Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica
ISSN en línea 3005-2599, enero-marzo 2026,
Volumen 6, Número 1.

DOI: https://doi.org/10.61384/r.c.a.v6i1

LA TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) COMO BIOMATERIAL TÉRMICO PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR: PARÁMETROS FÍSICOS Y AMBIENTALES

P TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) AS A THERMAL BIOMATERIAL FOR CONSTRUCTION IN ECUADOR: PHYSICAL AND ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Javier Cañarejo Antamba
Universidad Central del Ecuador

Mónica Delgado Yánez
Universidad Central del Ecuador

E. COUTURE
Educación y Ciencias Sociales

Estudios y Perspectivas
Revista Científica y Académica

Estudios y Perspectivas
Revista Científica Multidisciplinaria

DOI: https://doi.org/10.61384/r.c.a..v6i1.1752

La Totora (Schoenoplectus Californicus) como Biomaterial Térmico Para la Construcción en Ecuador: Parámetros Físicos y Ambientales

Javier Cañarejo Antamba	**Mónica Delgado Yánez**
ajcanarejo@uce.edu.ec	msdelgadoy@uce.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-9734-7661	https://orcid.org/0000-0003-4753-730X
Universidad Central del Ecuador	Universidad Central del Ecuador

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión científica sistemática y un análisis geoespacial integrado del potencial de la totora (Schoenoplectus californicus) como material termoaislante sostenible para el sector de la construcción en Ecuador, en respuesta a la elevada huella de carbono y el consumo energético asociados a los materiales convencionales. El objetivo fue evaluar comparativamente sus propiedades térmicas, desempeño ambiental y viabilidad constructiva frente a aislantes tradicionales, mediante una metodología que combina revisión sistemática cualitativa (Scopus, ScienceDirect y JCR), análisis bibliométrico con VOSviewer y validación territorial a través de teledetección (UAS RGB-NDVI, imágenes Landsat 8 y Google Earth Engine)

Se analizaron parámetros de conductividad térmica, resistencia térmica, disponibilidad territorial y estado fisiológico de la biomasa mediante índices NDVI, complementados con criterios de ecoeficiencia y estándares técnicos (ASTM C518). Los resultados evidencian que la totora presenta conductividades térmicas entre 0.054–0.060 W/m·K, valores compatibles con materiales aislantes comerciales, junto con ventajas ambientales derivadas de su baja energía incorporada, carácter renovable y reducida huella de carbono. Asimismo, los análisis NDVI confirmaron poblaciones con estados fisiológicos óptimos (0.45–0.70), lo que respalda su disponibilidad como biomaterial constructivo

Se concluye que la totora constituye una alternativa técnicamente viable, ambientalmente sostenible y estratégicamente relevante para la transición hacia sistemas constructivos sostenibles

Palabras clave: construcción sostenible, materiales de origen biológico, eficiencia energética, aislamiento térmico, teledetección

Totora (Schoenoplectus Californicus) as a Thermal Biomaterial for Construction in Ecuador: Physical and Environmental Parameters

ABSTRACT

This article presents a systematic scientific review and an integrated geospatial analysis of the potential of totora (*Schoenoplectus californicus*) as a sustainable thermal insulation material for the construction sector in Ecuador, in response to the high carbon footprint and energy consumption associated with conventional materials. The objective was to comparatively evaluate its thermal properties, environmental performance, and construction feasibility in relation to traditional insulation materials, through a methodology that combines qualitative systematic review (Scopus, ScienceDirect, and JCR), bibliometric analysis using VOSviewer, and territorial validation through remote sensing (UAS RGB-NDVI, Landsat 8 imagery, and Google Earth Engine).

Parameters such as thermal conductivity, thermal resistance, territorial availability, and physiological state of the biomass were analyzed using NDVI indices, complemented by eco-efficiency criteria and technical standards (ASTM C518). The results show that totora exhibits thermal conductivity values between 0.054–0.060 W/m·K, which are comparable to those of commercial insulation materials, along with environmental advantages derived from its low embodied energy, renewable nature, and reduced carbon footprint. Furthermore, NDVI analyses confirmed populations with optimal physiological conditions (0.45–0.70), supporting its availability as a construction biomaterial.

It is concluded that totora constitutes a technically viable, environmentally sustainable, and strategically relevant alternative for the transition toward sustainable construction systems

Keywords: sustainable construction, bio-based materials, energy efficiency, thermal insulation, remote sensing

Recibido: 20 -enero -2025 / Aprobado: 25-marzo-2026

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción constituye un pilar fundamental para el desarrollo económico y social de una nación. No obstante, enfrenta importantes desafíos relacionados con la reducción del impacto ambiental derivado de los sistemas constructivos convencionales. Se estima que la población mundial alcanzará entre 9.000 y 10.000 millones de personas para el año 2050 (Sadar Din & Ishak, 2024), lo que implica que este sector deberá satisfacer la creciente demanda de infraestructura de manera paralela al crecimiento demográfico (Oliver Alonso & Oglietti, 2008; Rojas et al., s.f.; Turón Rodríguez & Herce Vallejo, 2012).

