

CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE PANELES DISEÑADOS A PARTIR DE TABLEROS AGLOMERADOS DE BAGAZO CERVECERO

**Fernando Bacigalupo¹, Nilda Vechiatti², Federico Iasi², Germán Galarza²,
Lucia Rossi³, Emiliano Ciannamea³, Pablo Stefani³, María Andrea Farina^{1,4}**

¹ Programa: Sistemas y espacialidad en el arte sonoro (SEAS). Escuela Universitaria de Artes.
Universidad Nacional de Quilmes

² Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de
Buenos Aires

³ Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA), Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP)

⁴ Instituto de Investigación en Producción y Enseñanza del Arte Argentino y Latinoamericano
(IPEAL). Facultad de Artes. Universidad Nacional de La Plata

RESUMEN: Este trabajo evalúa las propiedades acústicas de fonoabsorbentes microperforados fabricados a partir de tableros sostenibles elaborados con el residuo sólido de la producción de cerveza (bagazo cervecero). La temática se enmarca en la actual demanda global de estrategias de economía circular que promuevan la valorización de los residuos agroalimentarios mediante su reinserción como materias primas en nuevos procesos productivos. En particular, se aborda el aprovechamiento del bagazo, mediante su transformación en tableros aglomerados aptos para aplicaciones acústicas. Estos tableros, utilizados como base en el diseño de absorbentes, ofrecen una alternativa funcional y ambientalmente favorable frente a paneles comerciales convencionales. Se presentan algunos modelos posibles y los resultados de coeficiente de absorción sonora medidos en tubo de impedancia basado en la función de transferencia. Los resultados obtenidos muestran que estos materiales, con un 88% de contenido de componentes biobasados, presentan un alto potencial para aplicaciones de control acústico.

Palabras clave: fonoabsorbentes, biobasado, economía circular.

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales de construcción tradicionales genera un impacto ambiental considerable, asociado al elevado consumo de recursos naturales y a las emisiones derivadas de sus procesos de producción (Almusaed *et al.* 2024). Frente a esta problemática, se plantea la necesidad de innovar en el desarrollo de materiales constructivos sostenibles, promoviendo la extensión de la vida útil de los recursos a través de su reincorporación en nuevas cadenas productivas. Por ejemplo, los residuos de construcción y demolición representan entre el 13% y el 40% del total de los residuos sólidos urbanos dependiendo del país, y tienen un alto potencial como fuente alternativa en el diseño de nuevos materiales. En este contexto, el nuevo paradigma de la construcción sostenible es el desarrollo de materiales y sistemas constructivos con bajo impacto ambiental, que presenten propiedades específicas, como resistencia, rigidez, durabilidad y capacidad como aislante térmico y/o acústico, diseñadas en función de su aplicación (Vechiatti *et al.*, 2023; Ferrandez-Villena *et al.*, 2022).

Los paneles o tableros de madera aglomerada pueden ser utilizados como materiales con buena prestación acústica si se trabajan con un diseño de manera correcta. Se producen por prensado en caliente, combinando partículas de madera con adhesivos poliméricos (Ciannamea *et al.*, 2017). Según datos de la "Food and Agriculture Organization" (FAO) la producción mundial de tableros aglomerados de madera fue de 117 millones de m³ en el año 2023 con un crecimiento de aproximadamente 40% en



los últimos 10 años (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>). Debido al aumento sostenido en la demanda de madera, se han impulsado estrategias sostenibles orientadas al diseño y cultivo de nuevos clones de especies de rápido crecimiento (Bulman *et al.*, 2023), así como el uso de materiales lignocelulósicos alternativos, que permitan reducir la presión sobre los recursos forestales (Chalapud *et al.*, 2020). En particular, como sustitutos de la madera, se han propuesto nuevos paneles aglomerados elaborados a partir de tallos de arroz (Yang *et al.*, 2003), fibras de coco (Zulkifly *et al.*, 2009), bambú (Karlinasari *et al.*, 2012), yute (Fatima *et al.*, 2011), entre otras biomásas (Ferrandez-Villena *et al.*, 2022).

