

Desarrollo y caracterización de bloques de construcción ligeros con geopolímeros de puzolana

Authors:

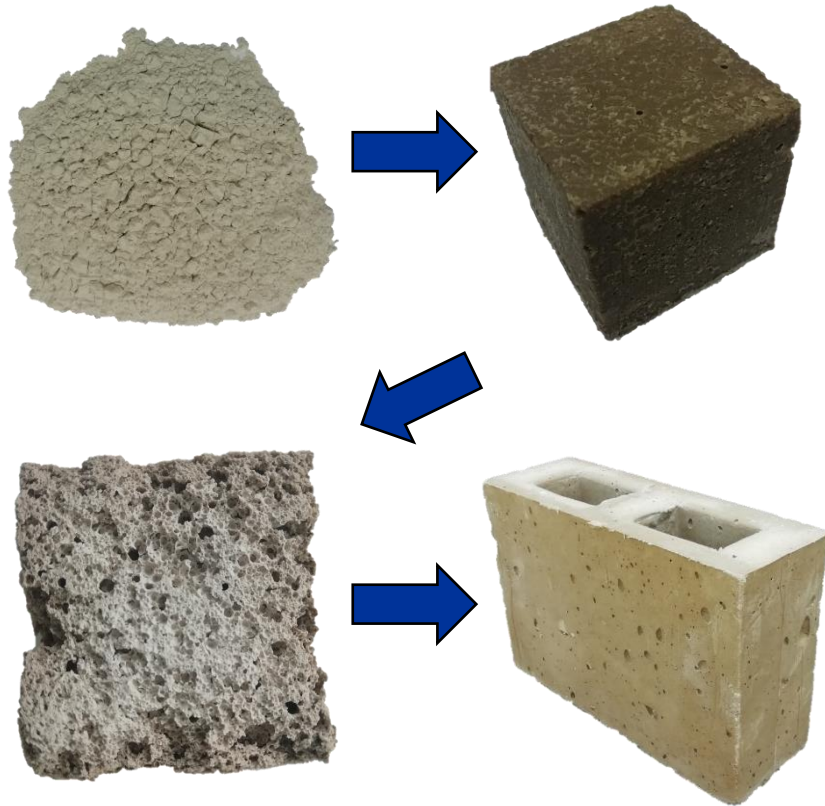
David Castañeda¹, Jorge Salirrosas¹, Guido Silva¹, Rafael Aguilar¹, Suyeon Kim¹, Bruno Bertolotti², Javier Nakamatsu³.

Affiliations:

¹Engineering Department, Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP

²Research and Development Department, Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A (COMACSA), Peru.

³Science Department, Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP



Los geopolímeros se pueden utilizar como materiales alternativos que reemplazan al cemento Portland en la fabricación de bloques de construcción ligeros.