Los principales retos ambientales de la construcción son la reducción de las emisiones de CO_2, la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad de las edificaciones a lo largo de todo su ciclo de vida, desde su construcción hasta su eventual demolición (Sánchez et al., 2017; Shufrin et al., 2023). En este sentido, el sector de la construcción es responsable de aproximadamente el 36% del consumo de energía y del 37% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Hidalgo-Cordero et al., 2017; Wang et al., s.f.). En países europeos, las edificaciones representan hasta el 40% del consumo energético, de los cuales cerca del 80% corresponde al uso doméstico asociado al confort térmico (Diego et al., 2015; Tutor et al., 2024; Vanessa et al., 2015). En América Latina y el Caribe, aunque la problemática es similar, la implementación de energías sostenibles resulta más costosa en términos económicos, lo que limita su adopción (Altomonte et al., 2003; Santiago et al., s.f.).

La emisión de CO_2 constituye uno de los principales factores que impulsan el calentamiento global, configurándose como un problema ambiental y social de carácter crítico en la actualidad (Lu et al., 2024). Según el Global Carbon Budget (2023), la producción de cemento genera aproximadamente 1.57 billones de toneladas anuales de CO_2 a nivel mundial. En América del Sur se registran valores cercanos a 47.8 millones de toneladas, mientras que Ecuador presenta alrededor de 2.1 millones de toneladas anuales, como se observa en la Figura 1.

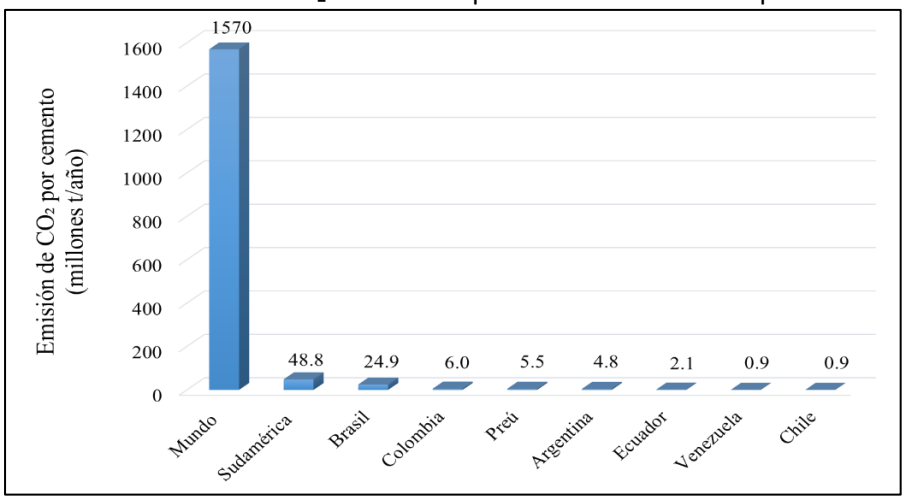
El proceso de producción de cemento es responsable de más del 60% de las emisiones de CO_2 del sector construcción (Dobre & González, 2024), y su demanda continúa en aumento debido al

crecimiento poblacional. Asimismo, este proceso genera grandes volúmenes de residuos de hormigón que representan riesgos tanto para la salud como para el medio ambiente (Oh et al., 2021).

Por otro lado, la escasez de materiales convencionales, las limitaciones de las fibras no renovables y las nuevas regulaciones ambientales han impulsado a la industria a desarrollar materiales alternativos con mayor eficiencia energética y menor impacto ambiental (Hertwich et al., 2019; Maraveas, 2020; Somasundaram et al., 2015; Zach et al., 2016). En este contexto, los materiales de origen biológico emergen como una solución viable para una construcción sostenible y económicamente accesible. Estos materiales, procedentes de fuentes renovables, desempeñan un papel clave en el rendimiento térmico de las edificaciones, contribuyendo a la reducción de la demanda energética y de las emisiones de carbono (Lu et al., 2024).

Por tanto, la selección de materiales que promuevan la eficiencia energética resulta determinante, ya que el uso de materiales naturales y reciclados puede generar reducciones de entre el 35% y el 40% en el consumo energético, así como en las emisiones de gases de efecto invernadero (Cosentino et al., 2023).

FIGURA 1. Cantidad de CO_2 acumulado por el cemento hasta el periodo 2023.



Fuente: Global Carbon Budget (2024)

En este contexto, el objetivo de la presente revisión científica es analizar sistemáticamente la información existente sobre el uso de la totora como material termoaislante en el sector de la construcción, particularmente en Ecuador.

El estudio propone un enfoque comparativo de las propiedades térmicas de la totora frente a materiales convencionales, así como la evaluación de sus beneficios ambientales.