El residuo sólido generado durante la producción de cerveza, conocido como bagazo cervecero, se presenta como un candidato atractivo para sustituir parcialmente a la madera en la fabricación de tableros aglomerados. A nivel global, la producción anual de cerveza alcanza los 190 millones de toneladas (www.fao.org/faostat), generándose bagazo a una tasa aproximada de 20 kg por cada 100 litros elaborados (Barbu *et al.*, 2021). Este residuo se clasifica como un material lignocelulósico y está compuesto por hemicelulosas (19–40%), celulosa (10–25%), lignina (11–27%), proteínas (14–30%) y polisacáridos como el almidón (Rossi *et al.*, 2024). El alto contenido de humedad que adquiere posterior al proceso de maceración (80%) y su composición química (principalmente los carbohidratos y proteínas) lo hacen vulnerable al deterioro microbiano y químico, causado por hongos, levaduras y bacterias aeróbicas (Robertson *et al.*, 2010). Debido a estas características, su transporte se ve limitado a distancias reducidas desde el lugar de producción, lo que plantea importantes desafíos ambientales, logísticos y económicos. Actualmente, el bagazo cervecero se descarta o se utiliza principalmente como alimento para ganado porcino (Barbu *et al.*, 2021). La fabricación de tableros aglomerados sostenibles basados en bagazo cervecero, permitiría la reutilización a una alta escala del residuo, reduciría el impacto ambiental que genera el sobre consumo de la madera cultivada y, debido a que se obtiene directamente en forma de partículas, evitaría el consumo de energía asociado a los procesos de chipeado y molienda (Rossi *et al.*, 2024). En el ámbito acústico, los paneles de alta densidad de bagazo cervecero podrían sustituir a los tableros aglomerados tradicionales de madera cultivada comúnmente utilizados en el diseño de absorbentes acústicos microperforados. Estos dispositivos, están concebidos para atenuar frecuencias específicas, y son especialmente útiles en entornos donde se requiere controlar bandas de frecuencia determinadas.

El objetivo del presente trabajo es analizar las propiedades acústicas de fonoabsorbentes microperforados desarrollados a partir de paneles sostenibles elaborados con bagazo cervecero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y acondicionamiento

Se utilizó bagazo de malta Pilsner provisto por una cervecería de la ciudad de Mar del Plata (Argentina). El bagazo, tal como viene de la fábrica, se secó hasta alcanzar un contenido de humedad del 5% en peso en una estufa con circulación forzada (Memmert, Francia) a $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y luego se almacenó en recipientes herméticos a temperatura ambiente hasta su uso.

Como aglomerante se utilizó un adhesivo fenólico líquido (viscosidad 200 Pa·s a 25 °C) con un contenido de sólidos del 54% para uso en ambiente exterior, provisto por Industria Química Ltda. (Paraná, Brasil).

Producción de los tableros aglomerados

Se obtuvieron tableros aglomerados de manera similar a lo informado por Rossi *et al.* (2024), con una densidad y espesor objetivo de 1000 kg/m³ y 5 mm, respectivamente. En todas las formulaciones se utilizó un contenido del 12% en base seca del adhesivo fenólico. El bagazo se mezcló con el adhesivo durante 10 minutos a temperatura ambiente en un mezclador orbital (Silcook, China). La mezcla resultante fue prensada en caliente (prensa E.M.S., Argentina) utilizando un molde de acero de 250 mm x 250 mm x 5 mm. Se obtuvieron tableros rígidos con la densidad y el espesor deseados aplicando una

presión de $(2,1 \pm 0,1)$ MPa a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 minutos. Se prepararon un total de 8 tableros para su evaluación.

Caracterización mecánica y estabilidad al agua de los tableros

Los tableros aglomerados fueron acondicionados en una cámara con una humedad relativa del 65% y una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 7 días antes de los ensayos. El desempeño de los tableros obtenidos se evaluó siguiendo los procedimientos estándar establecidos en la norma ASTM D 1037-93. Las propiedades mecánicas se determinaron utilizando una máquina de ensayo universal INSTRON-EMIC 2350 (Brasil). Las propiedades a la flexión, como el módulo de rotura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), se evaluaron en probetas rectangulares de $50\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, empleando una velocidad de desplazamiento del cabezal de $2,9\text{ mm/min}$ y una luz entre apoyos de 130 mm . La resistencia interna (RI) se midió utilizando muestras de $50\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, con una velocidad de desplazamiento del cabezal de $1,33\text{ mm/min}$. Adicionalmente, se extrajeron muestras de $50\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ de los especímenes sometidos al ensayo de flexión para evaluar el contenido de humedad de equilibrio (CHE), el hinchamiento (TS) y absorción (WA) por inmersión en agua a 2 h y 24 h. Las mediciones de ganancia de peso y espesor se realizaron inmediatamente después de cada inmersión. Se evaluó un mínimo de 10 muestras por cada propiedad medida.

Diseño de los paneles acústicos

En el diseño acústico de las muestras a ensayar se consideraron los aspectos que definen un fonoabsorbente microperforado: la cantidad, la distribución y la geometría de las perforaciones. Para un funcionamiento óptimo como resonador se tomó en cuenta la relación entre el espesor del tablero (limitado a 5 mm) y el diámetro de los agujeros. Otro factor que se estudió fue el índice de transparencia del resonador basado en la cantidad de perforaciones.