Bloques de construcción
Cemento: 1 ton = 1 ton CO₂

Tendencia a buscar materiales alternativos



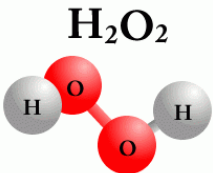
Geopolímeros



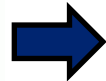
Materia prima



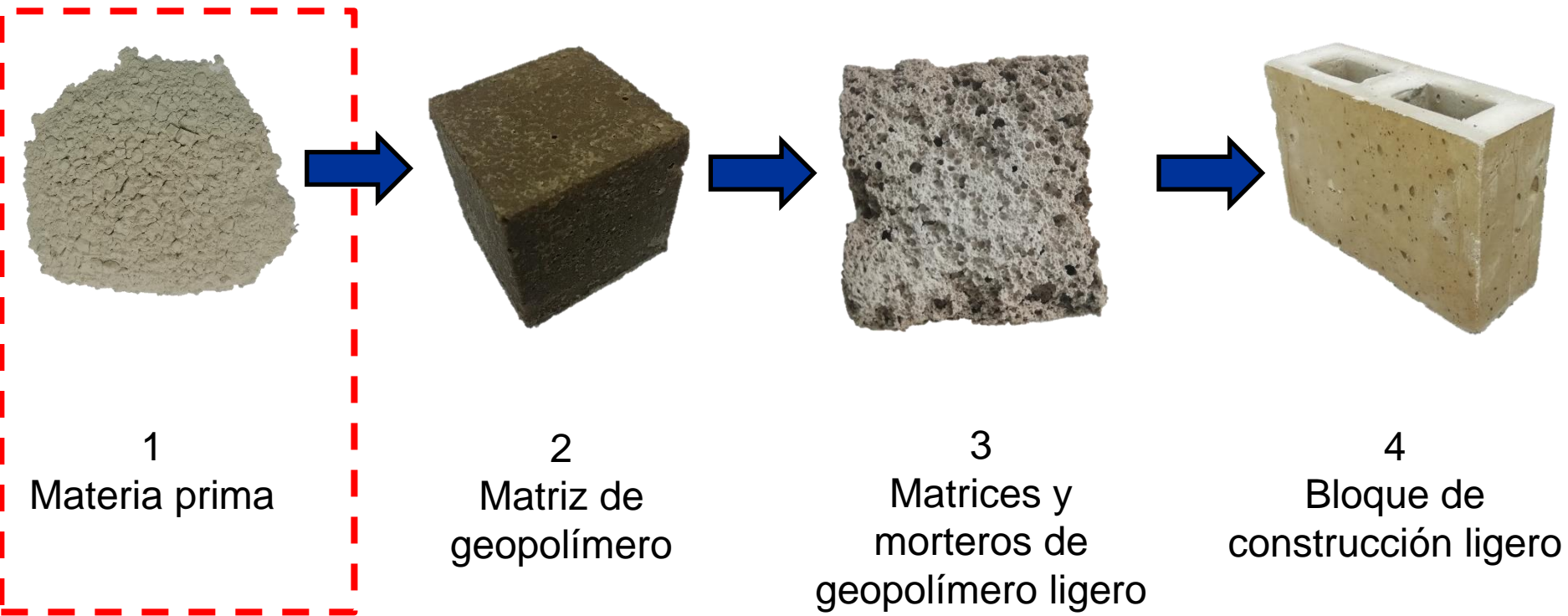
Activador alcalino



Agente espumante



Geopolímero ligero



Las propiedades físicas y químicas verificaron que la puzolana puede ser utilizada como materia prima para la fabricación de geopolímeros.



Obtención de materia prima



Extracción (Arequipa)

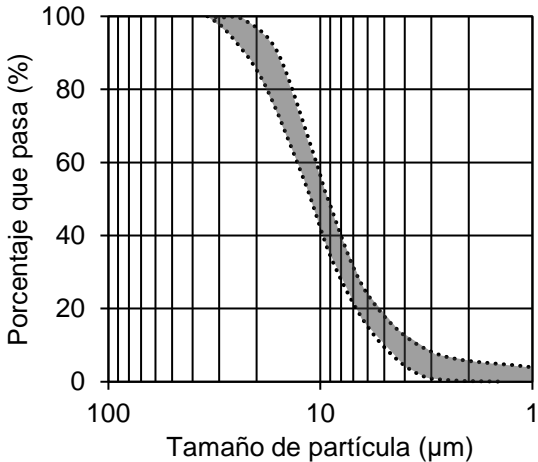


Molino de bolas



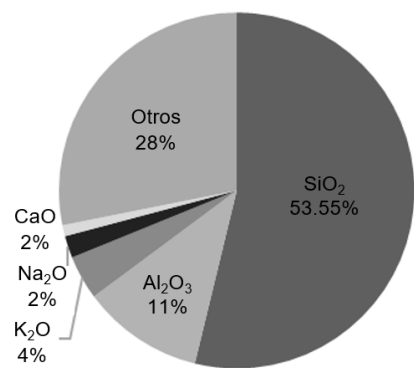
Puzolana

Análisis granulométrico

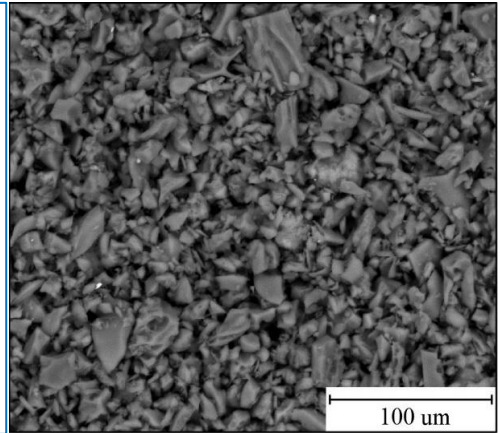


Tamaño de partícula (µm)