Mercado mundial de los aislantes térmicos

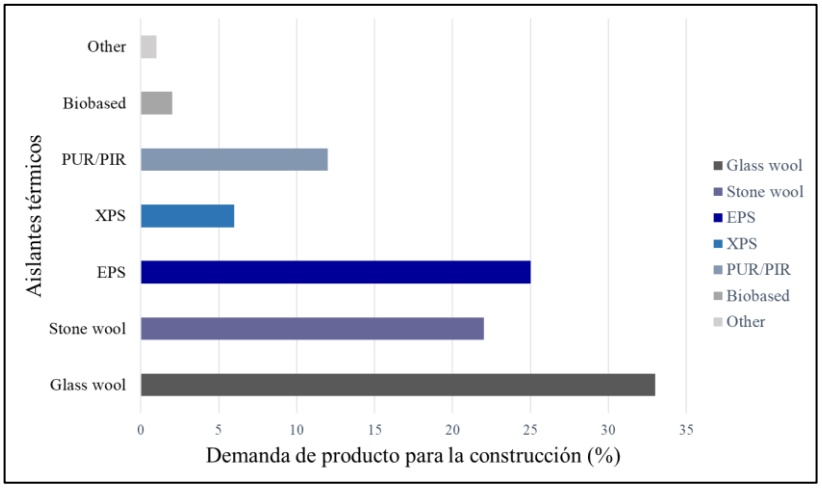
En la Figura 3 se presenta la distribución porcentual de la demanda de materiales aislantes térmicos en el sector de la construcción. Actualmente, existe una amplia variedad de materiales destinados a mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de carbono en las edificaciones.

La Unión Europea (UE), en su compromiso por alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2050 y reducir hasta un 80% el consumo energético, ha impulsado la necesidad de seleccionar materiales de aislamiento con menor impacto ambiental.

En este sentido, los materiales convencionales con alta energía incorporada en su proceso de fabricación, como la lana de vidrio (33%), la lana de roca (22%) y el poliestireno expandido (EPS) (25%), presentan mayores niveles de impacto ambiental (Zheng & Hauschild, 2024). En contraste, los materiales de base biológica, que representan aproximadamente el 2%, constituyen recursos renovables y ambientalmente sostenibles, lo que los posiciona como alternativas atractivas para su aplicación en envolventes térmicas de edificaciones.

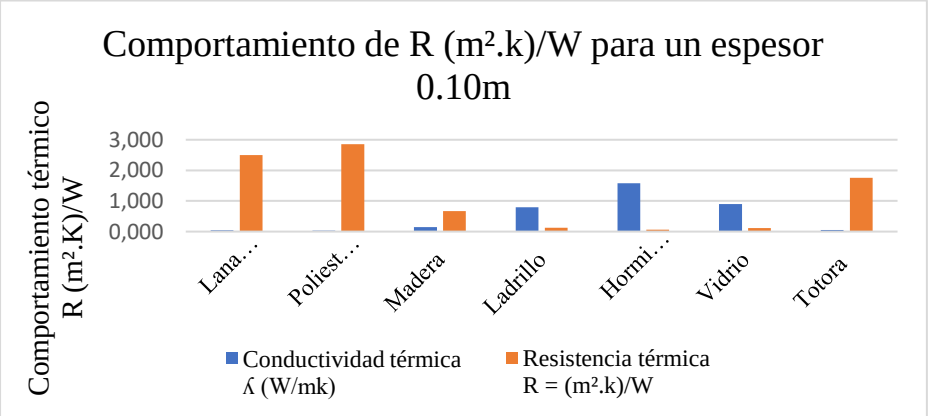
Asimismo, los biomateriales contribuyen a la reducción de la demanda energética, al menor uso de recursos no renovables y a la disminución en la generación de residuos, favoreciendo un enfoque de construcción sostenible (Aza-Medina et al., 2023).

Figura 2. Demanda de materiales aislantes térmicos en Europa para la construcción.



En la Figura 3 se presentan los valores promedio de conductividad y resistencia térmica de distintos materiales. De acuerdo con estos valores, se establece que, cuanto mayor es la resistencia térmica R ($m^2 \cdot K/W$), mejor es el desempeño del material como aislante térmico, alcanzando valores como R = 1.754 ($m^2 \cdot K/W$). En este contexto, la totora se posiciona como un material aislante térmico natural viable dentro de la construcción sostenible. Esta especie vegetal se caracteriza por su rápido crecimiento, pudiendo alcanzar producciones de hasta 50 t/ha/año (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023). Asimismo, sus propiedades físicas, como su baja densidad, estructura interna porosa y elevada capacidad de regeneración, la convierten en un material de interés para su aplicación como aislante térmico en el sector de la construcción. Por otro lado, materiales convencionales como la lana mineral presentan una resistencia térmica de aproximadamente R = 2.5 ($m^2 \cdot K/W$), mientras que el poliestireno expandido alcanza valores cercanos a R = 2.86 ($m^2 \cdot K/W$), lo que indica un desempeño térmico superior. No obstante, el aislamiento térmico en edificaciones constituye un factor clave para reducir el impacto ambiental, al disminuir la demanda energética asociada a sistemas de calefacción y refrigeración. El sector de la construcción desempeña un papel determinante en el cumplimiento de los objetivos globales de sostenibilidad, siendo responsable de aproximadamente el 36% del consumo final de energía y cerca del 39% de las emisiones de CO_2 a nivel mundial, según informes de la Agencia Internacional de la Energía (AIE). En este sentido, la incorporación de materiales aislantes térmicos renovables ha cobrado creciente relevancia, posicionando a la totora (Schoenoplectus californicus) como una alternativa sostenible frente a los materiales convencionales.

