

State of the art on the use of bamboo fibers as reinforcement in concrete: structural and rheological behavior

Janeth Anika Condori Hancoo¹; Roger Mijael Mansilla Huanacuni¹; Yeyson Jeampier Cuti Ligue¹

¹Universidad Tecnológica de Perú, Perú, u23203958@utp.edu.pe, u23260726@utp.edu.pe, u23271915@utp.edu.pe

Abstract: *This study presents a state-of-the-art review on the use of bamboo fibers as reinforcement in concrete, focusing on their mechanical and rheological performance. A total of 30 scientific articles were analyzed, examining the influence of fiber geometry, dosage, and surface treatments. Results indicate that the incorporation of bamboo fibers significantly improves tensile and flexural strength, enhancing ductility and crack-bridging behavior. However, a reduction in workability is observed due to the hydrophilic nature of the fibers. Compressive strength generally remains stable or shows slight variations within structural ranges. Alkaline treatments are identified as a key factor in improving fiber–matrix adhesion. Overall, bamboo fiber-reinforced concrete is presented as a promising sustainable alternative for structural applications.*

Keywords: *Bamboo fiber, reinforced concrete, workability, mechanical properties, durability.*

Estado del arte sobre el uso de fibras de bambú como refuerzo en el concreto: comportamiento estructural y reológico

Janeth Anika Condori Hanco¹; Roger Mijael Mansilla Huanacuni¹; Yeyson Jeampier Cuti Ligue¹

¹Universidad Tecnológica de Perú, Perú, u23260726@utp.edu.pe, u23271915@utp.edu.pe, u23203958@utp.edu.pe

Resumen: Este estudio evalúa el impacto de incorporar fibras de bambú en el desempeño mecánico y reológico del concreto, analizando la influencia de su geometría, dosificación y tratamientos superficiales a través de una revisión sistemática de la literatura. En estado fresco, la adición de este tipo de fibras reduce significativamente la trabajabilidad (slump) debido a la fricción interna y a su alta absorción de agua. Sin embargo, en estado endurecido, transforman la falla frágil del concreto en un comportamiento dúctil mediante el puenteo de fisuras (bridging effect). Los hallazgos determinan que el uso de dosis óptimas (1.0% a 1.5%) con longitudes moderadas (20 mm a 40 mm) maximiza la resistencia a la flexión, tracción y tenacidad. Aunque la resistencia a la compresión tiende a disminuir por el aumento de porosidad, los tratamientos alcalinos (como hidróxido de magnesio o calcio) mitigan esta pérdida. Cuantitativamente, la revisión evidencia incrementos en la resistencia a la tracción que oscilan entre un 17% y un 101%, alcanzando valores a flexión de hasta 14.4 MPa, mientras que la resistencia a la compresión se mantiene mayoritariamente en un rango estructural viable de 20 a 50 MPa. Estos tratamientos limpian las impurezas, mejoran la adherencia interfacial y garantizan una alta durabilidad frente a ciclos de humedad-sequedad. Por tanto, la fibra de bambú modificada se consolida como una alternativa de refuerzo sostenible y estructuralmente viable.

Palabras clave: Concreto reforzado, fibra de bambú, trabajabilidad, propiedades mecánicas, tratamientos alcalinos, durabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico y la investigación científica han impulsado importantes avances en la industria de la construcción; sin embargo, este progreso ha venido acompañado de un incremento significativo en el impacto ambiental, especialmente por el uso intensivo de materiales convencionales como el cemento y el acero. Diversos estudios señalan que el sector de la construcción contribuye de manera considerable a las emisiones de dióxido de carbono, lo que ha motivado la búsqueda de alternativas que permitan reducir la huella ambiental sin comprometer el desempeño estructural del concreto[1].

En este contexto, el material cementante ha sido objeto de numerosas investigaciones orientadas a mejorar sus propiedades mecánicas mediante la incorporación de fibras de refuerzo. Tradicionalmente, se han empleado fibras metálicas y sintéticas para incrementar la resistencia a tracción y flexión, así como para controlar la fisuración [2]; no obstante, estos materiales presentan un alto consumo energético durante su

fabricación y un impacto ambiental considerable[1]. Frente a estas limitaciones, las fibras naturales han surgido como una alternativa sostenible para el refuerzo del concreto.

Entre ellas, las fibras de bambú destacan por su rápido crecimiento, disponibilidad y adecuadas propiedades mecánicas. El bambú es una planta renovable con elevada resistencia y bajo impacto ambiental, características que lo convierten en un material prometedor para aplicaciones en ingeniería civil [3]. Diversas investigaciones experimentales han demostrado que la incorporación de fibras de bambú en el concreto puede mejorar propiedades mecánicas como la resistencia a tracción indirecta y la resistencia a flexión, además de contribuir al control de fisuras y al comportamiento post-agrietamiento del material [4]. Además, se ha reportado que la geometría de las fibras influye directamente en la trabajabilidad del concreto fresco, aspecto clave para su correcta aplicación en obra [5].

Las investigaciones recientes sobre concreto reforzado con fibras de bambú evidencian mejoras en el comportamiento mecánico del material, siempre que se controle adecuadamente la dosificación, el tratamiento de las fibras y las condiciones de curado, ya que estos factores influyen directamente en el desempeño del concreto endurecido [4][4].

Aunque existen numerosas investigaciones sobre la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto reforzado con fibras de bambú, aún son limitados los estudios que buscan sistematizar, clasificar y contextualizar dichos resultados desde una perspectiva comparativa. En ese sentido, persiste la necesidad de integrar la evidencia científica disponible para identificar tendencias, parámetros óptimos y limitaciones asociadas al uso de este tipo de fibras en matrices cementicias. Es por ello que el presente artículo tiene como objetivo analizar el uso de fibras de bambú como refuerzo en el concreto, así como identificar sus beneficios mecánicos y su potencial como alternativa sostenible en la construcción, a partir de una revisión de estudios experimentales desarrollados en diferentes contextos.

II. METODOLOGÍA

El presente artículo se desarrolló mediante una investigación documental basada en una revisión sistemática de artículos científicos relacionados con el uso de fibras de bambú como refuerzo en el concreto. La información fue recopilada de las bases de datos científicas Scopus y DOAJ, seleccionadas por

su relevancia y cobertura en investigaciones de ingeniería civil y ciencia de materiales. Asimismo, la revisión no estuvo restringida a una región geográfica específica, ya que se consideraron estudios desarrollados principalmente en Asia y América.