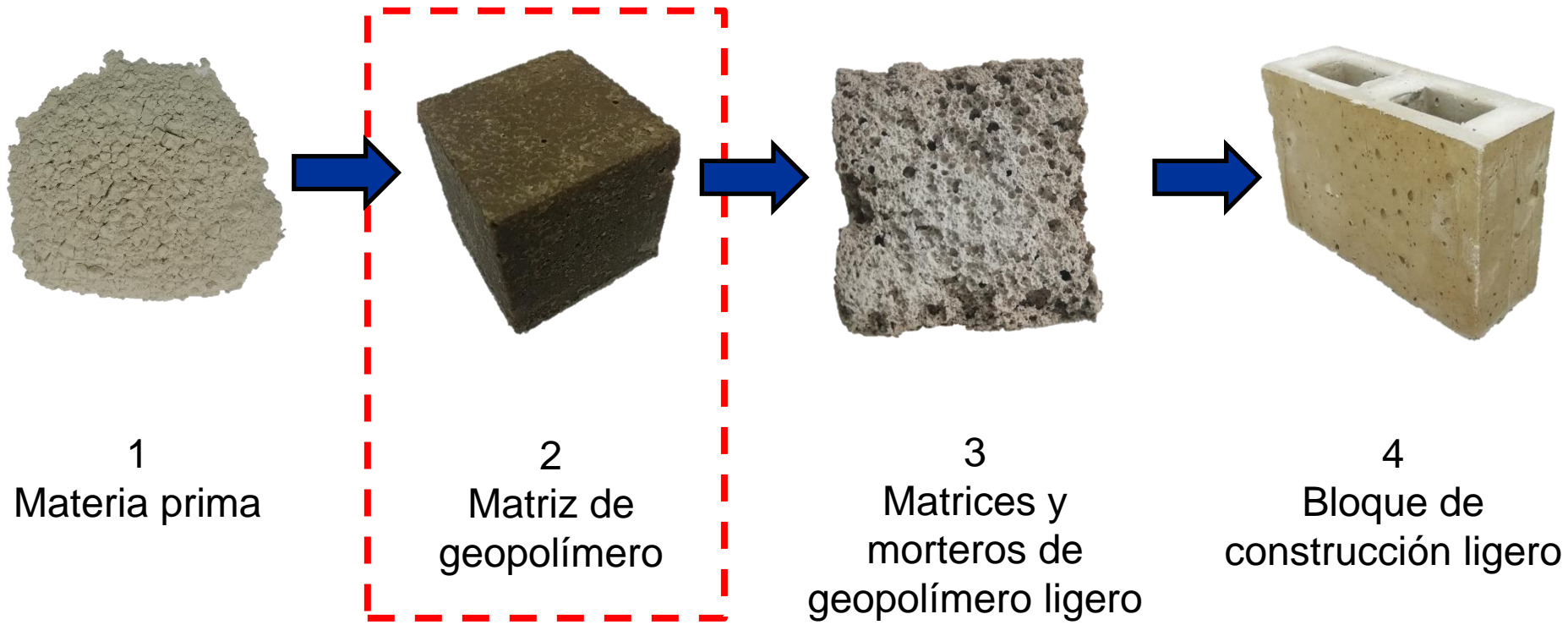
Fluorescencia de rayos X (XRF)



Microscopía electrónica de barrido (SEM)

