

Análisis de las propiedades de ladrillos cerámicos alivianados obtenidos a partir de arcilla y agregados de diversos residuos agroindustriales

Pelozo, Gisela

gpelozo@frsn.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás (Argentina).

Caligaris, Marta

mcaligaris@frsn.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás (Argentina).

Quaranta, Nancy

nquaranta@frsn.utn.edu.ar

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás (Argentina).
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires - CICPBA*

Fecha de recepción RIII: 03/11/2024

Fecha de aprobación RIII: 24/11/2024

RESUMEN

Numerosas investigaciones fueron realizadas incorporando diversos residuos agroindustriales a mezclas arcillosas, con el fin de producir materiales cerámicos alivianados. En este trabajo se han analizado algunos de estos estudios, tomando como partida aquellos que se desarrollaron en las mismas condiciones experimentales, de tal forma que las variables a analizar son las densidades de las biomásas, y el porcentaje de residuo adicionado. Los descartes biomásicos seleccionados son cáscaras de maní, cáscaras de pistacho, carozos de aceitunas, marlos de maíz, entre otros. La caracterización de estos materiales se realizó con diversas técnicas. Los diagramas de XRD presentan en todos los casos los picos característicos de la porción cristalina de la celulosa. Por su parte los estudios de comportamiento térmico muestran picos exotérmicos correspondientes a los procesos de combustión-descomposición de los biopolímeros presentes. Se han estudiado las propiedades y características de los productos cerámicos obtenidos, pudiéndose observar que, en todos los casos, para contenidos de hasta 10% de material residual, se cumplen los requerimientos del mercado para este tipo de ladrillos. Además, un análisis detallado de la forma y tamaño de los poros producidos en las muestras ha conducido a establecer una importante relación con las características de las partículas de biomásas agregadas.

Palabras Claves: cerámicos; biomasa; residuos.

Analysis of the properties of lightweight ceramic bricks obtained from clay and aggregates of various agro-industrial wastes

ABSTRACT

Numerous investigations were carried out incorporating various agro-industrial wastes into clay mixtures, in order to produce lightweight ceramic materials. In this work, some of these studies have been analyzed, taking as a starting point those that were developed under the same experimental conditions, in such a way that the variables to be analyzed are the densities of the biomasses, and the percentage of added waste. The selected biomass waste is peanut shells, pistachio shells, olive pits, corn cobs, among others. The characterization of these materials was carried out with various techniques. The XRD diagrams present in all cases the characteristic peaks of the crystalline portion of cellulose. The thermal behavior studies show exothermic peaks corresponding to the combustion-decomposition processes of the biopolymers present. The properties and characteristics of the ceramic products obtained have been studied, and it can be observed that, in all cases, for contents of up to 10% of residual material, the market requirements for this type of bricks are met. Furthermore, a detailed analysis of the shape and size of the pores produced in the samples has led to establishing an important relationship with the characteristics of the aggregated biomass particles.

Keywords: ceramic; biomass; residues

Análise das propriedades de tijolos cerâmicos de baixo peso obtidos de argila e agregados de diversos resíduos agroindustriais

RESUMO

Inúmeras investigações foram realizadas incorporando diversos resíduos agroindustriais em misturas de argila, a fim de produzir materiais cerâmicos porosos. Neste trabalho foram analisados alguns desses estudos, tomando como ponto de partida aqueles que foram desenvolvidos nas mesmas condições experimentais, de forma que as variáveis a serem analisadas sejam as densidades das biomassas e a porcentagem de resíduos adicionados. Os resíduos de biomassa selecionados são cascas de amendoim, cascas de pistache, caroços de azeitona, espigas de milho, entre outros. A caracterização destes materiais foi realizada com diversas técnicas. Os diagramas de XRD apresentam em todos os casos os picos característicos da porção cristalina da celulose. Os estudos de comportamento térmico mostram picos exotérmicos correspondentes aos processos de combustão-decomposição dos biopolímeros presentes. Foram estudadas as propriedades e características dos produtos cerâmicos obtidos, podendo-se observar que, em todos os casos, para teores de até 10% de material residual, as exigências do mercado para este tipo de tijolos são atendidas. Além disso, uma análise detalhada da forma e tamanho dos poros produzidos nas amostras permitiu estabelecer uma importante relação com as características das partículas de biomassa agregada.

Palavras chave: cerâmica; biomassa; resíduos

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos agroindustriales son materiales de descarte generados por actividades productivas que no tienen un interés directo, y que por lo general son mantenidos en predios para ser enviados a disposición final o destinados para otros usos. En el caso de no ser reutilizados originan importantes problemas ambientales debido a que son grandes volúmenes de residuos que no son fácilmente recibidos por los lugares de disposición ya establecidos, lo que hace que a menudo se ubiquen a cielo abierto en las mismas empresas que los producen y posteriormente quemados para reducirlos. Afortunadamente, en los últimos años, han surgido numerosas investigaciones sobre la posible valorización de este tipo de materiales en diversas aplicaciones. Así pueden observarse varias biomásas que han sido estudiadas como catalizadores [Cheng T. et al, 2022], fuentes de extracción de diferentes productos químicos [Nath P. et al, 2023; Cho E. et al, 2020], refuerzos de matrices poliméricas [Mohite A. et al, 2022; Dubey S. et al, 2021; Koodalingam B. et al, 2020], etc.

Otra de las aplicaciones estudiadas para estos descartes de proceso se relaciona a su uso en la industria de la construcción, como agregados a materiales cementíceos, o en la fabricación de productos cerámicos. En el primer caso se agregan como refuerzos estructurales y como reemplazo de las materias primas originales [Kumaresan M. et al, 2022; Jannat N. et al, 2021], y en el caso de los cerámicos, se adicionan como formadores de porosidad, con el objetivo de obtener piezas cerámicas alivianadas, buscándose prestaciones similares a las tradicionalmente logradas con arcilla [Lawanwadeekul S. et al, 2023; de la Casa J. et al, 2021; Pérez-Villarejo L. et al, 2020; Al-Fakih A. et al, 2019].