En una primera etapa de búsqueda se identificaron 478 artículos relacionados con el tema, utilizando palabras clave como bamboo fiber, bamboo fibres, bamboo fiber reinforced concrete, natural fibers y mechanical properties. Posteriormente, se aplicaron filtros de pertinencia temática, idioma de publicación y relación directa con el concreto reforzado con fibras naturales, obteniéndose 152 artículos. Finalmente, se realizó una selección específica de estudios experimentales desarrollados en Asia y América sobre propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bambú, seleccionándose 30 artículos científicos

El proceso identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios se organizó siguiendo las directrices del diagrama de flujo PRISMA, lo que permitió garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso de selección [6]. El diagrama PRISMA correspondiente se presenta en la Fig. 1.

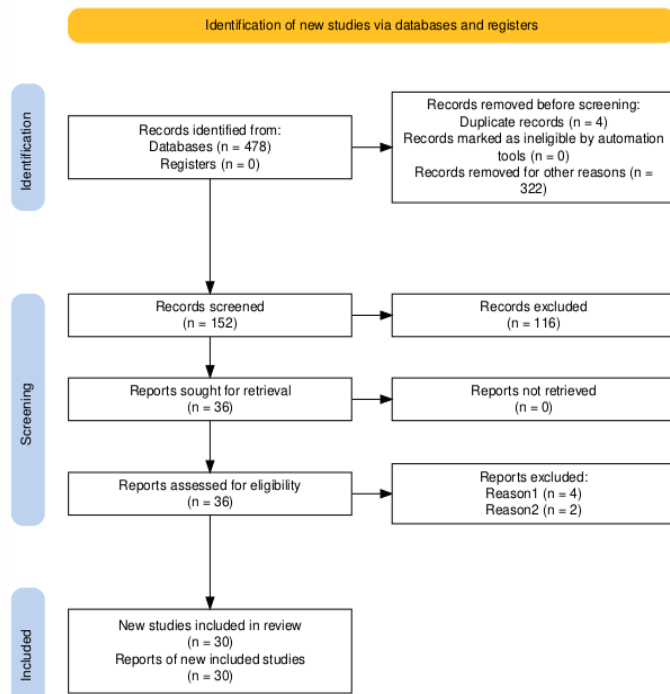


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA

Para el análisis comparativo de los estudios seleccionados se consideraron variables como el país de procedencia, la resistencia máxima a la compresión, la resistencia a flexión, la resistencia a tracción, el porcentaje de adición de fibra, el tratamiento aplicado a las fibras, el tiempo de curado, la longitud y el diámetro de la fibra. Finalmente, la información fue organizada mediante tablas comparativas, permitiendo establecer conclusiones sobre la viabilidad del uso de fibras de bambú como alternativa sostenible para el refuerzo del concreto. Los criterios de inclusión considerados se presentan de forma sucinta en la Tabla I.

TABLA I
CRITERIOS DE INCLUSIÓN CONSIDERADOS

Criterio	Descripción
C1	El estudio analiza el uso de las fibras de bambú como refuerzo de concreto
C2	El estudio se encuentra comprendido entre el periodo de tiempo entre 2017 y 2025
C3	El estudio incluye palabras relacionadas con el tema, tales como: <i>bamboo fiber</i> , <i>bamboo fibres</i> , <i>bamboo fiber reinforced concrete</i> , <i>natural fibers</i> y <i>mechanical properties</i> .
C4	El estudio está disponible en su versión completa (open access)
C5	El estudio está relacionado con áreas como Ingeniería Civil, Ciencia de Materiales, Ingeniería de la Construcción o Ciencias Ambientales.
C6	El estudio es de tipo artículo, no conference paper, no review
C7	El idioma del artículo es inglés o portugués.

III. RESULTADO

Para la presentación de los resultados se analizaron 30 artículos científicos seleccionados tras la etapa de inclusión, los cuales se presentan en la Tabla II. Estos estudios se enfocan principalmente en el uso de fibras de bambú como refuerzo en concreto convencional, concreto permeable, geopolímeros y otros materiales cementicios. El análisis de los resultados se organiza en dos enfoques: un análisis bibliométrico, orientado a evaluar la evolución de las publicaciones, las principales revistas científicas y las tendencias de investigación sobre fibras de bambú, y un análisis de ingeniería, centrado en la influencia del contenido, tratamiento y geometría de la fibra en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto.

TABLA II
ARTICULOS SELECCIONADOS Y ANALIZADOS

Autores	Título de investigación
Olanrewaju et al. (2025) [7]	Natural fiber biocomposites: A comprehensive review of current developments and material properties of plant and animal fiber reinforcements in cement concrete, and ultra-high-performance concrete
Ferreira de Araujo et al. (2025) [8]	Low-Carbon Bio-Concretes with Wood, Bamboo, and Rice Husk Aggregates: Life Cycle Assessment for Sustainable Wall Systems
Marvila et al. (2021) [9]	Use of natural vegetable fibers in cementitious composites: concepts and applications