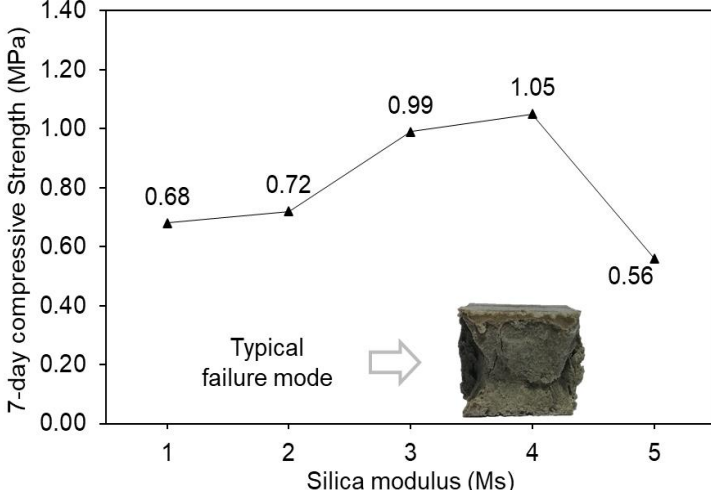


100 µm

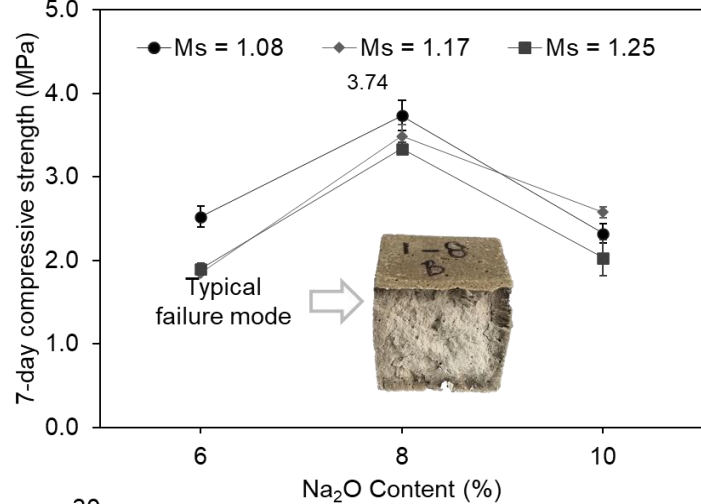


Las propiedades físicas y químicas verificaron que la puzolana puede ser utilizada como materia prima para la fabricación de geopolímeros.

