Reaction of Guadua Bamboo Panels in Traditional Housing in Coastal Ecuador

Abstract

Guadua bamboo is a plant-based material widely used in traditional housing and lightweight construction systems in the coastal region of Ecuador, due to its local availability, low cost, and favorable mechanical properties. However, its fire performance remains a critical aspect requiring technical assessment under controlled conditions. This study aims to experimentally evaluate the reaction-to-fire behavior of Guadua bamboo panels used in traditional housing in coastal Ecuador, through the small flame test in accordance with NTE INEN-ISO 11925-2. Physical and mechanical characterization of the material was conducted, along with the analysis of flame spread, thermal behavior, and carbonization index. The results show that none of the specimens exhibited significant flame propagation or sustained combustion for exposure times of 30 and 120 seconds, in both edge and surface tests. Additionally, low carbonization values indicate a progressive thermal degradation of the material. Overall, the findings associate Guadua bamboo panels with a limited contribution to fire, supporting their technical viability for lightweight construction applications in traditional buildings when appropriate fire safety design criteria are applied.

Keywords: *guadua bamboo; traditional construction; reaction to fire; small flame test; lightweight housing.*

1. Introducción

En Ecuador, la construcción de viviendas ha incorporado históricamente una amplia variedad de materiales, entre los que destacan el hormigón, el acero, la madera y, de manera particular, los materiales de origen vegetal utilizados en sistemas constructivos tradicionales. En la región costa, estos sistemas han adquirido especial relevancia debido a factores sociales, económicos y ambientales que condicionan el acceso a viviendas seguras y asequibles. Sin embargo, diversos eventos naturales y antrópicos han evidenciado que muchas prácticas constructivas continúan basándose en métodos estandarizados que no siempre consideran adecuadamente el contexto local ni el comportamiento real de los materiales frente a escenarios de riesgo, como los incendios (Mena et al., 2012; Ruizhen, 2011; Tambunan et al., 2022). En este contexto, resulta necesario avanzar hacia una evaluación técnica más rigurosa de los materiales empleados en viviendas tradicionales, particularmente aquellos de uso extendido en zonas vulnerables.

La caña guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) ha sido utilizada durante siglos como material constructivo en la región costa del Ecuador, destacándose por su disponibilidad local, bajo costo y favorables propiedades mecánicas. Este bambú leñoso es reconocido por su elevada relación resistencia-peso, su capacidad de absorber energía y su comportamiento adecuado frente a solicitudes sísmicas, lo que lo ha posicionado como un material clave para la construcción de viviendas de bajo costo y rápida ejecución (Mena et al., 2012). No obstante, al tratarse de un material de origen vegetal, su comportamiento frente al fuego constituye un aspecto crítico que debe ser evaluado con mayor profundidad, especialmente en contextos donde las viviendas presentan alta densidad y limitadas condiciones de protección pasiva contra incendios.

En las últimas décadas, iniciativas de vivienda social han promovido el uso de la caña guadua como elemento principal en sistemas constructivos prefabricados y panelizados. Un caso emblemático es el desarrollado en la ciudad de Guayaquil y otras zonas de la costa ecuatoriana, donde se han implementado proyectos de vivienda social orientados a poblaciones en situación de vulnerabilidad. Estas iniciativas han permitido reducir el déficit habitacional mediante soluciones constructivas económicas, durables y de rápida ejecución, basadas principalmente en paneles de caña guadua y madera. Sin embargo, el uso masivo de este material ha puesto en evidencia la necesidad de disponer de información técnica confiable sobre su desempeño frente al fuego, considerando que los incendios representan uno de los principales riesgos en este tipo de asentamientos.

Desde el punto de vista científico y técnico, numerosos estudios han abordado las propiedades físicas, mecánicas y

estructurales de la caña guadua, destacando su resistencia, durabilidad y potencial para aplicaciones sismo-resistentes. Asimismo, se han desarrollado normativas específicas que regulan su uso estructural, consolidando su aceptación en el ámbito de la construcción formal. No obstante, la mayoría de estas investigaciones se han centrado en aspectos mecánicos y de durabilidad, mientras que los estudios orientados a la reacción al fuego, particularmente en el contexto ecuatoriano, siguen siendo limitados (Gutierrez et al., 2019; Ruizhen, 2011; Wang et al., 2026; Wang et al., 2024; Yu et al., 2022; Zhang et al., 2024). Esta carencia de información ha contribuido a la persistencia de percepciones negativas respecto a la seguridad del material frente a incendios, restringiendo su uso en determinados contextos constructivos.

El comportamiento frente al fuego de la caña guadua está influenciado por múltiples factores, entre los que destacan el contenido de humedad, la microestructura del material, la orientación de las fibras y la presencia de tratamientos o recubrimientos. Investigaciones previas han evidenciado que la carbonización superficial puede actuar como un mecanismo de protección térmica, ralentizando la propagación de la llama y limitando la transferencia de calor hacia el interior del material (Lv et al., 2021; Zhang et al., 2024). Sin embargo, estos mecanismos dependen en gran medida de las condiciones de exposición y del tipo de elemento constructivo evaluado, por lo que resulta fundamental generar datos experimentales específicos para paneles de caña guadua utilizados en viviendas tradicionales de la costa ecuatoriana.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar experimentalmente la reacción al fuego de paneles de caña guadua empleados en viviendas tradicionales de la costa ecuatoriana, mediante el ensayo de pequeña llama. A través de la caracterización física, mecánica y térmica del material, así como del análisis de parámetros como la propagación de la llama y la evolución térmica durante el ensayo, se busca aportar información técnica confiable que permita comprender su desempeño frente al fuego en etapas iniciales de exposición. Los resultados obtenidos pretenden contribuir al fortalecimiento de criterios de seguridad en el uso de la caña guadua como material constructivo, promoviendo su aplicación responsable en soluciones de vivienda social y tradicional en regiones costeras (Mena et al., 2012; Ruizhen, 2011; Solarte, 2020; Tambunan et al., 2022).

2. Metodología

2.1. Enfoque metodológico y diseño experimental

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y experimental, estructurado en tres etapas principales orientadas a evaluar la reacción al fuego de paneles de caña

guadua utilizados en viviendas tradicionales de la costa ecuatoriana. La primera etapa estuvo destinada a la caracterización física y mecánica del material, con el objetivo de establecer una línea base que permitiera contextualizar su comportamiento frente a acciones térmicas. En la segunda etapa se realizaron ensayos experimentales de reacción al fuego mediante el método de pequeña llama, conforme a la norma NTE INEN-ISO 11925-2 (Asociación Española de Normalización, 2021). Finalmente, la tercera etapa se centró en el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos, incluyendo el cálculo del índice de inflamabilidad y del índice de carbonización, así como la recopilación de información bibliográfica sobre las propiedades térmicas del material (Pope *et al.*, 2021).