Bazán Velarde et al. (2023) [10]	Evaluation of the physical and mechanical properties of concrete reinforced with 0.5% bamboo fiber, using the sclerometer and the compression resistance test
Fontenelle et al. (2025) [11]	Bamboo-PCM: Comparative Analysis of Phase Change Material-Impregnated Dendrocalamus giganteus Culm Behavior Exposed to Thermal Variation
Sá Ribeiro et al. (2025) [12]	Strength and thermal stability of enhanced metakaolin-based geopolymer composites with sand and fibers
Sá Ribeiro et al. (2023) [13]	High strength and low water absorption of bamboo fiber-reinforced geopolymer composites
Quispe-Quispe et al. (2025)[14]	Evaluation of the Performance of Permeable Concrete Reinforced with Natural Agave and Bamboo Fibers for Urban Flood Mitigation in Huancayo
Gholampour et al. (2022) [15]	Mechanical and durability properties of natural fiber-reinforced geopolymers containing lead smelter slag and waste glass sand
Ferreira et al. (2017) [16]	Comparative Study About Mechanical Properties of Structural Standard Concrete and Concrete with Addition of Vegetable Fibers
Lin et al. (2024) [17]	Experimental study on mechanical properties of raw bamboo fibre-reinforced concrete
Zhao et al. (2024) [18]	Experimental and Analytical Study on the Short-Term Behavior of Locally Bonded Connections in Bamboo-UHPC Composite Beams
Aditama et al. (2025) [19]	Identification of Optimal Bamboo Fiber Content to Enhance Impact Resistance of Reinforced Concrete
Annamalai et al. (2025) [20]	Enhancing concrete properties with bamboo and jute fibers: a response surface methodology approach
Jiang & Luo (2025) [21]	Enhancing the durability and mechanical performance of bamboo fiber-reinforced concrete through magnesium hydroxide modification under wet-dry cycles
Xu et al. (2024) [22]	Preparation and Properties of Natural Bamboo Fiber-Reinforced Recycled Aggregate Concrete
Ramaani et al. (2024) [23]	An in-depth assessment of the structural integrity and advantages of bamboo-reinforced cement concrete elements (BRCC)
Ahmad et al. (2023) [24]	Structural properties of concrete reinforced with bamboo fibers: a review
Ge et al. (2025) [25]	Research on the deterioration characteristics and life prediction of bamboo fiber-reinforced sea sand high-performance cementitious materials
Ding et al. (2025) [26]	Study on the mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by bamboo fiber-nano SiO ₂ synergistic effect
Chen et al. (2022) [27]	Experimental investigation on shear cracking resistance behavior of bamboo fiber-reinforced concrete composite beams
Zhang et al. (2023) [28]	Study on the mechanical and durability properties of 3D-printed bamboo fiber-reinforced concrete
Ge et al. (2025) [29]	Study on the long-term mechanical property evolution and microscopic mechanism of bamboo fiber-reinforced sea sand reactive powder concrete
Luo et al. (2025) [30]	Mechanical and impermeability properties of bamboo fiber-reinforced concrete before and after wet-dry cycling
Sridhar et al. (2023) [31]	Evaluation of Artificial Neural Network-Predicted Mechanical Properties of Jute and Bamboo Fiber-Reinforced Concrete with Silica Fume
Althoey et al. (2022) [32]	Strength and microscale properties of bamboo fiber-reinforced concrete modified with natural rubber latex
Osmi et al. (2024) [33]	Performance of Bamboo Fibre on Modifying Mechanical Properties of Concrete
Tong et al. (2025) [34]	Mechanical and thermal properties of structural lightweight bamboo fiber-reinforced insulating mortar
Wang et. Al. (2022) [35]	Experimental investigation on the preparation and surface treatment of biomass fibers for stone mastic asphalt mixtures modification

A. Análisis Bibliométrico

En la Fig. 2 se muestra la distribución anual de las publicaciones relacionadas con el uso de fibras de bambú en concreto durante el período 2017–2025. Se observa que el número de artículos es reducido en los primeros años; sin embargo, a partir de 2022 se evidencia un incremento progresivo, alcanzando el mayor número de publicaciones en

2025, lo que refleja un creciente interés reciente de la comunidad académica en esta temática.

La Fig. 3 presenta la distribución geográfica de los artículos según el país de origen. Se aprecia que la mayor cantidad de investigaciones se concentra en Asia, principalmente en China, India e Indonesia.

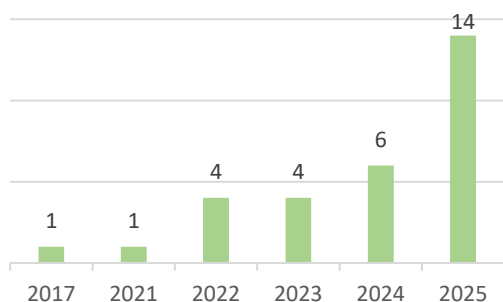


Fig.2. Publicaciones por año sobre fibras de bambú en concreto.

En el continente americano, las publicaciones son menos numerosas, destacando Brasil, Estados Unidos y Perú, lo que evidencia una menor participación regional en comparación con Asia.

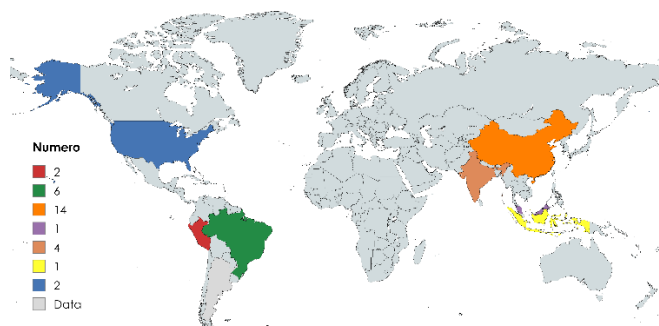


Fig. 3. Distribución de publicaciones por país.

La Fig. 4 corresponde a la nube de palabras clave obtenida a partir del conjunto de artículos analizados. Los términos con mayor frecuencia son *fiber*, *bamboo* y *concrete*, seguidos de palabras relacionadas con el comportamiento mecánico del material, como *strength*, *flexural*, *tensile* y *compressive*, lo que indica que las investigaciones se centran en el estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bambú.



Fig. 4. Nube de palabras clave del concreto con fibras de bambú.

Del mismo modo, en la Tabla III se presentan las revistas científicas en las que se publicaron los estudios analizados. Se observa que *Construction and Building Materials* y *Case Studies in Construction Materials* concentran el mayor número

de publicaciones, seguidas por *Materials*. El resto de las investigaciones se distribuye en diversas revistas especializadas en ingeniería civil y materiales, lo que evidencia la diversidad de fuentes y el interés multidisciplinario en el tema.

TABLA III
REVISTAS Y NÚMERO DE PUBLICACIONES

Construction and Building Materials	4
Case Studies in Construction Materials	3
Materials	2
Journal of Structural Fire Engineering	1
Magazine of Civil Engineering	1
Revista de la Construcción	1
Open Civil Engineering Journal	1
Journal of Materials in Civil Engineering	1
Buildings	1
Structures	1
Cement and Concrete Composites	1
Engineering Structures	1
Annales de Chimie: Science des Matériaux	1

B. Análisis de propiedades mecánicas

Esta sección presenta un análisis descriptivo de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bambú, a partir de información recopilada exclusivamente de artículos científicos revisados. El análisis se basa en la frecuencia y distribución de los parámetros reportados en los estudios.

B.1 Estudios desarrollados

Los estudios desarrollados en Asia representan aproximadamente el 70% de la literatura analizada sobre concreto reforzado con fibras de bambú. En esta subsección se presentan los principales parámetros reportados en dichos estudios, considerando el contenido de fibra, los tiempos de curado y las propiedades mecánicas evaluadas. Los valores presentados corresponden a rangos y frecuencias reportados en los artículos analizados.

