

Revista Latinoamericana de Difusión Científica
Volumen 7 – Número 13
Depósito Legal ZU2019000058 - ISSN 2711-0494

Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Volumen 7 - Número 13
Julio – Diciembre 2025
Maracaibo – Venezuela

Más allá del ruido: Cómo las fibras naturales están revolucionando la acústica

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15844308>

Luis Axel Estarrón Navarro*

Uriel Victoria Martínez**

Sandra Loera Serna***

RESUMEN

En las últimas dos décadas, el campo de investigación de fibras naturales como materiales acústicos se ha desarrollado considerablemente debido a la constante exposición al ruido en el mundo globalizado. El objetivo de este artículo es proporcionar una perspectiva sobre investigaciones relevantes del uso de fibras naturales y composites con diferentes aditivos para aplicaciones acústicas. La metodología consistió en la revisión integral de trabajos que utilizan fibras y que demostraron que éstas tienen propiedades acústicas deseables, como baja densidad y alta porosidad. Sin embargo, también se pone en evidencia que estos materiales presentan limitaciones importantes como baja resistencia al esfuerzo, termoestabilidad y absorción sonora para frecuencias por debajo de los 1000 Hz. Para remediar esto, también se han desarrollado composites de fibras naturales con diferentes resultados y grados de éxito. Uno de los principales retos en el desarrollo de dichos composites es la falta de homogeneidad y reproducibilidad de los materiales y de la respuesta acústica.

PALABRAS CLAVE: Fibra, Acústica, Contaminación sonora, Materiales de construcción.

*Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 420, Nueva El Rosario, 02128, Azcapotzalco, CDMX, México. E-mail: al2222005818@azc.uam.mx

**Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 420, Nueva El Rosario, 02128, Azcapotzalco, CDMX, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2909-8000> E-mail: uvm@azc.uam.mx

***Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 420, Nueva El Rosario, 02128, Azcapotzalco, CDMX, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9562-3195>. Correspondencia: sls@azc.uam.mx

Beyond Noise: How Natural Fibers Are Revolutionizing Acoustics

ABSTRACT

In the last two decades, the research field of natural fibers as acoustic materials has developed considerably due to the constant exposure to noise in a globalized world. This article aims to provide an overview of relevant research on the use of natural fibers and composites with different additives for acoustic applications. The methodology consisted of a comprehensive review of studies using fibers that demonstrated their desirable acoustic properties, such as low density and high porosity. However, it is also evident that these materials present significant limitations, such as low tensile strength, thermostability, and sound absorption for frequencies below 1000 Hz. To remedy this, natural fiber composites have also been developed with varying results and degrees of success. One of the main challenges in the development of these composites is the lack of homogeneity and reproducibility of the materials and their acoustic response.

KEYWORDS: Fiber, Acoustics, Noise Pollution, Construction Materials.

Introducción

El ruido se ha convertido en una de las problemáticas constantes en el mundo globalizado. Ya sea a causa del tráfico, construcciones, ferrocarriles o aeronaves, niveles excesivos de ruido se encuentran presentes en la vida diaria de los habitantes de grandes urbes como la Ciudad de México (Rodríguez-Manzo y González, 2020). Una de las alternativas para reducir el sonido molesto de exteriores, es el uso de audífonos. Sin embargo, el uso prolongado de estos dispositivos aumenta el riesgo de pérdida de audición prematura. La Organización Mundial de la Salud (*World Health Organization* o WHO por sus siglas en inglés) estima que más de 1000 millones de personas de entre 12 y 35 años son propensas a perder la audición como consecuencia de la exposición prolongada a música fuerte y otros sonidos recreativos (WHO, 2022). En lugar de aislar el sonido en el receptor, otra de las formas de mitigar el ruido en interiores, es con el uso de materiales capaces de absorber las ondas acústicas dentro del establecimiento.

Materiales como la fibra de vidrio son utilizados para el acondicionamiento acústico de construcciones. Sin embargo, este tipo de materiales pueden ser costosos y nocivos para la salud y el ambiente, lo que ha generado interés en alternativas más amigables que retengan las propiedades acústicas deseadas. Recientemente, se ha desarrollado el campo

de estudio de fibras naturales como materiales acústicos debido a su bajo costo, disponibilidad como material de desecho y biodegradabilidad (Rowell, 1998; Joshi y col., 2003; Mamtaz y col., 2016). En este trabajo, se presentan las características relevantes del sonido para la caracterización acústica de los materiales, los dispositivos de caracterización acústica, así como un compilado de los trabajos recientes en la caracterización de fibras naturales y sus compositos aplicados como materiales acústicos. La selección de los trabajos incluidos en este artículo se realizó considerando publicaciones en revistas científicas, que demuestran el potencial de aplicación de estos materiales desde 1998, sin embargo, esto se ha intensificado en los últimos años debido a la necesidad de implementar el uso de materiales sustentables, biodegradables y que sean amigables con el ambiente. Adicionalmente, se agregaron algunas referencias para entender lo que ocurre con el sonido cuando entra en contacto con las fibras y la normativa que como se pudo demostrar no es vigente (Norma Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994). Se han identificado las principales tendencias acústicas de las fibras, las discrepancias entre los modelos teóricos y los resultados experimentales, así como las limitaciones en el uso de fibras como materiales acústicos.

1. Generalidades del sonido

1.1. Percepción del sonido

Para comprender el comportamiento acústico de los materiales, primero se debe definir qué es el sonido. Físicamente, el sonido se refiere a pequeñas fluctuaciones de presión en el aire originadas por una fuente oscilante. Dichas fluctuaciones se transmiten a través del medio hasta llegar al oído del oyente. Para diferenciar ciertos sonidos de otros, existen los conceptos de 'timbre' y 'volumen'. El volumen se refiere a la magnitud de la presión sonora desplazada por la fuente, y se percibe por el oyente como que tan 'fuerte' es el sonido. Por otro lado, el 'timbre' se refiere a la frecuencia de las oscilaciones en la presión sonora, y se percibe como qué tan 'agudo' o grave es el sonido. A presión atmosférica, las ondas sonoras pueden superponerse de tal forma que el oyente percibe una combinación de muchas fuentes. En el caso de los humanos, el rango de frecuencias audibles va desde los 16 Hz (ciclos por segundo) hasta alrededor de los 16000 Hz. Por otro lado, el volumen se mide como una razón logarítmica entre una presión sonora de referencia y la presión sonora incidente, comúnmente conocida como decibelios o *dB* (Möser, 2009).

En la figura 1, se muestran algunos ejemplos de niveles de ruido para situaciones de la vida diaria.