A partir de los tableros aglomerados de bagazo cervecero de 5 mm de espesor promedio, se confeccionaron muestras circulares de 99 y 29 mm de diámetro a las que se les practicaron diferentes configuraciones de perforación utilizando un equipo de control numérico por computadora (CNC):

- Muestra 1: Diámetro agujeros: 3 mm – Separación entre ejes de agujeros: 12 mm
- Muestra 2: Diámetro agujeros: $2,5\text{ mm}$ – Separación entre ejes de agujeros: 16 mm
- Muestra 3: Diámetro agujeros: 2 mm – Separación entre ejes de agujeros: 14 mm
- Muestra 4: Diámetro agujeros: 6 mm – Separación entre ejes de agujeros: 9 mm

En la Figura 1 pueden apreciarse las muestras ensayadas. En la Figura 2 se muestra la lana rústica de oveja con la que rellenó la cavidad de los resonadores en algunas de las configuraciones. Previo a los ensayos las muestras fueron estabilizadas nuevamente en una cámara con 65% de humedad relativa a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 7 días.



Figura 1: De izquierda a derecha, muestras 1 a 4 ensayadas



Figura 2: Lana rústica de oveja (35 mm de espesor)

Ensayos de absorción sonora

En el Laboratorio de Acústica y Luminotécnica de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires se realizó la medición del coeficiente de absorción sonora para incidencia normal del sonido de las muestras empleando un tubo de impedancia basado en la función de transferencia.

Instrumental e instalaciones utilizadas

- Tubo de impedancia con software de procesamiento de señal basado en la función de transferencia (TF), marca LAL-CIC, modelo GAG001.
- Tubo de impedancia basado en la relación de onda estacionaria (SWR), marca Brüel & Kjaer, modelo 4002.
- Oscilador, marca Brüel & Kjaer, modelo 1022.
- Espectrómetro analógico, marca Brüel & Kjaer, modelo 2112
- Frecuencímetro, marca Beckman Industrial, modelo FC 130

Ambos tubos de impedancia, SWR y TF, incluyen dos tubos: “grande” (diámetro interior: 100 mm) y “chico” (diámetro interior: 30 mm).

Metodología de las mediciones

Para la realización de las mediciones con el tubo TF, también conocido como sistema de tubos de impedancia de dos micrófonos, se siguieron los lineamientos descritos en las normas:

ISO 10534-2 “Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes, Part 2: Transfer-function method”

ASTM E 1050 “Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis system”

Se midieron los coeficientes de absorción sonora para incidencia normal del sonido (α_N), generando ruido de banda ancha, en el rango de tercios de octava con frecuencias centrales comprendidas entre 100 Hz y 1 600 Hz. Se empleó el tubo grande, por lo que se utilizaron probetas de 99 mm de diámetro. En todos los casos, como se observa en la Figura 3, las probetas estuvieron colocadas en el borde externo del porta-muestras, dando lugar a la formación de una cámara posterior de 50 mm de profundidad detrás de cada placa ensayada.



Figura 3: Porta-muestras

Las muestras se evaluaron en dos condiciones:

- VACÍA: cámara posterior vacía, sólo con aire.
- CON LANA: cámara posterior con aire y con lana rústica de oveja, de 35 mm de espesor, colocada en la parte posterior de la cavidad (apoyada contra la superficie metálica del porta-muestras). La lana rústica de oveja es un material fibroso, fonoabsorbente (Vechiatti *et al.*, 2023).

Las mediciones realizadas con el tubo TF fueron validadas con mediciones realizadas en el tubo SWR, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas:

ISO 10534-1:1996 - Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: Method using standing wave ratio (Last review: 2022).

ASTM C384-04 (Reapproved 2016): Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method.

Los resultados de las propiedades acústicas fueron obtenidos como el promedio sobre 5 probetas por configuración geométrica (muestra 1 a 4) con lana y sin lana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades mecánicas y de inmersión en agua de los tableros

Se obtuvieron tableros aglomerados sostenibles con un contenido biobasado del 88% a partir de bagazo de cerveza. En las Tablas 1 y 2 se resumen sus propiedades mecánicas y de estabilidad al agua. Se alcanzaron valores de resistencia (MOR) y rigidez (MOE) a la flexión, y especialmente de resistencia interna (RI), que se encuentran dentro del rango de los estándares establecidos para tableros aglomerados de madera convencionales o basados en otros sustratos (Ciannamea *et al.*, 2017; Hunt *et al.*, 2018). Asimismo, los valores de absorción de agua (WA) e hinchamiento del espesor (TS) resultaron notablemente bajos, lo que los hace adecuados para aplicaciones en ambiente exterior con mojado ocasional. Este comportamiento puede atribuirse a las características químicas y reológicas del adhesivo fenólico utilizado, que promueven una interacción eficiente entre las partículas del sustrato lignocelulósico (Ayrilmis *et al.*, 2012; Ciannamea *et al.*, 2017). Los adhesivos fenólicos poseen la capacidad de mojar, distribuirse uniformemente y penetrar tanto en los lúmenes como en las paredes celulares del sustrato vegetal, lo que favorece una adhesión eficaz entre las partículas que conforman el tablero (Rossi *et al.*, 2024). El proceso de prensado en caliente, permite simultáneamente consolidar una red polimérica altamente entrecruzada (Pascault, 2013). La formación de una red polimérica insoluble mejora significativamente el desempeño de los tableros bajo exposición al agua además de su integridad mecánica.

