



Revalorización de aserrín de tableros aglomerados de melamina en la fabricación de cerámica

Revalorization of sawdust from melamine-faced chipboard in the manufacture of fired clay

Presentado: 03/07/2026

Aprobado: 07/09/2026

Publicado: 05/10/2026

Guadalupe Jauregui

Universidad Católica de Córdoba (UCC), Argentina.
guadajauregui@gmail.com

Lucas Peisino

 <https://orcid.org/0000-0002-8670-6877>

Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) - CONICET - AVE, Argentina.
lpeisino@ceve.org.ar

Jerónimo Kreiker

 <https://orcid.org/0000-0001-6528-3695>

Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE)-CONICET- AVE, Argentina.
jkreiker@ceve.org.ar

Resumen

Los tableros de fibra de densidad media (MDF) son ampliamente usados en la industria del mueble, generando un gran volumen de residuos (aserrín y retazos). El aserrín posee partículas menores a 500 μm y está compuesto por un 80-85 % de material lignocelulósico, un 8-10 % de resina urea-formaldehído y una capa superficial de melamina-formaldehído. Aunque es mayoritariamente biodegradable, su descomposición libera formaldehído, un compuesto nocivo para la salud, generando un residuo no apto para compostaje ni revalorización energética domiciliaria.

Se investigó el agregado de aserrín de MDF como agente formador de poros en arcilla cocida, para reducir la densidad y mejora el aislamiento térmico sin comprometer las propiedades mecánicas. Se incorporó en proporciones del 10 % al 30 % en peso para evaluar su comportamiento físico y mecánico. Los resultados demostraron que hasta un 10 % de aserrín, la arcilla cocida mantiene la resistencia dentro de los límites aceptables.

Palabras claves: Aserrín de MDF, Cerámica, Materiales de Construcción, Economía Circular.

Abstract

The manufacturing of indoor furniture primarily utilizes medium-density fiberboard (MDF). This industry generates a high annual volume of waste (sawdust and scraps). MDF sawdust contains particles smaller than 500 μm and is composed of 80–85 % lignocellulosic material, 8–10 % urea-formaldehyde resin, and a surface layer of melamine-formaldehyde. Although it is mostly biodegradable, moisture decomposes these resins, releasing formaldehyde, a compound harmful to health. Consequently, this waste is not suitable for composting or waste-to-energy recovery.

This work investigated the use of MDF sawdust as a pore-forming agent in fired clay, a common application for conventional wood sawdust that reduces density and enhances thermal insulation without excessively compromising mechanical properties. The waste material was characterized and incorporated into the clay in proportions ranging from 10 % to 30 % by weight. The results demonstrated that with an addition of up to 10 %, the fired clay maintains its compressive and flexural strength within acceptable limits.

Keywords: MDF Sawdust, Fired Clay, building Materials, Circular Economy

Introducción

Los tableros aglomerados, comúnmente denominados MDF debido a sus siglas en inglés (Medium Density Fiberboards) son intensivamente utilizados actualmente en la industria del mobiliario para interiores, debido a su resistencia, estabilidad dimensional, un acabado uniforme y sencillez de su procesamiento. Generalmente, están formados por un 82 % de fibras de madera, un 10 % de resina sintética, un 7 % de agua y un % menor al 1 % de parafina y siliconas. La resina empleada como aglutinante es principalmente la urea-formaldehído, no obstante, otras resinas son utilizadas en función del tipo de MDF, de su uso o aplicación, como pueden ser la fenólica y el polimetilendiisocianato (AITIM – Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, 2015). Entre los tableros aglomerados, el tablero de melamina, denominado así por su capa de cobertura externa, es uno de los más utilizados para la fabricación de mobiliario, ya que esta cobertura le da un acabado estético, de mayor resistencia al desgaste, impermeable y libre de poros. Su estética puede ir de blanco a negro pasando por acabados similares a todo tipo de maderas y materiales. Los principales residuos que se generan del procesamiento de los tableros son los retazos y el aserrín o polvo de MDF. Los retazos son de tamaño heterogéneo y su aprovechamiento tiene escaso potencial, por tanto, el destino principal es la revalorización energética o la disposición final en enterramientos sanitarios. Por otra parte, el aserrín de MDF se genera en grandes cantidades en el proceso de corte y desgaste y la gran mayoría se dispone en enterramientos sanitarios. Si bien tiene un alto contenido de material biodegradable, debido a la presencia de la resina urea-formaldehído y a la melamina de la capa exterior no puede ser utilizado como abono o para compostaje.

En la actualidad, existen empresas que proveen los tableros y realizan los cortes a medidas para los fabricantes de muebles, o simplemente realizan los cortes, y son los mayores generadores de aserrín. Los fabricantes de muebles, en general, reciben los cortes y los retazos, siendo generadores de una pequeña proporción de aserrín en la etapa de ensamblado y acabado. En la Ciudad de Córdoba, la cantidad de aserrín que se genera a partir de un

tablero varía en función de la cantidad de cortes, y no se dispone de datos fehacientes sobre la cantidad de aserrín que se genera ni su destino final.