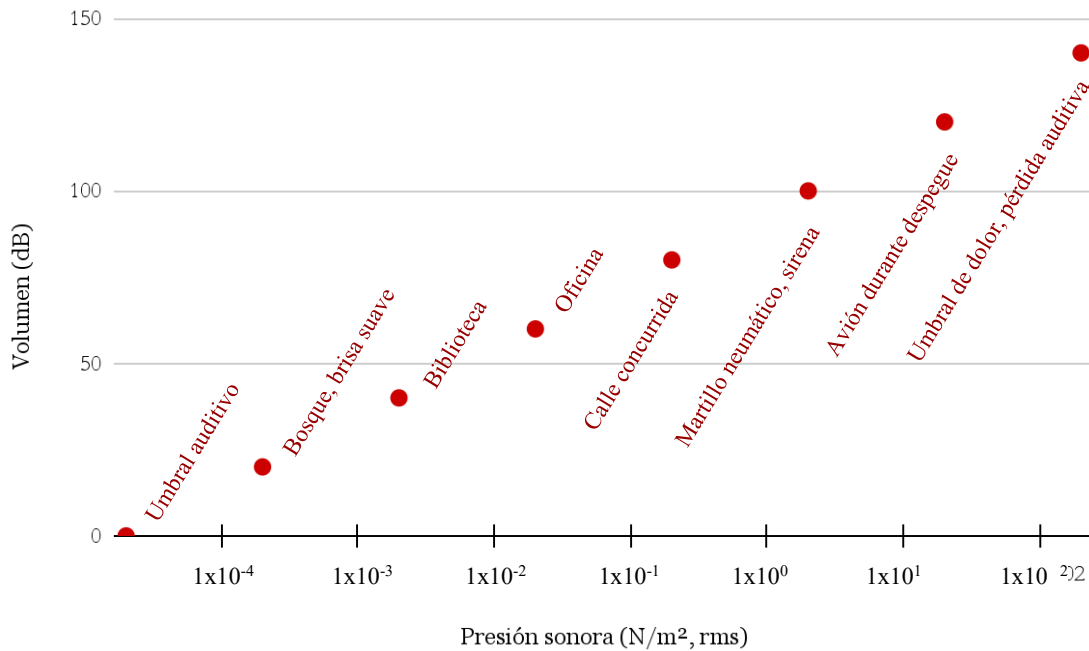


Figura 1. Relación entre presión sonora absoluta y volumen. Adaptación (Möser, 2009).

1.2. Normativa

En México, la norma que rige los límites máximos permisibles de emisión de ruido para fuentes fijas y su método de medición es la NORMA Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994. Dentro de la norma, se establece que los límites máximos para fuentes fijas son de 68 dB entre las 6:00 y las 22:00 horas y de 65 dB entre las 22:00 y las 6:00 horas. El incumplimiento de dicha norma está sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como los demás ordenamientos jurídicos aplicables (Norma Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994).

1.3. Daños a la salud

La regulación de volumen máximo permisible en México y el resto del mundo se debe a los efectos adversos a la salud asociados a la exposición prolongada al ruido excesivo. Se ha encontrado que altos niveles de ruido proveniente del tráfico, aeronaves, y otras fuentes conlleva a un riesgo más alto de sufrir fibrilación arterial, que a su vez está asociada con padecimientos como embolia, fallo cardíaco e incluso la muerte (Hoffmann y Vienneau,

2024). En particular, la exposición prolongada a ruido de construcciones aumenta significativamente el ritmo cardiaco y la desviación estándar en los intervalos de los latidos del corazón, así como un efecto psicológico considerable reflejado en la alteración del ritmo respiratorio (Mir y col., 2023). En adición a esto, la exposición al ruido del transporte tiene una asociación directa con malestar, alteración cognitiva, problemas para dormir, y pérdida de la audición (Welch y col., 2023).

1.4. Recomendaciones

Además de la normativa mencionada en la sección 1.2, órganos internacionales como la WHO han proporcionado recomendaciones en términos de legislación e intervención para aminorar los niveles de ruido generados por tráfico automotriz, transporte ferroviario y aeronaves (WHO, 2024). Las recomendaciones de la WHO se pueden agrupar en 5 categorías expuestas en la tabla 1.

Tabla 1. Recomendación de intervenciones para la mitigación del ruido (WHO, 2024)

Tipo de intervención	Recomendaciones
A. Intervención en la fuente	<ul style="list-style-type: none"> ● Cambio en el nivel de emisión de las fuentes ● Restricciones de tiempo en los operadores de las fuentes
B. Intervención en el medio	<ul style="list-style-type: none"> ● Cambio en la trayectoria/medio entre la fuente y el receptor ● Regulación del medio a través de aislamiento acústico del receptor o su vivienda
C. Infraestructura nueva/cerrada	<ul style="list-style-type: none"> ● Creación de nueva infraestructura para las fuentes sonoras ● Clausura de infraestructura existente ● Planeación de control entre las (nuevas) fuentes y receptores
D. Otras intervenciones físicas	<ul style="list-style-type: none"> ● Cambio en otras dimensiones físicas de la vivienda o vecindario
E. Intervención en cambio de comportamiento	<ul style="list-style-type: none"> ● Cambio en el comportamiento del individuo para reducir la exposición al ruido ● Prevención de exposición o reducción del tiempo de exposición ● Educación comunitaria y comunicación

2. Coeficientes acústicos

Una de las recomendaciones mencionadas por la WHO para la mitigación del ruido es el aislamiento acústico del receptor o su vivienda. Para este efecto, el estudio de las propiedades acústicas de los materiales es de suma importancia para determinar qué componentes tendrán el mejor desempeño en la atenuación sonora. La cuantificación de dichas propiedades es posible por medio de los coeficientes acústicos de un material. Por ejemplo, el coeficiente de absorción sonora (*Sound absorption coefficient* o SAC por sus siglas en inglés) está intrínsecamente ligado tanto a la frecuencia del sonido como su dirección de propagación. Se define como la energía acústica absorbida para una frecuencia acústica específica o un intervalo de frecuencias (Mohammadi y col., 2024). El SAC se puede definir por medio de las siguientes relaciones:

$$\alpha = 1 - |R|^2 = 1 + E_a/E_i = 1 + (E_r - E_t)/E_i \quad \text{Ec. 1}$$

donde α representa el coeficiente de absorción sonora (SAC), R el coeficiente de reflexión sonora, E_a corresponde a energía acústica absorbida, E_i a la energía acústica incidente total, E_r se refiere a la energía acústica reflejada y E_t a la energía acústica transmitida.

Adicionalmente, la atenuación del ruido general de un material se puede cuantificar por medio del coeficiente de reducción de ruido (*Noise reduction coefficient* o NRC por sus siglas en inglés). El NRC se define como el promedio del SAC a varias frecuencias previamente definidas (Hassanzadeh y col., 2013).