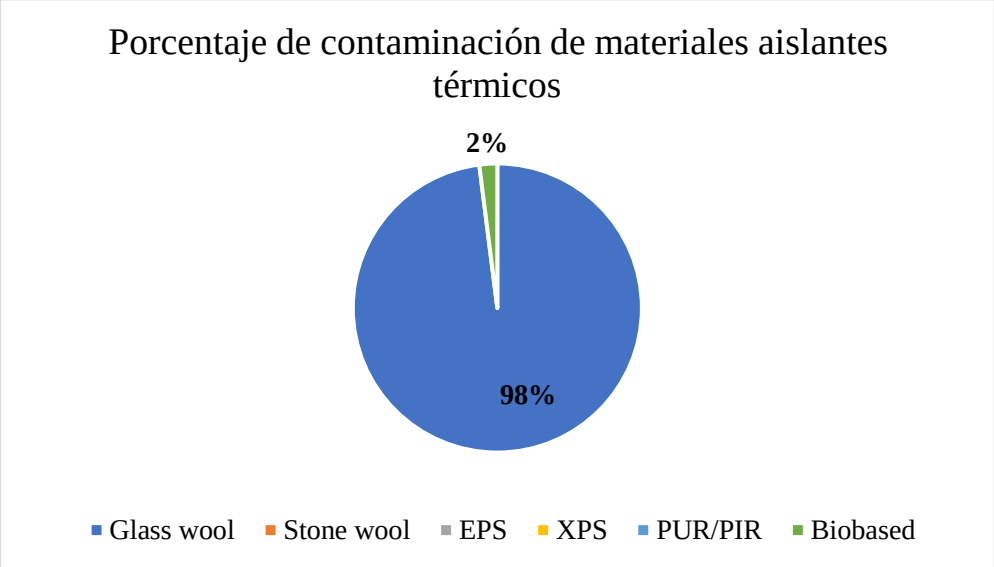
Figura 3. Comportamiento de la resistencia térmica R ($m^2 \cdot K/W$) para un espesor de 0.10 m



En la Figura 4 se presenta la distribución porcentual de la contaminación asociada a los principales materiales aislantes térmicos utilizados en la construcción, entre los que se incluyen la lana de vidrio, la lana de roca, el poliestireno expandido (EPS), el poliestireno extruido (XPS) y la espuma rígida de poliuretano (PUR–PIR), los cuales representan aproximadamente el 98% de los materiales más empleados en la Unión Europea.

Estos materiales se caracterizan por ser altamente intensivos en energía durante su proceso de fabricación y, en muchos casos, implican impactos ambientales significativos debido al uso de derivados del petróleo. En este contexto, el sector de la construcción se posiciona como uno de los mayores consumidores de energía a nivel global, representando entre el 30% y el 40% del consumo total, además de contribuir con más de un tercio de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) (Hafez, 2022).

Figura 4. Porcentaje de contaminación en la construcción por tipo de material.



El sector de la construcción enfrenta grandes desafíos en la actualidad, principalmente debido al crecimiento poblacional y a la disminución progresiva de los recursos naturales disponibles. Asimismo, la creciente preocupación por el cambio climático ha impulsado a las empresas a adoptar nuevas estrategias orientadas al desarrollo de materiales de construcción más sostenibles.

En este contexto, la totora se presenta como un biomaterial con alto potencial para su incorporación en el sector constructivo, particularmente como material aislante térmico. Su bajo nivel de impacto ambiental, representado en aproximadamente un 2% de contribución a la contaminación en comparación con materiales convencionales, la posiciona como una alternativa viable y ambientalmente favorable.

En la Tabla 1 se presentan los valores de conductividad térmica de la totora y de otras fibras naturales reportadas por diversos autores, con el fin de establecer una comparación técnica de su desempeño como material aislante.

Tabla 1. Parámetros de conductividad térmica de diferentes biomateriales utilizados en la construcción

Material	País	Aglutinante usado	Conductividad térmica (W/m·K)	Referencia
Fibras de totora (hoja estrecha)	Chanthaburi, Tailandia	Metilendifenil diisocianato (MDI)	0.0438 – 0.0606	Luamkanchanaphan et al. (2012)
Fibras de madera de palma datilera (DPF, 10%)	Biskra, Argelia	Yeso hemihidratado (90%)	0.015 – 0.017	Chikhi et al. (2013)
Fibras de palmera datilera (DPSF)	Oriente Medio	Almidón de maíz	0.0475 – 0.0697	Ali & Alabdulkarem (2017)
Fibras de totora	Lago Titicaca, Puno (Perú)	Goma arábiga	0.045 – 0.054	Aza-Medina et al. (2023)
Fibras de totora	Perú y Ecuador	Tableros de partículas (encolados)	0.054 – 0.060	Hidalgo-Cordero & Aza-Medina (2023)

Fuente: Elaboración propia

Los estudios revisados evidencian un consenso en torno a la importancia de desarrollar materiales naturales y sostenibles en el sector de la construcción. En este contexto, la totora destaca como un recurso prometedor debido a su amplia disponibilidad, bajo impacto ambiental, bajo costo de adquisición y adecuadas propiedades térmicas.