Una aplicación potencial de este residuo es en la fabricación de mampuestos en base a barro cocido o arcillas. Existen antecedentes del uso de aserrín y polvos de origen lignocelulósico como formadores de poros en los materiales cerámicos o modificando otras propiedades. En este sentido Ozturk y colaboradores estudiaron la influencia de la adición de residuos de té en la fabricación de ladrillos de arcilla cocida con beneficios en la conductividad térmica sin afectar significativamente las propiedades mecánicas en adiciones hasta un 10 % en peso (Ozturk et al., 2019). Un estudio reciente demuestra que el uso de cascarilla de arroz en una proporción del 30 % en peso reduce la conductividad térmica de 1,0 W/mK a 0,6 W/mK en materiales cerámicos fabricados con arcilla de marga (Yoleva & Djambazov, 2022), aunque con un detrimento marcado de las propiedades mecánicas. En un estudio similar, se evaluó el agregado de diferentes residuos de la industria del mueble triturado y agregado en una proporción entre el 5-10 % en peso como agente formador de poros en ladrillos cerámicos, estudiando principalmente la emisión de gases durante la combustión, pero a su vez analizando propiedades mecánicas, reportando una disminución mayor al 50 % en la resistencia a flexión y a la compresión del material para una calcinación a 950 °C (Abjaghrou et al., 2023). Otros materiales lignocelulósicos fueron estudiados como adiciones para formar poros, tal es el caso del uso de polvo de cáscaras de nuez (Barnabas et al., 2022), que disminuye las propiedades mecánicas pero también la densidad del material cerámico, o los casos reportados en la revisión bibliográfica sobre el uso de desechos de la industria agroalimentaria como formador de poros en la producción de cerámicas (Salleh et al., 2021), donde todos los autores coinciden en la disminución de las propiedades mecánicas en función del incremento de la cantidad de residuo agregado y la granulometría del mismo. Otra investigación en la temática utilizó aserrín de pino como adsorbente de metales pesados Ni(II), Zn(II) y Cd(II) en aguas residuales, y luego este aserrín se incorporó en un 20 % en volumen a matrices cerámicas para fabricar ladrillos, aumentando la porosidad aparente, (Simón et al., 2021), pero manteniendo propiedades mecánicas que permiten cumplir con la normativa argentina para mampuestos (INTI, 2007).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la adición de aserrín de MDF, residuo de la industria mobiliaria local, en una arcilla estandarizada tipo Tincar Z para optimizar los parámetros de cocción, incrementar la porosidad y reducir la densidad del material, manteniendo las propiedades mecánicas necesarias para su aplicación en la construcción. Tras caracterizar física y químicamente el aserrín, se evaluaron dosificaciones entre el 10 % y 30 % en peso mediante una cocción en rampa hasta 900 °C. Este estudio sienta las bases para extender la investigación a arcillas y tierras de mayor heterogeneidad composicional, con el fin de evaluar su uso potencial en la fabricación de mampuestos tipo ladrillos y bloques.

Materiales y métodos

Materiales: el polvo de MDF fue provisto por una empresa de corte de la ciudad de Córdoba, y corresponde solo a aserrín de MDF de melamina de color blanco de 18 mm de espesor que es el que se produce de manera mayoritaria, con un valor promedio de $\rho=0,22 \text{ g/cm}^3$; arcilla Tincar Z en polvo provista por la firma Arcillas del Sur, con un valor de $\rho=1,2 \text{ g/cm}^3$, especificado por el fabricante. Corresponde a una arcilla semi refractaria cuya composición aproximada se presenta en la tabla 1. Se optó por este tipo de arcilla debido a que se caracteriza por su

homogeneidad en composición química, manteniendo la relación prácticamente constante entre SiO_2 y Al_2O_3 y sin impurezas, lo que permite obtener resultados más representativos. El agua de amasado fue de la red domiciliaria.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Sulfatos Sol.	Plasticidad
68,1 %	21,5 %	0,93 %	0,41 %	0,23 %	0,22 %	0,56 %	0,26 %	42 ppm	36,8 %

Tabla 1: Composición de la arcilla comercial Tincar Z

Métodos:

Moldeo de probetas. El aserrín de MDF se utilizó en todo su rango de granulometría y tal cual se recibió del proveedor. La arcilla se utilizó tal cual se obtuvo del proveedor. Ambos materiales se pesaron por separado en una balanza granataria con precisión de 0,1 g, para cada probeta se preparó una cantidad de mezcla de 1500 g. Una vez pesados los materiales, se colocaron en una mezcladora orbital de 3 L de capacidad. Se mezcló en seco la arcilla con el aserrín de MDF durante 10 min, en proporción variable entre 10-30 % en peso, tal como se describe en la tabla 2. Luego, se añadió agua gradualmente hasta obtener una mezcla homogénea y plástica. La mezcla se colocó en una bolsa de polietileno durante 10 días para asegurar una hidratación uniforme y libre de grumos. El día 11, se realizó un segundo amasado para eliminar burbujas de aire atrapadas, garantizar la integridad estructural y evitar huecos internos.

Probeta	(%) en peso		(%) en volumen	
	arcilla	aserrín	arcilla	aserrín
F1	100	-	100	-
F2	90	10	62	38
F3	80	20	42	58
F4	70	30	30	70

Tabla 2: Composición de las mezclas de arcilla con aserrín de MDF.

Tras un reposo adicional de 12 días, las mezclas se moldearon manualmente en bloques de 4×4×16 cm utilizando moldes metálicos desarmables. Se prepararon 4 probetas por cada formulación (Figura 1a). El secado inicial se efectuó bajo cubiertas de polietileno para mitigar la pérdida rápida de humedad y prevenir fisuras, manteniéndose hasta el desmolde natural por retracción (Figura 1b). Posteriormente, el secado continuó sin cubiertas para reducir gradualmente la humedad residual. Finalmente, las probetas secas (Figura 1c) se llevaron a un horno eléctrico a 100 °C durante dos horas; se registró su masa seca real previa a la cocción para determinar con precisión el contenido de humedad inicial.



Fig. 1: a) Probeta de 4x4x16 cm recién moldeada. b) Probetas luego de la retracción. c) Probetas secas.

El proceso de cocción se llevó a cabo en una mufla Indef, con el programa de cocción descrito en la (Figura 2a). El calentamiento inicial fue con una rampa de 3 °C/min desde 20 °C a 400 °C, donde se mantuvo por 20 min. Esta zona isotérmica tuvo como objetivo favorecer la combustión de la fracción orgánica proveniente del aserrín de MDF. Debido a las altas dosificaciones de residuo (hasta 30 % en peso), una tasa de calentamiento ininterrumpida provocaría una acumulación crítica de gases de descomposición interna CO₂ y CO. Por lo tanto, la meseta a 400 °C funcionó como una etapa de evacuación gaseosa controlada, previniendo fenómenos de agrietamiento por presión de vapor, hinchamiento o la formación de corazón negro (*black core*) antes del inicio de la sinterización de la matriz de arcilla, (Toledo et al., 2004). Luego, continuó con una velocidad de 4 °C/min hasta los 900 °C donde se mantuvo por 15 min. Finalmente, se dejó enfriar en horno cerrado hasta temperatura ambiente. La cocción se llevó a cabo en lotes de 6 probetas. En la (Figura 2b) se muestran las probetas antes y después de la cocción

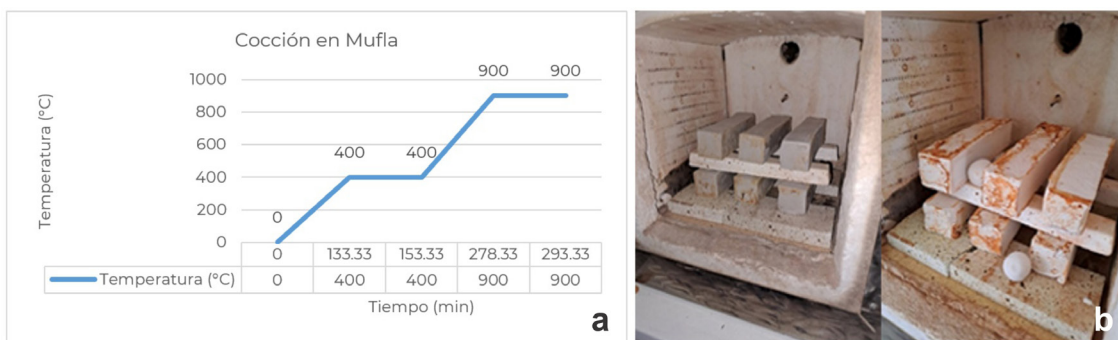


Fig. 2: a) Rampa de cocción. b) Probetas antes y después de la cocción.

