

Estudio preliminar para el diseño de un biopanel acústico con residuos de la industria de la madera y micelios de la región del biobío de Chile

Elvert Durán Vivanco^(*) y Jimena Alarcón Castro^(**)

Resumen: La acústica, disciplina de la física que estudia el sonido y su interacción con el entorno, se centra en conceptos claves como el sonido, la frecuencia y la reverberación. La calidad de los materiales de atenuación acústica depende de su densidad, porosidad y durabilidad, lo que es crucial para mejorar el confort acústico tanto en espacios interiores y exteriores. En este contexto, los materiales biobasados han cobrado relevancia por su impacto positivo en la vida humana y en el medioambiente. En las últimas décadas los biopolímeros han desafiado los paradigmas de los polímeros sintéticos, siendo los compuestos de micelio una alternativa prometedora en ámbito del diseño, la arquitectura y la construcción. El micelio es una estructura fúngica que se asemeja a raíces de los árboles, su incorporación en el diseño de paneles contribuye a generar rendimientos con altos índices de absorción acústica superior al 70-75% en frecuencias sonoras. La fabricación de paneles acústicos, a partir de micelio presenta ventajas económicas y un bajo impacto ambiental. Esta investigación combina el sound driven design, que se enfoca en la interacción sonora para el bienestar humano, con el desarrollo de materiales inspirados en la naturaleza y economía circular. Se realizaron pruebas de compatibilidad utilizando micelio de hongos de *Ganoderma australe* y *Pycnoporus sanguineus* sobre sustratos de residuos de madera, evaluando procedimientos de colonización de matrices biobasadas altos en lignina y celulosa, para luego explorar diferentes morfologías por medio de tecnologías de visualización y fabricación digital.

Palabras clave: acústica - biopolímeros - micelios - madera - sostenibilidad.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 115]

^(*) Doctor en Diseño, Universidad Católica de Rio de Janeiro, Brasil; Master of Design, University of Technology Sydney, Australia; Diseñador Industrial, Universidad del Bío-Bío. Académico Departamento Arte y Tecnologías del Diseño, Universidad del Bío-Bío, Chile.

^(**) Doctora en Gestión del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia, España; Magíster en Construcción en Madera, Universidad del Bío-Bío Chile en colaboración con Design Innovation, Italia; Diseñadora Industrial, Universidad de Valparaíso, Chile. Postdoctorado en Istituto Europeo di Design, Italia. Académica Departamento Arte y Tecnologías del Diseño, Universidad del Bío-Bío, Chile.

Introducción

En la última década, el suministro de materiales de construcción tradicionales, como cemento, ladrillos, madera, materiales de revestimiento y tabiquería, ha tenido dificultades para satisfacer el crecimiento de la población mundial (Jones et al., 2020). La producción de estos materiales de construcción convencionales consume energía, recursos naturales limitados y contamina el aire, la tierra y el agua (Madurwar et al., 2013). Hasta el 36% de las demandas energéticas de una vivienda unifamiliar se atribuyen a la cosecha o extracción de materias primas, la fabricación, el transporte y la construcción (Sartori & Hestnes, 2007). Las edificaciones de bajo consumo energético, aunque utilizan menos energía durante su ocupación, son incluso menos sostenibles desde el punto de vista medioambiental, ya que hasta el 46% de las demandas energéticas de por vida de la vivienda se pueden atribuir a la construcción del edificio, debido a la energía necesaria para fabricar los mayores niveles de aislamiento, los materiales de mayor densidad y las tecnologías adicionales que utilizan (Thormark, 2002). Por este motivo, nuevos elementos de construcción arquitectónica son explotados para transformar la industria de la construcción hacia una mayor sostenibilidad medioambiental y económica (Almpani-Lekka et al., 2021).

Biomateriales y micelios

Los biomateriales fúngicos son cada vez más populares en los campos de la arquitectura y el diseño. En los últimos años se ha producido un importante auge de iniciativas que usan el micelio como compuesto estabilizador de fibras procedentes de residuos de origen agrícola o forestal (Bayer et al., 2019). Los compuestos de micelio son una clase emergente de materiales de bajo costo y ambientalmente sostenibles, utilizan el crecimiento de hongos naturales como un método de biofabricación de bajo consumo energético para reciclar residuos de origen agrícola o forestal y convertirlos en alternativas más sostenibles a los materiales de construcción sintéticos que consumen mucha energía (Jones et al., 2017). Los compuestos de micelio tienen propiedades materiales que permiten predefinir sus características y propiedades, según su composición y proceso de fabricación. Desde el punto de vista de las posibles aplicaciones, pueden reemplazar poliuretanos, madera y plásticos para aplicaciones como aislamiento, núcleos de puertas y paneles, entre otros elementos de espacios habitables. Debido a su baja conductividad térmica, alta absorción acústica y propiedades de seguridad contra incendios que superan a los materiales de construcción tradicionales, como las espumas sintéticas y las maderas artificiales, se muestran particularmente prometedoras para funcionalidades de aislamiento térmico y acústico. Las propiedades útiles de los materiales, sus bajos costos, simplicidad de fabricación y su sostenibilidad ambiental, sugieren que desempeñarán un papel importante en el futuro de la construcción ecológica (Haneef et al., 2017). Los materiales compuestos a base de micelio han sido probados con éxito en combinaciones con productos de residuos a base de celulosa, como papel y cartón, así como con sustratos maderosos. La experimentación con este biomaterial en formatos volumétricos y membranas, ha generado tanto expectativas