2.2. Materiales, equipos y preparación de paneles

Para el desarrollo experimental se emplearon paneles de caña guadua suministrados por la Fundación Hogar de Cristo, ubicada en la ciudad de Guayaquil. Se seleccionaron dos paneles laterales con dimensiones aproximadas de 2.40 m × 2.45 m, representativos de los sistemas constructivos utilizados en viviendas tradicionales de la región costera.

Dado que los paneles fueron entregados ya procesados, no se dispuso de información detallada sobre el origen del culmo ni sobre las condiciones de crecimiento, por lo que la selección de las muestras se realizó de manera aleatoria dentro del material disponible. La procedencia y características generales de los paneles se ilustran en la Figura 1.

2.3. Caracterización física y mecánica de la caña guadua

La caracterización física y mecánica de la caña guadua se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la norma NTC 5525 y la norma UNE ISO 22157, mediante ensayos de contenido de humedad, densidad, tracción, compresión, flexión y dureza superficial (Wang *et al.*, 2021, 2022; Zhang *et al.*, 2024). Para la determinación del contenido de humedad, las muestras fueron pesadas en estado natural y posteriormente secadas en horno a una temperatura comprendida entre 101 y 105 °C durante un período de 24 horas, hasta alcanzar masa constante. El procedimiento experimental para la determinación del contenido de humedad se muestra en la Figura 2.



Figura 1. Paneles de caña guadua suministrados por la Fundación Hogar de Cristo (Guayaquil, Ecuador): (A) área de acopio/almacenamiento donde se obtuvieron los paneles; (B) panel de caña guadua provisto para el estudio (2.45 × 2.40 m).



Figura 2. Procedimiento para la determinación del contenido de humedad: (A) pesaje inicial de la muestra en balanza electrónica; (B) secado en horno y pesaje final, conforme a los lineamientos de las normas NTC 5525 y UNE ISO 22157.

La densidad del material se determinó a partir de la relación entre la masa seca y el volumen de cada muestra, siguiendo el método establecido en la normativa, incluyendo la medición directa de dimensiones y la aplicación del método de Arquímedes cuando fue necesario. Para los ensayos mecánicos de tracción, compresión y flexión, se prepararon probetas específicas extraídas de las zonas basal, media y superior del culmo, garantizando la ausencia de defectos

visibles. Las probetas para tracción y compresión se ensayaron en máquinas universales, aplicando cargas progresivas a velocidades controladas, mientras que el ensayo de flexión se realizó mediante el método de cuatro puntos, permitiendo evaluar tanto la resistencia máxima como el módulo de elasticidad del material. La configuración de las probetas y los dispositivos de ensayo se presentan en la Figura 3.

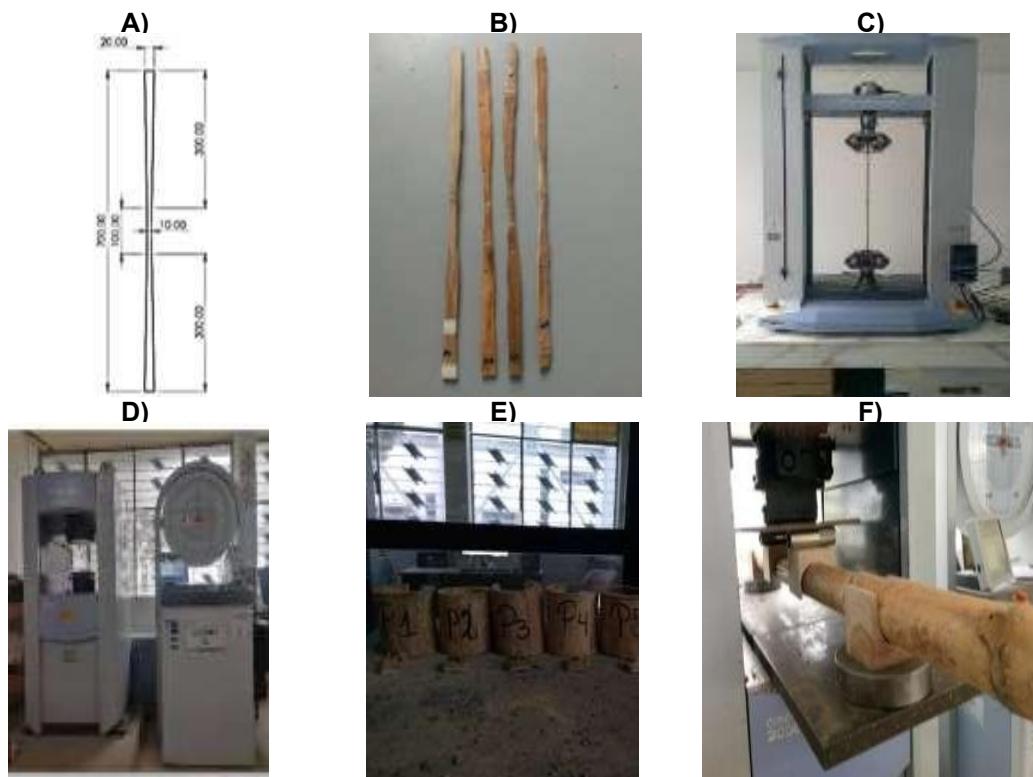


Figura 3. Probetas, equipos y configuración de ensayos mecánicos en caña guadua, conforme a NTC 5525 y UNE ISO 22157: (A) esquema geométrico y dimensiones de la probeta para tracción; (B) probeta preparada para tracción; (C) equipo/montaje del ensayo de tracción en máquina universal; (D) equipo de ensayo de compresión (Shimadzu); (E) probetas para compresión; (F) configuración del ensayo de flexión a cuatro puntos.

2.4. Ensayo de dureza superficial

La dureza superficial de la caña guadua se determinó conforme a la norma ISO 868, utilizando un durómetro digital tipo Shore D (J. Wang et al., 2026; B. Xu et al., 2025). Para este ensayo se seleccionaron muestras planas y uniformes, con un espesor mínimo de 6 mm. Cada probeta fue colocada sobre una superficie rígida y horizontal, aplicándose el penetrador de forma perpendicular a la superficie. Se realizaron cinco mediciones en puntos distintos de cada muestra, separados entre sí por al menos 6 mm, y se calculó el valor promedio de dureza. El procedimiento de medición y la distribución de los puntos evaluados se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Ensayo de dureza superficial mediante durómetro Shore D en paneles de caña guadua (puntos de medición establecidos en la muestra, conforme a ISO 868).