Métodos de ensayo.

Ensayos sobre el aserrín de MDF: se llevó a cabo la caracterización física mediante análisis granulométrico con tamices normalizados ASTM E. Se realizó un análisis morfológico con lupa Arcano a 10X con cámara digital marca Moticom 1SP incorporada para cada una de las fracciones retenidas en los diferentes tamices. Se llevó a cabo la determinación de materia orgánica por calcinación, usando una mufla Indef, calcinando a 550 °C durante 4h. Los residuos por calcinación se calcularon mediante la Ecuación 1.

$$\%Pérdida = ((Pf - Pi) / Pi) * 100 \quad (1)$$

Donde Pi = peso inicial de la probeta; Pf = peso final de la probeta luego de la calcinación.

Ensayos sobre muestras de cerámica: Sobre las probetas cocidas se llevaron a cabo ensayos de densidad aparente (ρ), que se calculó como el peso de la probeta (W), dividida por el volumen aparente (Va), Ecuación 2. En este caso, el volumen aparente (Va) es el volumen de agua desplazado por la probeta cuando se sumerge en agua destilada, según la Ecuación 3. La diferencia entre el peso en el aire y el peso en la balanza hidrostática corresponde al peso del agua desplazada. La densidad del agua destilada a 20 °C es aproximadamente 0,9982 g/cm³. Se calculó el volumen aparente (Va) como:

$$\rho = W / Va \quad (2)$$

$$Va = (W - W') / \delta \quad (3)$$

Donde W = peso de la probeta; W' = peso del agua desplazada por la probeta sumergida en agua destilada; δ = 0,9982 g/cm³, es la densidad del agua destilada a 20 °C.

La porosidad abierta es una medida de la fracción del volumen de un material poroso que está compuesta por poros conectados directamente con el exterior. Se calculó en base a la ecuación (4).

$$\eta_a = \frac{ms - md}{ms - mh} * 100 \quad (4)$$

Donde η_a = porosidad abierta porcentual; m_s = masa de una muestra saturada en agua; m_d = masa de la muestra seca en horno hasta eliminación completa de humedad; m_h = masa de la probeta completamente sumergida en agua, pesada en la balanza hidrostática.

El % de contracción (o retracción) se calculó de manera aproximada en base al volumen del prisma inicial y final, de acuerdo con la Ecuación 5. Para la medición se utilizó un calibre, pero se definió una precisión de 1 mm para las mediciones.

$$\%Retr = \frac{(Vi - Vf)}{Vi} * 100 \quad (5)$$

Donde: Vi = volumen inicial del prisma de 4x4x16 cm; Vf = volumen final medido con calibre de precisión.

El % de absorción de agua por capilaridad se realizó siguiente norma UNE-EN 772-11: 2001 (British Standards Institution, 1998), donde el coeficiente de absorción por capilaridad Cc se calculó con el incremento de masa de la probeta sumergida, de acuerdo con la Ecuación 6 y se expresa en g/cm²s^{0,5}.

$$Cc = \frac{Wt - W0}{A\sqrt{t}} \quad (6)$$

Donde Wt = peso de la probeta sumergida en el tiempo t . $W0$ = peso inicial de la probeta; A = área de la probeta sumergida en cm^2 ; t = tiempo de sumergido en segundos.

La resistencia a la flexión (R_f) y a la Compresión (R_c) se determinaron en una prensa universal de ensayos Shimadzu AGS-X 50 kN. En el ensayo de compresión se aplicó una carga constante de 300 N/s, y la resistencia máxima R_c se calculó dividiendo la fuerza máxima que el bloque soporta antes de romperse, por el área de la superficie sobre la que se aplica la fuerza, en este dispositivo fue de 16 cm^2 , ensayando un mínimo de 3 probetas por formulación. Figura 3a. En el ensayo de flexión, se aplicó la carga a una velocidad constante de 20 N/s, con una distancia entre apoyos de 100 mm, registrando el valor a la rotura. El cálculo se realizó considerando la sección transversal de la probeta en mm, de acuerdo con la Ecuación 7, con un mínimo de 3 probetas por cada formulación.

$$R_f = \frac{3 * F * L}{2 * b * d^2} \quad (7)$$

Donde R_f = Resistencia a la flexión en N/mm^2 ; F = carga máxima aplicada en el momento de la rotura en N; L =distancia entre los apoyos inferiores en mm; b = ancho de la probeta en mm; d = espesor de la probeta en mm.

Los dispositivos usados para determinar la resistencia a la compresión y la flexión se muestran en la Figura 3a y 3 b, respectivamente.