como también incertidumbre en términos de estandarización y caracterización de los productos resultantes (Guna, 2021). En el ámbito de nuevos escenarios para la humanidad, la NASA ha desarrollado recientemente un proyecto de microarquitectura, cuyo objetivo es prospectar tipos de viviendas experimentales para futuros inciertos fuera de la Tierra, utilizando micelio como elemento principal de esta estrategia, que se ha desarrollado en Silicon Valley durante los últimos cuatro años (Shakir & Ahmad, 2024).

Los hongos lignocelulósicos son esenciales para la descomposición de la madera, ya que interactúan con sus componentes principales, celulosa y lignina, y son capaces de degradar todos los componentes de las paredes celulares vegetales, tales como pectina, celulosa, hemicelulosa y lignina (Gezer & Kuştaş, 2024). Estos hongos se dividen en tres grupos: los de podredumbre parda, que consumen celulosa y hemicelulosa, dejando la lignina casi intacta; los de podredumbre blanda, que alteran la lignina ablandando la madera; y, los de podredumbre blanca, también llamados hongos ligninolíticos, que se alimentan también de lignina. En términos de composición, el micelio es una estructura de los hongos con apariencia similar a la raíz de las plantas, constituida por una red de hifas ramificadas de textura similar a hilos entrelazados.

Existen distintos modos de fabricación biobasada o biofactura, la principal es aquella transformación, a través de moldes, pero también las hay por medio de extrusión lineal y técnicas más sofisticadas como la impresión 3D. La producción mediante moldes es una técnica práctica y económica que permite una mayor libertad de formas. Un aspecto característico de este sistema productivo se basa en la utilización de una matriz y un refuerzo, siendo, por ejemplo, gran parte de residuos de la industria agrícola y forestal los que sirven de alimento para la ramificación del micelio (Sydor et al., 2022).

Los compuestos elaborados a partir de micelio son materiales con capacidad para sustituir a los de origen sintético, obteniendo altos rendimientos en términos de adecuación acústica, aislamiento térmico, resistencia al fuego y ciertas propiedades mecánicas. Una de las propiedades más destacables de este tipo de biocompuesto es su capacidad para aislar el ruido. Según recientes experimentos que utilizan paneles biobasados (MBC) su absorción acústica supera el 70-75% en frecuencias alrededor de 1.000 Hz. En este sentido, es posible afirmar que, dependiendo de factores como el tipo de micelio y sustrato, el procedimiento de inoculación y las proporciones de los compuestos, se puede diseñar un producto basado en un material con un alto índice de absorción acústica, económicamente ventajosos y biodegradables (Anabaranze, 2023; Butu et al., 2020).

La preparación de mezclas y compuestos constituye un medio efectivo y económico para desarrollar materiales con las propiedades termoacústicas, físicas y mecánicas adecuadas (Andrew & Dhakal, 2022; Vinod et al., 2020). Sin embargo, en el caso de los materiales biobasados, es necesario un mayor esfuerzo investigativo para mejorar sus rendimientos y propiedades de acuerdo con las aplicaciones previstas. Según los expertos, se requieren técnicas de caracterización fisicoquímicas, térmicas, y mecánicas que son esenciales para optimizar el conocimiento de los materiales de base biológica (Vandelook et al., 2021).