2.5. Preparación y acondicionamiento de las probetas para el ensayo de fuego

Para el ensayo de reacción al fuego se prepararon probetas a partir de los paneles de caña, mediante cortes longitudinales y transversales conforme a las dimensiones establecidas en la norma NTE INEN-ISO 11925-2, con medidas aproximadas de 90 mm × 250 mm y un espesor promedio de 8 mm, con una variación de ± 2 mm. En total se elaboraron 24 probetas, distribuidas equitativamente entre cortes longitudinales y transversales, y destinadas a ensayos a borde y a superficie. La preparación, la especificación

dimensional y la configuración previa de las probetas se ilustran en la Figura 5.

Cada probeta fue codificada considerando el tipo de ensayo, la orientación del corte y el tiempo de aplicación de la llama, con el fin de asegurar una identificación consistente durante todo el procedimiento experimental. Adicionalmente, las muestras se marcaron a alturas específicas conforme a los criterios de la normativa, estableciendo referencias visuales para el registro y medición de la propagación de la llama. La nomenclatura, el marcado y la disposición de las probetas para los ensayos a borde y a superficie se presentan también en la Figura 5.

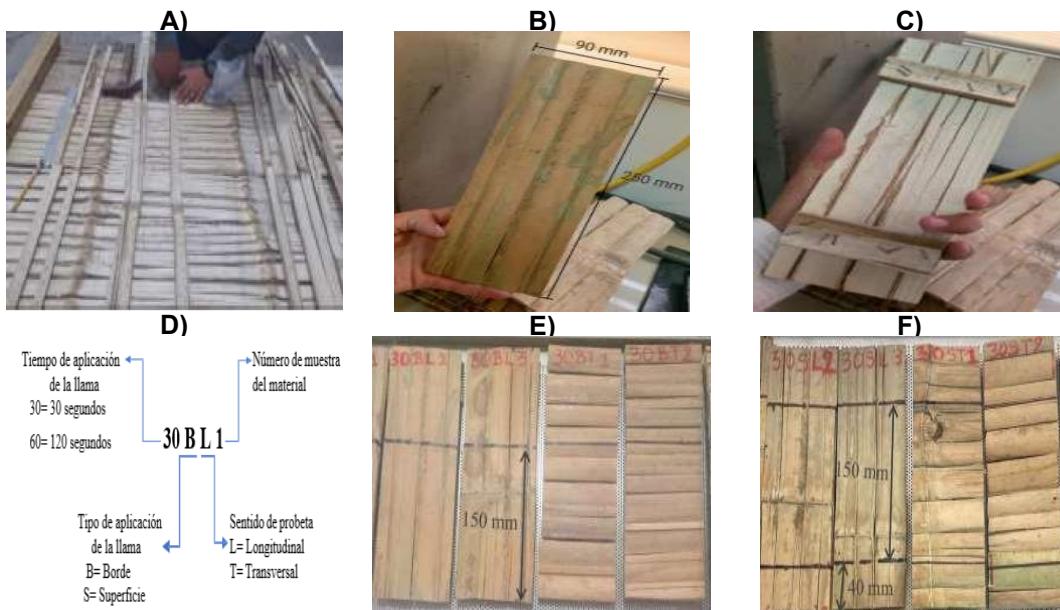


Figura 5. Preparación de probetas y configuración previa del ensayo de reacción al fuego (ISO 11925-2): (A) preparación de muestras; (B) dimensiones y especificación geométrica de las probetas para superficie; (C) dimensiones y especificación geométrica de las probetas para borde (D) nomenclatura y codificación; (E) marcado para ensayo a borde; (F) marcado para ensayo a superficie.

Previo al ensayo, las probetas fueron acondicionadas en una cámara climática a una temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $(50 \pm 5)\%$, durante un período mínimo de 72 horas, hasta alcanzar masa constante. Este proceso permitió asegurar condiciones homogéneas de humedad y temperatura, minimizando la influencia de estas variables en la reacción al fuego del material (Gonzalez, 2020; Solarte et al., 2021). El acondicionamiento y el registro de masas se muestran en la Figura 6.

2.6. Ensayo de reacción al fuego y registro térmico

El ensayo de reacción al fuego se realizó conforme a la norma NTE INEN-ISO 11925-2, aplicando una llama única con una altura nominal de $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, inclinada a 45° respecto a la probeta. Las muestras fueron colocadas en un portaprobeta dentro de la cámara de combustión, asegurando una velocidad del aire controlada conforme a la normativa.

La presión del gas propano se ajustó para mantener una llama estable durante todo el ensayo. Se colocó un sistema de recolección de partículas, compuesto por una bandeja de aluminio y papel filtro, para registrar la eventual caída de partículas inflamadas. La disposición del equipo y la aplicación de la llama se muestran en la Figura 7. Para la interpretación del desempeño frente a ignitabilidad, se utilizó como referencia el criterio de propagación vertical de la llama (F_s) asociado a la metodología de clasificación de reacción al fuego descrita en EN 13501-1, considerando el umbral de 150 mm empleado en el ensayo ISO 11925-2. Esta referencia se emplea únicamente como criterio comparativo del comportamiento bajo ignición local y no constituye, por sí sola, una clasificación integral de Euroclases.

Las probetas fueron expuestas a la llama durante 30 segundos conforme a la normativa, y adicionalmente se realizaron ensayos con un tiempo de aplicación de 120

segundos bajo criterio experimental. Durante el ensayo se registraron visualmente los fenómenos de ignición, propagación de la llama y extinción. Paralelamente, se utilizó una cámara térmica avanzada para registrar la evolución de la temperatura superficial del material desde el

inicio del ensayo hasta su finalización, permitiendo identificar temperaturas máximas y gradientes térmicos a lo largo de la probeta.



Figura 6. Acondicionamiento previo al ensayo de reacción al fuego (ISO 11925-2): (A) registro de masa inicial de las probetas; (B) acondicionamiento en cámara climática hasta alcanzar masa constante de acuerdo con norma ISO 11925-2.

2.7. Procesamiento de datos e índices de comportamiento frente al fuego

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de reacción al fuego se procedió a parámetros de ignitabilidad (F_s) e índice de carbonización, considerando parámetros como la altura máxima de propagación de la llama, el tiempo de ignición y la presencia de partículas inflamadas, conforme a los criterios establecidos en la norma NTE INEN-ISO 11925-2 y la clasificación EN 13501-1. Asimismo, se determinó el índice de carbonización a partir de la diferencia entre la masa inicial y la masa final de las probetas tras el ensayo, expresado como porcentaje de pérdida de masa.