En trabajos previos del grupo se ha estudiado la fabricación de ladrillos cerámicos alivianados con una gran diversidad de biomásas agregadas y variando los porcentajes adicionados entre 5% y 15% en volumen. Algunos de los residuos agrícolas investigados son cebada, aserrines, cáscaras de maní, cáscaras de pistacho, carozos de aceitunas, marlos de maíz, cáscaras de nuez, entre otros [Quaranta N. et al, 2023a; Quaranta N. et al, 2023b; Quaranta N. et al, 2018; Pelozo G. et al, 2018; Quaranta N. et al, 2016].

En la mayoría de los casos se ha determinado que para los productos con agregados de hasta 10%, se obtienen las propiedades y características requeridas por el mercado de este tipo de materiales. En algunas muestras, dichas propiedades se mantienen aún para porcentajes de 15% de biomasa agregada. La Figura 1 muestra algunas de las piezas obtenidas en dichos trabajos, en las que resulta evidente que a medida que se incrementa la proporción de biomasa agregada, aumenta la porosidad de las piezas cerámicas.

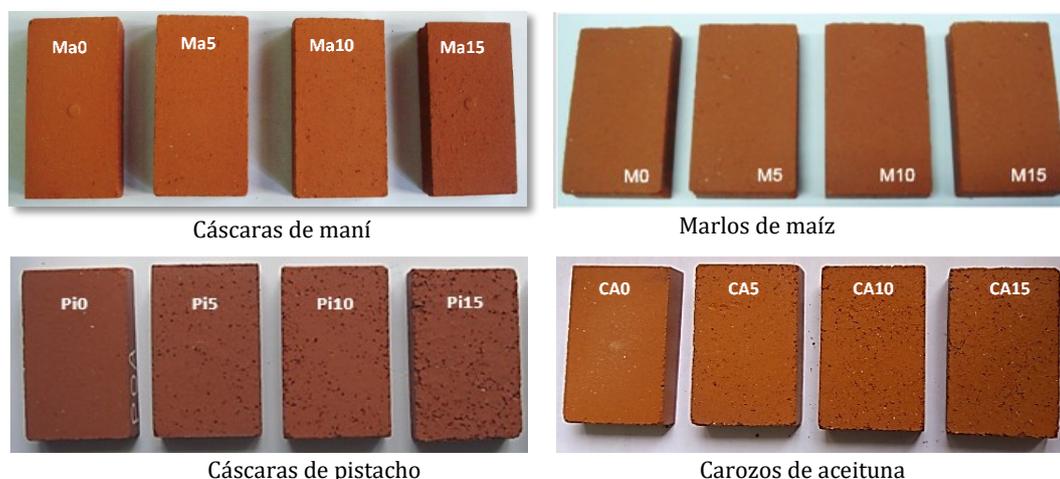


Figura 1. Ladrillos cerámicos obtenidos con diversas biomásas agregadas.

Algunos de los parámetros que influyen en la producción de ladrillos con mezcla de residuos adicionados pueden ser seleccionados de tal forma que dejen de ser variables de proceso y puedan dar lugar a análisis comparativos. Así, en este trabajo se ha diseñado un estudio sistemático estableciendo el porcentaje de material residual agregado, la proporción de agua para humectación de las mezclas, la presión uniaxial de compactación y la temperatura de cocción, como valores constantes de proceso. Es importante mencionar sin embargo que, si bien el porcentaje de biomasa en volumen es tomado como constante, dependiendo de la densidad de la misma dicho volumen corresponderá a diferentes pesos. Esto se hará notorio en algunas de las propiedades finales del ladrillo, tales como la pérdida de peso por calcinación y la variación volumétrica permanente.

Generalmente los estudios de incorporación de descartes agroindustriales en mezclas cementíceas o arcillosas son llevados a cabo considerando los porcentajes en volumen, de manera tal de mantener la misma cantidad de arcilla en las muestras. Así, los cuerpos en verde tendrán tamaños similares y los procesos de sinterización serán comparables.

En estas investigaciones, el tamaño y forma de las partículas de residuo agregadas, y la densidad de las biomásas utilizadas son consideradas las variables de proceso. Los descartes agroindustriales seleccionados son cáscaras de maní, marlos de maíz, cáscaras de pistacho y carozos de aceituna. Los dos primeros son considerados materiales de baja densidad, mientras que los otros dos corresponden a biomásas de densidad alta. Este parámetro, que habitualmente no es considerado en la literatura, es sumamente importante ya que las biomásas con bajas densidades tienden a ser de características más fibrosas, con estructuras más abiertas, y en la etapa de molienda conducen a mezclas más heterogéneas en relación a la forma de las partículas.

Las diferentes etapas de este trabajo y la metodología de estudio, se han diseñado con el objetivo de determinar la influencia del tamaño y forma de las partículas de biomasa, sobre las características de los poros obtenidos en los productos cerámicos.

2. EXPERIMENTAL

Los diversos descartes agroindustriales han sido caracterizados por microscopía óptica (OM), microscopía electrónica de barrido (SEM) con análisis dispersivo de rayos X (EDS), difracción de rayos X (XRD), y análisis térmico diferencial y termogravimétrico (DTA-TGA). Además se ha determinado la pérdida de peso por calcinación de estos materiales en polvo.

Las observaciones por OM fueron realizadas con un equipo Zeiss-Axiotech con cámara marca Donpisha 3CCD, con digitalizador de imágenes. Los análisis por SEM se realizaron con un equipo FEI Inspect S50, con un detector de rayos X marca EDAX Phoenix.

Los diagramas de difracción de rayos X de las muestras en polvo se registraron con un equipo PANalytical X'Pert PRO, con radiación $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ nm}$), en condiciones de operación de 40 kV y 40 mA. Los ensayos de comportamiento térmico de las biomásas (DTA-TGA) fueron llevados a cabo con un equipo Shimadzu DTA-50 TGA-50 con analizador TA-50 WSI, con velocidades de calentamiento de $1^\circ\text{C}/\text{min}$, en atmósfera de aire, en el rango de temperaturas amb- 1000°C .