B.2 Contenido de fibra de bambú

El contenido de fibra de bambú reportado en los estudios asiáticos se distribuye principalmente en porcentajes bajos de adición. La mayor frecuencia de estudios se concentra en contenidos cercanos al 1 %, evidenciados en [15], [17], [20], [25], [26], [28], [31], [32] y [33], seguidos por valores ligeramente superiores. En menor proporción, algunos estudios reportan contenidos de fibra más elevados, mientras que un número reducido de artículos no especifica claramente este parámetro.

TABLA IV

Contenido de Fibra	Nº de Ensayos
1.00%	9
1.50%	3
2.00%	2
15.00%	1
2.30%	1
0.50%	1
1.80%	1
1.25%	1
9.60%	1
0.75 %	1
0.40%	1
1.75%	1

B.3 Días de curado

En relación con los tiempos de curado, los estudios analizados reportan diversas edades de evaluación. La mayoría de los artículos, como era de esperarse, presenta resultados a 28 días de curado; mientras que [9], [12], [13], [15], [21], [22], [29], [30] consideran 14 días de curado; en tanto [7] y [29] evalúan las muestras en 90 días. Por otro lado, [29] y [23] reportan 180 y 56 días respectivamente.

TABLA V
DÍAS DE CURADO

Nº de Días	Nº de Ensayos
28 días	21
7 días	11
14 días	8
90 días	2
180 días	1
56 días	1
3 días	1

B.4 Resistencia a la compresión

Los valores de resistencia a la compresión reportados en los estudios revisados se distribuyen en distintos rangos. La literatura analizada muestra una amplia variabilidad en los valores reportados, lo cual refleja la diversidad de diseños de mezcla y metodologías de ensayo utilizadas en los distintos estudios.

TABLA VI
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

MPa	Nº de estudios*
20 – 30	7
30 – 40	6
40 – 50	5
50 – 60	2
60 – 70	2
> 70	2

*El término número de estudios se refiere al número de artículos que reportan cada parámetro, y no al número de ensayos experimentales realizados.

En ese sentido, [14], [16], [17], [20], [23], [32] y [33] son los artículos que contienen resultados experimentales con valores entre 20 y 30 MPa; mientras que [10], [16], [17], [20] y [26] encontraron resistencias superiores a los 30 MPa, pero inferiores a 40 MPa. En tanto, [15], [17], [26], [27] y [28] obtuvieron resistencias contenidas entre 40 y 50 MPa; por su lado [15] y [28] lograron entre 50 y 60 MPa en el análisis. Finalmente, [15], [28] y [15], [29] obtuvieron 60-70 MPa y más 101% de 70 MPa respectivamente.

B.5 Resistencia a la tracción

Como se evidencia en la Tabla VII, existen incrementos que oscilan desde un 17% en mezclas convencionales hasta valores incluso del 101% en matrices de alta resistencia [20], [28]. Este fortalecimiento está fundamentado principalmente en el mecanismo de “puenteo” (bridging), donde las fibras actúan como elementos que “cosen” las microfisuras, logrando absorber energía y transformando la falla frágil del material en un comportamiento pseudo-dúctil [17]. Los estudios coinciden en que existe un umbral óptimo de dosificación, generalmente situado entre el 1.0% y el 2.3% en volumen; por encima de este nivel, la resistencia tiende a decrecer debido a la aglomeración de fibras y al debilitamiento de la zona de transición interfacial (ITZ) provocado por la excesiva porosidad [21]. Asimismo, la aplicación de tratamientos alcalinos resulta determinante ya que, al eliminar impurezas superficiales como la lignina y las ceras, se incrementa la rugosidad de la fibra y se potencia la adherencia mecánica con la pasta de cemento, logrando mejoras adicionales de hasta un 12.8% en comparación con las fibras naturales sin tratar [26], [30].

B.6 Resistencia a la flexión

Bajo el mismo parámetro, la Tabla VII muestra valores experimentales de hasta 14.4 MPa en geopolímeros y mejoras de hasta el 28.6% en aplicaciones de impresión 3D [12], [28]. El desempeño a flexión está estrechamente relacionado a la geometría de la fibra, reconociendo los 20 mm como una longitud óptima que favorece la dispersión uniforme y maximiza la capacidad de deformación antes de la rotura [17] y [26]. Las curvas de carga-deflexión demuestran que las fibras de bambú no solo elevan el pico de resistencia absoluta, sino que garantizan la integridad estructural post-fisuración al disipar la energía a través de procesos de estiramiento, deslizamiento y arrancamiento (pull-out) de los filamentos [13], [26]. No obstante, en la revisión realizada se advirtió que contenidos de fibra superiores al 2.3% (longitudes excesivas a 60 mm) pueden inducir una caída del rendimiento mecánico por la formación de “bolas de fibra” e interferencia con el empaquetamiento de los agregados, lo que incrementa el volumen de aire atrapado y compromete la tenacidad final del compuesto [21], [27], [28].