Por otro lado, también se puede cuantificar la pérdida de transmisión acústica (*Sound transmission loss* o STL por sus siglas en inglés) de un material por medio de un tubo de impedancia y estándares internacionales como la norma ISO 10534. En este caso, el STL representa la reducción de potencia, medida en dB, experimentada por una onda sonora al atravesar un medio (Mohammadi y col., 2024). Si I_1 e I_2 denotan la intensidad sonora antes y después de que la onda atraviesa el medio, entonces se puede definir el STL como:

$$STL = 10 \cdot \text{Log}(I_1/I_2) \quad \text{Ec. 2}$$

3. Caracterización acústica de materiales

3.1. Tubo de impedancia

Para la determinación de las características (coeficientes) acústicas de un material, son necesarios instrumentos y normas especializadas. El dispositivo comúnmente utilizado para dicha caracterización es el tubo de impedancia (Figura 2), el cual consiste en un tubo aislado de longitud conocida donde se coloca la muestra en un extremo del tubo y un generador de frecuencias al otro extremo (Çelikel & Babaarslan, 2017). Al incidir una onda acústica de cierta frecuencia, se forma una onda estacionaria dentro del tubo. Por lo tanto, se puede medir la intensidad de la onda estacionaria por medio de un conjunto de micrófonos dentro del tubo para determinar el SAC para dicha frecuencia (Das y col., 2022).

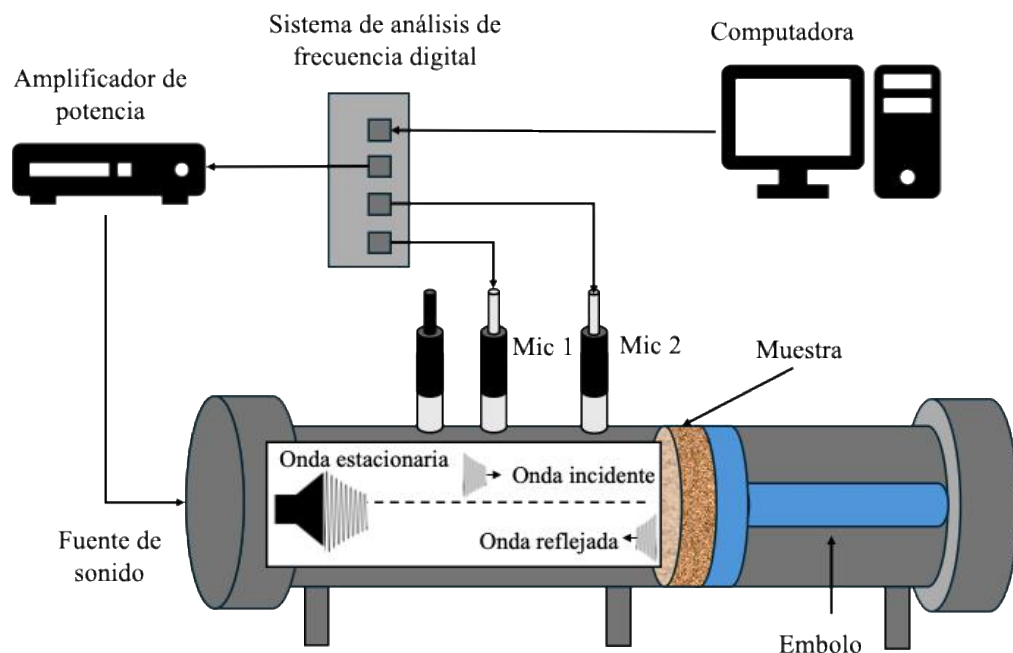


Figura 2. Tubo de impedancia (Adaptada de: Çelikel & Babaarslan, 2017).

3.2. Modelos teóricos

Además de los métodos experimentales, también existen modelos teóricos para la estimación de las propiedades acústicas de los materiales con base en sus características físicas. Entre dichos modelos se encuentran el modelo de Delany Bazley, de Biot Allard y de Garai-Pompoli.

En el primer modelo, se define el SAC como función de la densidad y la velocidad del sonido, las partes real e imaginaria del análisis de frecuencias del material y la resistividad de flujo del material respectivamente. Por otro lado, el segundo modelo define el SAC como una función de la resistividad de flujo del material, así como de la impedancia de transmisión para dos ondas propagándose en dos medios distintos. Finalmente, en el tercer modelo se define la impedancia característica del material por medio de coeficientes empíricos (Das y col., 2021).

4. Uso de fibras naturales en aplicaciones acústicas

4.1. Fibra de coco (*Cocos nucifera*)

Una de las fibras más estudiadas como material acústico es la fibra de coco. En un estudio comparativo entre fibras de kenaf, madera, cáñamo, coco, corcho, cartón y lana de oveja (Bernardi y Iannace, 2015), se encontró que la fibra de coco presentó muy buen desempeño acústico en comparación con el resto de las muestras, con un NRC de entre 0.5 y 0.75 para muestras de 5 y 10 cm de espesor respectivamente.

En otro trabajo, se compararon los AAC de fibra de coco y fibra de palma en función del grosor de las muestras, tamaño de fibra, y densidad aparente (ALRahman y col., 2013). En este caso, se encontró que el tamaño de fibra fue uno de los principales factores que determinaron el desempeño acústico de las muestras, con fibras de menor tamaño exhibiendo un valor de AAC mayor. El tamaño de fibra encontrado fue de 123 y 252 μm para la palma y el coco, respectivamente. Por lo tanto, las muestras de fibra de coco tuvieron un peor desempeño que las de palma, con AACs de 0.71 y 0.77 para muestras de 2 y 4 cm de grosor respectivamente. En contraste, las muestras de palma presentaron AACs de entre 0.84 y 0.99.

Adicionalmente, en el trabajo realizado por Kesharwani y col. (2020) se estudió la pérdida de transmisión de sonido de fibras de plátano, coco, cáñamo, kenaf y yute. La caracterización acústica de los materiales en este caso se determinó por medio de una bocina en un rango de 3 octavas de frecuencias armónicas, a diferencia de los estudios previamente mencionados, donde los coeficientes acústicos se determinaron por medio de un tubo de impedancia. En este caso, el coco presentó un desempeño acústico aceptable

para frecuencias altas con un grosor de muestra de 3 cm, con una reducción de transmisión máxima de 11.6 dB a 10 kHz. Dicho desempeño fue de los mejores del grupo.