3. Resultados

Los resultados obtenidos permiten caracterizar de manera integral el comportamiento físico, mecánico y de reacción al fuego de los paneles de caña guadua utilizados en viviendas tradicionales de la costa ecuatoriana. En primera instancia, la caracterización evidenció valores de contenido de humedad promedio cercanos al 14,9 %, ubicados en rangos aceptables para materiales constructivos de origen vegetal empleados en ambientes tropicales. Este nivel de humedad resulta relevante, ya que influye directamente tanto en el comportamiento mecánico como en la respuesta térmica del material, particularmente en los procesos de ignición y propagación inicial de la llama. Los valores registrados presentan una dispersión limitada entre probetas, lo que indica condiciones homogéneas de acondicionamiento previo al ensayo.

En relación con las propiedades mecánicas, los ensayos de tracción mostraron valores elevados de resistencia en la dirección paralela a las fibras, con esfuerzos últimos

promedios cercanos a 90 MPa y módulos elásticos del orden de 16,7 GPa. Este comportamiento confirma la eficiencia estructural de la caña cuando trabaja predominantemente en la dirección de las fibras, consistente con la naturaleza anisotrópica del material. La Tabla 3 sintetiza los parámetros obtenidos en tracción, evidenciando que, bajo las condiciones aplicadas, la respuesta del material resulta favorable para elementos sometidos a solicitudes axiales en sistemas livianos o panelizados.

Los ensayos de compresión y flexión evidenciaron una respuesta mecánica consistente, con dispersión moderada atribuible a variaciones naturales del culmo y a la anisotropía propia del material. En términos generales, los valores obtenidos reflejan que la caña guadua mantiene una capacidad resistente adecuada para elementos estructurales ligeros, conservando su integridad frente a solicitudes iniciales. Los resultados de compresión y flexión se presentan en las Tablas 4 y 5, respectivamente, y permiten comparar el desempeño del material bajo distintos estados de carga, en concordancia con su aplicación potencial en paneles y componentes no destinados a altas exigencias estructurales.

Respecto a la reacción al fuego, los ensayos realizados conforme a la norma ISO 11925-2 evidenciaron que ninguna de las probetas evaluadas alcanzó una propagación vertical de la llama superior a 150 mm, tanto para exposiciones de 30 s como de 120 s. Este comportamiento fue consistente en los ensayos realizados sobre superficie y sobre borde, sin diferencias que impliquen una propagación crítica en las condiciones evaluadas. Los resultados de propagación para cada configuración se presentan en la Tabla 6, mientras que la evidencia fotográfica comparativa de las respuestas iniciales para 30 s y 120 s se muestra en la Figura 8.

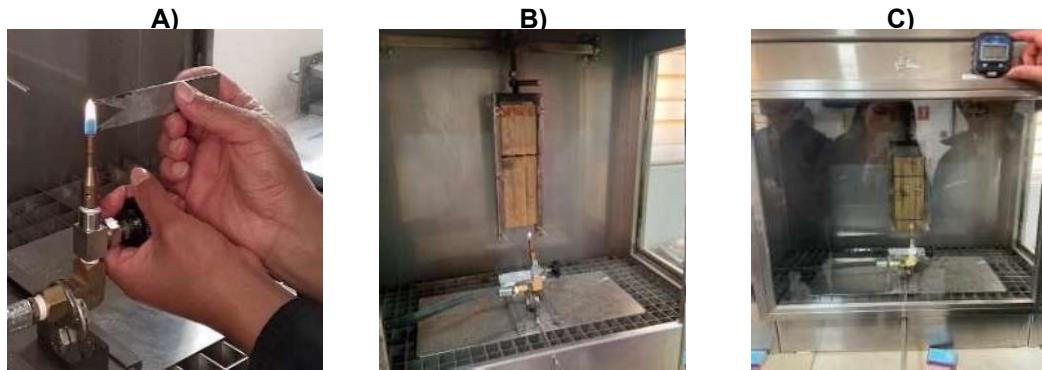


Figura 7. Configuración y control del ensayo de reacción al fuego (ISO 11925-2): (A) verificación de la altura de la llama mediante galga; (B) aplicación de la llama en el ensayo a borde; (C) aplicación de la llama en el ensayo a superficie.

Tabla 1. Contenido de humedad de las probetas de caña guadua (GaK).

Muestra	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	Contenido de humedad (%)
P1	5,7	4,9	16,3
P2	4,1	3,5	17,1
P3	5,4	4,5	20,0
P4	3,4	3,0	13,3
P5	3,3	2,8	17,9
P6	3,4	3,0	13,3
P7	3,1	2,6	19,2
P8	1,9	1,7	11,8
P9	2,9	2,6	11,5
P10	2,1	1,9	10,5
P11	2,2	1,9	15,8
P12	2,0	1,8	11,1
P13	2,4	2,1	14,3
P14	2,9	2,5	16,0
Promedio			14,9

Tabla 2. Densidad de las probetas de caña guadua (GaK).

Muestra	Masa seca (g)	Volumen (mL)	Densidad (kg/m ³)
P1	1,8	2,3	782,609
P2	2,6	3,6	722,220
P3	1,9	2,4	791,667
P4	1,9	2,6	730,769
P5	1,8	2,5	720,000
P6	2,1	3,0	700,000
Promedio			741,211

Tabla 3. Resultados del ensayo de tracción de la caña guadua.

Muestra	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (N)	Esfuerzo último (MPa)	Módulo elástico (GPa)
T1	8,0	10,0	80,0	6193,15	77,41	20,09
T2	8,0	10,0	80,0	8539,65	106,75	19,77
T3	8,0	10,0	80,0	4021,95	50,27	11,84
T4	8,0	10,0	80,0	5969,48	74,62	15,10
T5	8,0	10,0	80,0	7378,82	92,24	20,68
T6	8,0	10,0	80,0	11182,00	139,78	12,87
Promedio	8,0	10,0	80,0	7214,20	90,20	16,70

Tabla 4. Resultados del ensayo de compresión.