En términos comparativos, los valores de conductividad térmica reportados para la totora se encuentran dentro del rango de otros biomateriales utilizados como aislantes, lo que confirma su viabilidad técnica como alternativa sostenible frente a materiales convencionales.

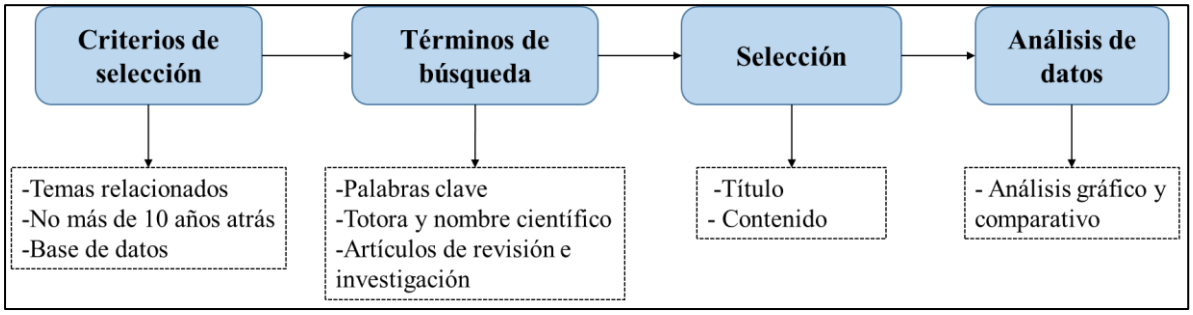
METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo el enfoque de una revisión sistemática cualitativa, basada en los lineamientos metodológicos propuestos por Polit y Beck (2010), orientada al análisis estructurado y contextualizado de literatura científica relevante. La recopilación de información se realizó mediante la búsqueda de artículos científicos en bases de datos indexadas, principalmente Scopus y ScienceDirect, utilizando palabras clave como conductividad térmica, totora como material de construcción, aislamiento térmico, construcción sostenible, ecoeficiencia en la construcción y materiales orgánicos. Para optimizar la búsqueda, se emplearon operadores booleanos (AND, OR), lo que permitió delimitar y precisar los resultados obtenidos. Como resultado del proceso de búsqueda, se identificaron un total de 382 documentos, de los cuales se seleccionaron 60 artículos en función de su pertinencia temática, calidad científica y relación directa con los objetivos del estudio.

Para la evaluación de la relevancia e impacto de las publicaciones, se utilizó como criterio de referencia el Journal Citation Reports (JCR), lo que permitió priorizar artículos pertenecientes a revistas indexadas y de alto impacto dentro de las áreas de conocimiento analizadas.

El procedimiento metodológico aplicado se sintetiza en la Figura 5, donde se describe el proceso de búsqueda, filtrado y selección de los artículos científicos incluidos en el estudio.

Figura 5. Esquema del procedimiento de búsqueda y filtrado de artículos científicos



Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que el uso del nombre científico de la totora (Schoenoplectus californicus, familia Cyperaceae) fue determinante en la estrategia de búsqueda, permitiendo una adecuada identificación y filtración de artículos en función del año de publicación, contenido metodológico y base de datos de indexación.

La búsqueda se complementó con el uso de palabras clave como biomaterial, propiedades térmicas, aislamiento térmico y construcción sostenible. Asimismo, se emplearon operadores booleanos (AND, OR, NOT) con el fin de optimizar los resultados y mejorar la precisión en la recuperación de información científica relevante.

Posteriormente, se desarrolló un análisis bibliométrico estructurado en cinco fases: (i) formulación del problema de investigación, (ii) identificación de fuentes, (iii) selección de registros en la base de datos Scopus, (iv) verificación y depuración del conjunto de datos, y (v) análisis e interpretación de la información. Para este proceso se utilizó el software VOSviewer, ampliamente empleado en estudios bibliométricos para la visualización de redes científicas.

Adicionalmente, se incorporó un análisis geoespacial mediante técnicas de teledetección. Para ello, se recopilaron imágenes RGB y NDVI utilizando sensores ZENMUSE X3 DJI montados en vehículos aéreos no tripulados (UAS), con alturas de vuelo de aproximadamente 50 m. Este análisis se complementó con imágenes satelitales Landsat 8 y el uso de la plataforma Google Earth Engine para el procesamiento de datos geoespaciales.