Acústica en el ámbito de los materiales de construcción

La acústica es la rama de la física que estudia el sonido, sus características e interacción con el entorno. Tres conceptos fundamentales para comprender este campo de estudio son el sonido, la frecuencia y la reverberación. En este último caso, la calidad del material, en términos de densidad, porosidad y durabilidad, ha llevado al desarrollo de soluciones tanto para espacios interiores como exteriores, con el objetivo de mejorar aspectos vinculados al bienestar y al confort acústico (Ahmed & Tembhurkar, 2023). El ruido y su reverberación podrían clasificarse como agentes contaminantes físicos, siendo objeto de estudio en disciplinas como la higiene industrial, ergonomía, arquitectura y diseño, con el fin de prevenir enfermedades profesionales y asegurar el bienestar en un determinado contexto. Estudios recientes afirman que este factor afecta sustancialmente la calidad o confort acústico de los espacios, lo que, a mediano y largo plazo, podría desencadenar en la generación de enfermedades y patologías relacionadas, no solo con la sordera, sino también con el estrés, el insomnio, enfermedades coronarias, hipertensión, deterioro cognitivo e incluso enfermedades cardiovasculares (Nathanson & Berg, 2024).

El ruido se define como sonido no deseado que interfiere en la comunicación y se diferencia del sonido por su carácter subjetivo. Cotidianamente, el ruido se presenta en un amplio espectro, con algunos registros audibles para el oído humano y otros no, constituyendo una parte importante en el deterioro de la salud de las personas (Baeza et al., 2022). La norma chilena que entrega especificaciones sobre acústica en la edificación en Chile es la NCh 352:2000 (INN, 2000). Esta norma establece los requisitos y métodos para evaluar el aislamiento acústico en edificaciones, incluyendo protección frente al ruido aéreo, ruido de impacto y ruido generado por instalaciones técnicas, con el objetivo de garantizar el confort acústico en los espacios habitables. Sin embargo, pueden existir limitaciones en la regulación del ruido ambiental en zonas urbanas, lo que puede afectar la calidad de vida al interior de las viviendas, colegios y otras locaciones cercanas a fuentes de ruido, como lo son las carreteras, aeropuertos o industrias aledañas (Aiduang et al., 2022).

Existen diversas soluciones orientadas a productos de aislación y atenuación acústica, los más utilizados son el poliestireno, la lana mineral y la lana de roca, siendo la mayoría de sus compuestos de origen sintético (Pelletier et al., 2013). De igual forma, se destacan por su coeficiente de absorción los materiales compuestos con elementos porosos y de baja densidad, aspectos preponderantes en el diseño de productos aplicados a la arquitectura acústica, tanto en Chile como en el resto del mundo. Dado que el sector de la construcción es responsable de una gran cantidad de emisiones anuales de CO₂, replantear el uso de materiales para una edificación más sustentable es una tarea importante. Los paneles de absorción acústica son diseñados y fabricados con materiales que absorben un rango de ondas sonoras, las cuales penetran en el material y se convierten en energía térmica en lugar de reflejarse nuevamente en la habitación, absorbiendo y disipando la energía del sonido, lo que constituye una ventaja comparativa (Walter & Gürsoy, 2024; McManus & McKenzie, 2023). Los distintos paneles acústicos más especializados se destacan por atenuar la contaminación acústica, considerando principalmente el control en la reducción del eco y la reverberación, a través de la geometría en la absorción de las ondas sonoras (Guna et al., 2021).

Metodología

La metodología se desarrolla en tres etapas, indagación, estudio de biocompatibilidad y propuestas de diseño, abordando aspectos experimentales necesarios para estudiar compatibilidades entre los compuestos seleccionados para la elaboración de un material que será componente de un biopanel acústico. El principal objetivo es estudiar la compatibilidad entre residuos derivados de procesos industriales de elaboración de tableros de *Pinus radiata* de la industria MASISA S.A., con micelios que crecen de manera natural en el sector del Valle Nonguén de Concepción. Los residuos seleccionados son polvo de aserrín, papeles melamínicos y escoria. La investigación se realiza en la Universidad del Bío-Bío, cuya zona geográfica en común con la empresa colaboradora y entorno natural, es la Región del Biobío.

Etapa de Indagación

Se han considerado estudios preliminares que sugieren que la textura fina y porosa de la escoria, junto a su elevada concentración de silicato, aluminio, hierro y calcio, confieren propiedades mecánicas que podrían incrementar la resistencia y durabilidad en aplicaciones estructurales (Alarcón et al., 2023). Sin embargo, la biocompatibilidad depende fundamentalmente de una relación simbiótica entre los componentes y las especies fúngicas involucradas, donde la consigna de ensayo y error resulta ser esencial en las diversas etapas investigativas, las que se detallan a continuación:

Se llevó a cabo una revisión literaria que abarcó más de treinta documentos científicos sobre el uso de biopolímeros en paneles acústicos, analizando propiedades como la densidad, porosidad y capacidad de absorción acústica. Se puede afirmar que el micelio crece de manera eficaz en sustratos derivados de residuos de la industria de la madera, ricos en celulosa y lignina, tales como aserrín y virutas. Asimismo, para su adecuada colonización, se requieren niveles de humedad del 60-70% y temperaturas que oscilan entre 20°C y 30°C para un desarrollo óptimo. Un pH ligeramente ácido (5-6.5) favorece la descomposición de la lignina y la celulosa, mientras que una buena oxigenación resulta crucial para su respiración aeróbica, evitando la acumulación de CO₂. Preferentemente, el micelio se cultiva en condiciones de oscuridad o baja luminosidad, y en un ambiente estéril al inicio, con el fin de reducir la competencia de otros microorganismos y asegurar un crecimiento saludable.