Muestra	Diámetro exterior D (mm)	Diámetro interior d (mm)	Área (mm ²)	Longitud (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)
P1	81,26	61,67	2199,11	81,79	78995,10	35,92
P2	80,00	60,00	2199,11	83,11	71340,20	32,44
P3	86,00	70,00	1960,35	84,17	64696,60	33,00
P4	84,48	72,12	1520,20	87,17	64377,80	42,35
P5	86,77	71,19	1932,88	88,52	64471,20	33,36
P6	78,64	64,70	1569,35	136,38	41471,80	26,43
Promedio	82,86	66,61	1896,83	93,52	64225,45	33,92

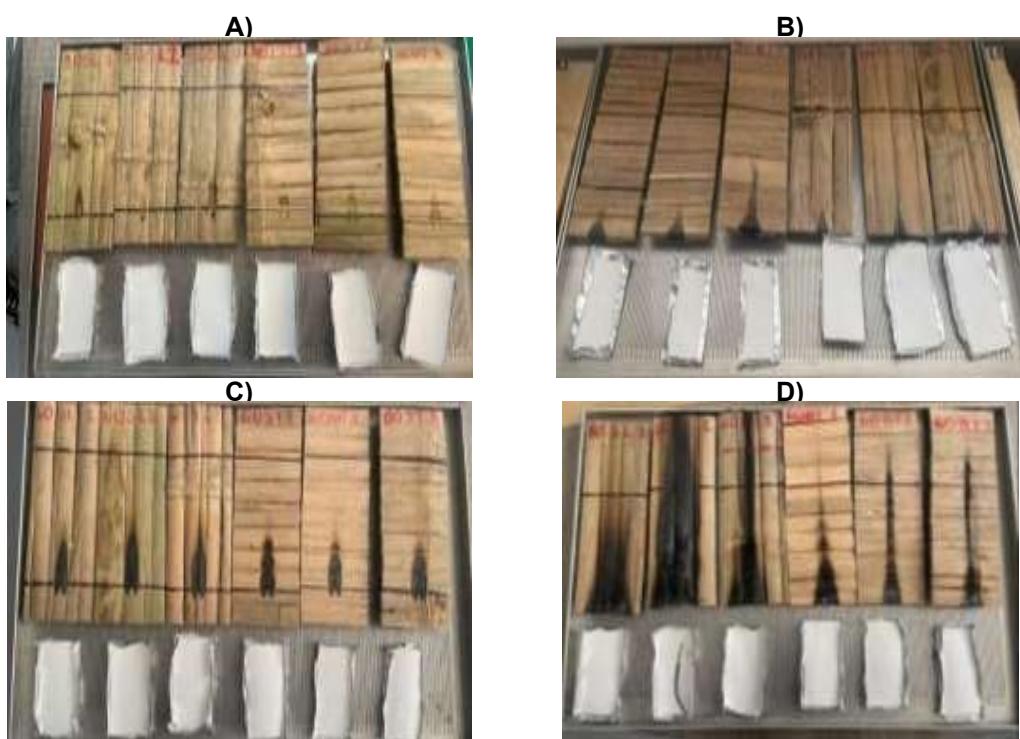


Figura 8. Aplicación de la llama y respuesta inicial de las probetas durante el ensayo de reacción al fuego (ISO 11925-2): (A) ensayo a superficie (30 s); (B) ensayo a borde (30 s); (C) ensayo a superficie (120 s); (D) ensayo a borde (120 s).

Tabla 5. Resultados del ensayo de flexión.

Muestra	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Área (mm ²)	Inercia (mm ⁴)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)
F1	76,000	60,000	1709,030	1453681,152	69983,80	47,1339	20,318
F2	82,000	64,000	2064,031	1999565,568	79526,90	47,3043	24,047
Promedio	79,000	62,000	1886,531	1726623,360	74755,350	47,2191	22,1824

Tabla 6. Resultados del ensayo de reacción al fuego (ISO 11925-2): ignición, propagación y presencia de partículas (30 s y 120 s).

Configuración	Tiempo de aplicación (s)	Orientación	Código	Ignición	Llama alcanza 150 mm	Tiempo a 150 mm (s)	Partículas en papel filtro
Superficie	30	Longitudinal	30SL1	Sí	No	0,00	No
Superficie	30	Longitudinal	30SL2	Sí	No	0,00	No
Superficie	30	Longitudinal	30SL3	Sí	No	0,00	No
Superficie	30	Transversal	30ST1	Sí	No	0,00	No
Superficie	30	Transversal	30ST2	Sí	No	0,00	No
Superficie	30	Transversal	30ST3	Sí	No	0,00	No
Borde	30	Longitudinal	30BL1	Sí	No	0,00	No
Borde	30	Longitudinal	30BL2	Sí	No	0,00	No
Borde	30	Longitudinal	30BL3	Sí	No	0,00	No
Borde	30	Transversal	30BT1	Sí	No	0,00	No
Borde	30	Transversal	30BT2	Sí	No	0,00	No
Borde	30	Transversal	30BT3	Sí	No	0,00	No
Superficie	120	Longitudinal	60SL1	Sí	No	0,00	No
Superficie	120	Longitudinal	60SL2	Sí	No	0,00	No
Superficie	120	Longitudinal	60SL3	Sí	No	0,00	No
Superficie	120	Transversal	60ST1	Sí	No	0,00	No
Superficie	120	Transversal	60ST2	Sí	No	0,00	No
Superficie	120	Transversal	60ST3	Sí	No	0,00	No
Borde	120	Longitudinal	60BL1	Sí	No	0,00	No
Borde	120	Longitudinal	60BL2	Sí	No	0,00	No
Borde	120	Longitudinal	60BL3	Sí	No	0,00	No
Borde	120	Transversal	60BT1	Sí	No	0,00	No
Borde	120	Transversal	60BT2	Sí	No	0,00	No
Borde	120	Transversal	60BT3	Sí	No	0,00	No

Nota: Los códigos 60XX corresponden a probetas con 120 s de aplicación de llama (se mantuvo la codificación original del registro).

En todos los casos se observó ignición superficial durante la aplicación de la llama; sin embargo, tras el retiro de la fuente de ignición no se registró combustión sostenida ni propagación continua. Adicionalmente, no se evidenció la generación de partículas inflamadas que activaran el papel filtro dispuesto durante el ensayo, lo que constituye un indicador favorable desde el punto de vista de la seguridad frente al fuego. La ausencia de goteo o desprendimiento de partículas en combustión sugiere que el material no contribuye de manera significativa a la propagación

secundaria del incendio bajo las condiciones evaluadas. Los valores de F_s se mantuvieron dentro del umbral de 150 mm, criterio de referencia utilizado en el marco de EN 13501-1 para la evaluación de ignitabilidad mediante ISO 11925-2. En este sentido, el comportamiento observado es consistente con un desempeño favorable frente a ignición localizada, sin evidenciar propagación vertical significativa bajo las condiciones del ensayo.

El análisis térmico permitió registrar temperaturas máximas variables en función del tiempo de exposición y del punto de medición, alcanzándose los valores más elevados en la zona directamente expuesta a la llama y observándose una reducción progresiva hacia secciones alejadas del punto de ignición. Este comportamiento evidencia un gradiente térmico y una atenuación del flujo de calor a lo largo del panel, incluso en exposiciones prolongadas. Los valores de temperatura máxima registrados por configuración se resumen en la Tabla 7 y 8. Adicionalmente, la disposición de los puntos de control definidos para el registro térmico se presenta en la Figura 9A, mientras que la evolución temporal de la temperatura a distintas distancias y la propagación promedio, integrando ensayos a borde y a superficie, se muestran en la Figura 9B.