La pérdida de peso por calcinación de las materias primas en polvo se determinó a partir de las curvas DTA-TGA. El tamaño de partícula de las biomásas y de la arcilla utilizada en este trabajo es menor a 1mm. La distribución granulométrica de las muestras se utilizó para determinar el tamaño de partícula mayor presente en cada muestra, y el tamaño de partícula que se encuentra en mayor porcentaje.

Las piezas cerámicas fueron obtenidas utilizando una presión de compactación uniaxial de 25 MPa en mezclas de arcilla comercial y residuo agroindustrial (cáscaras de maní, cáscaras de pistacho, marlos de maíz y carozos de aceituna) adicionados en un porcentaje de 10% en volumen, con agregado de humedad (8% en peso), conformados en moldes de 70mm x 40mm, resultando ladrillos de aproximadamente 15mm de altura.

Luego del proceso de secado, las piezas en verde fueron tratadas térmicamente a 950°C, siguiendo curvas de calentamiento similares a las utilizadas en la industria cerámica. Los ladrillos cerámicos obtenidos fueron caracterizados por diferentes técnicas: porosidad aparente (P), variación volumétrica permanente (VVP), pérdida de peso por calcinación (PPC), y propiedades mecánicas.

La porosidad de las muestras fue determinada según ensayos estandarizados por ASTM C20-00. Los valores de VVP se obtuvieron midiendo las dimensiones (alto, ancho y espesor) de los ladrillos antes y después del tratamiento a 950°C. De igual forma la PPC se calculó por la diferencia de peso entre las piezas en verde y las cocidas.

El comportamiento mecánico se determinó mediante el módulo de rotura obtenido en una máquina de ensayos Instron Model 1125, con capacidad máxima de 10000 kg, según la norma ASTM C133-97.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan características de diversas biomazas, tales como la densidad y los picos observados en los diagramas de difracción de rayos X. Además de las cuatro biomazas estudiadas en este trabajo, se han agregado otras con fines comparativos.

Tabla 1. Características de diversas biomazas

Biomasa	Densidad [g/cm ³]	Pico XRD [2θ]					
Cáscaras de pistacho	0.44	16.7	21.7	---	34.7	44.4	---
Carozos de aceitunas	0.36	---	21.8	31.7	34.5	45.3	---
Cebada residual	0.22	15.9	20.9	31.7	---	44.5	---
Cáscaras de girasol	0.16	15.4	22.0	31.9	34.8	45.1	26.5
Cáscaras de maní	0.12	16.8	22.4	---	35.3	---	26.7
Marlos de maíz	0.10	---	22.3	31.5	35.4	43.9	26.9
Aserrín de pino	0.10	16.1	22.4	31.6	34.7	45.3	26.5

Las densidades de los residuos agroindustriales fueron determinadas por el método tradicional de masa/volumen, partiendo de los materiales en polvo con tamaño de partículas menores a 1 mm, utilizando un volumen fijo de 50 cm³. Como puede observarse en la Tabla 1, las biomazas se han ordenado según su valor de densidad de mayor a menor, considerándose materiales densos las dos primeras, y de baja densidad las tres últimas, coincidentemente con la apariencia granular de los materiales de mayor densidad, y fibrosa de aquellos menos densos. En el caso de las cáscaras de girasol y de los residuos de cebada, se observan características intermedias, por ello se han seleccionado para este análisis las biomazas que presentan mayores diferencias.

Las biomazas agroindustriales pueden presentar varios picos característicos de difracción, que son asignados a la celulosa semicristalina. Pueden alcanzar un máximo de cinco picos en el rango de 2θ entre 0° y 50°. En la Tabla 1 se presentan los picos determinados para cada biomasa analizada, y como puede observarse no todas presentan los cinco picos característicos, la mayoría presenta cuatro de ellos. El pico determinado a valores de 2θ = 26.7 ± 0.2 corresponde a un pico característico de la sílice (SiO₂) en

su fase cuarzo, en este caso presente en los diagramas correspondientes a las biomazas de más baja densidad.

A modo de ejemplo, el diagrama de difracción del aserrín de pino se presenta en la Figura 2, seleccionado debido a que presenta el diagrama completo, con los cinco picos correspondientes a la celulosa semicristalina, y también un pico intenso de la fase cuarzo ($2\theta = 26.5$).

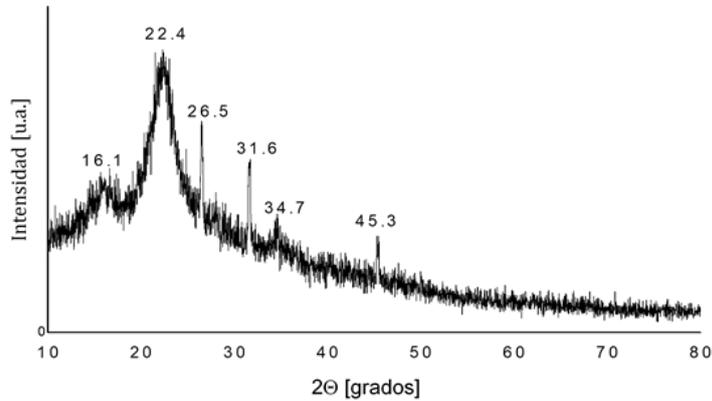


Figura 2. XRD de aserrín de pino molido.