Finalmente, Bravo-Moncayo y col. (2024) realizaron la caracterización termoacústica de 4 fibras comunes de la región ecuatorial: abacá, cabuya, coco y totora. Las fibras exhibieron propiedades térmicas aceptables determinadas por medio del método de placa caliente protegida (*Guarded-Hot-Plate* o GHP por sus siglas en inglés), con coeficientes de conductividad térmica entre 0.04 y 0.06 W/m*K. Dichos valores son comparables con materiales como poliestireno, poliuretano o aerogel, los cuales ya se utilizan en la actualidad como aislantes térmicos. Se encontró que el desempeño acústico de los materiales, determinado por medio del NRC de incidencia normal en un tubo de impedancia, fue bastante competitivo (valores de NRC entre 0.12 y 0.56). En este caso, se encontró que la muestra de fibra de coco con grosor de 6 cm presentó el mejor comportamiento acústico.

Con todo lo anterior, se puede ver que la fibra de coco tiende a ser de los mejores materiales de origen natural para aplicaciones acústicas, a pesar de que no siempre sea el mejor material disponible dependiendo de la región.

4.2. Fibra de yute (*Corchorus capsularis*)

La yuta es otra de las fibras naturales estudiadas en varios trabajos de caracterización acústica. WeiDong y Yan (2012) realizaron un estudio comparativo entre muestras de fibras de ramina, lino y yute con 4 cm de grosor, así como sus compositos con 65% epoxy. En dicho trabajo, se encontró que la fibra de yute presentó el mejor desempeño acústico, con un NRC de 0.65. También se tomaron en cuenta muestras de vidrio y carbón para dicho estudio, con NCRs de 0.35 y 0.45, respectivamente. Por lo tanto, la capacidad de absorción de ondas sonoras del yute en este estudio fue muy buena, especialmente para frecuencias superiores a 1000 Hz.

En otro trabajo de Sambandamoorthy y col. (2020) se analizó el efecto de la longitud de fibra y diversos tratamientos químicos en muestras de fibra de yute. La fibra se compró del *National Jute Board* en Chennai, India, en longitudes de fibra de 5, 10, 15 y 20 mm. Asimismo, se analizaron muestras de fibra tratada con 1% NaOH, 1% NaHCO₃ y 1% Cr₂SO₄. Se encontró que el mejor desempeño se tuvo para una longitud de fibra de 20 mm, y que la fibra sin tratamiento químico presentó mejor capacidad de absorción sonora. El SAC para la mejor fibra fue de entre 0.9 y 0.95 para frecuencias entre 2500 y 4500 Hz,

respectivamente. Sin embargo, el desempeño acústico de las fibras empeoró para frecuencias por debajo de 1000 Hz.

Además, en el trabajo realizado por Kesharwani y col. (2020) previamente mencionado, la fibra de yute también presentó un desempeño acústico aceptable para frecuencias medias y altas, con una reducción de transmisión sonora 9.6 dB en 2000 Hz y un máximo de 15.2 dB en 8000 Hz; es decir, un desempeño acústico mejor que la fibra de coco mencionada en la sección anterior.

Al igual que la fibra de coco, el yute también es un material con excelente potencial para absorción acústica en frecuencias medias y altas.

4.3. Fibra de kenaf (*Hibiscus cannabinus*)

En los estudios comparativos previamente mencionados se ha encontrado que las fibras de coco y de yute presentan buenos desempeños acústicos. Sin embargo, tanto en el trabajo de Bernardi y Iannace (2015) como en el de Kesharwani y col. (2020) se ha encontrado que la fibra de kenaf ha tenido el mejor desempeño.

En el primer trabajo (Bernardi y Iannace, 2015), la fibra de kenaf presentó valores de NRC entre 0.55 y 0.7, lo cual no parece una mejora en comparación con los resultados obtenidos para la fibra de coco. Sin embargo, la muestra de coco con mejor desempeño (NRC de 0.75) fue de 10 cm de espesor, mientras que la mejor muestra de kenaf (NRC de 0.7) fue de 6 cm de espesor. Es decir, se obtuvieron resultados similares para la fibra de kenaf con casi la mitad del grosor de las muestras de fibra de coco.

Por otro lado, en el segundo trabajo (Kesharwani y col., 2020) se encontró una reducción en transmisión sonora aceptable para frecuencias medias y altas, con un límite significativo de 5.2 dB a 1600 Hz y reducción máxima de 18.5 dB a 6300 Hz. En comparación con el resto de las fibras, el kenaf presentó mayor reducción sonora a partir de frecuencias más bajas, por lo que tanto el rango de frecuencias atenuadas como la capacidad de reducción a cada frecuencia es mejor que lo obtenido para las otras fibras de este estudio. Por lo tanto, la fibra de kenaf tiende a ser la mejor opción para las regiones donde se encuentra disponible.

4.4. Fibra de palma (familia *Arecaceae*)

La fibra de palma es otra de las fibras naturales con desempeño acústico notable. En el estudio de ALRahman y col. (2013) previamente mencionado, la fibra de palma presentó el mejor desempeño de ambas, con un AACs de entre 0.84 y 0.99. En dicho estudio, se encontró que el tamaño de la fibra tiene una relación inversamente proporcional con el AAC, dado que fibras más pequeñas producen materiales más porosos. Además, el rango de frecuencias atenuadas por la fibra de palma fue mayor que el de la fibra de coco, por lo que la palma es un material viable para absorción de frecuencias medias y altas, que en el estudio comprendió un rango entre 1381.25 hasta 4906 Hz.

En otro estudio realizado por Sivanantham y col. (2024), se realizó la caracterización de tallos de hoja de palma caryota (*Caryota mitis*) por medio de espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (*Fourier transform infrared spectroscopy* o FT-IR por sus siglas en inglés), difracción de rayos X (*X-ray diffraction analysis* o XDR por sus siglas en inglés), análisis termogravimétrico (*Thermogravimetric analysis* o TGA por sus siglas en inglés) y microscopía electrónica de barrido (*scanning electron microscope* o SEM por sus siglas en inglés).

En dicho estudio, se encontró que la fibra presentó una composición de 63.67% celulosa, densidad de 1473 kg/m³, diámetro de fibra de 380.85 μm, tamaño comparable a las fibras de coco y palma estudiadas por ALRahman y col. (2013). Además, se encontró un índice de cristalinidad de 31.37%, tensión de rotura de 249.23 MPa y estabilidad térmica a 316°C. Todo esto nos indica que la fibra tiene propiedades mecánicas y térmicas adecuadas para su uso en manufactura de refuerzos compositos. Más relevante para el presente trabajo, se encontraron valores de SAC y NRC de 0.34 y 0.39 respectivamente. Un valor de SAC de 0.34 cae dentro del rango de absorción sonora media (0.20-0.60), por lo que la fibra es viable para su uso en aplicaciones que requieran atenuación de sonido. En concordancia con otros trabajos previamente mencionados, un tamaño de fibra menor con densidad menor conlleva a materiales acústicos más efectivos.