Tabla 7. Distancia de propagación vertical de la llama (F_s) y criterio de clasificación (EN 13501-1).

Código	F_s (mm)	Criterio (EN 13501-1)
30SL1	35	<150
30SL2	21	<150
30SL3	34	<150
30ST1	30	<150
30ST2	33	<150
30ST3	33	<150
30BL1	24	<150
30BL2	27	<150
30BL3	14	<150
30BT1	28	<150
30BT2	32	<150
30BT3	26	<150
60SL1	58	<150
60SL2	50	<150
60SL3	57	<150
60ST1	47	<150
60ST2	56	<150
60ST3	65	<150
60BL1	95	<150
60BL2	150	≤ 150
60BL3	150	≤ 150
60BT1	64	<150
60BT2	57	<150
60BT3	60	<150

Tabla 8. Temperaturas máximas registradas durante el ensayo (cámara infrarroja).

Tiempo de aplicación (s)	Código	Temperatura máxima (°C)
30	30SL1	444,67
30	30SL2	434,44
30	30SL3	449,28
30	30ST1	444,83
30	30ST2	443,17
30	30ST3	451,67
30	30BL1	449,27
30	30BL2	446,00
30	30BL3	431,89
30	30BT1	449,61
30	30BT2	459,56
30	30BT3	472,11
120	60SL1	537,60
120	60SL2	530,67
120	60SL3	548,50
120	60ST1	537,60
120	60ST2	541,50
120	60ST3	543,20
120	60BL1	547,33
120	60BL2	551,00
120	60BL3	526,33
120	60BT1	520,10
120	60BT2	522,30
120	60BT3	530,00

Finalmente, el índice de carbonización calculado a partir de la pérdida de masa mostró valores bajos en exposiciones cortas, con incrementos graduales conforme aumentó el tiempo de aplicación de la llama. Este comportamiento sugiere que la degradación térmica ocurre de forma progresiva, sin colapso inmediato del elemento panelizado en las etapas iniciales del escenario evaluado. El índice de carbonización se resume en la Tabla 9, y permite complementar la interpretación conjunta del desempeño del material considerando propagación de llama, respuesta térmica y pérdida de masa.

4. Discusión

Los resultados obtenidos confirman que los paneles de caña guadua presentan un comportamiento físico y mecánico adecuado para su aplicación en sistemas constructivos tradicionales, particularmente en viviendas de bajo costo en la región costa del Ecuador.

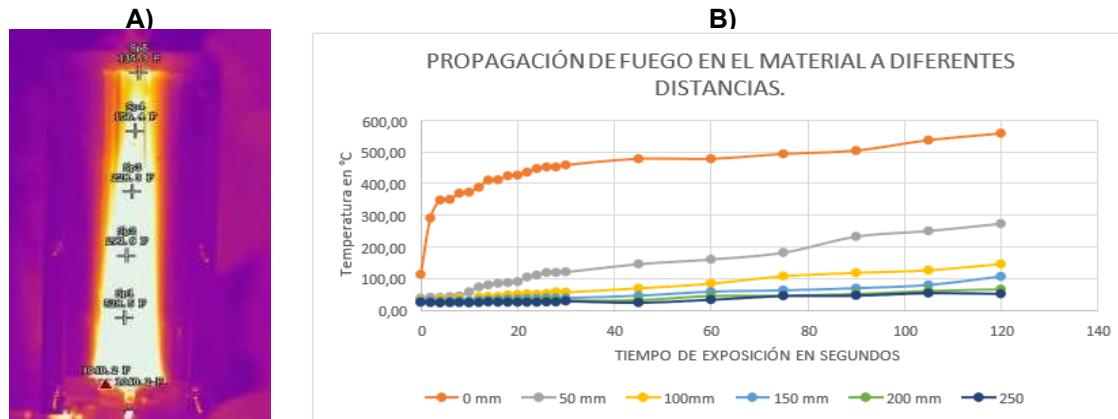


Figura 9. Registro térmico durante el ensayo: (A) distribución de los puntos de medición de temperatura en la probeta; (B) propagación de temperatura promedio registrada a diferentes distancias, considerando ensayos a borde y a superficie.

Tabla 9. Índice de carbonización de las probetas (pérdida de masa).

Código	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Índice de carbonización (%)
30SL1	132,29	132,28	0,007
30SL2	131,36	131,36	0,000
30SL3	139,84	139,82	0,016
30ST1	197,37	197,35	0,008
30ST2	168,98	168,97	0,007
30ST3	166,63	166,60	0,020
30BL1	122,43	122,42	0,005
30BL2	122,91	122,90	0,010
30BL3	119,82	119,81	0,005
30BT1	160,54	160,47	0,041
30BT2	167,30	167,20	0,059
30BT3	186,56	186,42	0,076
60SL1	122,10	121,50	0,494
60SL2	123,36	122,47	0,721
60SL3	131,30	130,31	0,753
60ST1	157,63	156,92	0,450
60ST2	145,44	144,81	0,430
60ST3	199,84	199,18	0,331
60BL1	113,93	106,81	6,252
60BL2	114,21	94,69	17,088
60BL3	136,19	130,98	3,825
60BT1	150,05	148,54	1,006
60BT2	147,13	146,14	0,672
60BT3	182,91	181,72	0,652

El contenido de humedad y la densidad determinados se encuentran dentro de rangos que favorecen una respuesta térmica controlada, ya que niveles moderados de humedad y densidades intermedias contribuyen a la absorción de calor y

a la retardación de los procesos de ignición superficial durante la exposición inicial al fuego (Gutierrez et al., 2019; Wang et al., 2024; Xiao & Ma, 2012; Yu et al., 2022).

El desempeño mecánico observado es coherente con la naturaleza anisotrópica de la caña guadua, donde la orientación de las fibras juega un papel determinante en la resistencia y rigidez del material. La elevada capacidad resistente registrada en tracción y la respuesta consistente en flexión sugieren que los paneles mantienen su integridad estructural durante solicitudes iniciales, aspecto relevante al considerar escenarios donde puedan coexistir cargas de servicio y exposición térmica puntual. En este sentido, la estabilidad inicial del elemento constructivo puede contribuir positivamente a mantener condiciones de seguridad durante los primeros minutos de un evento de incendio (Chen et al., 2019; Solarte, 2020; Xu et al., 2025).