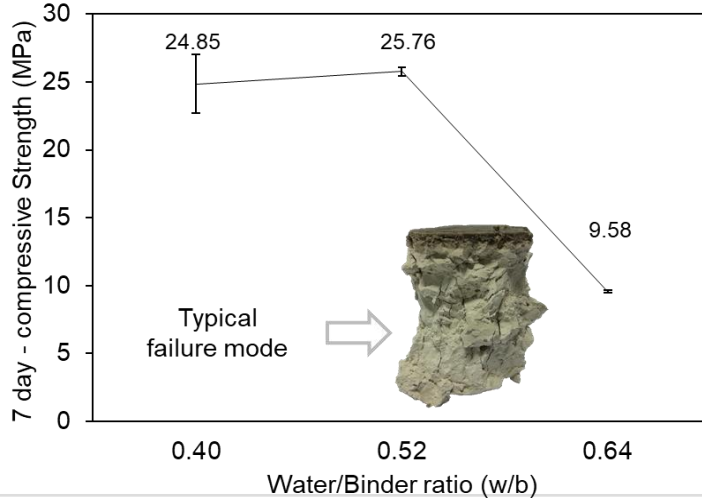
1. Ms



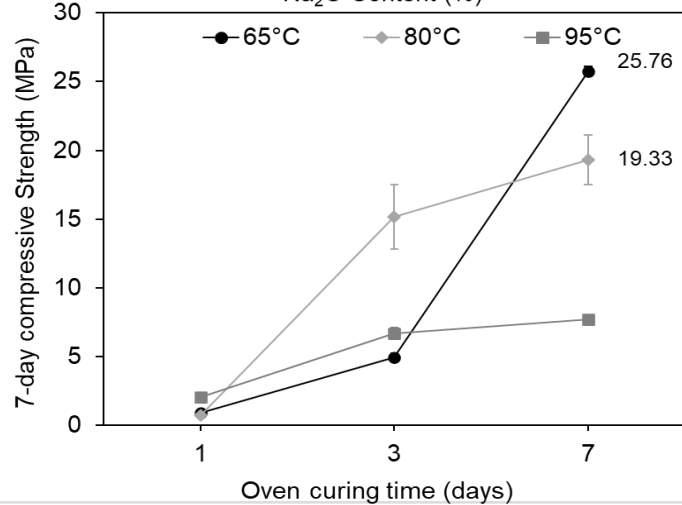
2. Ms y Na₂O

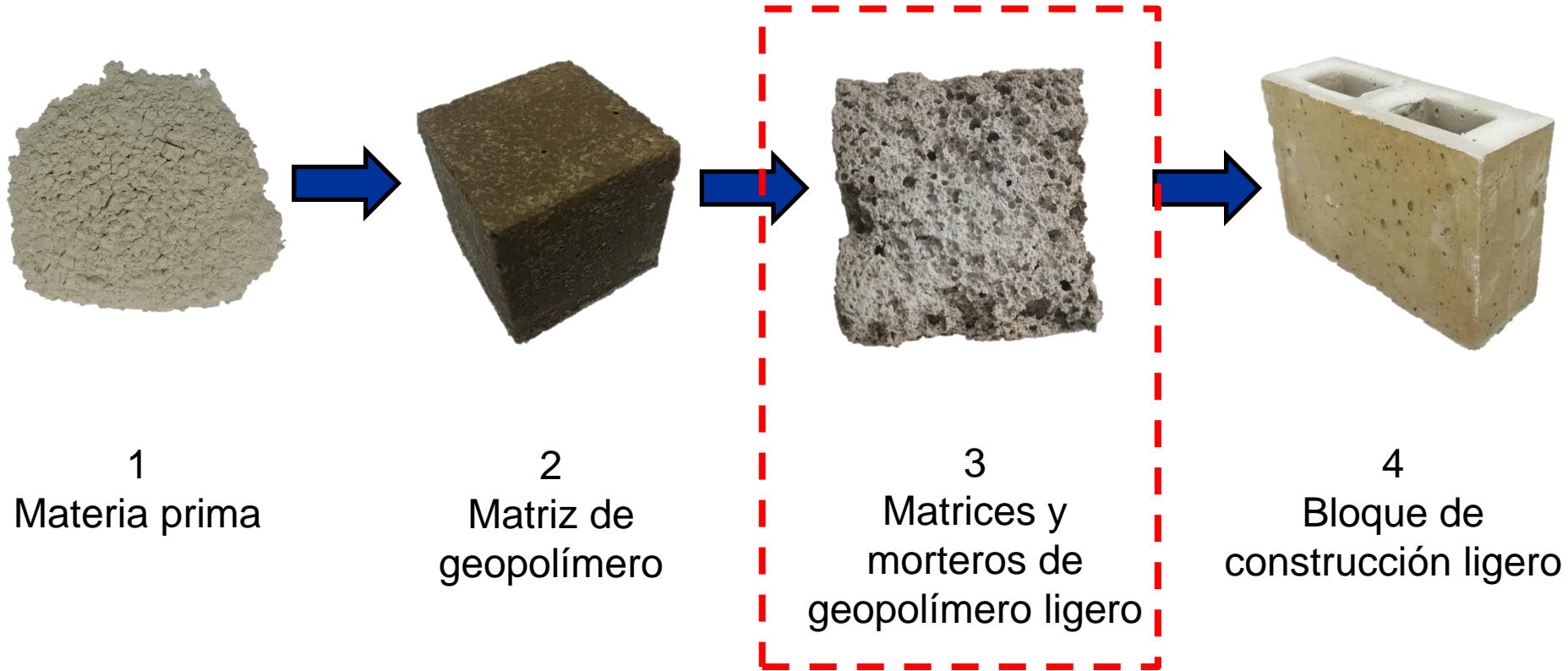


3. Relación w/b

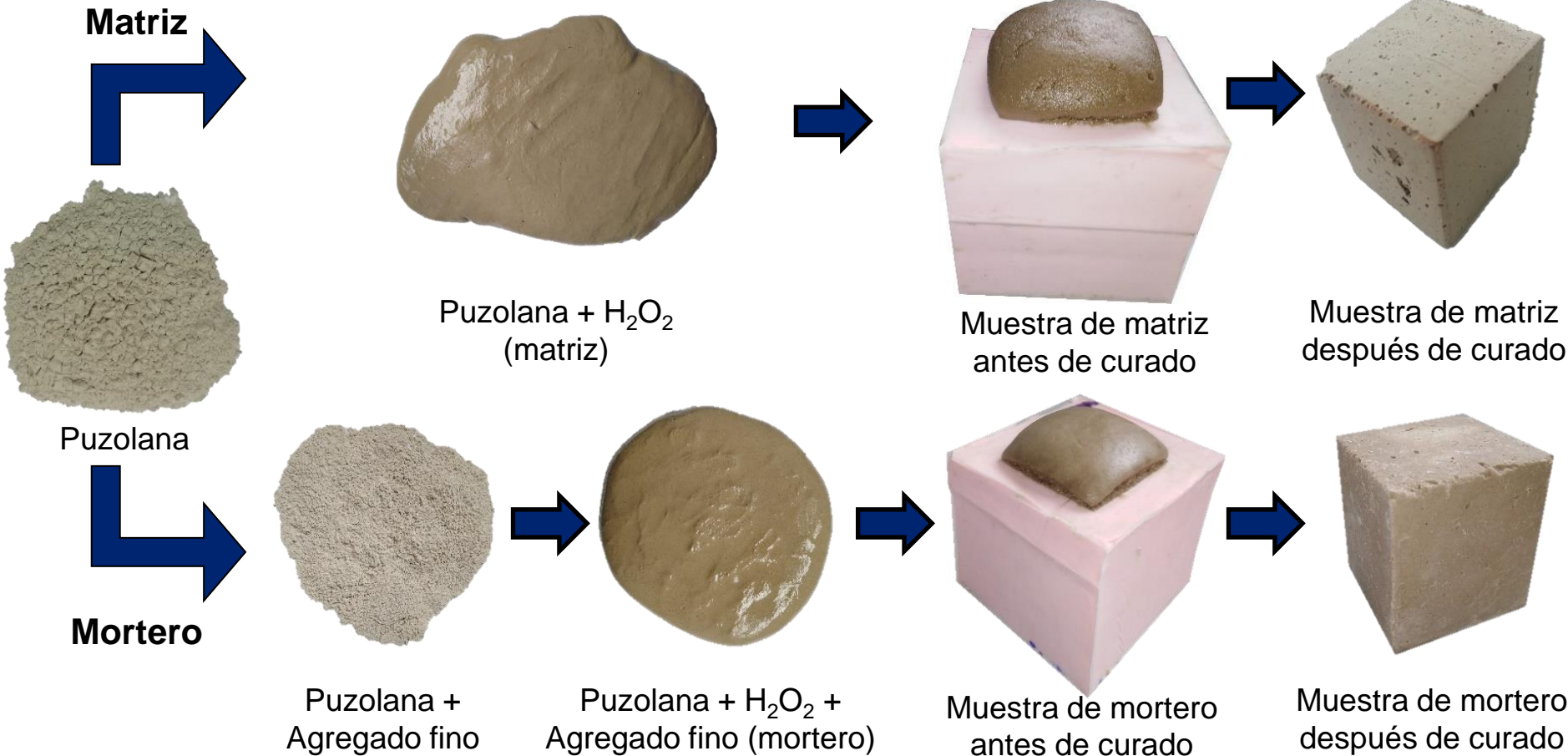


4. Temperatura