Tabla 1: Resultados de las propiedades mecánicas de los tableros: contenido de humedad de equilibrio (CHE), módulo de rotura (MOR), módulo de elasticidad (MOE) y resistencia interna (RI)

CHE (%)	MOR (MPa)	MOE(GPa)	RI(MPa)
8,3 ± 0,1	6,80 ± 0,64	0,94 ± 0,07	0,7 ± 0,05

Tabla 2: Resultados de absorción (WA) e hinchamiento del espesor (TS) a 2 y 24 h de inmersión en agua

WA 2h (%)	TS 2h (%)	WA 24 h (%)	TS 24 h (%)
15,1 ± 2,1	11,2 ± 1,90	33,8 ± 2,3	33,6 ± 2,9

Resultados acústicos

Los valores del coeficiente de absorción para incidencia normal del sonido (α_N , adimensional) obtenidos para la condición con cámara de aire de 50 mm (VACÍA), se presentan en la Tabla 3 y en la Figura 4.

Para la condición con cámara de aire de 15 mm + 35 mm de lana rústica de oveja (CON LANA) los valores del coeficiente de absorción para incidencia normal del sonido (α_N , adimensional) obtenidos para esta condición se presentan en la Tabla 4 y en la Figura 5.

En la Tabla 5 y en las Figuras 6 a 9 se presentan en forma individual y comparativamente los valores del coeficiente α_N obtenidos para los cuatro materiales (VACÍA vs. CON LANA). En la Figura 9, además se incluye la curva de absorción de la lana rústica de oveja medida en forma separada.

Los resultados obtenidos muestran que las diferentes configuraciones de perforación practicadas a los tableros de aglomerado de bagazo cervecero, montadas con cámara posterior, tanto vacía como con material fibroso, se comportan como fonoabsorbentes microperforados.

Variando la configuración del perforado (densidad, diámetro y separación entre centros de agujeros), se puede modificar la frecuencia en la que la absorción sonora es máxima y el ancho de banda en el que son efectivos, lo que permite hacer diseño de resonadores acústicos sintonizados a las condiciones de aplicación requeridas.

El agregado de material fibroso en el fondo de la cavidad posterior no modificó la frecuencia de máxima absorción, pero aumentó el coeficiente de absorción en casi todas las frecuencias y esto generó un aumento del ancho de banda. Este efecto fue menos notable en el tablero con las perforaciones de menor diámetro (2 mm, Muestra 3).

La Muestra 4, con perforaciones cuyo diámetro es mayor que el de las otras muestras y, especialmente con diámetro de agujero mayor que el espesor del material, muestra cómo a medida que el material tiene mayor superficie perforada tiende a ser prácticamente “transparente” en cuanto a ser atravesado por el sonido. En la Figura 9 se observa que esta muestra, con lana por detrás, copia por debajo de los 400 Hz, el comportamiento de la lana sola.

Tabla 3: Coeficiente α_N - Cavity: 50 mm de aire (VACÍA)

Frecuencia [Hz]	Muestra 1 $\phi = 3 \text{ mm}$ $d = 12 \text{ mm}$	Muestra 2 $\phi = 2,5 \text{ mm}$ $d = 16 \text{ mm}$	Muestra 3 $\phi = 2 \text{ mm}$ $d = 14 \text{ mm}$	Muestra 4 $\phi = 6 \text{ mm}$ $d = 9 \text{ mm}$
100	0,04	0,04	0,05	0,04
125	0,04	0,04	0,05	0,04
160	0,03	0,04	0,05	0,03
200	0,04	0,07	0,09	0,04
250	0,06	0,15	0,18	0,04
315	0,10	0,29	0,50	0,04
400	0,13	0,58	0,86	0,04
500	0,26	0,82	0,76	0,05
630	0,43	0,56	0,52	0,06
800	0,46	0,27	0,26	0,07
1000	0,30	0,17	0,15	0,10
1250	0,19	0,13	0,12	0,14
1600	0,17	0,14	0,13	0,15