Como resultado de esta etapa, se identificaron dos de las especies fúngicas más utilizadas en el diseño de materiales con cualidades acústicas. Además, se tomaron en cuenta experiencias previas en el contexto investigativo, las cuales brindan mayor certeza en términos de compatibilidad, producción y rendimiento, según los objetivos planteados. El hongo *Ganoderma australe*, conocido comúnmente como oreja de palo, se caracteriza por su imponente color café oscuro y su textura leñosa. Este hongo se puede encontrar durante todo el año, desde la zona sur hasta la zona austral, evidenciando así una amplia distribución (Elissetche et al., 2001). Experimentos en ambientes controlados demostraron su

adaptabilidad y capacidad de colonizar biomasa tanto en aserrín de *Pinus radiata*. Por otro lado, el hongo *Pycnoporus sanguineus*, que pertenece a los homobasidiomicetos saprófitos, presenta un gran potencial lignocelulósico.

Etapa de Estudio de Biocompatibilidad

La segunda fase de la investigación consistió en un análisis de compatibilidad bajo condiciones controladas, utilizando micelio de *Ganoderma australe* y *Pycnoporus sanguineus*, aplicándose a sustratos compuestos por residuos de madera en formatos de aserrín de *Pinus radiata*. Se generaron probetas para la colonización de un sustrato compuesto por aserrín de *Pinus radiata* en una proporción de 50% de cada componente. Se constató el crecimiento y reconstitución de membrana superficial en las caras externas de las probetas con una tonalidad intensa rojiza, aportando color y textura, lo que podría ser considerado en el proceso de diseño desde una perspectiva perceptual. Paralelamente, se llevaron a cabo estudios sobre la imbricación de las fibras (hifas) y las incompatibilidades entre las especies mencionadas y la escoria proveniente de los residuos generados por las quemaduras de biomaterial en calderas industriales de la industria MASISA S.A. Para evaluar el crecimiento, se inocularon y colonizaron muestras en entornos controlados de temperatura, humedad y pH. Una vez finalizada la colonización, las probetas fueron secadas a 60°C, conservando la estructura fúngica para maximizar las propiedades de absorción (Figura 1). En este contexto, se fabricaron probetas-molde en plástico Ácido Poliláctico (PLA), mediante impresión 3D, con la finalidad de configurar un molde para el diseño de futuras pruebas acústicas, a través de tubos de impedancia.



Figura 1: Ensayo del uso de micelio (*Ganoderma australe* y *Pycnoporus sanguineus*) combinado con residuos de la industria maderera. Se desarrollaron prototipos de 98 mm x 5 cm, utilizando aserrín y virutas de *Pinus radiata*, papel melamínico y escoria pulverizada. (A) *Ganoderma australe* y aserrín de *Pinus radiata*; (B) *Ganoderma australe* y escoria; (C) *Pycnoporus sanguineus*, aserrín y viruta de *Pinus radiata*; (D) *Pycnoporus sanguineus*, viruta de *Pinus radiata* y escoria; (E) *Pycnoporus sanguineus* y aserrín de *Pinus radiata*; (F) y (G) *Pycnoporus sanguineus* y virutas de *Pinus radiata*. Registro realizado con microscopio metalográfico UNITRON Examet-5 (50X).

Etapas Propositiva; La tercera fase abarcó el estudio de formatos y procesos de fabricación, mediante soportes tecnológicos. En esta etapa se exploraron diversas morfologías y tamaños para aplicaciones comerciales, visualizando tanto la modularidad como la eficiencia acústica de los paneles por medio de simulaciones (Figura 2).