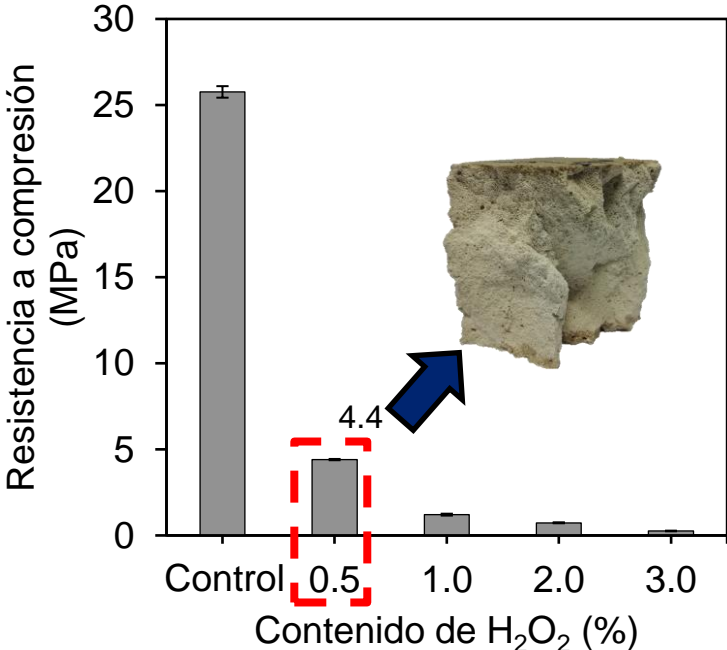
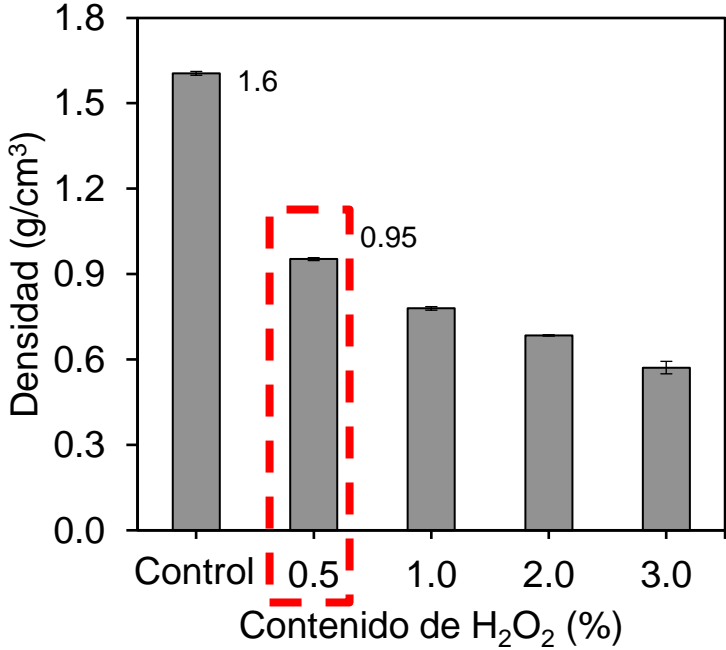
Para la fabricación de matrices y morteros de geopolímero ligero se utilizaron peróxido de hidrógeno como agente espumante y cuarzo M40 como agregado fino.