El objetivo de este procedimiento fue evaluar, a través de la interpretación espectral, el estado fisiológico de las poblaciones de totora, con el fin de determinar su aptitud como biomaterial en la construcción, considerando la disponibilidad de biomasa para aplicaciones como mampostería básica.

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es un indicador espectral derivado de sensores remotos que permite estimar la cantidad, vigor y estado fisiológico de la vegetación. En el caso de la totora (Schoenoplectus californicus), los valores de NDVI dependen de factores como el estado fenológico, la humedad del suelo y las condiciones hidrológicas del humedal donde se desarrolla.

Cabe señalar que, en algunos contextos locales, pueden coexistir especies como Typha domingensis, lo cual debe considerarse en la interpretación de los datos espectrales.

En la Tabla 2 se presentan los rangos de valores NDVI y su correspondiente interpretación espectral, con base en estudios previos (Castanera et al., s.f.; Ceroni et al., s.f.; Gualdrón et al., s.f.; Guillermo & Dulcey, 2019).

Tabla 2. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para la Totora

Estado de la totora	NDVI aproximado	Interpretación espectral
Totora seca o senescente	0.10 – 0.25	Alta reflectancia en el espectro rojo y baja en el infrarrojo cercano (NIR); indica tejido vegetal muerto o en estado de estrés.
Totora con estrés hídrico o parcialmente inundada	0.25 – 0.45	Disminución del vigor vegetativo; niveles moderados de clorofila.
Totora saludable (alta biomasa y crecimiento activo)	0.45 – 0.70	Alta reflectancia en el NIR y baja en el rojo; indica vegetación vigorosa.
Totora en estado óptimo (máxima productividad)	0.70 – 0.85	Elevada actividad fotosintética y alta densidad de cobertura vegetal.
Totora parcialmente sumergida o en zonas de transición agua-vegetación	0.30 – 0.55	Valores moderados de NDVI debido a la mezcla espectral entre agua y vegetación.

Fuente: Elaboración propia con base en Castanera et al. (s.f.); Ceroni et al. (s.f.); Gualdrón et al. (s.f.); Guillermo y Dulcey (2019).

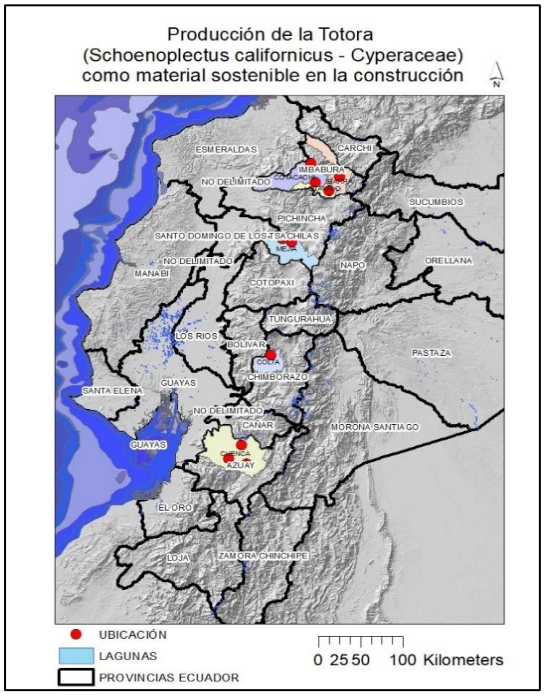
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La totora (Schoenoplectus californicus, familia Cyperaceae) se distribuye principalmente en los lagos de la región interandina del Ecuador.

En la provincia de Imbabura se encuentra en cuerpos de agua como los lagos Imbakucha, Yahuarcocha y Cuicocha, mientras que en la provincia de Chimborazo se localiza en la laguna de Colta.

De acuerdo con Hidalgo-Cordero y Aza-Medina (2023), un material puede considerarse aislante térmico cuando presenta una conductividad térmica inferior a 0.07 W/(m·K). En el caso de la totora, se reportan valores entre 0.054 y 0.060 W/(m·K), lo que la posiciona como un material sostenible con potencial para su aplicación como aislante térmico. Estos valores cumplen con el estándar ASTM C518 para la determinación de propiedades térmicas, situándose dentro del rango de materiales aislantes comerciales como la lana de vidrio y la lana mineral. La producción de totora en Ecuador se encuentra distribuida en las provincias de Imbabura, Santo Domingo de los Tsáchilas, Chimborazo y Azuay, destacándose la provincia de Imbabura como la principal zona de producción, especialmente en el cantón Cotacachi, donde su presencia es más extensa. En la Figura 6 se presenta la distribución de la totora en el territorio ecuatoriano.

Figura 6. Producción de Totora (*Schoenoplectus californicus*) en el Ecuador. UTM WGS84Z17S, 1:250000.