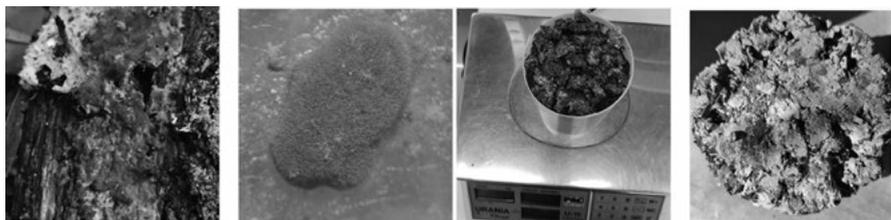


Figura 2: Colonización del micelio (*Pycnoporus sanguineus*) en sustratos. El micelio se incubó bajo condiciones controladas a 25°C, 90% de humedad y baja luz en una cámara de hidratación (Biobase, Modelo TCL Group). Durante 20 días, se monitoreó el crecimiento y la cohesión estructural de cada prototipo. a) *Pycnoporus sanguineus* en estado natural; b) inoculación del micelio; c) *Pycnoporus* aserrín y viruta de *Pinus radiata*; d) *Pycnoporus* contaminado (verde).

Resultados

Los resultados evidenciaron que el aserrín de *Pinus radiata*, provocó un crecimiento significativo del micelio, pero presentó una cohesión poco homogénea. Las partículas de pequeña escala como la del aserrín de *Pinus radiata*, permiten una mayor imbricación de hifas y sustrato, aumentando la densidad y resistencia de cada probeta. Esto sugiere la necesidad de recomendaciones orientadas a la dosificación de proporciones, dependiendo de cada aplicación. En el caso de materiales acústicos, el factor de densidad repercute directamente en el coeficiente de ambos componentes de los materiales. El proceso experimental destacó la influencia del tipo de residuo en la estabilidad del material final, lo que permitió proyectar futuras pruebas enfocadas en el rendimiento acústico. Para ello, se planificaron ensayos en un tubo de impedancia, técnica utilizada para medir las propiedades acústicas de los materiales, especialmente su capacidad de absorción y transmisión de sonido. Este método se fundamenta en la relación entre la presión sonora y la velocidad del flujo de aire en un material, lo que permite determinar la impedancia acústica del mismo y medir la capacidad de absorción sonora de los prototipos desarrollados. Es importante mencionar que esta etapa de la investigación se encuentra aún en desarrollo.

Los procesos creativos orientados a la concepción de formas inspiradas en la naturaleza han constituido un constante foco de interés en diversas ramas del conocimiento a lo largo de la historia de la humanidad (Kapsali, 2016; Walter & Gürsoy, 2021; Benyus, 2012; Freitas &

Vieira, 2018). Los organismos y sus ecosistemas naturales han experimentado un extenso proceso evolutivo que ha permitido la optimización de funciones y estructuras en su afán por perdurar en el entorno que habitan. En este contexto, los patrones geométricos presentes en la naturaleza, tales como la proporción áurea, la secuencia de Fibonacci, la subdivisión proporcional de Voronoi y el patrón geométrico conocido como reacción-difusión, representan algunas de las características geométricas observadas tanto en los seres vivos como en los patrones del medio ambiente que los rodea (Figura 3).

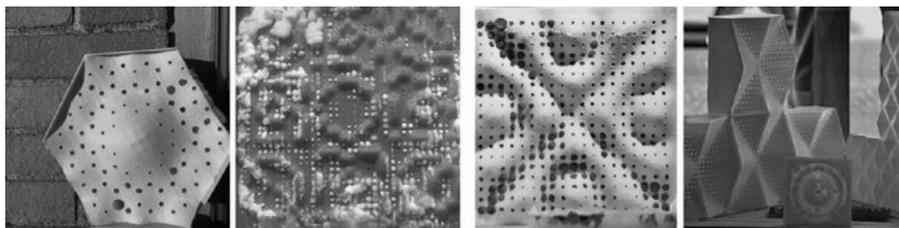


Figura 3: Desarrollo de modelos en el proceso de diseño de palmetas de atenuación acústica. Modelo de intención escala 1:1. Composición exterior cáscara de PLA interior; restos de viruta de *Pinus radiata* colonizada con *Pycnoporus sanguineus* y *Ganoderma australe*.

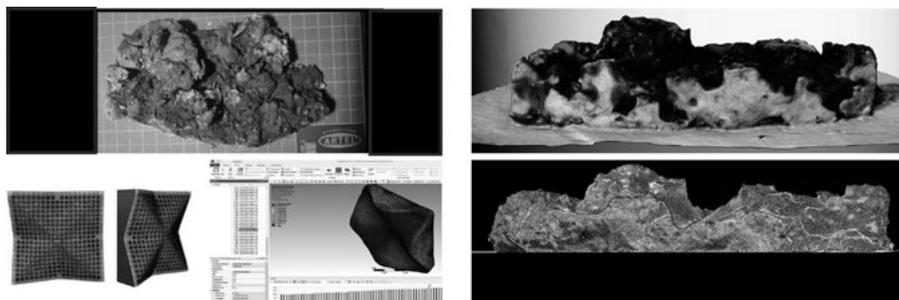


Figura 4. En la parte superior izquierda, se observa que la colonización del micelio (*Pycnoporus sanguineus*) se ve interrumpida por las características de la escoria (modelo físico). Las imágenes de la parte superior derecha e inferior derecha muestran el escaneo y el modelado del modelo físico, ambos registros realizados con software de fotogrametría 3DF Zephyr. En la parte inferior, se muestran modelos 3d utilizando softwares de diseño paramétrico (Rhinceros y Grasshopper), análisis de elementos finitos (ANSYS).