1. Matrices de geopolímero ligero



La máxima resistencia a compresión de las matrices de geopolímero ligero se registró con un 0.5% de H₂O₂ y una densidad de 0.95 g/cm³

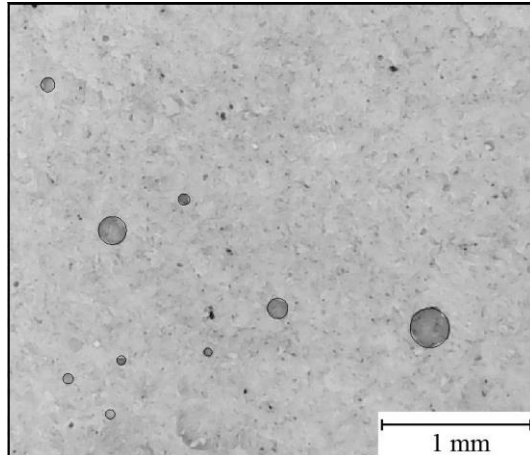


Parámetros constantes	
Ms (mol/mol)	1.08
Na ₂ O (wt.%)	8
Agua/Sólido (wt./wt.)	0.52
T (°C) horno	65
Tiempo horno (días)	7
Tiempo 25°C (días)	0

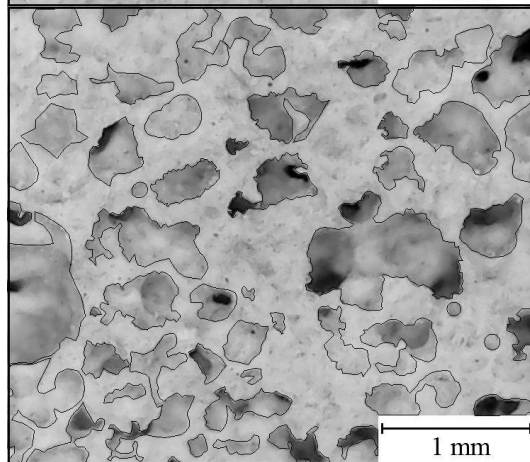
A medida que aumenta el contenido de H_2O_2 , aumenta la dimensión de los poros así como la variabilidad de sus formas (desde circulares o elípticas hasta poligonales)