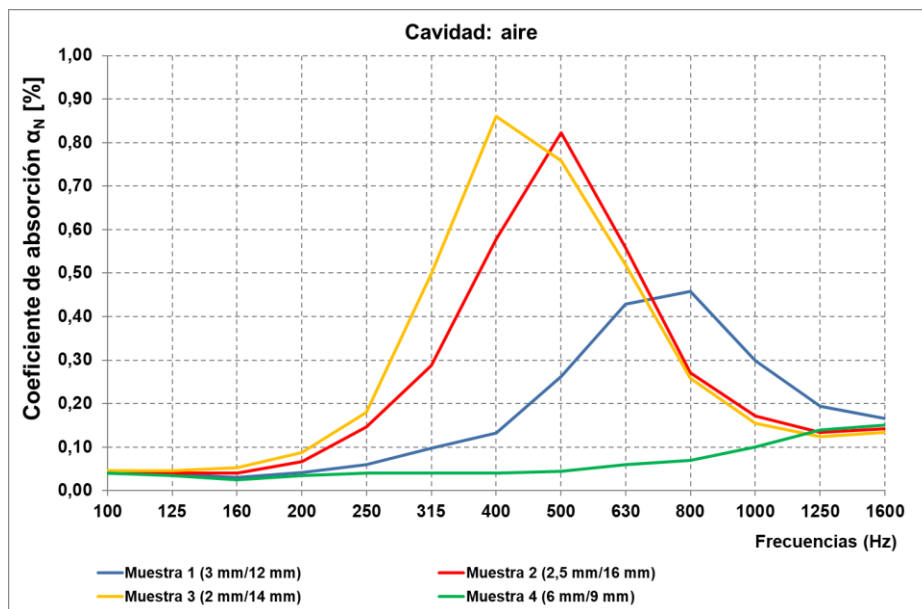


Figura 4: Coeficiente α_N - Cavity de aire: 50 mm (VACÍA)

Tabla 4: Coeficiente α_N - Cavidad: 15 mm de aire + 35 mm de lana rústica de oveja (CON LANA)

Frecuencia [Hz]	Muestra 1 $\phi = 3$ mm d = 12 mm	Muestra 2 $\phi = 2,5$ mm d = 16 mm	Muestra 3 $\phi = 2$ mm d = 14 mm	Muestra 4 $\phi = 6$ mm d = 9 mm
100	0,07	0,07	0,08	0,07
125	0,07	0,08	0,09	0,07
160	0,08	0,10	0,13	0,07
200	0,10	0,16	0,21	0,09
250	0,14	0,26	0,38	0,11
315	0,21	0,40	0,78	0,13
400	0,33	0,78	0,93	0,15
500	0,47	0,92	0,79	0,18
630	0,72	0,62	0,42	0,22
800	0,61	0,35	0,33	0,28
1000	0,37	0,22	0,17	0,37
1250	0,23	0,16	0,14	0,42
1600	0,19	0,16	0,14	0,40