La interacción entre sonido, forma y materia ha sido explorada desde los inicios de la investigación científica y tecnológica, abarcando aspectos relacionados con la física, el espacio y los objetos. En el ámbito del lenguaje computacional, existen herramientas procedimentales, especialmente en la programación de algoritmos, que permiten la captura, análisis y materialización precisa y expedita de una determinada forma patrón geométrico. Programas de diseño paramétrico como lo son Rhinoceros y su plugings Grasshopper (Parakeet), sumado a softwares de simulación y análisis de elementos finitos (FEA), como lo es Ansys, forman parte del proceso investigativo orientado a la búsqueda de la forma asistida por computador en su relación con procesos de inoculación y colonización de micelios. Los modelos físicos y virtuales que a continuación ilustran y muestran cómo en las diversas etapas del diseño que se integran, a través del uso de software computacional y modelos físicos a escala, tanto en fases de morfologías complejas, como en simulaciones y procesos productivos (Castro & Pássaro, 2017; Cardoso, 2016) (Figura 4).

Conclusiones

El proceso de colonización del micelio en materiales madereros está condicionado por circunstancias específicas que favorecen su desarrollo efectivo. Los residuos de madera que son ricos en celulosa y lignina, constituyen un sustrato ideal al proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento del micelio. Este proceso requiere un ambiente inocuo y libre de contaminantes, lo que previene la competencia de otros microorganismos y que además facilita un crecimiento saludable y controlado del micelio. Condiciones tales como una adecuada oxigenación, humedad entre el 60% y 70%, temperatura óptima de 20°C a 30°C y un pH ligeramente ácido son fundamentales para asegurar que el micelio degrade la madera de manera eficiente, promoviendo así la producción de biomateriales sostenibles. El proceso experimental destacó la influencia del tipo de residuo en la estabilidad del material final, lo que posibilita proyectar futuras pruebas enfocadas en el rendimiento acústico. Se aislaron variables en procesos propensos al fracaso de los ensayos, tales como contaminaciones con otros elementos, como el moho *Penicillium*, fenómeno común en este tipo de investigación aplicada a materiales. Por otra parte, y como parte de las etapas del proceso que utilizan residuos categorizados y dos tipologías de hongos, fundamentadas en experiencias previas y en la literatura revisada, estos presentan un alto índice de adaptabilidad y crecimiento una vez colonizada la biomasa. Su potencial rendimiento acústico evaluado, mediante modelos físicos y simulaciones virtuales generadas en software de diseño paramétrico (Rhinoceros y Grasshopper), sumado a análisis de elementos finitos (ANSYS), han sido parte crucial en la metodología empleada para generar una aproximación de su rendimiento, modularidad y morfología acústica óptimas (Figura 5).

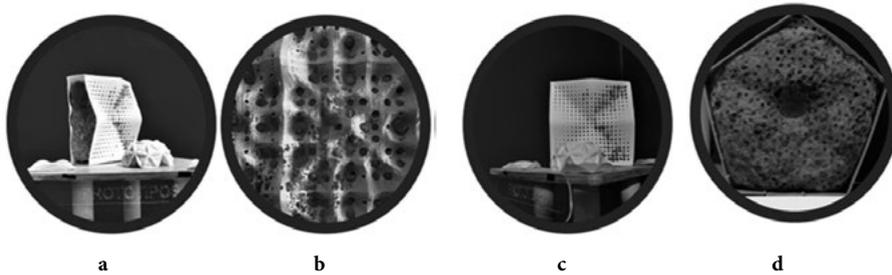


Figura 5: Diseños preliminares en procesos de form finding de módulos de atenuación acústica. a) Morfología cimática 40 Hz (Durán, 2020); b) Diseño e impresión de membrana permeable y micelio *Pycnoporus*; c) Panel cimático 40 Hz frontis, *Pycnoporus* y PLA; d) Palmeta pentagonal de *Pycnoporus* y aserrín y virutas de *Pinus radiata*.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) de Chile, proyecto FONDECYT REGULAR N°1221361. Además, agradecen el apoyo del Departamento de Arte y Tecnologías del Diseño (DATD) y del Laboratorio de Química Aplicada y Sustentable (LABQAS), Universidad del Bío-Bío.