5. Uso de compositos de fibras naturales para aplicaciones acústicas

5.1. Resinas curadas

Uno de los principales materiales de refuerzo utilizados para la elaboración de compositos de fibras naturales son las resinas curadas, como epoxy. En un estudio

realizado por Hassan y col. (2020), se utilizó epoxy como material de refuerzo para la elaboración de compositos de fibra de coco, algodón y caña de azúcar, y las muestras se caracterizaron mecánica, térmica y acústicamente por medio de un tubo de impedancia. Las muestras se prepararon colocando las fibras en moldes de 20 x 20 x 3 cm y añadiendo la resina sobre las fibras, con composiciones de 10, 15 y 20% para cada fibra. Los compositos presentaron un mejor desempeño acústico que la resina epoxi pura, y se observó que el aumento del contenido de fibra conlleva a un incremento en el SAC. Esto se debe a que las fibras de matriz celulosa tienden a ser mucho más porosas que las resinas curadas. Entre todas las muestras, la fibra de coco presentó los SACs más altos, seguida de la fibra de caña. Además, la resistencia al impacto de las muestras mejoró al incrementar el contenido de fibra. Finalmente, se encontró que los compositos soportaron temperaturas de hasta 300°C con pérdidas de peso mínima.

Otro estudio realizado por Zulkarnain y col. (2024) refuerza lo encontrado por Hassan y col. (2020). En este caso, se elaboraron compositos de fibra de coco, palma y caña de azúcar con poliéster curado con butanox m-50. Las muestras se caracterizaron por medio de un tubo de impedancia para determinar la capacidad de absorción y pérdida de transmisión acústica. Nuevamente, se encontró que el aumento del contenido de fibra en las muestras conllevó a un aumento del SAC, con una relación lineal entre ambas variables. Sin embargo, el trabajo menciona que puede ser complicado replicar los resultados deseados, dado que la baja densidad de la fibra también genera una baja homogeneidad del composito.

5.2. Termoplásticos

Otro material de interés para la elaboración de compositos de fibras naturales son los termoplásticos, los cuales son de particular importancia debido a su abundancia como material de desecho a lo largo del mundo. En el trabajo realizado por Peng y col. (2015) se utilizó fibra de poliéster (material de desecho común de la industria textil) como material de refuerzo para fibra de madera. Las muestras se elaboraron por medio de prensado a 150°C, con un grosor de 10 mm. Las muestras obtenidas se caracterizaron por medio de un tubo de impedancia y de un túnel de viento para determinar su resistencia al flujo de aire. Se encontró que, al aumentar la resistencia al aire se redujo el SAC. Esto se debe a que la resistencia al aire está directamente relacionada con la densidad e inversamente

relacionada con la porosidad, y, como se ha visto anteriormente, los materiales porosos tienen mejores propiedades acústicas. Las mejores muestras presentaron un SAC de 0.70. Además, se estudió el efecto de añadir una cavidad de aire de 10 y 20 mm a las muestras, donde se encontró que añadir una cavidad de mayor tamaño mejora enormemente la absorción sonora para frecuencias entre 50 y 1500 Hz.

Sobre la misma línea, otro estudio realizado por Sekar y col. (2023) elaboró compositos de 15% de fibra de madera con ácido poliláctico combinado con polihidroxicanoatos (un tipo de poliéster), donde las muestras se elaboraron tanto por molde de compresión a 210°C (similar al trabado de Peng y col. en 2015) como por impresión 3D. Se determinaron las propiedades físicas, mecánicas, térmicas, de absorción de agua y de biodegradabilidad. Además, las muestras se caracterizaron acústicamente con un tubo de impedancia. Se encontró que no hubo diferencia significativa entre las propiedades térmicas y mecánicas de ambas muestras, pero que los compositos elaborados por impresión 3D presentaron mejor tasa de absorción de agua y biodegradabilidad debido a su mayor porosidad. Para la caracterización acústica, se introdujo una cavidad de aire de 5 mm para compararse con las muestras sin cavidad. Se encontró que la adición de dicha cavidad aumentó el SAC considerablemente para frecuencias debajo de los 2500 Hz, similar a lo encontrado por Peng y col. (2015). Para las muestras sin cavidad, se encontró que los compositos elaborados por impresión 3D presentaron un mejor desempeño acústico debido a su mayor porosidad. Sin embargo, para las muestras con cavidad de 5 mm se encontró que la compresión hidráulica produjo una curva de SAC más uniforme para el rango de frecuencias estudiado (entre 500 y 4500 Hz) con valor máximo de 0.57 a 1784 Hz. En contraste, la muestra con cavidad elaborada por impresión 3D presentó un pico pronunciado de SAC de 0.81 a 1611 Hz, pero el SAC fue menor para el resto de las frecuencias en comparación con la muestra elaborada con compresión hidráulica.

5.3. Polímeros biocompatibles

Dentro de la familia de polímeros, varios estudios han explorado el uso de polímeros biocompatibles como adhesivo para la fabricación de compositos de fibras naturales. Por ejemplo, Irvani y col. (2024) estudiaron el comportamiento acústico de compositos de fibras de bambú adheridas con alcohol polivinilo (*Polyvinyl alcohol* o PVA por sus siglas en inglés)

por medio de incidencia normal en tubo de impedancia. Se elaboraron muestras de 5 cm de grosor con tamaños de fibra fina, gruesa y mixta. Se encontró que, para muestras de fibra fina o mixta, el SAC promedio fue de 0.8 para frecuencias mayores a 1000 Hz. Sin embargo, una de las principales limitaciones que mencionan los autores es la falta de control sobre el tamaño de fibra para obtener los resultados deseados.

Asimismo, en el trabajo realizado por Taban y col. (2019) se elaboraron compositos de fibra de coco con 5% de PVA como adherente entre las fibras, con grosores de 2.5, 3.5 y 4.5 cm y cavidades de aire de hasta 3 cm. Nuevamente, se encontró que el SAC incrementó para frecuencias altas, y que la adición de una cavidad de aire de 3 cm elevó el SAC considerablemente para frecuencias menores a 1000 Hz. Por otro lado, el incremento en el grosor de las muestras conllevó a un incremento en el SAC, especialmente para frecuencias menores a 1000 Hz.