TABLA VII
DÍAS DE CURADO

Artículo	Contenido de Fibra (%)	Tratamiento de la Fibra	Compresión (MPa)	Tracción (MPa)	Flexión (MPa)	Observación
[12]	5.0%	Fibra comercial	-	-	14.4	El bambú casi duplicó la resistencia del geopolímero solo con arena (7.4 MPa).
[13]	5.0%	Alcalino (NaOH 1M)	-	-	10.66	El tratamiento alcalino aumentó la flexión 1.4 veces respecto al lavado con agua.
[14]	0.4% – 1.2%	Lavado con agua	21.6 - 24.2	7.7 (fibra)	4.87 - 5.46	Mezcla óptima: 0.8% Agave + 0.4% Bambú; incremento del 17.1% en flexión.
[16]	2% – 5%	Sin tratamiento	24.8 - 34.0	2.9 - 3.3	5.2 - 5.4	La fibra de bambú al 2% aumentó la flexión un 205% respecto al patrón.
[17]	0.5% – 1.5%	Fibra cruda (seda)	35.3 - 48.0	3.14 - 4.29	3.12 - 4.12	Fibras cortas (10mm) mejoraron levemente la flexión; fibras largas (30mm) la redujeron.
[21]	1.2% – 2.8%	Mg(OH) ₂ o Ca(OH) ₂	27.2 - 48.0	3.8 - 4.9	5.6 - 7.3	El tratamiento con Mg(OH) ₂ mejoró la retención de flexión tras ciclos de mojado-secado.
[22]	0.2% – 0.4%	Alcalino	31.8 - 39.6	2.32 - 3.72	3.66 - 4.97	Agregados reciclados; el contenido de fibra es el factor más influyente en la flexión.
[26]	0.5% – 1.5%	Alcalino (7% NaOH)	34.1 - 47.1	3.17 - 4.41	3.38 - 4.46	El tratamiento alcalino aumentó la flexión un 10.9% comparado con fibras sin tratar.
[28]	0.5% – 2.0%	No especificado	51.2 - 67.3	-	8.18 - 13.96	Impresión 3D; resistencia máxima en dirección Y con 1.5% de fibra.
[30]	0.5% – 2.5%	Ca(OH) ₂	44.0 - 66.0	4.2 - 7.2	4.4 - 6.6	Valor óptimo con 2% de fibra; mejora significativa en la tenacidad ante cloruros.
[31]	0.5% – 1.5%	Remojo en agua	23.5 - 34.6	2.21 - 3.41	4.88 – 8.70	Sinergia con humo de sílice; la red neuronal (ANN) predijo valores con 95% de precisión.
[32]	1% – 1.5%	Látex de caucho	14.6 - 25.3	1.58 - 2.52	10.0 – 15.0	El látex mejora la ductilidad permitiendo mayor deflexión antes de la falla.
[34]	30% – 50%	Alcalino	1.8 - 6.6	1.88 - 2.4	No reportado	Clasifica el ensayo de flexión como método para hallar tracción indirecta.

TABLA VIII
COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE FIBRAS DE BAMBÚ

Tratamiento	Mejora de Adherencia	Efecto en Trabajabilidad	Impacto en Durabilidad	Observación
Fibra comercial	Alta	Reducción moderada	Alta consistencia	Proporciona mayor uniformidad en las propiedades mecánicas finales.
Alcalino (NaOH 1M)	Muy Alta	Reducción significativa	Incremento en resistencia	La mercerización remueve ceras y lignina, aumentando la rugosidad.
Lavado con agua	Baja	Sin cambios	Prevención biológica	Elimina azúcares y almidones superficiales para evitar degradación.
Fibra cruda (seda)	Media	Variable	Alta flexibilidad	Mantiene las propiedades elásticas naturales; requiere control de humedad.
Mg(OH) ₂ o Ca(OH) ₂	Alta	Reducción leve	Resistencia a ciclos	Protege la fibra contra el ambiente altamente alcalino de la matriz.
Alcalino (7% NaOH)	Máxima	Reducción alta	Máximo refuerzo	Concentración intensiva para maximizar la unión química fibra-matriz.
Ca(OH) ₂	Media	Reducción leve	Estabilidad térmica	Tratamiento económico que preserva la integridad estructural de la celulosa.
Remojo en agua	Media	Mejora relativa	Control de absorción	La pre-saturación evita que la fibra absorba el agua de mezcla del concreto.
Látex de caucho	Muy Alta	Mejora cohesión	Alta ductilidad	El recubrimiento polimérico optimiza el puenteo (bridging) de grietas.

C.1. Transformación del Modo de Falla y Ductilidad

La incorporación de fibras de bambú transforma el comportamiento del concreto de una falla frágil y catastrófica a una falla pseudo-plástica o dúctil [36][37][38]. Las fibras actúan como puentes de transferencia de tensiones (efecto

bridging) que interceptan y retrasan la propagación de microfisuras, absorbiendo energía a través de mecanismos de estiramiento, deslizamiento y extracción (pull-out) antes de romperse [38][39][40]. Esto incrementa significativamente el módulo de tenacidad (MoT) y la capacidad de absorción de energía frente a cargas de impacto [41].

Asimismo, diversos estudios han comenzado a analizar el desempeño del concreto reforzado con fibras de bambú frente a condiciones de exposición más exigentes, como ambientes con presencia de cloruros, procesos de carbonatación y ataque por sulfatos [42],[43], [44]. Estos factores resultan determinantes en aplicaciones reales, especialmente en entornos marinos e industriales. En este contexto, se ha observado que los tratamientos alcalinos no solo mejoran la adherencia interfacial, sino que también contribuyen a reducir la degradación de las fibras en ambientes húmedos, favoreciendo la durabilidad del material a largo plazo [42], [44]. No obstante, debido a la naturaleza orgánica del bambú, su comportamiento en condiciones severas aún requiere mayor investigación.

C.2. Impacto en la Trabajabilidad (Slump)

La adición de fibras de bambú tiene un efecto directamente perjudicial sobre la trabajabilidad del concreto en estado fresco [38]. Esta reducción del asentamiento se debe a dos factores principales: el aumento de la superficie específica que requiere ser lubricada por la pasta de cemento, y la naturaleza hidrofílica de las fibras naturales, que absorben el agua libre de la mezcla [38]. Como muestra la Tabla VIII y los artículos revisados, a mayor longitud, menor diámetro y mayor porcentaje volumétrico de fibra, la pérdida de fluidez es más drástica, requiriendo el uso de superplastificantes o un control riguroso de la relación agua/cemento [45][38].

C.3. Viabilidad Económica

Desde una perspectiva económica, la incorporación de fibras de bambú a matrices cementicias representa una alternativa potencialmente competitiva en símil a refuerzos metálicos o sintéticos tradicionales, debido a su bajo peso, costo reducido, alta disponibilidad [22], [24], [32]. De acuerdo con [9], el uso de este tipo de fibras vegetales puede generar una reducción de precio de hasta un 43.75% en relación con las fibras de acero, incrementando hasta un 82.5% si se optan por fibras recicladas provenientes de residuos industriales.

La Fig. 5 muestra las fibras de bambú naturales utilizadas como refuerzo en concreto reciclado.



Fig. 5. Fibras naturales de bambú utilizadas como refuerzo en concreto con agregados reciclados. Adaptado de Xu et al. (2024) [22].