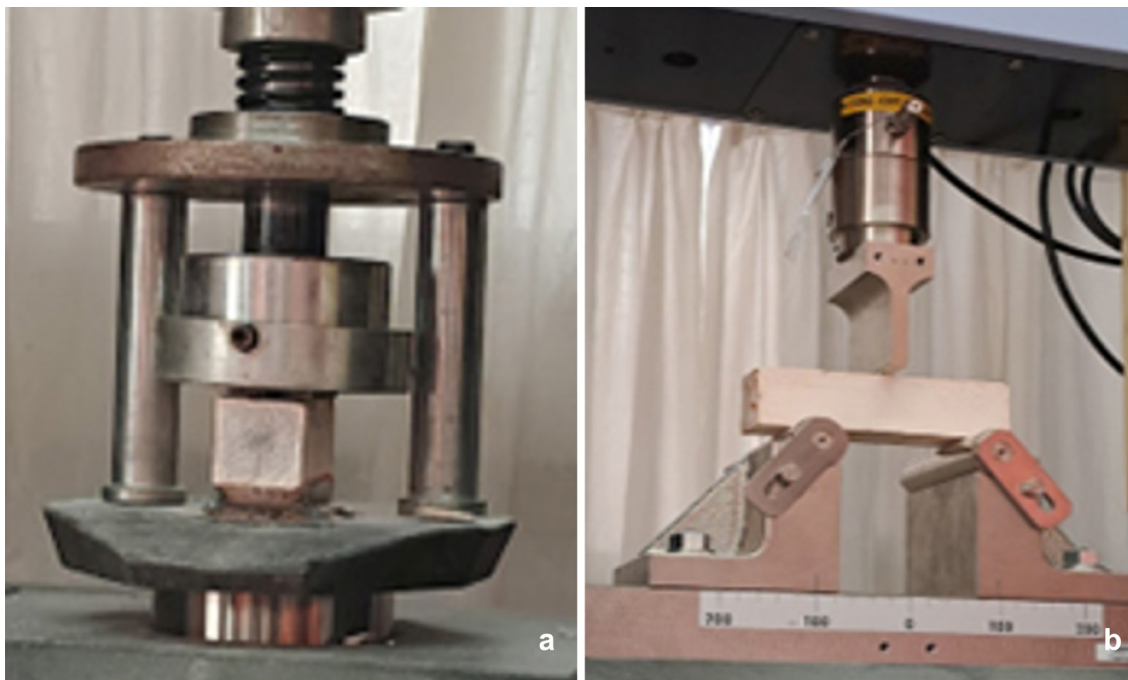


Fig. 3: a) Dispositivo de ensayo a la compresión. b) Dispositivo en ensayo a la flexión.

Resultados y discusión

Caracterización del Aserrín de MDF.

Se realizó un análisis granulométrico del aserrín usando tamices normalizados ASTM E. Se partió de una masa de aserrín de 100 g. El resultado del análisis se detalla en la Tabla 3.

Tamiz, N°	Abertura, mm	Retenido, %
5	4	0
10	2	0,05
18	1	0,88
40	0,425	1,23
Fondo	-	97,84

Tabla 3: Material retenido en los tamices normalizados.

Se analizó cada fracción retenida con un cono de aumento y una lupa Arcano de 10X, ambos equipados con una cámara Moticam, para identificar las partículas que la componen. El registro del material retenido en el tamiz 10, se muestra en la (Figura 4). Se observa que en esta granulometría hay material de origen vegetal proveniente de las fibras del aglomerado, pero también hay una cantidad importante de material sintético que son las fibras de melamina blanca que se producen durante el corte.

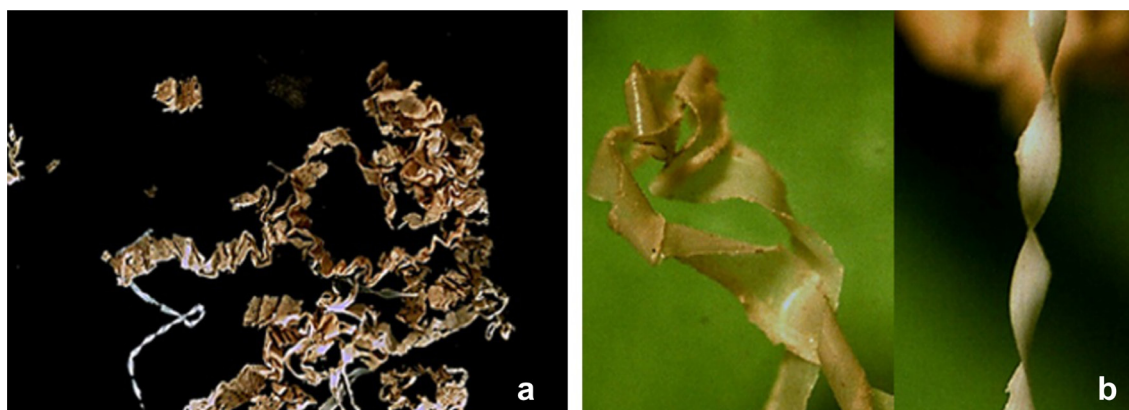


Fig. 4: Fracciones retenidas en el tamiz 10. a) Observación con el cono de aumento. b) Observación con la lupa Arcano a 10X.

El análisis visual de las fracciones retenidas en el tamiz 18, permite observar detalles de la composición del aserrín que no serían visibles a simple vista, mostrando la estructura fibrosa de la madera y los restos del recubrimiento. Es posible apreciar las diferencias texturales y tamaños entre los componentes del polvo. Se observan una mezcla heterogénea de fibras de madera, predominantemente de color marrón dorado, y partículas más claras que

corresponden a los restos del laminado melamínico. En esta escala de partícula, las fibras de madera aparecen ramificadas, desordenadas e interconectadas, algunas con bordes deshilachados, mostrando la fragmentación del material. Los fragmentos de melamina blanca son visibles como piezas irregulares y más compactas que las fibras de madera, Figura 5.

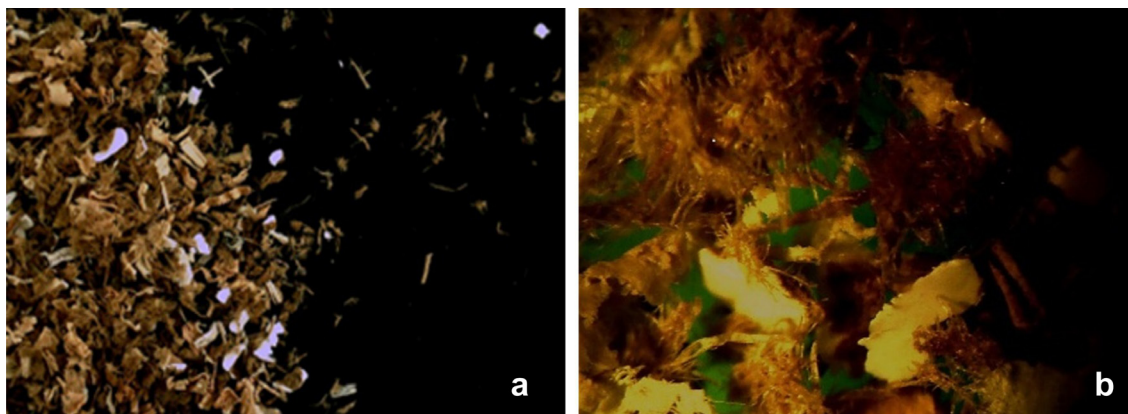


Fig. 5: Fracciones retenidas en el tamiz 18. a) Observación con el cono de aumento. b) Observación con la lupa Arcano a 20X.