5.4. Adhesivos minerales

Además de polímeros, también se han utilizado matrices minerales para la elaboración de compositos con fibras naturales. En un trabajo realizado por Widjanarti y col. (2023), se elaboraron paneles acústicos con 30% de jacinto de agua común y 10% de paja de arroz con agua y yeso como adherentes. Las muestras se elaboraron por compresión en molde a 3 MPa y calentadas en horno a 900°C por 5 horas. A diferencia de otros estudios, la caracterización acústica se realizó tanto en laboratorio, por medio de un tubo de impedancia, como en una fábrica con maquinaria donde se registraron volúmenes de 100 a 110 dB. En la caracterización con tubo de impedancia, se encontró que las mejores muestras tuvieron un pico de SAC de 1 a 1500 Hz y un NCR de 0.50, indicando reducción sonora efectiva. Asimismo, los paneles acústicos redujeron el ruido dentro de la fábrica hasta 9.8 dB, y se encontró que dicha atenuación sonora afectó el ritmo cardíaco de los trabajadores, mostrando así una reducción en su nivel de estrés.

En otro trabajo realizado por Chen y col. (2020) se elaboraron compositos de concreto ultraligero, fibra de *Miscanthus*, y desecho de vidrio para mejorar las propiedades acústicas y térmicas del cemento. Se encontró que el composito con 30% de fibra de *Miscanthus* de tamaño de 2-4 mm resultó en un material de muy baja densidad (554 kg/m³), baja conductividad térmica (0.09 W/m*K) y alto SAC (0.9) a frecuencias bajas. Asimismo, los autores mencionan que el desempeño acústico del composito puede mejorarse por

medio de la optimización de la proporción y tamaño de la fibra de *Miscanthus* presente en el material.

Por otro lado, en el estudio realizado por Victoria y col. (2022) se elaboraron compositos de diferentes composiciones de fibra de coco y nopal con matriz de bentonita. Se encontró que las muestras con menor contenido de cerámico presentaron los SACs más altos. Los compositos de fibra de coco presentaron mejores propiedades absorbentes que aquellos elaborados con nopal. En concordancia con lo encontrado tanto por Zulkarnain y col. (2024) como por Hassan y col. (2020), la capacidad de absorción acústica es directamente proporcional a la frecuencia. Además, en la caracterización térmica realizada por TGA se sugiere que la bentonita mejora la estabilidad térmica del composito.

5.5. Material de desecho inorgánico

Dado que las fibras naturales son de interés para el desarrollo de materiales acústicos por su abundancia como desecho alrededor del mundo, también se ha investigado el uso de otros materiales de residuo para la elaboración de compositos absorbentes sonoros. En un trabajo realizado por Pai y col. (2024), se fabricaron compositos híbridos de partículas de llanta y fibra de plátano trituradas sobre una matriz de resina de epoxy. Se caracterizaron muestras de diferentes composiciones de fibra y partículas de llanta por medio de pruebas de estrés y tubo de impedancia para determinar el efecto del caucho en las propiedades mecánicas y acústicas. Para la caracterización mecánica, se encontró que el caucho se adhiere pobremente a la resina, con las partículas de mayor tamaño presentando menor adhesión. Por lo tanto, al aumentar el contenido de partículas de llanta se encontró una reducción en la capacidad de carga y rigidez del composito. Asimismo, dado que el caucho tiene un valor de gravedad específico menor al de la resina, la concentración de partículas de llanta no fue homogénea en el material. Sin embargo, la resistencia al impacto del material aumentó inicialmente con un aumento en el contenido de partículas de llanta, pero alcanzó un valor máximo para 15% de contenido de partículas de caucho en el composito. Para composiciones más altas de partículas de llantas, se obtuvo una reducción drástica en la resistencia al impacto, lo que indica una relación compleja entre las propiedades mecánicas del material y el contenido de caucho presente. Por otra parte, la muestra con 0% de partículas de llanta (53% fibra de plátano y 47% resina de epoxy) presentó la mejor atenuación acústica para el rango de altas frecuencias (1600-6300 Hz),

mientras que la muestra con 15% partículas de llanta (31% fibra de plátano y 54% resina de epoxy) presentó atenuación sonora mayor para frecuencias bajas (60-1600 Hz). Un aumento en la proporción de partículas de llanta superior al 15% no benefició las propiedades acústicas de los compositos.

Además del trabajo realizado por Pai y col. (2024), también se ha estudiado el desempeño acústico de compositos de extracto de cascarilla de café (*coffee silver skin*) reforzados con residuos de la industria del cuero (*chrome shave*) para diferentes composiciones (Abdi y col., 2021). Se elaboraron 12 muestras de 3 y 5 cm de grosor, manteniendo una densidad baja de 150 kg/m³. La caracterización acústica de las muestras se realizó por medio de un tubo de impedancia, y se encontró que las muestras de ambos grosores (3 y 5 cm) presentaron un SAC promedio de 0.95 para frecuencias superiores a 1000 Hz. Asimismo, ni el tamaño de fibra ni la composición de las muestras tuvieron un efecto significativo en las propiedades acústicas de los compositos. Por lo tanto, el único factor que afectó notablemente las capacidades de absorción acústica fue el grosor de las muestras, dado que se observó un ligero aumento en el SAC para frecuencias menores a 2000 Hz para los compositos de 5 cm de espesor.

Finalmente, en el trabajo realizado por Ouakarrouch y col. (2022) se estudió el uso de residuos de cartón para la elaboración de compositos con fibras de palmera dum (*Hyphaene thebaica*), paja de trigo, caña, esparto, bagazo, higo y olivo. Se elaboraron 28 muestras con 60% residuo de cartón y 40% contenido de fibra, para las cuales se determinó su morfología (SEM), densidad aparente, resistividad al flujo de aire, absorción de agua, y SAC por medio de tubo de impedancia. Se encontró que los compositos de fibra de dum y bagazo tuvieron el mejor desempeño acústico en frecuencias medias y altas, ya que presentaron SACs promedio de 0.7 y una atenuación de 19.5-35 dB para frecuencias de 100-1400 Hz. Además, dichas fibras presentaron las conductividades térmicas (0.065-0.069 W/m*K) y densidades aparentes (241.3-278.6 kg/m³) más bajas. Y nuevamente, se encontró que la adición de una cavidad de aire en las muestras mejoró considerablemente la absorción sonora a bajas frecuencias.