En relación con la reacción al fuego, el hecho de que la propagación vertical de la llama no supere los límites establecidos por la normativa, incluso para exposiciones de mayor duración dentro del rango evaluado, sugiere que la caña guadua presenta una resistencia moderada frente a la ignición y una propagación no crítica bajo una fuente de llama pequeña. Este comportamiento es consistente con la formación de una capa carbonizada superficial que actúa como barrera térmica, reduciendo la transferencia de calor hacia el interior y limitando la continuidad de la combustión (Bala et al., 2020; Lv et al., 2021; Yang et al., 2023).

Aunque EN 13501-1 constituye el marco de clasificación de reacción al fuego, los resultados obtenidos en este estudio corresponden específicamente a la evaluación de ignitabilidad mediante ISO 11925-2. Por tanto, los hallazgos deben interpretarse como evidencia experimental del comportamiento bajo ignición local y no como una asignación definitiva de Euroclase, la cual requiere un conjunto de ensayos y criterios adicionales según el sistema de clasificación aplicable.

El comportamiento térmico registrado respalda esta interpretación, ya que la temperatura disminuye con la distancia respecto a la fuente de calor, evidenciando una atenuación del flujo térmico a lo largo del panel. Si bien en la zona expuesta se alcanzan temperaturas elevadas, el patrón de gradientes observados sugiere que la propagación del calor se ve limitada por las características del material lignocelulósico y por los mecanismos de carbonización. No obstante, bajo exposiciones prolongadas, es esperable que procesos avanzados de degradación térmica comprometan el desempeño, lo cual refuerza la importancia de analizar el sistema constructivo completo y no únicamente el material aislado (Pope et al., 2021).

El incremento gradual del índice de carbonización con el tiempo de exposición confirma la sensibilidad del material ante condiciones térmicas sostenidas. Aunque el desempeño en etapas iniciales es favorable, en aplicaciones habitacionales permanentes la seguridad frente al fuego depende de estrategias complementarias de diseño y

protección pasiva, incluyendo recubrimientos adecuados, disposición constructiva que limite exposición directa y soluciones que reduzcan la continuidad del material combustible. En conjunto, los resultados respaldan la viabilidad del uso de paneles de caña guadua en viviendas tradicionales y sociales, siempre que su aplicación se acompañe de criterios técnicos adecuados de diseño, ejecución y mantenimiento (Lv et al., 2021; Ruizhen, 2011; Solarte, 2020; Xu et al., 2025).

5. Conclusiones

El presente estudio permitió caracterizar de manera experimental el comportamiento frente al fuego de paneles de caña guadua utilizados en viviendas tradicionales de la costa ecuatoriana, a partir de ensayos realizados bajo condiciones controladas conforme a la norma NTE INEN-ISO 11925-2. Los resultados obtenidos evidencian que, en las condiciones evaluadas, ninguna de las probetas alcanzó ignición sostenida ni una propagación significativa de la llama más allá del límite de 150 mm establecido por la normativa, tanto en ensayos realizados sobre borde como sobre superficie y para tiempos de exposición de 30 y 120 segundos. Este comportamiento indica una respuesta favorable del material frente a llamas pequeñas en escenarios controlados.

La caracterización física y mecánica de los paneles de caña guadua mostró valores coherentes con su aplicación en sistemas constructivos ligeros. La densidad promedio determinada fue del orden de 741 kg/m³ y el contenido de humedad promedio alcanzó aproximadamente el 14.9 %, valores que se encuentran dentro de rangos aceptables para materiales de construcción de origen vegetal. En cuanto a las propiedades mecánicas, los valores promedio de resistencia a tracción, compresión y flexión evidencian una capacidad resistente adecuada para aplicaciones de baja exigencia estructural, coherente con el uso tradicional del material en cerramientos y elementos no portantes.

Desde la perspectiva de la reacción al fuego, los ensayos de inflamabilidad permitieron determinar índices de propagación y carbonización reducidos. El índice de carbonización (pérdida de masa) fue bajo para exposiciones de 30 s, y aumentó de forma marcada en varias probetas para la condición de 120 s, evidenciando una degradación térmica progresiva dependiente del tiempo de aplicación de la llama. En particular, los mayores valores se observaron en algunas configuraciones ensayadas a 120 s, lo que confirma la sensibilidad del material ante exposiciones sostenidas y refuerza la necesidad de criterios complementarios de protección pasiva en aplicaciones habitacionales.

En función de los parámetros evaluados mediante el ensayo de ignitabilidad de la norma NTE INEN-ISO 11925-2, las probetas no superaron el umbral de propagación vertical de

la llama $F_s = 150$ mm en las configuraciones ensayadas (borde/superficie) y para los tiempos de aplicación considerados (30 s y 120 s). Estos resultados evidencian un desempeño favorable frente a ignición localizada bajo condiciones controladas. No obstante, dado que la clasificación completa conforme a EN 13501-1 requiere ensayos adicionales y criterios complementarios, los hallazgos del presente estudio deben interpretarse como evidencia experimental de ignitabilidad y comportamiento térmico inicial, y no como una asignación definitiva de Euroclase.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que la caña guadua constituye un material técnicamente viable para su uso en construcciones tradicionales y soluciones habitacionales ligeras en la región costa del Ecuador, siempre que su aplicación se realice bajo criterios de diseño adecuados y considerando sus limitaciones inherentes frente al fuego y otros factores ambientales. El estudio aporta evidencia experimental que contribuye a una mejor comprensión del desempeño del material frente a la acción directa de una llama pequeña, fortaleciendo su base técnica dentro del contexto de la construcción tradicional.