La fracción retenida en el tamiz 40, tiene características similares a la fracción anterior. Se observa principalmente el material vegetal en partículas irregulares fibrosas y en menor proporción las partículas de la cubierta melamínica, Figura 6.

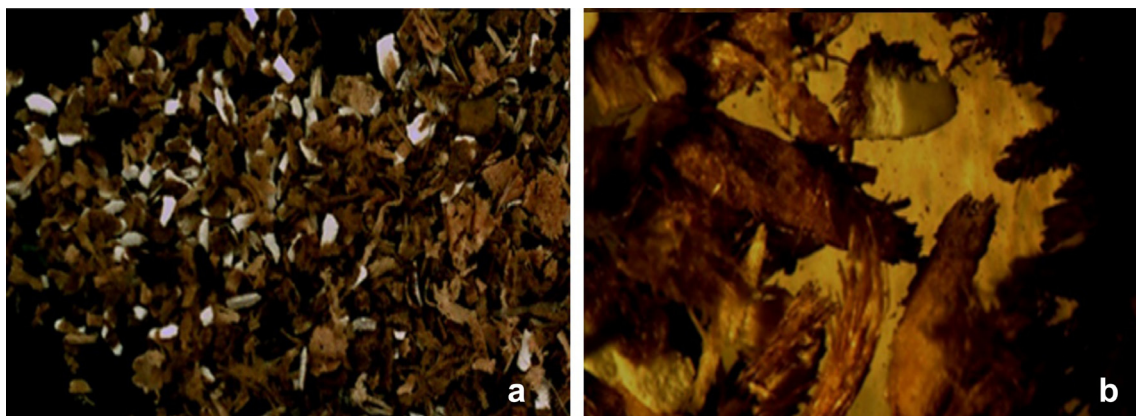


Fig. 6: Fracciones retenidas en el tamiz 40. a) Observación con el cono de aumento. b) Observación con la lupa Arcano a 20X.

El material pasante al tamiz 40, que constituye el 97,8 % del aserrín de MDF, aparece como una masa de fibras finas y entrelazadas, de color marrón claro, constituido principalmente por fibras de madera y solo algunas partículas de la cobertura melamínica. La textura es irregular y fibrosa, con una apariencia densa y compacta. La escasa presencia de partículas blancas o claras sugiere que la mayor parte del laminado melamínico pudo haberse separado durante el proceso de tamizado previo, o que su proporción dentro del material es muy baja.

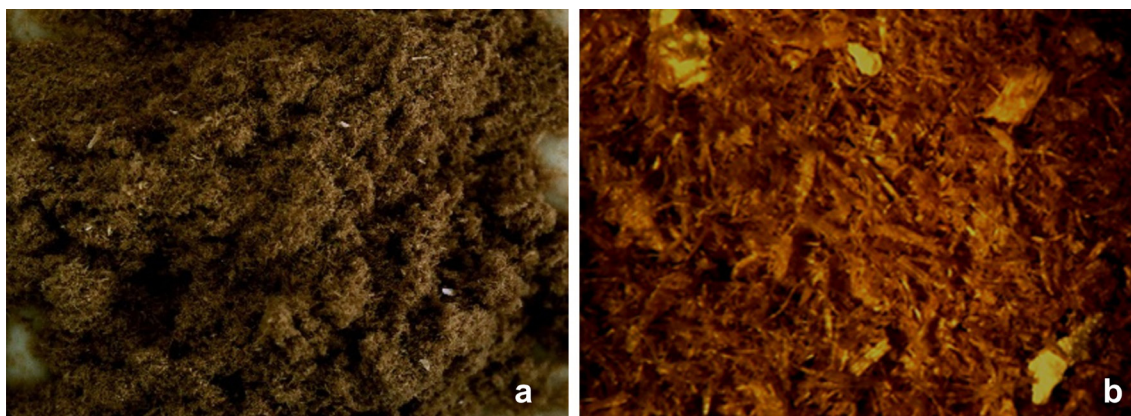


Fig. 7: Fracciones pasante al tamiz 40. a) Observación con el cono de aumento. b) Observación con la lupa Arcano a 20X.

El ensayo de residuos por calcinación se llevó a cabo en una mufla con el programa de calentamiento que se detalla en la Figura 8a. La temperatura máxima alcanzada fue de 550 °C. En la Figura 8b se observa la masa de aserrín de MDF previo a la calcinación y el residuo obtenido finalmente.

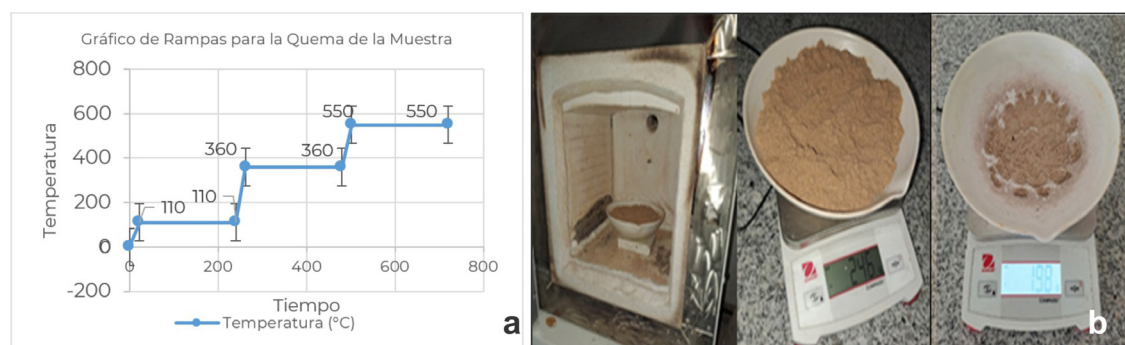


Fig. 8: a) Programa de temperatura para determinar el residuo por calcinación.
b) Muestra de aserrín de MDF antes y después de la calcinación.