No obstante, la necesidad de aplicar tratamientos químicos, como soluciones alcalinas de NaOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o $\text{Mg}(\text{OH})_2$ que

optimizan la adherencia interfacial, mitigan la naturaleza hidrofílica y garantizan durabilidad, implican también un costo adicional por consumo energético y de insumos que debe ser cuidadosamente evaluado para asegurar su competitividad [8], [9], [22]. De hecho, se estima que el procesamiento mecánico y tratamientos térmicos requeridos para preparar estas fibras tienen un costo aproximado de 0,14 USD/kg, valor significativamente menor a los precios de mercado de las fibras sintéticas como el polipropileno o el vidrio [9]. Los tratamientos alcalinos pueden modificar la morfología superficial de las fibras de bambú, mejorando su capacidad de adherencia con la matriz cementicia. La Fig. 6 muestra las diferencias morfológicas entre fibras de bambú sin tratamiento y fibras tratadas con solución alcalina.

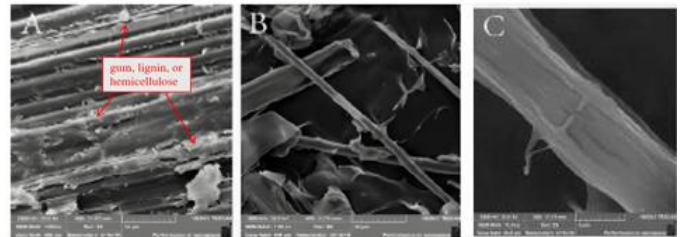


Fig. 6. Morfología de las fibras de bambú: (a) fibra sin tratamiento, (b) y (c) fibra tratada con solución alcalina. Adaptado de Luo et al. (2025) [30].

A pesar de ello, las mejoras en el comportamiento mecánico, la reducción de fisuración y el posible incremento en la vida útil del material podrían compensar estos costos iniciales. Sin embargo, se requieren estudios más detallados que evalúen la relación costo-beneficio en condiciones reales de aplicación.

IV. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

A pesar del rigor metodológico aplicado mediante el protocolo PRISMA, el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación de los resultados. En primer lugar, se observa una marcada concentración geográfica de los estudios en países asiáticos, lo que puede introducir sesgos y limitar la generalización de los hallazgos a otros contextos. Asimismo, la exclusión de literatura gris y de artículos no indexados podría haber dejado fuera información relevante. A ello se suma la alta heterogeneidad en los métodos experimentales reportados, particularmente en la dosificación de fibras, las condiciones de curado y los procedimientos de ensayo, lo que dificulta establecer comparaciones directas entre estudios. Finalmente, la mayoría de las investigaciones analizadas se centra en evaluaciones a 28 días, por lo que aún existe evidencia limitada respecto al comportamiento del material a largo plazo.

V. CONCLUSIONES

El análisis de la literatura revela que el desempeño óptimo del concreto reforzado con fibras de bambú se alcanza con contenidos volumétricos bajos, situándose la dosificación ideal entre el 1.0% y el 2.3% [46]. Asimismo, la geometría juega un

rol fundamental, identificándose los 20 mm como la longitud óptima para favorecer una dispersión uniforme y maximizar la capacidad de deformación [37][39]. Superar el umbral del 2.3% en adición o utilizar longitudes mayores a 60 mm resulta contraproducente, ya que induce la formación de "bolas de fibra" e interfiere con los agregados, comprometiendo la tenacidad final del compuesto [46][47]. En cuanto a la maduración del concreto, la evaluación de estas propiedades mecánicas se rige predominantemente por el estándar de 28 días de curado, tiempo que fue reportado en 21 de los ensayos analizados [48].

Respecto al comportamiento mecánico, la incorporación de la fibra genera impactos sobresalientes en los esfuerzos de tracción y flexión. Se evidencian incrementos en la resistencia a la tracción que oscilan desde un 17% en mezclas convencionales hasta un 101% en matrices de alta resistencia [47]. Estos valores pueden optimizarse aún más mediante tratamientos alcalinos, los cuales potencian la adherencia interfacial logrando mejoras adicionales de hasta un 12.8% en comparación con las fibras sin tratar [39]. En la resistencia a la flexión, los estudios reportan valores experimentales notables de hasta 14.4 MPa en geopolímeros [36] y mejoras del 28.6% en aplicaciones de impresión 3D [47]. Por otro lado, la resistencia a la compresión presenta una amplia variabilidad según el diseño de mezcla, concentrándose la mayoría de los casos en un rango de 20 a 50 MPa, llegando de manera excepcional a superar los 70 MPa.

Por consiguiente, el uso de bambú modifica de manera radical el comportamiento físico y reológico del concreto. En estado endurecido, la fibra transforma la tradicional falla frágil y catastrófica hacia un comportamiento marcadamente dúctil o pseudo-plástico [37]. Este cambio estructural está fundamentado en el efecto de "puenteo" (bridging), donde los filamentos cosen las microfisuras y absorben una gran cantidad de energía a través de procesos de estiramiento y extracción (pull-out), elevando significativamente el módulo de tenacidad frente a impactos [37][39]. Sin embargo, en estado fresco, la adición de la fibra tiene un efecto directamente perjudicial sobre la trabajabilidad (slump). Esta drástica reducción de la fluidez responde a la naturaleza hidrofílica del material, que absorbe el agua libre de la mezcla, exigiendo el uso de superplastificantes o un control muy riguroso de la relación agua/cemento para asegurar una correcta aplicación en obra [37].

A partir de la síntesis global de los estudios analizados, se evidencia que la incorporación de fibras de bambú genera mejoras significativas en la resistencia a la tracción y flexión, con incrementos que oscilan entre el 17% y 101%. En contraste, la resistencia a la compresión tiende a mantenerse dentro de rangos estructurales (20–50 MPa), presentando variaciones menores en función del diseño de mezcla. Estos resultados confirman que el principal aporte de las fibras de bambú no radica en el incremento de la resistencia a compresión, sino en la mejora del comportamiento post-fisuración, la ductilidad y la capacidad de absorción de energía del material.

VI. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Tratamiento alcalino (Alkaline treatment): Proceso químico aplicado a las fibras de bambú para eliminar impurezas superficiales, como lignina y ceras, con el fin de mejorar su adherencia con la matriz cementicia.

Efecto de puenteo (Bridging effect): Mecanismo mediante el cual las fibras actúan como elementos de unión entre fisuras, retardando su propagación y mejorando la capacidad de absorción de energía del material.

Trabajabilidad (Slump o Workability): Capacidad del concreto en estado fresco para fluir, compactarse y colocarse adecuadamente sin segregación.

Arrancamiento (Pull-out): Proceso de extracción de las fibras desde la matriz de concreto cuando son sometidas a esfuerzos, contribuyendo a la disipación de energía.