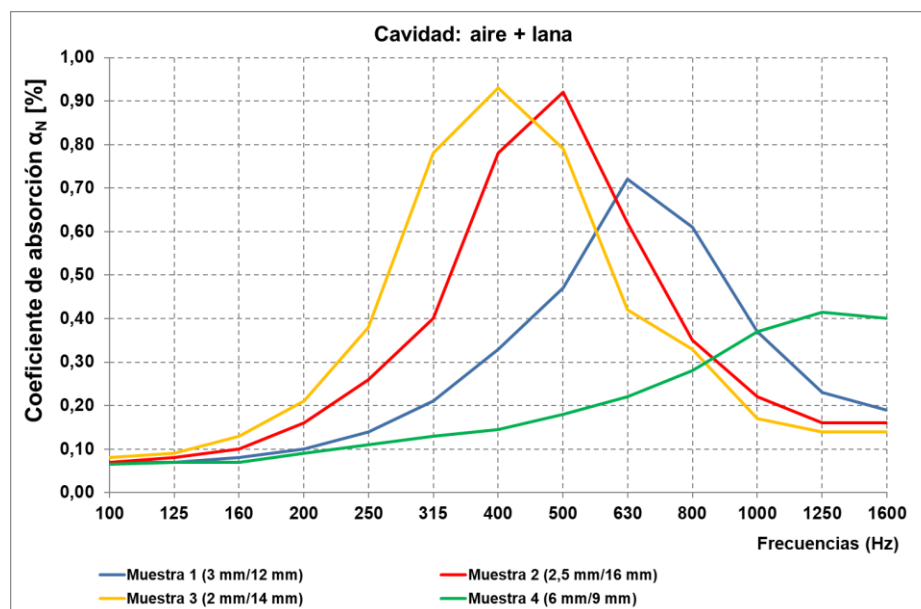
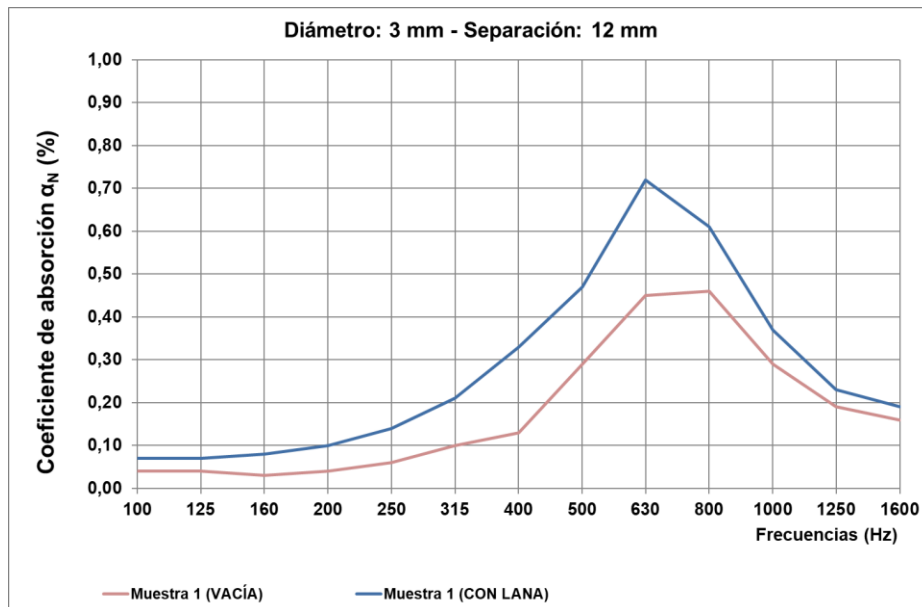
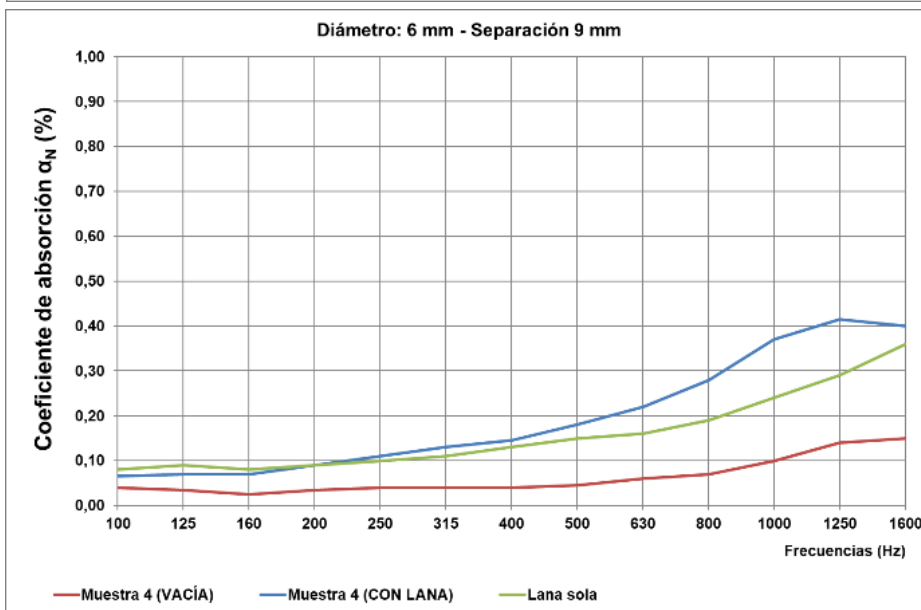
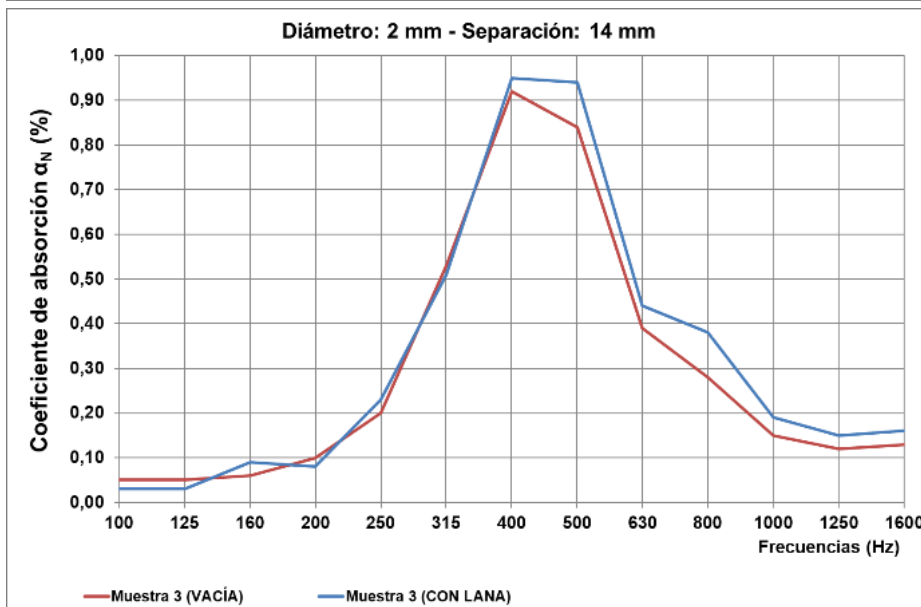
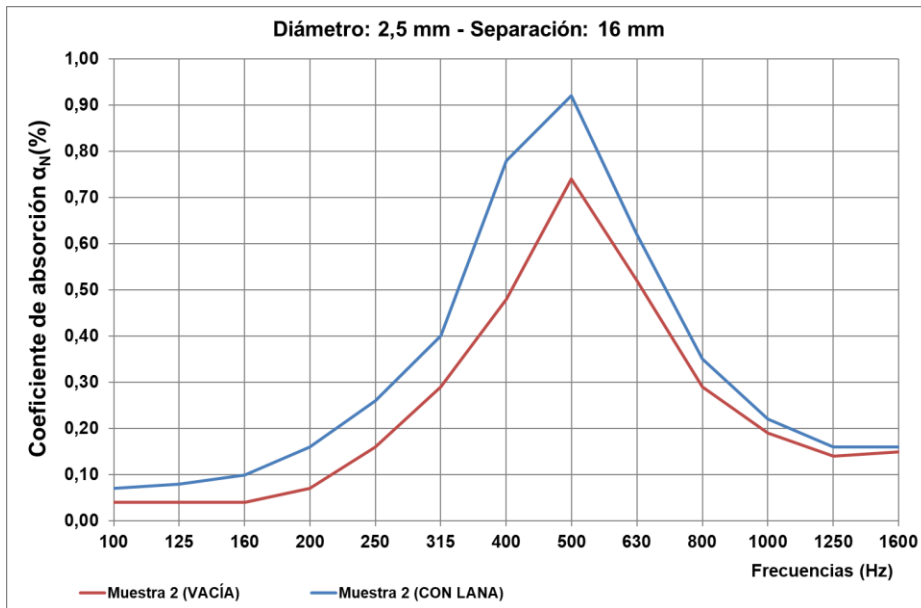