La masa inicial fue de 52,08 g y la masa final fue de 49,55 g, lo que arrojó una masa de cenizas de 2,53 g. Usando la ecuación (1), se pudo calcular la pérdida por calcinación fue del 97,4 %. La masa principal de los tableros de MDF corresponde al tablero de aglomerado, conformado por aserrín de madera y resina urea-formaldehído y en menor medida a la capa de melamina, que específicamente corresponde a un polímero termoestable constituido en base a resina de melamina formaldehído que le aporta propiedades mecánicas, hidrófugas y estéticas a los tableros (Pendlebury et al., 2010). Para determinar de manera cuantitativa cuanto corresponde al aglomerado y cuanto, a la cobertura de melamina, se tomó una muestra de MDF melamínico de color blanco de 18 mm de espesor y una dimensión de 5,8 cm x 14,3 cm. El material fue sometido a un decapado con una lija fina hasta llegar al aglomerado (Figura 9). Dado que los cantos representan una proporción significativamente menor en la cubierta de melamina, solo se consideró en la estimación la capa de cobertura superior e inferior del tablero.



Fig. 9: Proceso de decapado de la cubierta de melamina para la cuantificación de los materiales del tablero.

Los resultados del proceso de decapado y la pérdida de masa se muestra en la Tabla 4. Se puede observar que de manera aproximada se pudo establecer una capa de melamina del 3 % en peso respecto del total del tablero. Considerando que los residuos por calcinación representan un 2,53 % del total del polvo de aserrín, se puede concluir que la resina melamínica sufrió una calcinación casi total en el proceso. Esto estaría en acuerdo con lo datos de bibliografía que reportan una descomposición de la resina melamínica a temperaturas mayores a los 500 °C (Ullah et al., 2014).

Etapas	Descripción	Peso (g)	%	Espesor (mm)
Placa Inicial	Muestra de MDF	100,3	100	18
Primer Decapado	Placa con una cara de melamina	98,7	98,7	17,9
	1° capa de melamina	1,6	1,6	0,13
Segundo Decapado	Placa sin melamina	96,8	96,5	17,7
	2° capa de melamina	1,9	1,92	0,1
Total Recubrimiento	Cantidad de melamina	3,5	3,5	1,0
Total Material MDF	Peso del núcleo del tablero	96,8	96,8	17,7

Tabla 4: Decapado de melamina de una muestra MDF de 18 mm.

Caracterización de la cerámica.

La densidad aparente (ρ) se determinó en base a las ecuaciones (2) y (3). Los resultados de tres determinaciones por formulación se muestran en la tabla 5, expresado en el promedio de las mediciones junto al desvío estándar. Se muestra, además, el valor de porosidad abierta, calculado en base a la ecuación (4), junto al promedio de tres determinaciones.

muestra	m _d (g)	m _s (g)	m _h (g)	Vol. aparente (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ _{prom} (g/cm ³)	σ	Porosidad Abierta (%)	η _{a prom} (%)
F1A	338	401	209	192	1,76	1,77	0,01	32,8	32,6
F1B	335	398	207	191	1,75			33,0	
F1C	340	402	210	192	1,77			32,3	
F2A	291	358	177	181	1,61	1,59	0,02	37,0	36,4
F2B	288	354	170	184	1,57			35,9	
F2C	291	357	173	184	1,58			35,9	
F3A	249	326	148	178	1,40	1,40	0,01	43,3	43,1
F3B	252	330	150	180	1,40			43,3	
F3C	242	316	144	172	1,41			43,0	
F4A	227	317	133	184	1,23	1,23	0,00	48,9	48,9
F4B	230	321	134	187	1,23			48,7	
F4C	227	317	133	184	1,23			48,9	

Tabla 5: Densidad aparente (ρ) y porosidad abierta %, de diferentes formulaciones de cerámica.

La adición de un 30 % de aserrín de MDF genera una caída en la densidad aparente (de 1,76 a 1,23 g/cm³) y un incremento similar de la porosidad abierta del 32,8 % al 48,9 %, lo cual representa un crecimiento del 50 % en la cantidad de poros abiertos.

El porcentaje de retracción (o contracción) de las muestras de cerámica se calculó en base a la Ecuación (5) y se muestra en la Tabla 6. En la Figura 1b) se observa cómo se produjo la retracción de la arcilla, previo a la cocción, lo que permitió el desmolde natural de la probeta.

Para la arcilla sin agregado de aserrín, según datos de literatura, sería de esperar un valor de contracción entre 15-20 % (Ávila Álvarez, 2005). Esta contracción se debe al hecho que, en estado plástico, las partículas de arcilla (que tienen forma de láminas microscópicas) están flotando y separadas por una fina película de agua. Al evaporarse el agua durante el secado, el espacio vacío se reduce y se produce la contracción. Es conocido el efecto de la adición de fibras vegetales para disminuir la contracción, donde un 5 % de fibras puede lograr una disminución del 10 al 5 % (Kabore & Ouellet-Plamondon, 2024).

Muestra	Dimensión Inicial (cm)	Dimensión final (cm)			Vol. (cm ³)	Retracción (%)	Prom.	σ
		largo	alto	ancho				
F1 A	16 x 4 x 4	15,7	3,6	3,6	203,5	20,52	20,35	0,29
F1 B		15,7	3,6	3,6	203,5	20,52		
F1 C		15,8	3,6	3,6	204,8	20,01		
F2 A		15,7	3,6	3,6	203,5	20,52	19,61	1,16
F2 B		15,8	3,6	3,6	204,8	20,01		
F2 C		15,7	3,7	3,6	209,1	18,31		
F3 A		15,9	3,6	3,6	206,1	19,51	19,67	2,49
F3 B		15,9	3,7	3,6	211,8	17,27		
F3 C		15,8	3,6	3,5	199,1	22,23		
F4 A		15,9	3,6	3,7	211,8	17,27	17,25	2,27
F4 B		15,9	3,6	3,6	206,1	19,51		
F4 C		15,9	3,7	3,7	217,7	14,97		

Tabla 6: contracción porcentual de las diferentes formulaciones de cerámica.

Para el caso del agregado de aserrín de MDF, se puede observar una leve disminución en el % de contracción. Con un agregado de 30 % aserrín, la contracción bajó de 20,35 % a 17,25 %. Eso puede deberse al hecho que las fibras vegetales empiezan a actuar como refuerzo del material durante la evaporación, o bien al ser hidrofílicas, retienen agua durante la hidratación y a medida que el agua entre capas se evapora, las fibras aportan agua retenida impidiendo que las capas se junten durante la contracción.