Para el análisis geoespacial, se emplearon imágenes RGB y NDVI en la región de Imbabura, obtenidas mediante sensores ZENMUSE X3 DJI RGB-NDVI montados en vehículos aéreos no tripulados (UAS), con un sensor tipo CMOS, resolución efectiva de 12.4 MP y captura de imágenes a 7 fps, a una altura de vuelo aproximada de 50 m. Este procedimiento permitió evaluar la respuesta espectral de las poblaciones de totora y determinar su estado fisiológico y aptitud como biomaterial para aplicaciones

constructivas. Asimismo, se consideró un grado de distorsión aproximado de 0.90%. El área de estudio se centró en el cantón Cotacachi, específicamente en las zonas de las lagunas Tobar Donoso Piñán, Yahuarcocha, Cuicocha y San Pablo, siendo esta última la de mayor accesibilidad para el trabajo de campo.

Figura 7. Ubicación de Totora en provincia de Imbabura-Ecuador, Cantón Cotacachi

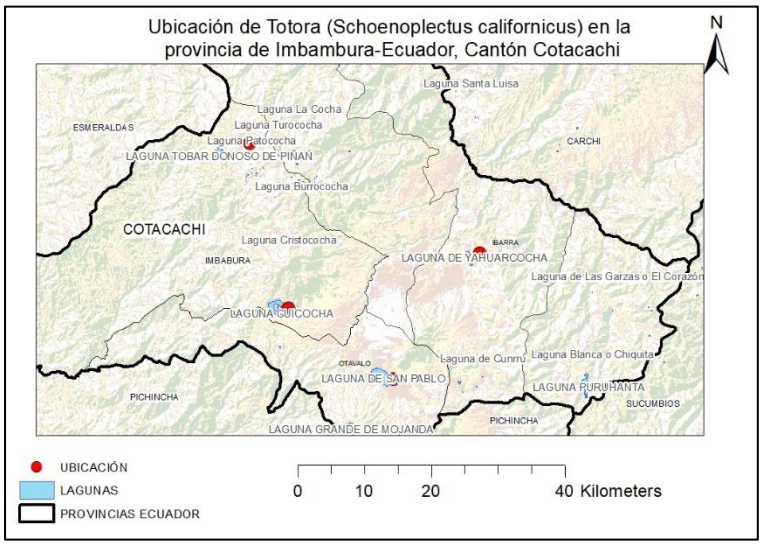
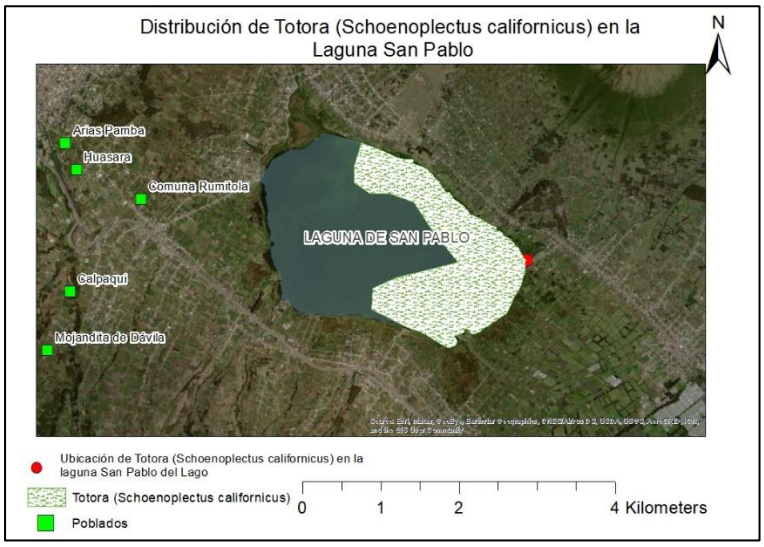


Figura 8. Distribución de totora en la Laguna San Pablo



El análisis de los índices NDVI evidenció valores comprendidos entre 0.45 y 0.70 en las zonas con mayor cobertura vegetal, lo que indica condiciones óptimas de crecimiento y alta biomasa. Por otro lado, se registraron valores entre 0.10 y 0.25 en áreas con menor densidad o vegetación en estado de estrés.

Adicionalmente, mediante el procesamiento de imágenes Landsat 8, se emplearon las bandas espectrales 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano), utilizando la herramienta Raster Calculator en el software ArcGIS, lo que permitió generar mapas de NDVI con valores comprendidos entre -1 y 1. Estos resultados confirman la utilidad de esta metodología para evaluar la viabilidad de la totora como recurso biomaterial en el sector de la construcción.

CONCLUSIONES

Los resultados integrados del análisis bibliométrico, térmico y geoespacial permiten sostener, con base empírica y consistencia teórica, que la totora (Schoenoplectus californicus) no debe ser considerada únicamente como un biomaterial alternativo, sino como un recurso estratégico dentro de los modelos de descarbonización del sector de la construcción. La evidencia demuestra que su conductividad térmica cumple con estándares internacionales (ASTM C518), posicionándola dentro del rango funcional de aislantes comerciales como la lana mineral y el poliestireno expandido (EPS), pero con una huella ambiental significativamente menor, debido a su baja energía incorporada, carácter renovable y ciclo de vida de bajas emisiones.