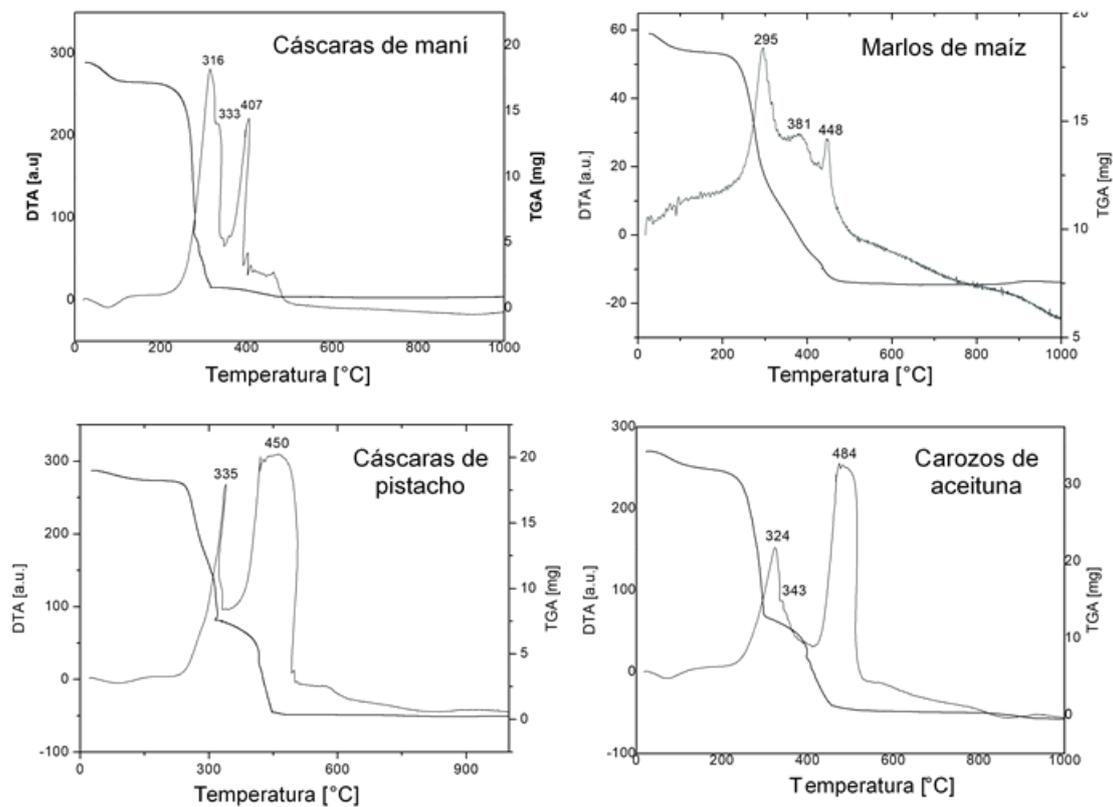


Figura 3. DTA-TGA de las biomazas utilizadas.

Los análisis térmico diferencial y termogravimétrico de las cuatro biomásas utilizadas en este trabajo son presentados en la Figura 3. Se observan picos exotérmicos en los DTA de todas las muestras, notándose que las curvas de las cáscaras de maní y de los marlos de maíz, biomásas consideradas de baja densidad, muestran tres picos que pueden asignarse a reacciones de descomposición-combustión de los biopolímeros: hemicelulosa, celulosa y lignina, apareciendo en ese orden a medida que se incrementa la temperatura. En el caso de las curvas de cáscaras de pistacho y carozos de aceituna, biomásas más densas, se observan dos picos, uno bien definido correspondiente a hemicelulosa, y otro ancho, probablemente debido a la coexistencia de los picos de celulosa y lignina.

Las curvas TGA de estas muestras registran las pérdidas de peso que van ocurriendo a medida que la combustión de los biopolímeros se va produciendo. En las muestras de menor densidad, de estructuras fibrosas, se observa una pérdida continua de peso hasta obtener el peso final constante, mientras que las biomásas de estructura más compacta, de densidades mayores, presentan pérdidas de peso escalonadas, pudiendo identificar por un lado la combustión de la hemicelulosa, y por otro la región de combustión conjunta de celulosa y lignina.

Las pérdidas de peso por calcinación de estas muestras en polvo, pueden calcularse a partir de estas curvas, por su intersección con el eje de TGA [mg], que determina la cantidad de cenizas que se producen en el proceso de combustión de la biomasa. Para las biomásas de baja densidad se han observado mayores porcentajes de cenizas que para las de mayores densidades. Siendo dichos valores los siguientes: 4.7% para cáscaras de maní, 7.5% para marlos de maíz, y 1.8% para carozos de aceituna y cáscaras de pistacho. Esto es coincidente con el hecho de haber observado en los diagramas de XRD (Tabla 1), que las muestras de bajas densidades contienen en su composición cantidades detectables de sílice, material que no combustiona y queda presente en las cenizas.

En todos los casos, el hecho de que estas biomásas presenten un amplio rango de temperaturas de combustión, hace que se constituya en un factor importante que permite inferir que, al ser incorporadas a mezclas arcillosas, no se producirán grietas durante el proceso de sinterización de las piezas cerámicas.

Las siguientes figuras (Figura 4 a 7), muestran las imágenes SEM de las biomásas molidas. Las cáscaras de maní, Figura 4, presentan una estructura laminar y fibrosa.

Las partículas de marlos de maíz, Figura 5, se presentan en diferentes formas, triangulares y alargadas, con estructura laminar, y cuando son observadas a mayores aumentos, se hacen evidentes sus estructuras abiertas fibrosas, típicas de las biomásas de baja densidad.

Las cáscaras de pistacho y los carozos de aceituna, consideradas biomásas de alta densidad, cuando son molidas, aparecen con estructuras más cerradas y definidas, como puede observarse en las Figuras 6 y 7. A pesar de que las características fibrosas son comunes a todos los residuos agroindustriales, en el caso de estas biomásas más densas, aún a altas magnificaciones no se observan fibras separadas de la estructura.

Los análisis químicos semicuantitativos por EDS de estos materiales biomásicos presentan altos porcentajes de C y O, y en casi todos ellos se hallan presentes en muy pequeñas proporciones Al, Si, Mg, P, S, Na, K, Ca y Fe.

Como se ha mencionado con anterioridad, por fines comparativos se han seleccionado para este estudio, las piezas cerámicas con agregados de 10% en volumen de las biomásas analizadas. La Tabla 2 presenta las características y propiedades determinadas en estos ladrillos, y serán analizadas teniendo en cuenta la densidad de los materiales agroindustriales utilizados.