Referencias

- Ahmed, I., & Tembhurkar, A. R. (2023, September). *Assessment of noise pollution in a school building - A case study*. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 11(9).
- Aiduang, W., Chanthaluck, A., Kumla, J., Jatuwong, K., Srinuanpan, S., Waroonkun, T., Oranratmanee, R., Lumyong, S., & Suwannarach, N. (2022). *Amazing fungi for eco-friendly composite materials: A comprehensive review*. Journal of Fungi, 8(8), 842. <https://doi.org/10.3390/jof8080842>
- Alarcón, J., Alarcón, F., & Alvear, C. (2024). Materiales para la transición, enfoque centrado en la valorización de residuos de la industria de la madera. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 49(1), 52-59.
- Almpani-Lekka, D., Pfeiffer, S., Schmidts, C., & Seo, SI (2021). *Una revisión sobre la arquitectura con biomateriales fúngicos: lo deseado y lo factible*. *Biología y biotecnología fúngica*, 8 (1), 17.

- Anabaranze, Y. O. (2023). *Mycelium-based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties, and potential for green building and construction applications*.
- Andrew, J. J., & Dhakal, H. N. (2022). Sustainable biobased composites for advanced applications: Recent trends and future opportunities – A critical review. *Composites Part C, Open Access*, 7, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100220>
- Baeza Moyano, D., Arranz Paraiso, D., & González-Lezcano, R. A. (2022). Possible effects on health of ultrasound exposure, risk factors in the work environment and occupational safety review. *Healthcare (Basel)*, 10(3), 423. <https://doi.org/10.3390/healthcare10030423>
- Bayer, E., Winiski, J. M., Lucht, M. J., Mueller, P. J., McIntyre, G. R., & O'Brien, M. A. (2019). *Open-cell mycelium foam and method of making same*. United States Patent No. US20190390156A1. United States Patent and Trademark Office.
- Benyus, J. (2012). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*.
- Butu, A., Rodino, S., Miu, B., & Butu, M. (2020). *Mycelium-based materials for the ecodesign of bioeconomy*. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 15(4), 1129-1140.
- Cardoso, R. (2016). Design para um mundo complexo. Ubu.
- Castro, G., & Pássaro, A. (2017). *Tentáculos: criaturas híbridas, analógico-digitais*. Recuperado el 01 de noviembre del 2024 de <https://www.researchgate.net/publication/330571904>
- Dúran Vivanco, E. D. (2020). *Patrones cimáticos: aplicación de nuevos medios y técnicas vernáculos en procesos de diseño para espacios de uso temporario* (Tesis de doctorado, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro). Programa de Pós Graduação em Design, PUC-Rio.
- Elissetche, J., Ferraz, A., Parra, C., & Rodríguez, J. (2001). *Biodegradation of Chilean native wood species, *Drimys winteri* and *Nothofagus dombeyi*, by *Ganoderma australe**. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(6), 577-581. <https://doi.org/10.1023/A:1012421513564>
- Freitas, M., & Vieira, J. M. (2018). *Fundamentos da Biônica e da Biomimética e exemplos aplicados no laboratório de biodesign na UFPE*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/330571904_Fundamentos_da_Bionica_e_da_Biomimetica_e_Exemplos_Aplicados_no_Laboratorio_de_Biodesign_na_UFPE
- Gezer, E. D., & Kuştaş, S. (2024). *Acoustic and thermal properties of mycelium-based insulation materials produced from desiccated wheat straw - Part B*. *Bioresources*, 19(1), 1348-1364. <https://doi.org/10.15376/bioresources.19.1.1348-1364>
- Ka, V., Ilangovan, M., Reddy, N., Radhakrishna, P. G., Maharaddi, V. H., Jambunath, A., & Rao, A. P. (2021). *Biobased insulating panels from mulberry stems*. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 36(2), 453-472. <https://doi.org/10.1177/08927057211010884>
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). *Advanced materials from fungal mycelium: fabrication and tuning of physical properties*. *Scientific reports*, 7(1), 41292.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2000). *Acústica - Aislamiento acústico en la edificación (NCh 352:2000)*. Instituto Nacional de Normalización. <https://www.inn.cl>
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). *Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review*. *Materials & Design*, 187, 108397.

- Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F., & John, S. (2017). *Mycelium composites: a review of engineering characteristics and growth kinetics*. *Journal of Bionanoscience*, 11(4), 241-257.
- Kapsali, V. (2016). *Biomimetics for designers*. Thames & Hudson.
- Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2013). *Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review*. *Construction and Building materials*, 38, 872-878.
- McManus, F., & McKenzie, A. (2023). *Basic acoustics and human sound perception*. In *The Edinburgh Companion to Sound Studies* (pp. 9-16). <https://doi.org/10.3366/edinburgh/9781399505048.003.0002>
- Nathanson, J. A., & Berg, R. E. (2024, Febrero 22). Noise pollution. In *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/noise-pollution>
- Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Bayer, E., & McIntyre, G. (2013). *An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates*. *Industrial Crops and Products*, 51, 480-485.
- Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2007). *Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article*. *Energy and buildings*, 39(3), 249-257.
- Shakir, M. A., & Ahmad, M. I. (2024). *Bioproduct advances: Insight into failure factors in mycelium composite fabrication*. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*. <https://doi.org/10.1002/bbb.2620>
- Sydor, M., Bonenberg, A., Doczekalska, B., & Cofta, G. (2022). *Mycelium-based composites in art, architecture, and interior design: A review*. *Polymers (Basel)*, 14(1), 145. <https://doi.org/10.3390/polym14010145>
- Thormark, C. (2002). *A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential*. *Building and environment*, 37(4), 429-435.
- Vandelook, S., Elsacker, E., Van Wylick, A., De Laet, L., & Peeters, E. (2021). *Current state and future prospects of pure mycelium materials*. *Fungal Biology and Biotechnology*, 8, 20. <https://doi.org/10.1186/s40694-021-00128-1>
- Vinod, A. V., Sanjay, M. R., Siengchin, S., & Parameswaranpillai, J. (2020). *Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers, and biocomposites*. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120978. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120978>
- Walter, N., & Gürsoy, B. (2024). *A study on the sound absorption properties of mycelium-based composites cultivated on waste paper-based substrates*. *Biomimetics*, 7(3), 100. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030100>

Abstract: Acoustics, a discipline of physics that studies sound and its interaction with the environment, focuses on key concepts such as sound, frequency and reverberation. The quality of acoustic attenuation materials depends on their density, porosity and durability, which is crucial to improve acoustic comfort in both indoor and outdoor spaces. In this context, biobased materials have gained relevance due to their positive impact on human

life and the environment. In recent decades, biopolymers have challenged the paradigms of synthetic polymers, with mycelium compounds being a promising alternative in the field of design, architecture and construction. Mycelium is a fungal structure that resembles tree roots; its incorporation into the design of panels contributes to generating performances with high sound absorption rates of over 70-75% at sound frequencies. The manufacture of acoustic panels from mycelium presents economic advantages and a low environmental impact. This research combines sound-driven design, which focuses on sound interaction for human well-being, with the development of materials inspired by nature and the circular economy. Compatibility tests were carried out using mycelium of *Ganoderma australe* and *Pycnoporus sanguineus* fungi on wood waste substrates, evaluating colonization procedures for biobased matrices high in lignin and cellulose, and then exploring different morphologies through visualization technologies and digital manufacturing.

Keywords: acoustics - biopolymers - mycelia - wood - sustainability.

Resumo: A acústica, uma disciplina da física que estuda o som e sua interação com o meio ambiente, concentra-se em conceitos-chave como som, frequência e reverberação. A qualidade dos materiais de atenuação acústica depende da sua densidade, porosidade e durabilidade, o que é crucial para melhorar o conforto acústico tanto em espaços interiores como exteriores. Neste contexto, os materiais de base biológica têm ganhado relevância devido ao seu impacto positivo na vida humana e no meio ambiente. Nas últimas décadas, os biopolímeros têm desafiado os paradigmas dos polímeros sintéticos, sendo os compostos de micélio uma alternativa promissora na área do design, arquitetura e construção. O micélio é uma estrutura fúngica que lembra raízes de árvores; A sua incorporação no design dos painéis contribui para gerar desempenhos com elevadas taxas de absorção sonora superiores a 70-75% nas frequências sonoras. A fabricação de painéis acústicos a partir de micélio apresenta vantagens econômicas e baixo impacto ambiental. Esta investigação combina o design orientado para o som, que se centra na interação sonora para o bem-estar humano, com o desenvolvimento de materiais inspirados na natureza e na economia circular. Foram realizados testes de compatibilidade utilizando micélio dos fungos *Ganoderma australe* e *Pycnoporus sanguineus* em substratos de resíduos de madeira, avaliando procedimentos de colonização para matrizes de base biológica ricas em lignina e celulose, e posteriormente explorando diferentes morfologias através de tecnologias de visualização e fabricação digital.

Palavras-chave: acústica - biopolímeros - micélios - madeira - sustentabilidade.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]