Anisotropía (Anisotropy): Propiedad mediante la cual un material presenta diferentes comportamientos mecánicos dependiendo de la dirección de aplicación de las cargas.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su sincero agradecimiento al Capítulo Estudiantil ACI de la Universidad Tecnológica del Perú, sede Arequipa, por el apoyo académico y el acompañamiento brindados durante el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] C. R. Ferreira *et al.*, "Comparative study about mechanical properties of structural standard concrete and concrete with addition of vegetable fibers," in *Materials Research*, Universidade Federal de Sao Carlos, 2017, pp. 102–107. doi: 10.1590/1980-5373-mr-2016-0905.
- [2] V. Franco-Quinonez *et al.*, "Mechanical properties of concrete reinforced with reused tyre steel fibres," *Constr. Build. Mater.*, vol. 517, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2026.145756.
- [3] Y. Tong *et al.*, "Mechanical and thermal properties of structural lightweight bamboo fiber-reinforced insulating mortar," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04462.
- [4] J. Ahmad, Z. Zhou, and A. F. Deifalla, "Structural properties of concrete reinforced with bamboo fibers: a review," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 844–865, May 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.038.
- [5] H. Gaspar Cano Condori, "Impact of Fiber Geometry on the Workability of Refractory Concrete: A Systematic Literature Review," in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2025. doi: 10.18687/LACCEI2025.1.1.770.
- [6] N. R. Haddaway, M. J. Page, C. C. Pritchard, and L. A. McGuinness, "PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis," *Campbell Systematic Reviews*, vol. 18, no. 2, Jun. 2022, doi: 10.1002/cl2.1230.
- [7] O. Olanrewaju, I. O. Oladele, and S. O. Adelani, "Natural fiber biocomposites: A comprehensive review of current developments

and material properties of plant and animal fiber reinforcements in cement concrete, and ultra-high-performance concrete,” Oct. 01, 2025, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.nxmate.2025.101337.

- [8] A. F. de Araujo, L. R. Caldas, N. P. Hasparyk, and R. D. Toledo Filho, “Low-Carbon Bio-Concretes with Wood, Bamboo, and Rice Husk Aggregates: Life Cycle Assessment for Sustainable Wall Systems,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 17, no. 5, Mar. 2025, doi: 10.3390/su17052176.
- [9] M. T. Marvila, H. A. Rocha, A. R. G. de Azevedo, H. A. Colorado, J. F. Zapata, and C. M. F. Vieira, “Use of natural vegetable fibers in cementitious composites: concepts and applications,” Sep. 01, 2021, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s41062-021-00551-8.
- [10] A. L. Bazán Velarde, J. R. Cruzado Ucañan, and K. N. Carrión Rabanal, “Evaluation of the physical and mechanical properties of concrete reinforced with 0,5% bamboo fiber, using the sclerometer and the compression resistance test,” in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2024. doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.457.
- [11] F. R. Fontenelle *et al.*, “Bamboo-PCM: Comparative Analysis of Phase Change Material-Impregnated Dendrocalamus giganteus Culm Behavior Exposed to Thermal Variation in Wind Tunnel Assay,” *Materials*, vol. 18, no. 3, Feb. 2025, doi: 10.3390/ma18030675.
- [12] R. A. Sa Ribeiro, M. G. Sa Ribeiro, D. M. Samuel, A. Ozer, P. Numkiatsakul, and W. M. Kriven, “Strength and thermal stability of enhanced metakaolin-based geopolymer composites with sand and fibers,” *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, vol. 22, no. 6, Nov. 2025, doi: 10.1111/ijac.70040.
- [13] M. G. Sá Ribeiro, I. P. A. Miranda, W. M. Kriven, A. Ozer, and R. A. Sá Ribeiro, “High strength and low water absorption of bamboo fiber-reinforced geopolymer composites,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 411, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134179.
- [14] G. K. Quispe-Quispe, M. C. Aparco-Pocamucha, J. M. Inga-Huaire, and M. A. Lengua-Fernandez, “Evaluation of the Performance of Permeable Concrete Reinforced with Natural Agave and Bamboo Fibers for Urban Flood Mitigation in Huancayo,” *Civil Engineering and Architecture*, vol. 13, no. 2, pp. 1156–1170, Mar. 2025, doi: 10.13189/cea.2025.130231.
- [15] A. Gholampour, A. Danish, T. Ozbakkaloglu, J. H. Yeon, and O. Gencel, “Mechanical and durability properties of natural fiber-reinforced geopolymers containing lead smelter slag and waste glass sand,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 352, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129043.
- [16] C. R. Ferreira *et al.*, “Comparative study about mechanical properties of structural standard concrete and concrete with addition of vegetable fibers,” in *Materials Research*, Universidade Federal de Sao Carlos, 2017, pp. 102–107. doi: 10.1590/1980-5373-mr-2016-0905.
- [17] Y. Lin, M. Ding, L. Wang, and Y. Wei, “Experimental study on mechanical properties of raw bamboo fibre-reinforced concrete,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e04003.
- [18] K. Zhao, Y. Wei, Z. Yan, Q. Li, and X. Fang, “Experimental and Analytical Study on the Short-Term Behavior of Locally Bonded Connections in Bamboo-UHPC Composite Beams,” *Materials*, vol. 18, no. 6, Mar. 2025, doi: 10.3390/ma18061224.
- [19] V. Aditama, S. M. Dewi, A. Wibowo, and M. N. Wijaya, “IDENTIFICATION OF OPTIMAL BAMBOO FIBER CONTENT TO ENHANCE IMPACT RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 7, pp. 29–39, 2025, doi: 10.15587/1729-4061.2025.324343.
- [20] K. Annamalai, T. Shanmugam, H. Sundaram, and V. Jagadeesan, “Enhancing concrete properties with bamboo and jute fibers: a response surface methodology approach,” *Revista Materia*, vol. 30, 2025, doi: 10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0759.
- [21] Y. Jiang and Y. Luo, “ENHANCING THE DURABILITY AND MECHANICAL PERFORMANCE OF BAMBOO FIBER-REINFORCED CONCRETE THROUGH MAGNESIUM HYDROXIDE MODIFICATION UNDER WET-DRY CYCLES,” *Materiali in Tehnologije*, vol. 59, no. 5, pp. 729–738, 2025, doi: 10.17222/mit.2025.1439.
- [22] B. Xu, R. Tian, Y. Wang, Z. W. Zhang, and Z. Zhang, “Preparation and Properties of Natural Bamboo Fiber-Reinforced Recycled Aggregate Concrete,” *Materials*, vol. 17, no. 12, Jun. 2024, doi: 10.3390/ma17122972.
- [23] P. Ramaani, B. Natarajan, and R. R. Rajendran, “An in-depth assessment of the structural integrity and advantages of bamboo-reinforced cement concrete elements (BRCC) with utilizing an alternative binding material: a comprehensive evaluation,” *Revista Materia*, vol. 29, no. 3, 2024, doi: 10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0067.
- [24] J. Ahmad, Z. Zhou, and A. F. Deifalla, “Structural properties of concrete reinforced with bamboo fibers: a review,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 844–865, May 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.038.
- [25] L. Ge, H. Li, Z. Feng, and M. Hosseini, “Research on the deterioration characteristics and life prediction of bamboo fiber reinforced sea sand high-performance cementitious materials under the compound salt coupled dry and wet cycle,” *Structures*, vol. 82, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2025.110590.
- [26] M. Ding, S. Han, Y. Lin, Y. Wei, and N. Geng, “Study on the mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by bamboo fiber-nano SiO₂ synergistic effect,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 494, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.143415.
- [27] W. Chen *et al.*, “Experimental investigation on shear cracking resistance behavior of bamboo fiber reinforced concrete composite beams with steel wire mesh and basalt fiber reinforced polymer bar,” *Structures*, vol. 79, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2025.109595.
- [28] Q. Si, W. Zhang, Z. Pan, J. Zheng, C. Yu, and G. Zhang, “Study on the mechanical and durability properties of 3D-printed bamboo fiber-reinforced concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 478, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.141464.
- [29] L. Ge, H. Li, Z. Feng, and M. Hosseini, “Study on the long-term mechanical property evolution law and microscopic mechanism of bamboo fiber reinforced sea sand reactive powder concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 474, May 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.141100.
- [30] Y. Luo, Y. Chen, and Y. Yu, “Mechanical and impermeability properties of bamboo fiber reinforced concrete before and after wet-dry cycling,” *Structures*, vol. 73, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2025.108363.
- [31] J. Sridhar, R. Gobinath, and M. S. Kirgiz, “Evaluation of Artificial Neural Network Predicted Mechanical Properties of Jute and Bamboo Fiber Reinforced Concrete Along with Silica Fume,” *Journal of*

