

Análisis de la varianza (ANOVA) para estimar los factores que influyen en la porosidad de los ladrillos elaborados con ceniza volcánica

María López Gómez (1*), Giuseppe Cultrone (1)

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18002, Granada (España)

* corresponding author: lopezm@ugr.es

Palabras Clave: ANOVA, Ladrillos, La Palma, Ceniza volcánica, Porosidad. **Key Words:** ANOVA, Bricks, La Palma, Volcanic ash, Porosity.

INTRODUCCIÓN

La erupción de La Palma de 2021 dio lugar a la emisión de un gran volumen de material volcánico. Para reutilizar parte de ese residuo natural se incorporó 10, 20 y 30 % de ceniza volcánica a la tierra arcillosa de Viznar (Granada) para elaborar ladrillos que se cocieron a 800, 950 y 1100 °C. En una investigación precedente (López Gómez y Cultrone, 2025), se comprobó que la adición de ceniza volcánica fina disminuía la porosidad de los ladrillos, debido a la menor cantidad de tierra arcillosa utilizada, mientras que esta disminución parecía suavizarse con la ceniza de tamaño grueso, llegando a presentar la misma porosidad que los ladrillos sin aditivos. A partir de ese estudio, se ha realizado un análisis de la varianza (ANOVA) de dos factores (porcentaje y tamaño del aditivo) para determinar sus efectos sobre la porosidad de los ladrillos.

METODOLOGÍA

La porosidad se calculó a partir de ensayos hídricos de absorción libre y forzada (UNE-EN 13755, 2008) realizados sobre tres probetas por tipo de ladrillo con y sin la adición de ceniza volcánica. Los resultados se analizaron mediante el programa SPSS Statistics, agrupando las muestras según su temperatura de cocción. Sobre cada una de las temperaturas se realizó un análisis de la varianza de un factor (One-Way ANOVA) para el conjunto de las muestras y uno de dos vías (Two-Way ANOVA) para los resultados de las muestras con ceniza volcánica. Se tomó el porcentaje de ceniza volcánica (0, 10, 20 y 30 %), como variable independiente del One-Way ANOVA, mientras que para el Two-way ANOVA se estudió también el tamaño de grano (fino, $\phi < 0,6\text{mm}$, y grueso, $0,6 < \phi < 2\text{mm}$). Para explicar los resultados estadísticos obtenidos desde el punto de vista textural se observaron las muestras con microscopía electrónica (Phenom XL Desktop).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los análisis estadísticos. Se puede percibir que el porcentaje de aditivo por sí mismo no es estadísticamente significativo ($p > ,05$, Tabla 1) y que sus efectos sobre la porosidad son menores en las muestras cocidas a 1100 °C (η^2 , Tabla 1). De los análisis del Two-Way ANOVA se puede observar que la interacción entre el tamaño de grano y el porcentaje de aditivo es significativa para todas las temperaturas ($p < ,001$, Tabla 1). Esto indica que el tamaño de la ceniza volcánica añadida afecta a la porosidad de los ladrillos. Esta influencia se constata visualmente en los diagramas (Figura 1 a y b), donde se aprecia que la adición de ceniza volcánica gruesa aumenta la porosidad, mientras que ésta disminuye con la adición de ceniza volcánica fina. Por lo general, la adición de ceniza volcánica disminuye la proporción de matriz del ladrillo, disminuyendo así su porosidad. Sin embargo, con la ceniza volcánica gruesa, los huecos que se forman entre la matriz y el aditivo hacen que aumente la porosidad con el porcentaje de aditivo añadido.

Por último, cuando se compara el aumento de la porosidad entre muestras con ceniza volcánica gruesa cocidas a 800 (Fig. 1a) y 1100 °C (Fig. 1b), el incremento producido a 800 °C parece ser ligeramente mayor que el que ocurre a 1100 °C. Esto se explica por las diferencias en la vitrificación de la matriz arcillosa entre ambas temperaturas. En efecto, en las imágenes de SEM se puede ver como a 800 °C (Fig. 1c) el contacto entre la ceniza volcánica y la matriz

del ladrillo es peor que a 1100 °C (Fig. 1d) debido a un diferente grado de vitrificación, lo que implica que el aumento de la porosidad sea mayor. Estas diferencias en la vitrificación también pueden estar relacionadas con el menor efecto del porcentaje de aditivo en la porosidad en las muestras cocidas a 1100 °C con respecto a las cocidas a 800 °C (,199 y ,607 respectivamente).