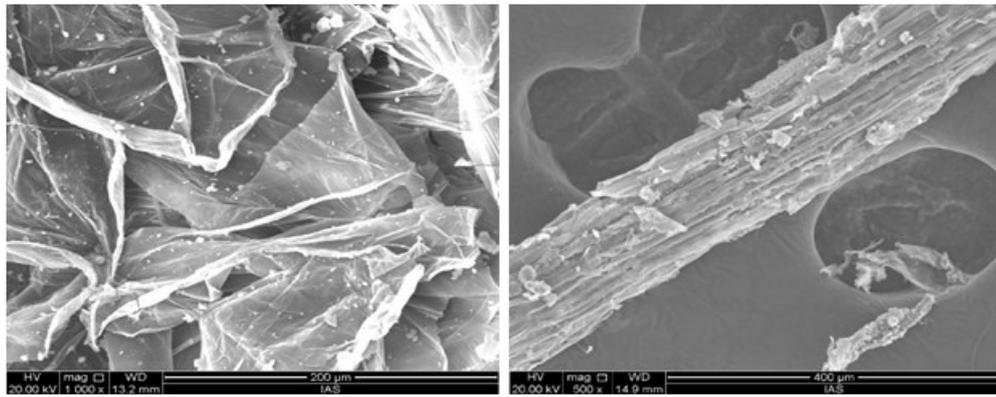


Figura 4. Imágenes SEM de cáscaras de maní molidas.

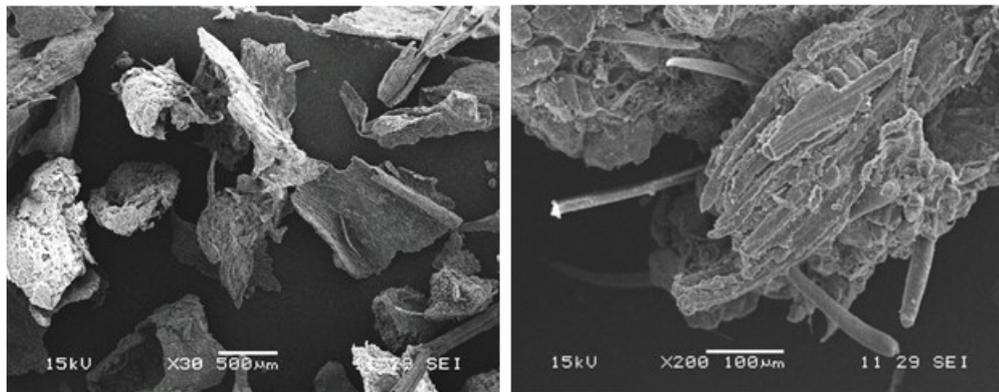


Figura 5. Imágenes SEM de marlos de maíz molidos.

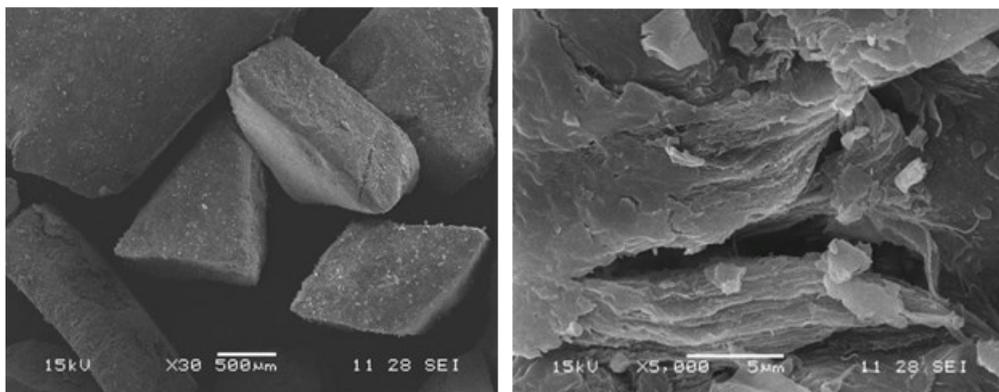


Figura 6. Imágenes SEM de cáscaras de pistacho molidas.

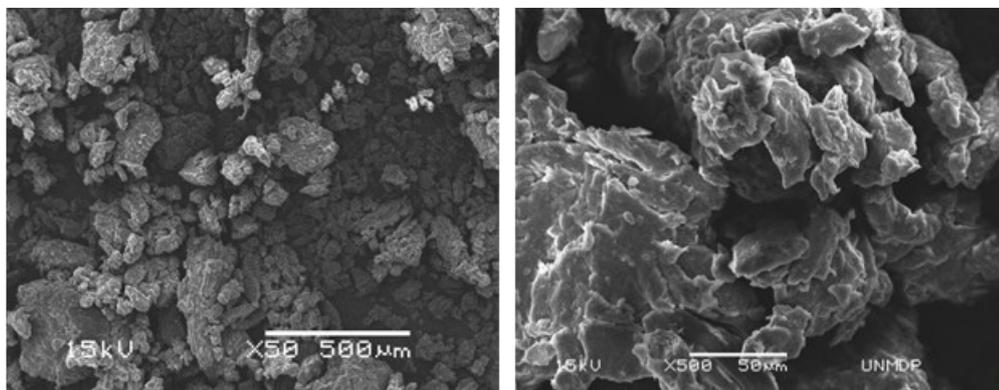


Figura 7. Imágenes SEM de carozos de aceituna molidos

Se observa que los resultados pueden relacionarse a la densidad de los residuos agroindustriales, que directamente se corresponde también a la masa agregada de biomasa. Por ejemplo, las biomásas menos densas, marlos de maíz y cáscaras de maní presentan valores más bajos de VVP, PPC y Porosidad, que los ladrillos con agregados más densos, carozos de aceituna y cáscaras de pistacho. Los valores de resistencia a la flexión expresados en MOR presentan una tendencia a ser más bajos a porosidades más altas (mayor densidad de biomasa). Estos valores no se relacionan de manera directa, ya que se ven influenciados también por las formas y los tamaños de los poros producidos durante la cocción de cada tipo de ladrillo arcilla + biomasa.