- Natural Fibers*, vol. 20, no. 1, 2023, doi: 10.1080/15440478.2022.2162186.
- [32] F. Althoey *et al.*, “Strength and microscale properties of bamboo fiber-reinforced concrete modified with natural rubber latex,” *Front. Mater.*, vol. 9, Dec. 2022, doi: 10.3389/fmats.2022.1064885.
- [33] S. K. C. Osmi, H. Husen, M. Othman, N. M. Nor, S. Sojipito, and M. A. H. M. Termizi, “Performance of Bamboo Fibre on Modifying Mechanical Properties of Concrete,” *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 18, no. 1, May 2024, doi: 10.2174/0118741495288340240312050220.
- [34] Y. Tong *et al.*, “Mechanical and thermal properties of structural lightweight bamboo fiber-reinforced insulating mortar,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04462.
- [35] J. Wang, Y. Xiong, Q. Li, D. Jin, Y. Hu, and T. Che, “Experimental investigation on the preparation and surface treatment of biomass fibers for stone mastic asphalt mixtures modification,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 408, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133667.
- [36] R. A. Sa Ribeiro, M. G. Sa Ribeiro, D. M. Samuel, A. Ozer, P. Numkiatsakul, and W. M. Kriven, “Strength and thermal stability of enhanced metakaolin-based geopolymer composites with sand and fibers,” *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, vol. 22, no. 6, Nov. 2025, doi: 10.1111/ijac.70040.
- [37] Y. Lin, M. Ding, L. Wang, and Y. Wei, “Experimental study on mechanical properties of raw bamboo fibre-reinforced concrete,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e04003.
- [38] J. Ahmad, Z. Zhou, and A. F. Deifalla, “Structural properties of concrete reinforced with bamboo fibers: a review,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 844–865, May 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.038.
- [39] M. Ding, S. Han, Y. Lin, Y. Wei, and N. Geng, “Study on the mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by bamboo fiber-nano SiO₂ synergistic effect,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 494, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.143415.
- [40] W. Chen *et al.*, “Experimental investigation on shear cracking resistance behavior of bamboo fiber reinforced concrete composite beams with steel wire mesh and basalt fiber reinforced polymer bar,” *Structures*, vol. 79, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2025.109595.
- [41] V. Aditama, S. M. Dewi, A. Wibowo, and M. N. Wijaya, “IDENTIFICATION OF OPTIMAL BAMBOO FIBER CONTENT TO ENHANCE IMPACT RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 7, pp. 29–39, 2025, doi: 10.15587/1729-4061.2025.324343.
- [42] K. Annamalai, T. Shanmugam, H. Sundaram, and V. Jagadeesan, “Enhancing concrete properties with bamboo and jute fibers: a response surface methodology approach,” *Revista Materia*, vol. 30, 2025, doi: 10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0759.
- [43] Y. Jiang and Y. Luo, “ENHANCING THE DURABILITY AND MECHANICAL PERFORMANCE OF BAMBOO FIBER-REINFORCED CONCRETE THROUGH MAGNESIUM HYDROXIDE MODIFICATION UNDER WET-DRY CYCLES,” *Materiali in Tehnologije*, vol. 59, no. 5, pp. 729–738, 2025, doi: 10.17222/mit.2025.1439.
- [44] Q. Si, W. Zhang, Z. Pan, J. Zheng, C. Yu, and G. Zhang, “Study on the mechanical and durability properties of 3D-printed bamboo fiber-reinforced concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 478, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.141464.
- [45] G. K. Quispe-Quispe, M. C. Aparco-Pocamucha, J. M. Inga-Huaire, and M. A. Lengua-Fernandez, “Evaluation of the Performance of Permeable Concrete Reinforced with Natural Agave and Bamboo Fibers for Urban Flood Mitigation in Huancayo,” *Civil Engineering and Architecture*, vol. 13, no. 2, pp. 1156–1170, Mar. 2025, doi: 10.13189/cea.2025.130231.