Figura 5: Coeficiente α_N - Cavidad: 15 mm de aire + 35 mm de lana rústica de oveja (CON LANA)

Tabla 5: Coeficiente α_N - Comparación cavidad "vacía" vs. cavidad con "aire + lana"

Frecuencia [Hz]	Muestra 1 ϕ : 3 mm d: 12 mm		Muestra 2 ϕ : 2,5 mm d: 16 mm		Muestra 3 ϕ : 2 mm d: 14 mm		Muestra 4 ϕ : 6 mm d: 9 mm	
	VACÍA	CON LANA	VACÍA	CON LANA	VACÍA	CON LANA	VACÍA	CON LANA
100	0,04	0,07	0,04	0,07	0,05	0,08	0,04	0,07
125	0,04	0,07	0,04	0,08	0,05	0,09	0,04	0,07
160	0,03	0,08	0,04	0,10	0,06	0,13	0,03	0,07
200	0,04	0,10	0,07	0,16	0,10	0,21	0,04	0,09
250	0,06	0,14	0,16	0,26	0,20	0,38	0,04	0,11
315	0,10	0,21	0,29	0,40	0,53	0,78	0,04	0,13
400	0,13	0,33	0,48	0,78	0,92	0,93	0,04	0,15
500	0,29	0,47	0,74	0,92	0,84	0,79	0,05	0,18
630	0,45	0,72	0,52	0,62	0,39	0,42	0,06	0,22
800	0,46	0,61	0,29	0,35	0,28	0,33	0,07	0,28
1000	0,29	0,37	0,19	0,22	0,15	0,17	0,10	0,37
1250	0,19	0,23	0,14	0,16	0,12	0,14	0,14	0,42
1600	0,16	0,19	0,15	0,16	0,13	0,14	0,15	0,40





Figuras 6 a 9: Comparación “cámara vacía” vs. “cámara con lana” para las muestras 1 a 4

CONCLUSIONES

Se diseñaron fonoabsorbentes a partir de paneles con alto contenido biobasado, utilizando como materia prima el residuo sólido de la producción de cerveza (bagazo).

Las propiedades a la flexión y su alta resistencia al agua los hace adecuados para aplicaciones en ambiente exterior con mojado ocasional.

Los ensayos normalizados que se llevaron a cabo en condiciones de laboratorio han permitido caracterizar las diferentes muestras, montadas con cámara posterior, tanto vacía como con material fibroso y determinar que se comportan como fonoabsorbentes microperforados. En las Muestras 1 a 3 se pudo observar la frecuencia absorción sonora máxima y el ancho de banda en el que son efectivos. El agregado de material fibroso en la cavidad posterior aumentó el coeficiente de absorción y generó un aumento del ancho de banda. La Muestra 4 funciona como una cubierta acústicamente "transparente", y prácticamente copia el comportamiento del material fibroso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (PIP 11220200100926CO), a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) (PICT 2020-1003) y a la Universidad Nacional de Mar del Plata (PDTS 2024 UNMDP), por el financiamiento recibido.