Tabla 2. Características de las piezas cerámicas obtenidas

Biomasa	Densidad [g/cm ³]	VVP	PPC	Porosidad	MOR
Marlos de maíz	0.10	4.9	10.0	23.9	8.8
Cáscaras de maní	0.12	5.7	9.4	27.5	6.7
Carozos de aceituna	0.36	8.7	14.2	31.8	4.8
Cáscaras de pistacho	0.44	7.3	17.2	29.4	6.9

Otra característica que se ha determinado a partir de los estudios llevados a cabo con los diferentes residuos agroindustriales, es que la forma y el tamaño de las partículas de biomasa agregada tiene influencia en el tipo de porosidad producida en los ladrillos, en especial en el tamaño y forma de los poros obtenidos.

La técnica de microscopía óptica (OM) se ha utilizado para hacer el análisis de tamaño y forma de poros de los ladrillos. Para ello las muestras se han cortado, embutido en resina y pulido hasta pasta de diamante de 1 micrón, con el fin de obtener fotografías claras.

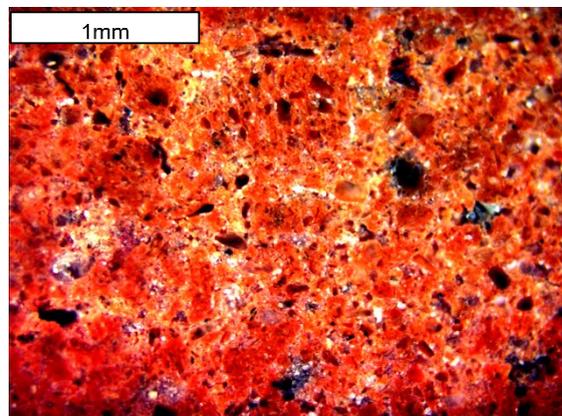


Figura 8. Imágenes OM de ladrillos sin biomasa agregada

La Figura 8 muestra un ladrillo de arcilla sin agregados de biomasa, para ser tenido en cuenta como referencia estructural en relación a aquellos obtenidos con 10% en volumen de las diferentes biomásas. Puede observarse que presentan una matriz con una distribución homogénea de porosidad, con diversas formas de poro, y todos ellos de tamaño muy pequeño.

El análisis de la porosidad de los ladrillos que contienen las diferentes biomásas, conduce a establecer que el tamaño y forma de los poros formados pueden ser relacionados con las características de las partículas del residuo agregado, como se observa en los casos estudiados siguientes.

La distribución de tamaño de partícula de las biomásas utilizadas en la fabricación de los ladrillos tiene características similares, siendo las partículas más grandes agregadas de 1mm, mientras que las más abundantes, presentes en un porcentaje mayor a 50% son de tamaño 0.5mm. En el caso de los carozos de aceituna, las más abundantes son 0.5 mm (30%) y 1mm (30%). Estos datos se han utilizado para calcular la relación entre estos tamaños y el de los poros formados en las muestras.

En la Figura 9 se presentan fotografías tomadas a las muestras con marlos de maíz. Los poros presentes en los ladrillos tienen las mismas formas que las observadas en las partículas agregadas. Se aprecia además la presencia de un gran número de poros alargados de menor tamaño, que se han indicado con amarillo en la fotografía, probablemente originados por fibras que se han desprendido de las partículas durante el proceso de mezclado de las pastas con arcilla. También se han observado en el análisis de estas muestras por SEM, como se muestra en la micrografía incluida en la Figura 9. En relación al tamaño de los poros, se ha determinado que el tamaño más abundante corresponde al 60% del tamaño de partícula de esta biomasa adicionado en mayor proporción.