La absorción de agua fue determinada en base al coeficiente de absorción por capilaridad de acuerdo con la ecuación (6) y expresado en g/cm². s^{0,5}. Es de esperar que la formación de poros en la cocción de la arcilla no solo disminuya la densidad sino también incremente la absorción por capilaridad. Este efecto puede observarse en los resultados de la Tabla 7.

Tiempo (s)	t 1/2	F1		F2		F3		F4	
		Peso (g)	Cc	Peso (g)	Cc	Peso (g)	Cc	Peso (g)	Cc
0	0,00	337,7	-	290,0	-	247,7	-	228,0	-
60	7,75	345,0	0,018	300,0	0,024	260,7	0,032	256,0	0,067
180	13,42	348,7	0,015	306,3	0,023	268,7	0,030	269,0	0,057
300	17,32	351,7	0,015	310,7	0,023	273,7	0,029	278,3	0,054
600	24,49	357,0	0,015	317,3	0,021	282,3	0,027	293,7	0,050
900	30,00	361,3	0,015	323,0	0,021	289,0	0,027	303,7	0,047
1200	34,64	364,0	0,014	327,0	0,020	294,7	0,026	309,3	0,044
2400	48,99	372,7	0,013	337,0	0,018	309,3	0,024	311,0	0,032
604800	777,69	400,3	0,002	356,3	0,002	324,0	0,002	318,3	0,002

Tabla 7: Coeficiente de absorción de agua por capilaridad de las diferentes formulaciones de cerámica.

Se puede observar el incremento del Cc con el incremento del % de aserrín. También, se observa dentro de lo esperado que el Cc disminuye con el tiempo, en tanto que la muestra se va saturando y pierde la capacidad de absorber el agua. Para tiempos relativamente cortos de 2400 s (40 min), el Cc manifestó un crecimiento lineal, donde pasó de 0,013 en la cerámica patrón a 0,032 en la cerámica con 30 % de aserrín, lo que corresponde a un incremento del 150 %, lo cual se puede observar en la Figura 10.

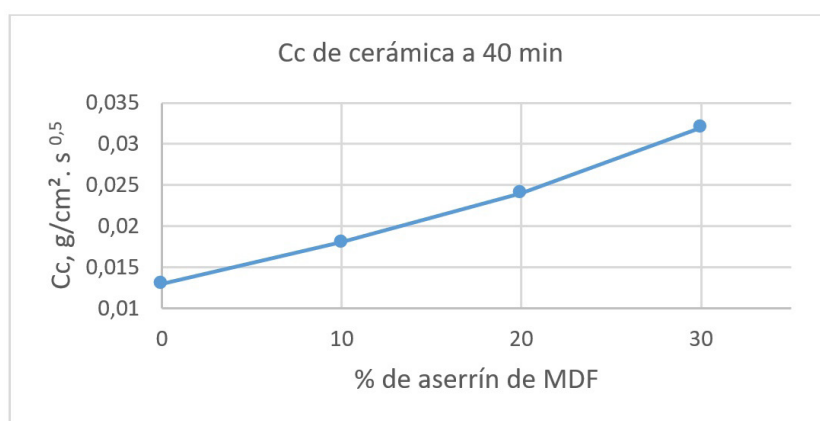


Fig. 10: Coeficiente de absorción de agua por capilaridad de las diferentes formulaciones de cerámica.

Los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión (R_f) y a la compresión (R_c) de las muestras de cerámica se muestran en la Tabla 8. Cada valor corresponde al promedio de 3 determinaciones, junto al desvío estándar (σ). Se muestran además, los valores de densidad aparente (ρ) y porosidad abierta (η_a).

Muestra	ρ (g/cm ³)	η_a prom (%)	R_f (MPa)	σ	R_c (MPa)	σ
F1	1,77	32,6	7,2	0,7	20,8	1
F2	1,59	36,4	4,3	0,8	9,2	0,9
F3	1,40	43,1	2,1	0,4	4,6	0,2
F4	1,23	48,9	1,9	0,2	2,5	0,1

Tabla 8: Resistencia mecánica de las diferentes formulaciones de cerámica.

En la Figura 11 se muestran los gráficos de rotura a la flexión y a la compresión de las muestras de cerámica. Para la rotura de la flexión se observa que la deformación es muy baja, lo que indica un material rígido. En el gráfico de rotura a la compresión se observa que la arcilla sin agregado soporta mayor carga y presenta un modulo elástico mucho mayor que la cerámica con agregados de aserrín.

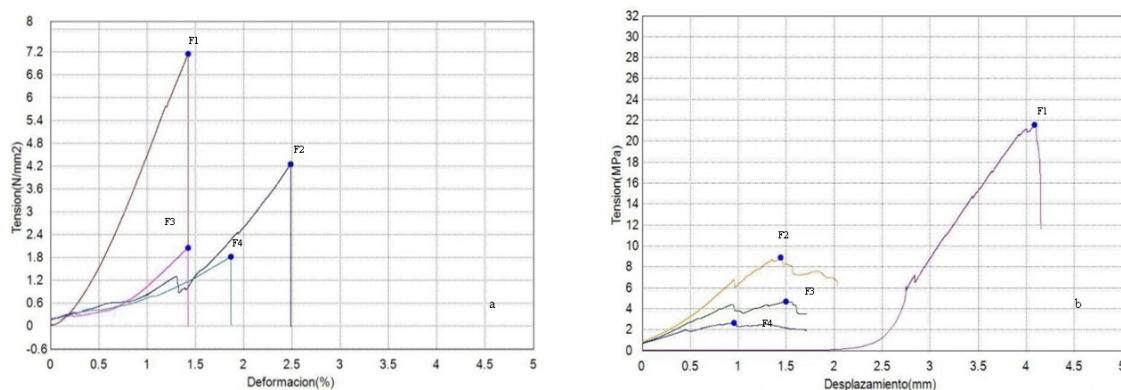


Fig. 11: Gráfico de ensayo mecánicos de la cerámica. a) Rf. b) Rc.