REFERENCIAS

- Almusaed, A.; Yitmen, I.; Myhren, J.A.; Almssad, A. Assessing the Impact of Recycled Building Materials on Environmental Sustainability and Energy Efficiency: A Comprehensive Framework for Reducing Greenhouse Gas Emissions. *Buildings* 2024, 14, 1566. <https://doi.org/10.3390/buildings14061566>
- ASTM D1037: Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials
- ASTM E 1050 “Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis system”
- ASTM C384-04 (Reapproved 2016): Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method.
- Ayrilmis, N.; Kwon, J.H.; Han, T.H. Effect of Resin Type and Content on Properties of Composite Particleboard Made of a Mixture of Wood and Rice Husk. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2012, 38, 79–83.
- Barbu MC; Montecuccoli Z; Förg J; Barbeck U; Klímek P; Petutschnigg A; Tudor EM (2021) Potential of Brewer’s Spent Grain as a Potential Replacement of Wood in pMDI, UF or MUF Bonded Particleboard. *Polymers* 13, 319.
- Bulman Hartkopf, C., Winck, R. A., Aquino, D. R., Fassola, H. E., & Stefani, P. M. (2024). Densidad y proporción de albura y duramen en nuevos clones de *Eucalyptus* spp. *Maderas-Cienc Tecnol*, 26, 1–14
- M. Chalapud, M. Herdt, E. Nicolao, E. Ciannamea, R. Ruseckaite, P.M. Stefani, Biobased particleboards based on rice husk and soy proteins: Effect of the impregnation with tung oil on the physical and mechanical behavior, *Construction and Building Materials*, 230 (2020) 116996
- E.M. Ciannamea; D. Marin Quintero; R.A. Ruseckaite; P.M. Stefani. Particleboard Based on Rice Husk: Effect of Binder Content and Processing Conditions. *Journal of renewable materials*. 5 (2017) 356-362
- Fatima, S.; Mohanty, A.R. Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. *Appl. Acoust.* 2011, 72, 108–114.
- Ferrandez-Villena, M.; Ferrandez-Garcia, A.; Garcia-Ortuño, T.; Ferrandez-Garcia, M.T. Acoustic and Thermal Properties of Particleboards Made from Mulberry Wood (*Morus alba* L.) Pruning Residues. *Agronomy* 2022, 12, 1803. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081803>
- Hunt, C.G.; Frihart, C.R.; Dunky, M.; Rohumaa, A. Understanding Wood Bonds-Going beyond What Meets the Eye: A Critical Review. *Rev. Adhes. Adhes.* 2018, 6, 369–463.
- ISO 10534-1:1996 - Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: Method using standing wave ratio (Last review: 2022)

- ISO 10534-2 “Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes, Part 2: Transfer-function method”
- Karlinasari, L.; Hermawan, D.; Maddu, A.; Bagus, M.; Lucky, I.K.; Nugroho, N.; Hadi, Y.S. Acoustical properties of particleboards made from betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) as building construction material. *Bioresources* 2012, 7, 5700–5709.
- Pascualt, J. P., & Williams, R. J. J. (2013). Thermosetting polymers. *Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing*. Handbook of polymer synthesis, characterization, and processing, 519-533. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118480793.ch28>
- Robertson J. A., I’Anson K. J. A., Treimo J., Faulds C. B., Brocklehurst T. F., Eijssink V. G., and Waldron K. W. (2010). Profiling brewers’ spent grain for composition and microbial ecology at the site of production, *LWT Food Sci. Technol.* 43, 890–896.
- Rossi L., Wechsler L., Peltzer M. A., Ciannamea E. M., Ruseckaite R. A., Stefani P. M., (2023). Sustainable Particleboards Based on Brewer’s Spent Grains. *Polymers* 2024, 16, 59.
- Väntsi, Olli y Timo, Kärki. Environmental assessment of recycled mineral wool and polypropylene utilized in wood polymer composites. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 104. 0921-3449, 2015. Laapppeenranta.
- Vechiatti, N., Iasi, F., Tomeo, D., Núñez Berté, A. (2023). Propiedades acústicas de mantos de lana de oveja de descarte, *CAA-AdAA2023-037*.
- Yang, H.S.; Kim, D.J.; Kim, H.J. Rice straw—Wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresour. Technol.* 2003, 86, 117–121.
- Zulkifli, R.; Nor, M.M.; Ismail, A.R.; Nuawi, M.Z.; Tahir, M.M. Effect of perforated size and air gap thickness on acoustic properties of coir fibre sound absorption panels. *Eur. J. Sci. Res.* 2009, 28, 242–252

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF PANELS DESIGNED FROM BREWER’S SPENT GRAIN-BASED PARTICLEBOARDS

ABSTRACT This article evaluates the acoustic properties of tuned absorbers made from sustainable boards produced from the solid waste from beer production (brewer’s spent grain). The topic is framed within the current global demand for circular economy strategies that promote the valorization of agri-food waste by reintroducing it as raw materials in new production processes. In particular, it addresses the utilization of brewer’s spent grain, through its transformation into particleboards suitable for acoustic applications. These boards, used as a basis in the design of tuned absorbers, offer a functional and environmentally friendly alternative to conventional commercial panels. Some possible models and the results of the sound absorption coefficient measured in an impedance tube based on the transfer function are presented. The results obtained show that these materials, with 88% biobased content, exhibit high potential for acoustic control applications.

Keywords: sound absorption, biobased, circular economy.