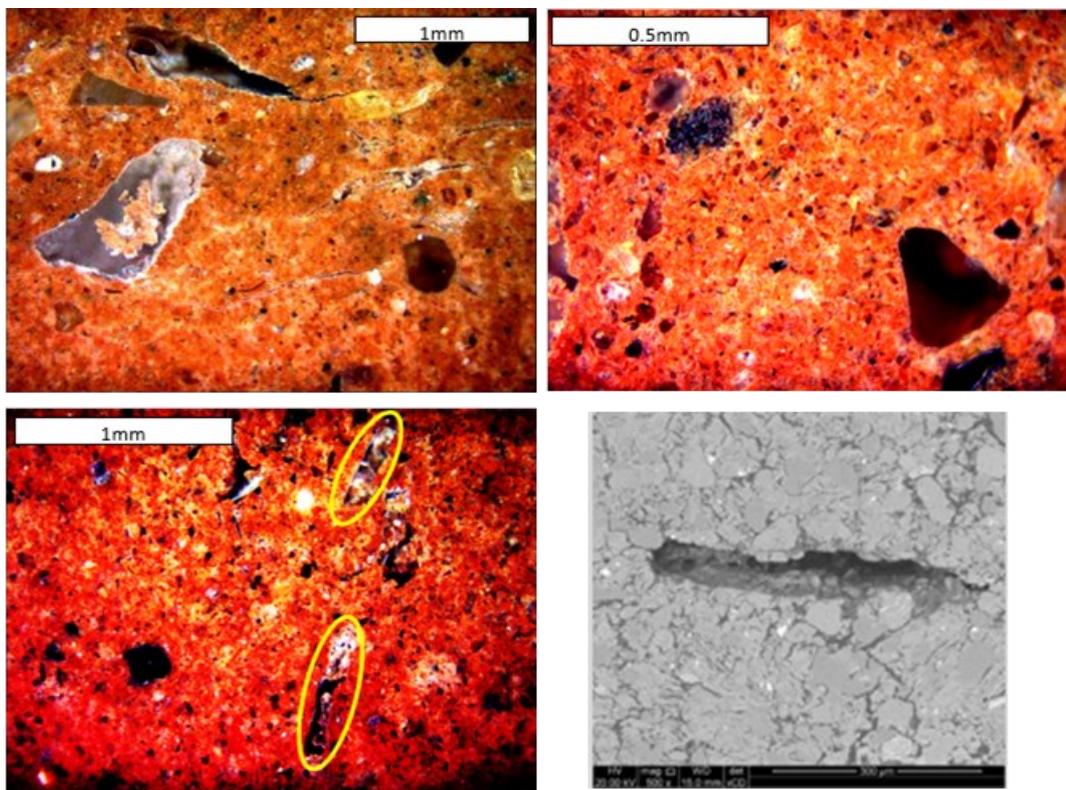


Figura 9. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de marlos de maíz

Para las piezas cerámicas producidas con agregado de cáscaras de maní, biomasa que al igual que los marlos de maíz se considera de baja densidad y de estructura laminar y fibrosa, las formas de los poros se corresponden a las observadas en las partículas de esta biomasa molida. En este caso, también se aprecian numerosos poros alargados como originados por fibras separadas de material. La Figura 10 presenta micrografías de estos ladrillos. En relación al tamaño de los poros observados en estas muestras adicionadas con cáscaras de maní, el tamaño más abundante, corresponde al 60% del tamaño de partícula adicionado en mayor proporción.

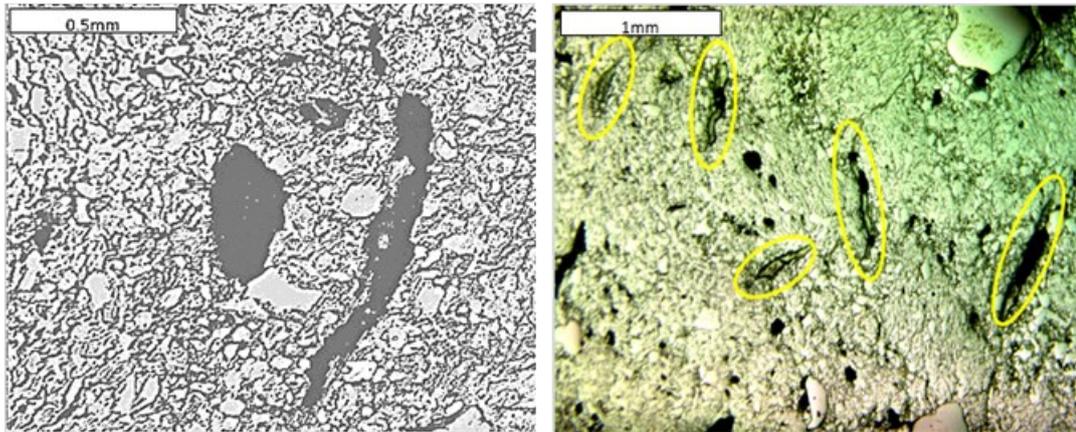


Figura 10. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de cáscaras de maní

En la Figura 11 se presentan las micrografías tomadas a los ladrillos fabricados con agregado de cáscaras de pistacho, biomasa de mayor densidad que las anteriores mencionadas, y en este caso, de característica estructural granular, menos fibrosa y laminar. Puede notarse claramente que los poros producidos presentan formas similares a las observadas en el material molido. No se han observado en estos ladrillos poros alargados como en las muestras anteriores. En cuanto al tamaño más abundante de poros, en este caso se determinó que corresponde al 60% de los tamaños de partícula agregados en mayor proporción.

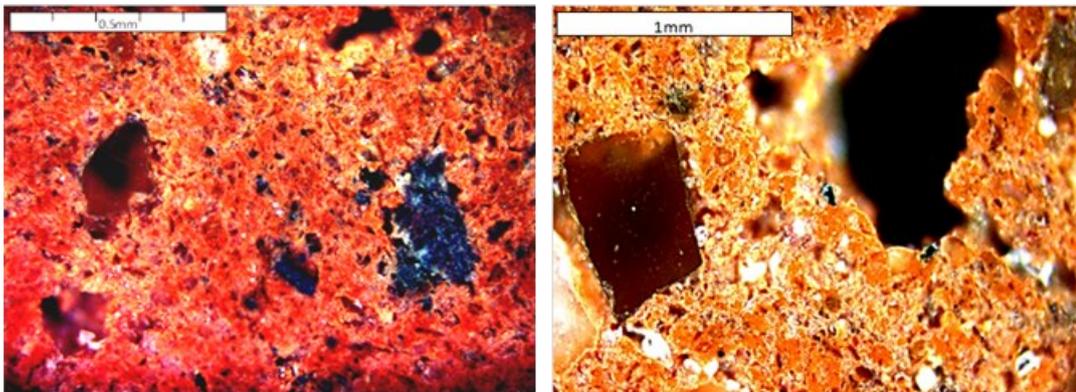


Figura 11. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de cáscaras de pistacho.

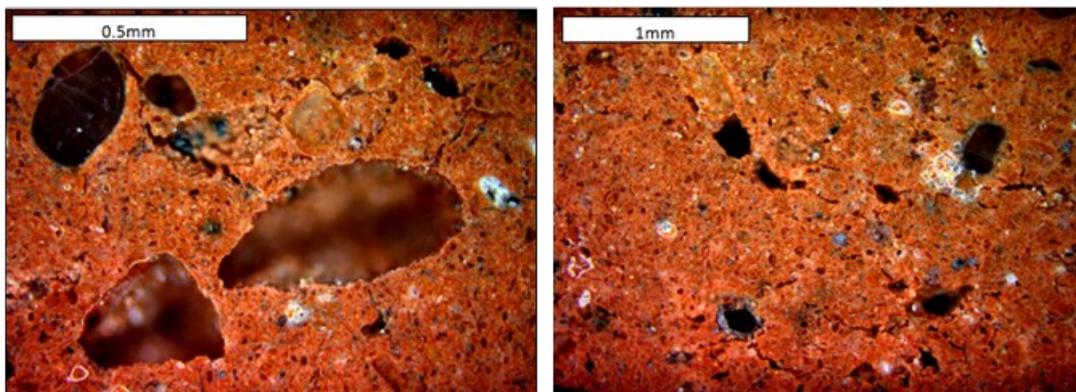


Figura 12. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de carozos de aceituna

Finalmente, la porosidad de los ladrillos producidos con el agregado de carozos de aceituna se presenta en la Figura 12. Este material biomásico también es considerado de densidad alta, y de estructura más compacta y menos fibrosa. Los poros formados conservan las formas de las partículas agregadas. No se han observado poros alargados del tipo producido por materiales fibrosos. También en este caso, el tamaño más abundante de poro observado corresponde al 60% del tamaño de partícula presente en mayor proporción.