Desde la perspectiva de la ingeniería sostenible, la combinación de sus propiedades físico-térmicas, su disponibilidad territorial validada mediante índices NDVI y su rápida capacidad de regeneración biológica configuran a la totora como un material adecuado para su aplicación en sistemas de mampostería básica, envolventes térmicas y soluciones de aislamiento pasivo. En términos teóricos, su comportamiento se alinea con los principios de la economía circular, la construcción bio-basada y la eficiencia energética pasiva, contribuyendo de manera directa a la reducción de la demanda energética operativa y de las emisiones indirectas de CO_2.

Los resultados obtenidos evidencian que su implementación no solo es ambientalmente justificable, sino también técnicamente viable y territorialmente escalable en el contexto ecuatoriano, especialmente en regiones con alta disponibilidad hídrica y biomasa vegetal. En consecuencia, la totora debe ser considerada dentro de las políticas de materiales sostenibles y normativas técnicas

como un componente real en la transición hacia modelos constructivos de baja intensidad energética y reducido impacto climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altomonte, H., Coviello, M., & Lutz, W. (2003). *Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: Restricciones y perspectivas*. CEPAL.

Aza-Medina, L. C., Palumbo, M., Lacasata, A. M., & González Lezcano, R. A. (2023). Thermal performance of totora-based insulation materials. *Construction and Building Materials, 368*, 130412. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130412

Chikhi, M., Agoudjil, B., Boudenne, A., & Gherabli, A. (2013). Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation. *Energy and Buildings, 66*, 267–273. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.019

Cosentino, L., Fernandes, J., & Mateus, R. (2023). A review of natural bio-based insulation materials. *Energies, 16*(12), 4676. https://doi.org/10.3390/en16124676

Diego, M. de, García, M., & Sánchez, J. (2015). Cuentas energéticas en edificación residencial. *Informes de la Construcción, 67*(537), e059. https://doi.org/10.3989/ic.14.059

Dobre, A., & González, A. S. (2024). Análisis del impacto climático en cadenas de valor globales. Universidad de Zaragoza.

Hafez, M. (2022). Environmental impact of building materials: A review. *Sustainable Cities and Society, 76*, 103485. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103485

Hertwich, E. G., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., Olivetti, E., Pauliuk, S., Tu, Q., & Wolfram, P. (2019). Material efficiency strategies for reducing greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters, 14*(4). https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0fe3

Hidalgo-Cordero, J., García-Navarro, J., & Wang, Y. (2017). Totora (*Schoenoplectus californicus*) and its potential as a construction material. *Industrial Crops and Products, 112*, 467–480. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029

Hidalgo-Cordero, J., & Aza-Medina, L. C. (2023). Natural fiber insulation materials based on totora: Thermal and mechanical properties. *Journal of Building Engineering, 65*, 105742. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105742

Lu, Z., Hauschild, M. Z., Ottosen, L. M., Ambaye, T. G., & Lima, A. T. (2024). Climate mitigation potential of biobased insulation materials. *Journal of Cleaner Production, 470*, 143356. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143356

Maraveas, C. (2020). Production of sustainable construction materials using agro-wastes. *Materials, 13*(2), 262. https://doi.org/10.3390/ma13020262

Oh, D., Noguchi, T., Kitagaki, R., & Choi, H. (2021). Recycling system for concrete waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 135*, 110147. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110147

Polit, D. F., & Beck, C. T. (2010). Generalization in quantitative and qualitative research. *International Journal of Nursing Studies, 47*(11), 1451–1458. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2010.06.004

Rojas, E., Cuadrado-Roura, J. R., & Fernández, M. (2010). *Las áreas metropolitanas frente al desafío de la competitividad*. BID.

Sadar Din, K. M., & Ishak, M. S. (2024). Sustainable building construction materials. *Sustainability, 16*(15), 6565. https://doi.org/10.3390/su16156565

Sánchez, R., Lardé, J., Chauvet, P., & Jaimurzina, A. (2017). *Inversiones en infraestructura en América Latina*. CEPAL.

Shufrin, I., Pasternak, E., & Dyskin, A. (2023). Environmentally friendly construction materials. *Applied Sciences, 13*(23), 12891. https://doi.org/10.3390/app132312891

Somasundaram, S., Jeon, T. W., Kang, Y. Y., Kim, W. I., Jeong, S. K., & Shin, S. K. (2015). Construction waste characterization. *Environmental Monitoring and Assessment, 187*(1). https://doi.org/10.1007/s10661-014-4200-0

Tutor, Y., Escrivà, S., & José, E. (2024). Certificación energética de edificaciones. Universidad Politécnica de Valencia.

Vanessa, A., Mena, G., Molina, Q., Catalán, L., & Valdés, O. (2015). Eficiencia energética en edificaciones residenciales. *Revista Técnica*, 4(7).

Zach, J., Hroudová, J., & Korjenic, A. (2016). Natural fiber insulation materials. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 91*(8), 2156–2161. https://doi.org/10.1002/jctb.4940

Zheng, X., & Hauschild, M. Z. (2024). Environmental performance of insulation materials. *Journal of Cleaner Production, 450*, 141234. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141234