5.6. Modificación funcional

Hasta ahora, solamente se ha mencionado la elaboración de compositos por medio de la mezcla de 2 o 3 materiales con una matriz adherente como epoxy o PVA, donde hay

presencia escasa o nula de tratamiento químico del composito en su elaboración. Sin embargo, en un estudio realizado por Sun y col. (2024) se realizó la modificación funcional de la cadena de celulosa de fibras de madera blanda para mejorar el desempeño ignífugo de compositos de fibra de bambú, con el propósito de reemplazar a la fibra de vidrio con madera blanda en aplicaciones acústicas y de construcción. Se encontró que la adición de grupos funcionales de fósforo y nitrógeno en la cadena de celulosa de la madera puede mejorar significativamente la estabilidad térmica de la madera. Asimismo, el composito presentó mejor desempeño acústico comparado con trabajos similares, exhibiendo un SAC de 0.90 y NRC de 0.45.

6. Retos en el uso de fibras naturales en aplicaciones acústicas

En el caso de las fibras naturales, la principal limitación para su aplicación como materiales acústicos es su capacidad de atenuación sonora para frecuencias por debajo de 1000 Hz. Para remediar este efecto, la adición de una cavidad de aire en conjunción con el composito mejora drásticamente la absorción en este rango de frecuencias. Sin embargo, no en todas las aplicaciones es posible integrar esta cavidad.

Asimismo, el control en el tamaño de la fibra es otra de las limitantes para el uso de las fibras como materiales acústicos. Como se encontró en trabajos como los de Zulkarnain y col. (2024) o Irvani y col. (2024), el tamaño de la fibra puede ser difícil de controlar dependiendo del proceso de preparación del material. Y, como sugiere el trabajo de ALRahman y col. (2013), el tamaño de la fibra está directamente relacionado con la porosidad del material, que a su vez afecta la capacidad de absorción acústica del composito.

7. Comparación de resultados experimentales con modelos teóricos

Además de la caracterización acústica, varios de los trabajos previamente mencionados también estimaron los coeficientes acústicos de las fibras por medio de modelos teóricos. Por ejemplo, en el trabajo realizado por Abdi y col. (2021) se predijo el SAC por medio del modelo de Johnson-Allard-Champoux, con buena concordancia con lo encontrado experimentalmente.

En contraparte, Berardi y Iannace (2015) realizaron la predicción del SAC por medio del modelo de Delany-Bazley. En este caso, la baja homogeneidad de la fibra resultó en

una discrepancia significativa entre la caracterización experimental de la fibra y lo predicho teóricamente. Esta discrepancia también se observó en otros trabajos (Sambandamoorthy y col. 2020; Irvani y col., 2024) donde las predicciones realizadas por los modelos teóricos se acercan más a los valores esperados para frecuencias altas. Asimismo, Taban y col. (2019) encontraron que la estimación del SAC por medio de los modelos de Delany-Bazley, Miki y Johnson-Champoux-Allard se acercó más a los resultados experimentales para muestras más gruesas.

Conclusiones

En este trabajo se presentó una introducción al campo de investigación del uso de fibras naturales y composites de fibras naturales como materiales acústicos. Las principales fibras mencionadas fueron coco (*Cocos nucifera*), yute (*Corchorus capsularis*), kenaf (*Hibiscus cannabinus*) y palma (familia *Arecaceae*). El uso de fibras naturales como materia prima tiene como ventaja que las fibras tienden a manejarse como material de desecho, por lo que su costo es menor a comparación de otros materiales acústicos. Sin embargo, las fibras tienden a tener desempeños acústicos pobres para frecuencias bajas, lo cual se puede remediar por medio de una cavidad de aire entre el material y su soporte. El tamaño de fibra es uno de los principales factores que determina el desempeño acústico de los materiales; a menor tamaño de fibra, mayor la porosidad y por lo tanto, mayor la absorción de ondas sonoras. Asimismo, fibras de menor densidad conllevan a materiales acústicos más efectivos. El principal reto en el uso de las fibras como materiales acústicos recae en su estabilidad térmica, propiedades mecánicas y absorción en frecuencias altas.

Para remediar las limitaciones de las fibras, diferentes tipos de composites se han investigado. Los principales aditivos presentados en este trabajo fueron las resinas curadas (como epoxy), termoplásticos, polímeros biocompatibles, adhesivos minerales, materiales de desecho inorgánicos, y modificación funcional de la estructura química de la fibra. En el caso de las resinas curadas, un aumento en el porcentaje de resina conlleva a una reducción del SAC, pero también un aumento en la termoestabilidad del material. En el caso de los termoplásticos, existen diferentes métodos de síntesis como compresión hidráulica o impresión 3D que producen materiales con desempeños acústicos distintos. También se encontró en diversos estudios que aumentar el grosor de la muestra beneficia el SAC para frecuencias bajas. Sin embargo, varios autores mencionan la dificultad de reproducción de

resultados y consistencia como una de las principales limitaciones para la producción de compositos de fibras naturales. En particular, el tamaño de la fibra es una de las variables más difíciles de controlar dependiendo del proceso de manufactura, y como el tamaño de fibra está directamente relacionado con la porosidad del material, y por lo tanto con su desempeño acústico, el control sobre este parámetro representa uno de los retos más importantes para futuros trabajos. La falta de homogeneidad en las fibras también trae consigo limitaciones al comparar los resultados experimentales con modelos teóricos como *Delany-Bazley* o *Johnson-Allard-Champoux*.

Referencias

- Abdi, D. D., Monazzam, M., Taban, E., Putra, A., Golbabaie, F., & Khadem, M. (2021). Sound absorption performance of natural fiber composite from chrome shave and coffee silver skin. *Applied Acoustics*, 182, 108264, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108264>
- ALRahman, L. A., Raja, R. I., & Rahman, R. A. (2013). Experimental study on natural fibres for green acoustic absorption materials. *American Journal Of Applied Sciences*, 10(10), pp. 1307-1314. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2013.1307.1314>
- Berardi, U., & Iannace, G. (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building And Environment*, 94, pp. 840-852. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.029>
- Bravo-Moncayo, L., Argotti-Gómez, M., Jara, O., Puyana-Romero, V., Ciaburro, G., & Guerrero, V. H. (2024). Thermo-Acoustic Properties of Four Natural Fibers, *Musa textilis*, *Furcraea andina*, *Cocos nucifera*, and *Schoenoplectus californicus*, for Building Applications. *Buildings*, 14(8), 2265, pp. 1-25. <https://doi.org/10.3390/buildings14082265>
- Çelikel, D. C., & Babaarslan, O. (2017). Effect of Bicomponent Fibers on Sound Absorption Properties of Multilayer Nonwovens. *Journal Of Engineered Fibers And Fabrics*, 12(4), 155892501701200, pp. 15-25. <https://doi.org/10.1177/155892501701200403>
- Chen, Y., Wu, F., Yu, Q., & Brouwers, H. (2020). Bio-based ultra-lightweight concrete applying miscanthus fibers: Acoustic absorption and thermal insulation. *Cement And Concrete Composites*, 114, 103829, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103829>
- Das, P. P., Chaudhary, V., Ahmad, F., Manral, A., Gupta, S., & Gupta, P. (2022). Acoustic performance of natural fiber reinforced polymer composites: Influencing factors, future scope, challenges, and applications. *Polymer Composites*, 43(3), pp. 1221-1237. <https://doi.org/10.1002/pc.26455>