Referencias

- Asociación Española de Normalización. (2021). UNE-EN ISO 11925-2:2021 Ensayo con una fuente de llama única. (ISO 11925-2:2020). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065532>
- Bala, A., Dash, A. K., Gupta, S., & Matsagar, V. (2020). Behavior of Bamboo Wall Panel at Elevated Temperature. In *Wood & Fire Safety* (pp. 281–287). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_42
- Chen, L., Xu, Q., Leng, Y., Harries, K. A., & Wang, Z. (2019). Experimental study of performance of engineered bamboo beams exposed to three-sided standard fire. *Fire Safety Journal*, 106, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.04.002>
- Gonzalez, M. (2020). Fire analysis of load-bearing bamboo structures [The University of Queensland]. <https://doi.org/10.14264/5974aa1>
- Gutierrez, M., Solarte, A., Pope, I., Maluk, C., Hidalgo, J., & Torero, J. L. (2019). Fire-safe bamboo structures – a methodology to facilitate performance-based design. In *Modern Engineered Bamboo Structures* (pp. 117–128). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429434990-11>
- Lv, Q., Wang, W., & Liu, Y. (2021). Charring depth and charring rate of cross-laminated bamboo slabs exposed to a one-sided standard fire. *Fire Safety Journal*, 125, 103439. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103439>
- Mena, J., Vera, S., Correal, J. F., & Lopez, M. (2012). Assessment of fire reaction and fire resistance of Guadua angustifolia kunth bamboo. *Construction and Building Materials*, 27(1), 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.028>
- Pope, I., Hidalgo, J. P., Osorio, A., Maluk, C., & Torero, J. L. (2021). Thermal behaviour of laminated bamboo structures under fire conditions. *Fire and Materials*, 45(3), 321–330. <https://doi.org/10.1002/fam.2791>
- Ruizhen, Y. (2011). Fire-resistance simulation and test of prefabricated bamboo house. *Journal of Building Structures*. <https://consensus.app/papers/fireresistance-simulation-and-test-of-prefabricated-ruizhen/39c7b5b75b815ef3b9e411cb3620ed23/>
- Solarte, A., Numapo, J., Do, T., Bolanos, A., Hidalgo, J. P., & Torero, J. L. (2021). Understanding fire growth for performance based design of bamboo structures. *Fire Safety Journal*, 120, 103057. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103057>
- Solarte Castaneda, A. del P. (2020). Fire performance assessment for the design of safe laminated bamboo structures [Tesis Doctoral. The University of Queensland]. <https://doi.org/10.14264/uql.2020.948>
- Tambunan, L., Lopez, L. F., Widoyowijatnoko, A., & Nugroho, Y. S. (2022). Assessment of fire resistance performance of composite bamboo shear walls. *ARTEKS : Jurnal Teknik Arsitektur*, 7(3), 369–376. <https://doi.org/10.30822/arteks.v7i3.1829>
- Wang, J., Li, Y., Liu, T., Xue, W., Yang, H., Yin, C., Liu, R., Du, G., Chen, W., & Yang, L. (2026). Ultra-Strong, Fire-Resistant and Eco-Friendly Bamboo Composites Based on Cell Wall Polymer Decoration Engineering. *ENERGY & ENVIRONMENTAL MATERIALS*, 9(1). <https://doi.org/10.1002/eem2.70087>
- Wang, R., Li, Z., Zhang, Z., & Yue, K. (2021). Influence of Temperature on the Mechanical Properties of Engineered Bamboo Laminate. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3979967>
- Wang, R., Li, Z., Zhang, Z., & Yue, K. (2022). Influence of temperature on the mechanical properties of engineered bamboo laminate. *Construction and Building Materials*, 341, 127825. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127825>
- Wang, Y.-Y., Li, Y.-Q., Zhu, W.-B., & Fu, S.-Y. (2024). Strong and fire-resistant bamboo enabled by densification and boron nitride/graphene oxide nanocoating. *Industrial Crops and Products*, 212, 118292. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118292>
- Xiao, Y., & Ma, J. (2012). Fire simulation test and analysis of laminated bamboo frame building. *Construction and Building Materials*, 34, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.077>

Xu, B., Chen, Q., Zhang, R., & Wang, Z. (2025). Fire performance comparison of bamboo-wood composite and spruce-pine-fir cross-laminated timber panels. *Cellulose*, 32(13), 7911–7928. <https://doi.org/10.1007/s10570-025-06692-8>

Xu, Q., Han, C., Wang, M., Harries, K. A., Dai, L., & Leng, Y. (2025). Experimental study of fire resistance of bolted laminated bamboo beam-to-column connections. *Journal of Building Engineering*, 99, 111611. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111611>

Yang, F., Bao, Q., Du, C., Zhu, J., Wang, Y., Shao, Y., & Ran, Y. (2023). Intelligent bamboo: A splendid flame retardant, fire warning and photothermal sterilization nanocoating via low-temperature evaporation induced self-assembly. *Chemical Engineering Journal*, 477, 146951. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146951>

Yu, J., Yang, D., He, Q., Du, B., Zhang, S., & Hu, M. (2022). Strong, durable and fire-resistant glass fiber-reinforced bamboo scrimber. *Industrial Crops and Products*, 181, 114783. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114783>

Zhang, X., Gong, Y., Zhao, E., Song, Q., Li, S., & Liu, Q. (2024). Experimental investigation on the post-fire mechanical properties and charring rate of inorganic-bonded bamboo composite exposed to fire. *Fire Safety Journal*, 146, 104159. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104159>

Zhang, Y., Chen, H., Bai, M., Zhang, A., Zhang, Z., Dong, Y., Kang, H., & Li, J. (2024). Convert bamboo into high-performance, long-time durability, and fire-retardant with hyperbranched polyethylene glycol and boron. *Chemical Engineering Journal*, 491, 152107. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152107>

Contribución de los autores (CRediT)

Jiménez Tenorio, V.: Metodología, Investigación, Curación de Datos, Visualización. **Hidalgo, A.:** Validación, Investigación. **Espín, V.:** Conceptualización, Metodología, Validación, Análisis formal, Redacción - borrador original. **Vizcaíno-Cuzco, M.:** Validación, Investigación, Redacción – revisión y edición. **Paredes-Beltrán, B.:** Conceptualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición, supervisión.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato por el apoyo financiero canalizado a través de la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) para la ejecución de esta investigación, en el marco del Proyecto PFICM30: “Caracterización del comportamiento frente al fuego de materiales de construcción utilizados en obra civil”. Adicionalmente, B.P.-B. agradece a la Universidad Técnica de

Ambato por el apoyo financiero recibido mediante su Programa de Movilidad Doctoral (Reconocimiento No. 1886-CU-P-2018, Resolución HCU).

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles a solicitud razonable al autor de correspondencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo continuo del grupo de investigación “Gestión de Recursos Naturales e Infraestructura Sustentable” (GeReNIS) de la Universidad Técnica de Ambato. Asimismo, expresan su reconocimiento al personal técnico del “Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA” de la Universidad Técnica de Ambato por su asistencia durante la preparación de muestras y la ejecución de los ensayos experimentales.

Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existe conflicto de intereses en esta obra.

Declaración sobre el uso de IA generativa y tecnologías asistidas por IA

El manuscrito no incluye una declaración específica respecto al uso de herramientas de inteligencia artificial durante su proceso de redacción. La autoría, así como la responsabilidad total del contenido, recae exclusivamente en los autores

Nota del Editor

Descargo de responsabilidad: Los datos, declaraciones, opiniones contenidas en el documento son responsabilidad únicamente de los autores y no de la *Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura*. La Revista y sus editores renuncian a toda responsabilidad por daño a persona o propiedad resultante de los métodos, instrucciones, producto o idea mencionado en el contenido.



Facultad de Ingeniería
Industria y Arquitectura



Derechos de autor 2026.



Esta obra está bajo una licencia: International Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0

Revista Científica FINIBUS - ISSN: 2737-6451.