En todas las muestras se ha observado además, que los mayores tamaños de poros presentes corresponden a valores de entre 70% y 80% del tamaño de partícula más grande adicionado (1mm).

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, los estudios realizados permiten concluir que diversos materiales biomásicos agroindustriales pueden utilizarse como formadores de poros en matrices cerámicas, siendo las muestras con agregados de hasta 10% en volumen de biomasa, las que presentan propiedades dentro de los requerimientos del mercado.

Se han seleccionado por ello, cuatro biomásas con densidades distintas, marlos de maíz, cáscaras de maní, cáscaras de pistacho y carozos de aceituna, y los ladrillos producidos con ellas, agregadas en la proporción mencionada, para analizar detalladamente las formas y tamaños de los poros formados.

Se ha determinado que en los casos estudiados, la forma de los poros obtenidos se corresponde con la forma de las partículas de biomasa agregadas, y en relación al tamaño de dichos poros, aquellos presentes en mayor proporción corresponden al 60% del tamaño más abundante agregado de las partículas de biomasa. Además, se ha observado que en el caso de las biomásas de densidades más bajas, marlos de maíz y cáscaras de maní, que presentan características estructurales laminares y más fibrosas, se han producido poros alargados, que parecen estar originados por fibras sueltas, probablemente desprendidas de las partículas durante el proceso de mezcla.

Estos resultados resultan atractivos ya que conducen a concluir que pueden diseñarse productos con porosidad controlada mediante una adecuada selección del tipo de biomasa, y del tamaño de partícula a utilizar de la misma.

5. REFERENCIAS.

Al-Fakih A., Mohammed B., Liew M., Nikbakht E. (2019). Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review. *Journal of Building Engineering* 21,37-54.

Cheng T., Li J., Ma X., Zhou L., Wu H., Yang L. (2020). Alkylation modified pistachio shell-based biochar to promote the adsorption of VOCs in high humidity environment. *Environmental Pollution*. 295:Art.118714.

Cho E., Trinh L., Song Y., Lee Y., Bae H. (2020). Bioconversion of biomass waste into high value chemicals. *Bioresource Technology* 298:Art.122386.

de la Casa J., Bueno J., Castro E. (2021). Recycling of residues from the olive cultivation and olive oil production process for manufacturing of ceramic materials. A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production* 296:Art.126436.

Dubey S., Mishra V., Sharma A. (2021). A review on polymer composite with waste material as reinforcement. *Materials Today: Proceedings* 47, 2846-2851.

- Jannat N., Al-Mufti R., Hussien A., Abdullah B., Cotgrave A.(2021). Utilisation of nut shell wastes in brick, mortar and concrete: A review. *Construction and Building Material* 293:Art.123546.
- Koodalingam B., Senthikumar P., Rajesh Babu S. (2020). Study of mechanical properties of the polymer matrix composite materials using pistachio shells. *Material Today Proceedings* 33(7), 2912-2916.
- Kumaresan M., Sindhu Nachiar S., Anandh S. (2022). Implementation of waste recycled fibers in concrete: a review. *Materials Today: Proceedings* 68:1988-1994.
- Lawanwadeekul S., Srisuwan A., Phonphuak N., Chindaprasirt P. (2023). Enhancement of porosity and strength of clay brick fired at reduced temperature with the aid of corn cob and waste glass. *Construction and Building Materials* 369:Art.130547.
- Mohite A., Jagtap A., Avhad M., More A. (2022). Recycling of major agriculture crop residues and its application in polymer industry: A review in the context of waste to energy nexus. *Energy Nexus* 7:Art.100134.
- Nath P., Ojha A., Debnath S., Sharma M., Sridhar K., Nayak P., Inbaraj B. (2023). Biogeneration of Valuable Nanomaterials from Agro-Wastes: A Comprehensive Review. *Agronomy* 13, 561.
- Pelozo G., Quaranta N., Caligaris M., Romano M., Cristóbal A. (2018). Effect of the incorporation of biomass wastes on the properties of fired clay bricks. *The Journal of Solid Waste Technology and Management* 744-751.
- Pérez-Villarejo L., Eliche-Quesada D., Martín-Pascual J., Martín-Morales M., Zamorano M. (2020). Comparative study of the use of different biomass from olive grove in the manufacture of sustainable ceramic lightweight bricks. *Construction and Building Materials* 231:Art.117103.
- Quaranta N., Caligaris M., Unsen M., López H., Pelozo G., Cristóbal A. (2023a). Ceramic bricks using pistachio shells as controlled porosity former. *Journal of Building Materials and Structures* 10, 16-26.
- Quaranta N., Varoli R., Caligaris M., Cristóbal A. (2023b). Use of corncob as controlled porosity former in ceramics. *Revista Tecnología y Ciencia* 46, 1-17.
- Quaranta N., Caligaris M., Pelozo G., Césari A., Cristóbal A. (2018). Use of wastes from the peanut industry in the manufacture of building materials. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 13(4), 662-670.
- Quaranta N., Caligaris M., Pelozo G., Unsen M., Cristóbal A. (2016). The characterization of brewing waste and feasibility of its use for the production of porous ceramics. *Transactions on Ecology and the Environment* 202, 299-310.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por el aporte económico recibido para su desarrollo.