Hassan, T., Jamshaid, H., Mishra, R., Khan, M. Q., Petru, M., Novak, J., Choteborsky, R., & Hromasova, M. (2020). Acoustic, Mechanical and Thermal Properties of Green Composites Reinforced with Natural Fibers Waste. *Polymers*, 12(3), 654, pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/polym12030654>

Hassanzadeh, S., Hasani, H., & Zarrebini, M. (2013). Analysis and prediction of the noise reduction coefficient of lightly-needled Estabragh/polypropylene nonwovens using simplex lattice design. *Journal Of The Textile Institute*, 105(3), pp. 256-263. <https://doi.org/10.1080/00405000.2013.835903>

Hoffmann, B., & Vienneau, D. (2024). At the heart of the matter: do we still underestimate noise effects on cardiovascular health? *The Lancet Regional Health - Europe*, 47, 101134, pp. 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2024.101134>

Irvani, H., Mahabadi, H. A., Khavanin, A., & Variani, A. S. (2024). Determining the Sound Absorption Coefficient of Bamboo Composites: Theoretical- and Laboratory-based Approaches. *International Journal Of Environmental Health Engineering*, 13(1), pp. 1-7. https://doi.org/10.4103/ijehe.ijehe_4_24

Joshi, S., Drzal, L., Mohanty, A., & Arora, S. (2003). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A Applied Science And Manufacturing*, 35(3), pp. 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016>

Mamtaz, H., Fouladi, M. H., Al-Atabi, M., & Namasivayam, S. N. (2016). Acoustic Absorption of Natural Fiber Composites. *Journal Of Engineering*, 2016, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1155/2016/5836107>

Mir, M., Nasirzadeh, F., Bereznicki, H., Enticott, P., Lee, S., & Mills, A. (2023). Construction noise effects on human health: Evidence from physiological measures. *Sustainable Cities And Society*, 91, 104470, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104470>

Mohammadi, M., Taban, E., Tan, W. H., Din, N. B. C., Putra, A., & Berardi, U. (2024). Recent progress in natural fiber reinforced composite as sound absorber material. *Journal Of Building Engineering*, 84, 108514, pp. 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108514>

Möser, M. (2009). *Engineering Acoustics*. New York, Estados Unidos, 2a Edición, Springer Publishing, pp. 1-14. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-05391-1>

Norma Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994. Secretaría de Desarrollo Social. (1994). Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4866673&fecha=13/01/1995#gsc.tab=0

Ouakarrouch, M., Bousshine, S., Bybi, A., Laaroussi, N., & Garoum, M. (2022). Acoustic and thermal performances assessment of sustainable insulation panels made from cardboard waste and natural fibers. *Applied Acoustics*, 199, 109007, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109007>

- Pai, A., Shah, K. M., Namezeno, P., Bala, A., Gowrishankar, M. C., & Hegde, S. (2024). Effect of elastomeric filler content on the acoustic and mechanical response of natural fiber-based hybrid composites. *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, 46(4), pp. 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40430-024-04748-7>
- Peng, L., Song, B., Wang, J., & Wang, D. (2015). Mechanic and Acoustic Properties of the Sound-Absorbing Material Made from Natural Fiber and Polyester. *Advances In Materials Science And Engineering*, 2015, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1155/2015/274913>
- Rowell, R. M. (1998). *Property Enhanced Natural Fiber Composite Materials Based on Chemical Modification*. En Springer eBooks, pp. 717-732. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0112-5_63
- Sambandamoorthy, S., Narayanan, V., Chinnapandi, L. B. M., & Aziz, A. (2020). Impact of fiber length and surface modification on the acoustic behaviour of jute fiber. *Applied Acoustics*, 173, 107677, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107677>
- Sekar, V., Palaniyappan, S., Noum, S. y. E., Putra, A., Sivanesan, S., & Sheng, D. D. C. V. (2023). Acoustic absorbers made of wood fiber composites developed by compression molding and additive manufacturing. *Wood Research*, 68(1), pp. 68-82. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/68.1.6882>
- Sivanantham, G., Vijaya, G. S., Murugan, A., Selvaraj, S., Thangavelu, K., Mani, S. K., Marappan, S. S., Sunitha, S. S. E., & Geetha, V. P. (2024). Characterization and physicochemical properties of lignocellulosic fibers from Fishtail Palm (*Caryota mitis*) Leaf Stalks. *Composites And Advanced Materials*, 33, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1177/26349833241256968>
- Sun, Y., Xu, Y., Li, W., & Yue, X. (2024). Functional modification of softwood fiber and its application in natural fiber-based sound-absorbing composite. *Industrial Crops And Products*, 218, 119044, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119044>
- Taban, E., Tajpoor, A., Faridan, M., Samaei, S. E., & Beheshti, M. H. (2019). Acoustic Absorption Characterization and Prediction of Natural Coir Fibers. *Acoustics Australia*, 47(1), 67-77. <https://doi.org/10.1007/s40857-019-00151-8>
- Victoria-Martínez, U., Loera-Serna, S., & Vázquez-Cerón, E. R. (2022). Composites of bentonite mixed with natural fibers as acoustic absorption material. *Science Talks*, 4, 100078, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.sctalk.2022.100078>
- Welch, D., Shepherd, D., Dirks, K. N., & Reddy, R. (2023). Health effects of transport noise. *Transport Reviews*, 43(6), 1190-1210. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2206168>
- Widjanarti, M. P., Probandari, A., Sumardiyono, & Sunarto. (2023). The Acoustic Performance of Natural Composites in Reducing Stress Levels: Textile Industry. *Civil Engineering Journal*, 9(6), pp. 1312-1328. <https://doi.org/10.28991/cej-2023-09-06-02>

WHO. (2022). World Health Organization. La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición. <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>

WHO. (2024). World Health Organization. Compendium of WHO and other UN guidance in health and environment, 2024 update. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240095380>

Zulkarnain, M., Harny, I., Insdrawaty, M. I., Azman, M. I. F., Azmi, M. I. A., & Kusriani, E. (2024). Study on Nature Fiber Composite for Noise Material Control. *International Journal Of Technology*, 15(3), 618, pp. 1-10. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i3.6442>

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Copyright

La Revista Latinoamericana de Difusión Científica declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia CreativeCommons

Esta obra está bajo una Licencia CreativeCommons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