Tabla 1: P-valor y eta cuadrado (η^2) de los análisis estadísticos realizados.

	Temperatura	P-valor			η^2		
		800	950	1100	800	950	1100
One-Way ANOVA	Porcentaje	,277	,365	,848	,198	,169	,045
Two-Way ANOVA	Porcentaje	,004	,004	,264	,607	,607	,199
	Granulometría	<,001	<,001	<,001	,907	,907	,969
	Porcentaje*Granulometría	<,001	<,001	<,001	,837	,837	,895

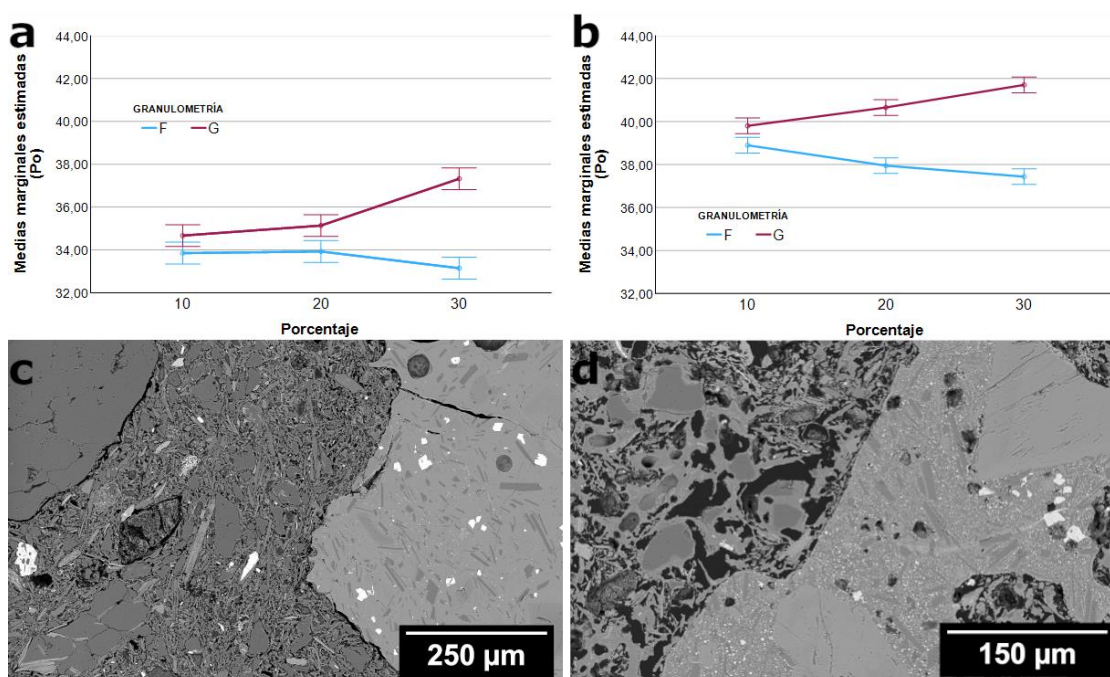


Fig 1: Variación de la porosidad con respecto al porcentaje y tamaño de ceniza volcánica de las muestras cocidas a 800 (a) y a 1100 °C (b). Imágenes de SEM de las muestras con 30 % de ceniza gruesa cocidas a 800 (c) y 1100 °C (d).

CONCLUSIONES

En los ladrillos elaborados con ceniza volcánica de La Palma, los efectos de la interacción entre el porcentaje de ceniza volcánica y su tamaño sobre la porosidad de los ladrillos son estadísticamente significativos. El uso de ceniza de grano fino disminuye la porosidad de los ladrillos mientras que la de grano grueso la aumenta debido al menor grado de unión entre el aditivo y la matriz del ladrillo.

AGRADECIMIENTOS

Estudio financiado por el grupo RNM179 de la Junta de Andalucía y el PID2023146405OBI00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. M.L.G. tiene un contrato predoctoral FPU22/00696.

REFERENCIAS

- López Gómez, M., Cultrone, G. (2025): Physico-Mechanical Properties and Decay Susceptibility of Clay Bricks After the Addition of Volcanic Ash from La Palma (Canary Islands, Spain). *Sustainability*, **17**(14), 6545. DOI: 10.3390/su17146545.
- UNE-EN 13755. (2008): Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica. AENOR, Madrid, España.