Se observó una caída muy pronunciada en la resistencia del material con agregado de aserrín. El agregado de 10 % de aserrín, produce una disminución del 10 % en la densidad aparente (ρ), un incremento del 11 % de la porosidad abierta (η_a), pero una caída del 40 % en la R_f y del 55 % en la R_c . El agregado del 30 % de aserrín produce una disminución del 30 % en la (ρ), un incremento del 50 % en la (η_a), pero una caída del 75 % en la R_f y del 88 % en la R_c . Si bien, un incremento en la porosidad abierta produce una disminución de la resistencia mecánica, una pérdida de propiedades mecánicas tan marcada no responde únicamente a

la porosidad como concentradora de tensiones, sino que está íntimamente ligada a una sinterización incompleta. La deficiente calcinación de la materia orgánica generó una atmósfera reductora, provocando el fenómeno de combustión incompleta conocido como "corazón negro", el cual impidió la correcta cohesión de la matriz arcillosa. Así, la combinación de una alta porosidad con una matriz deficientemente sinterizada constituye la causa principal de la caída en la resistencia mecánica. A pesar de esta marcada disminución de la resistencia, con el agregado de un 10 % de aserrín se logró un valor de Rc 9,2 MPa, lo cual permite, a modo de referencia, viabilizar el uso del material para la fabricación de mampuestos en función portante, de acuerdo con la normativa CIRSOC 501 (INTI, 2007), que define como límite mínimo una Rc de 5 MPa.



Fig. 12: Corte transversal de las muestras de arcilla en orden creciente de % de aserrín de MDF (F1; F2; F3; F4).

La Figura 12 muestra el corte transversal de las muestras de arcilla con diferentes proporciones de aserrín bajo las condiciones de calcinación estudiadas. En las probetas se evidencia una combustión incompleta, manifestada por el efecto de "corazón negro" (Toledo et al., 2004). Este fenómeno, característico de estos sistemas, ocurre cuando una elevada concentración de material lignocelulósico impide generar una atmósfera lo suficientemente oxidante (Kara-sal et al., 2008) en esas condiciones de temperatura y flujo de oxígeno. Como consecuencia, el material carbonoso remanente del aserrín se concentra en la zona central, lo que obstaculiza la sinterización de la arcilla y reduce las propiedades mecánicas de la pieza. Este efecto es posible mitigarlo con un sistema de incorporación de O₂, lo cual resulta costoso, o en su defecto, con una rampa de temperatura mas suave y con la incorporación de mesetas de calcinación a elevadas temperaturas.

Conclusiones

- Viabilidad estructural: La incorporación de hasta un 10 % en peso de aserrín de MDF en matrices de arcilla funciona como un buen agente formador de poros. El material resultante alcanza una resistencia a la compresión (Rc) cercana a 10 MPa valor que cumple con los requisitos para mampuestos portantes establecidos por la normativa CIRSOC 501.
- Potencial de aplicación: Los resultados obtenidos validan este proceso y abren la puerta a extender el estudio a otras arcillas y materiales arcillosos, para la fabricación de ladrillos cerámicos por extrusión y ladrillos de barro cocido.

- Control de proceso térmico: Es fundamental optimizar las curvas de calcinación (tiempo y temperatura de cocción) para superar proporciones de aserrín mayores al 10 % en peso. Se identificó que la combustión incompleta del aserrín de MDF es la causa principal que afecta las propiedades mecánicas finales.
- Impacto ambiental: Esta propuesta representa una alternativa prometedora para la revalorización a gran escala de residuos de la industria maderera que actualmente reciben una disposición final inadecuada, transformándolos en materia prima para el sector de la construcción.

Referencias

- Abjaghrou, H., Bourret, J., Tessier-Doyen, N., Quint, V., Smith, A., Smith, D. S., & Peyratout, C. S. (2023). Wooden furniture wastes as pore formers in fired clay bricks: mechanical properties and environmental emissions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25(3), 879–888. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02409-8>
- Ávila Álvarez, G. (2005). *Estudio de la retracción y el agrietamiento de arcillas. Aplicación a la arcilla de Bogotá*. [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-93545>
- Barnabas, A. A., Balogun, O. A., Akinwande, A. A., Ogbodo, J. F., Ademati, A. O., Dongo, E. I., & Romanovski, V. (2022). Reuse of walnut shell waste in the development of fired ceramic bricks. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 11823–11837. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22955-4>
- British Standards Institution. (1998). *Methods of test for masonry units. Determination of real and bulk density and of total and open porosity for natural stone masonry units* (BS EN 772-4:1998), p. 5.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2007). *Reglamento Argentino de Estructuras de Mampostería, Reglamento (CIRSOC 501)*.
- Kabore, A., & Ouellet-Plamondon, C. M. (2024). The Impact of Vegetable Fibres on the Shrinkage and Mechanical Properties of Cob Materials. *Materials*, 17(3), 736. <https://doi.org/10.3390/ma17030736>
- Kara-sal, B. K., Sat, D. Kh., Kaminskii, Yu. D., & Ochur-ool, A. P. (2008). Effect of organic substances in clay rocks on formation of a black core in ceramics. *Glass and Ceramics*, 65(3–4), 84–87. <https://doi.org/10.1007/s10717-008-9021-6>
- Ozturk, S., Sutcu, M., Erdogmus, E., & Gencel, O. (2019). Influence of tea waste concentration in the physical, mechanical and thermal properties of brick clay mixtures. *Construction and Building Materials*, 217, 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.114>
- Pendlebury, E., Lei, H., Antoine, M.-L., & Pizzi, A. (2010). Melamine–Formaldehyde Resins without Urea for Wood Panels. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 24(8–10), 1415–1422. <https://doi.org/10.1163/016942410X501016>
- Salleh, S. Z., Awang Kechik, A., Yusoff, A. H., Taib, M. A. A., Mohamad Nor, M., Mohamad, M., Tan, T. G., Ali, A., Masri, M. N., Mohamed, J. J., Zakaria, S. K., Boon, J. G., Budiman, F., & Teo, P. Ter. (2021). Recycling food, agricultural, and industrial wastes as pore-forming agents for sustainable porous ceramic production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127264>
- Simón, D., Gass, S., Palet, C., & Cristóbal, A. (2021). Disposal of wooden wastes used as heavy metal adsorbents as components of building bricks. *Journal of Building Engineering*, 40, 102371. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102371>
- Toledo, R., dos Santos, D. R., Faria, R. T., Carrió, J. G., Auler, L. T., & Vargas, H. (2004). Gas release during clay firing and evolution of ceramic properties. *Applied Clay Science*, 27(3–4), 151–157. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2004.06.001>

Ullah, S., Bustam, M. A., Nadeem, M., Naz, M. Y., Tan, W. L., & Shariff, A. M. (2014). Synthesis and Thermal Degradation Studies of Melamine Formaldehyde Resins. *The Scientific World Journal*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/940502>

Yoleva, A., & Djambazov, S. (2022). Light Ceramic Materials With Low Thermal Conductivity. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 57(6), 1195.