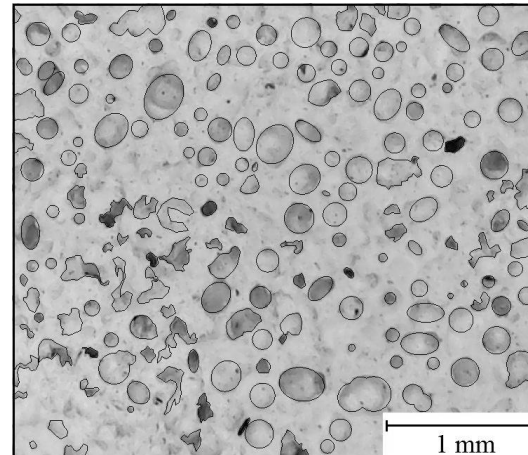
0% H_2O_2
(control)
Porosidad:
1%



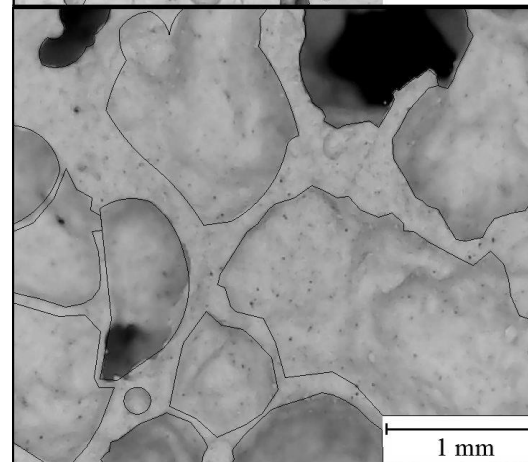
1% H_2O_2
Porosidad:
40%



0.50% H_2O_2
Porosidad:
25%

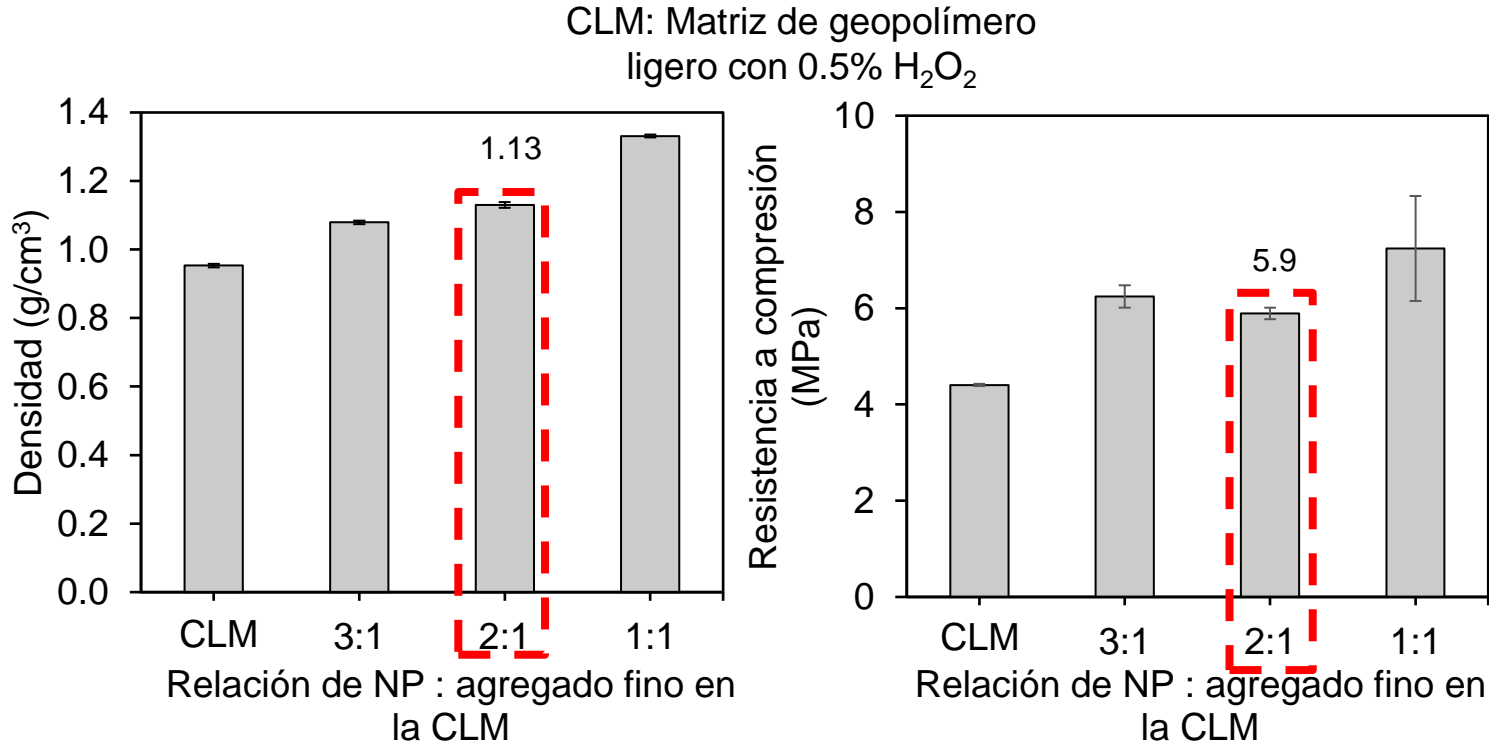


3% H_2O_2
Porosidad:
73%



2. Mortero de geopolímero ligero

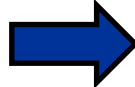
Se encontró una dosificación óptima para el mortero de geopolímero ligero con una resistencia a compresión de 5.9 MPa y una densidad de 1.13 g/cm³.



Parámetros constantes	
Ms (mol/mol)	1.08
Na ₂ O (wt.%)	8
Agua/Sólido (wt./wt.)	0.52
Tiempo horno (días)	7
Tiempo 25°C (días)	0
H ₂ O ₂ (%)	0.50



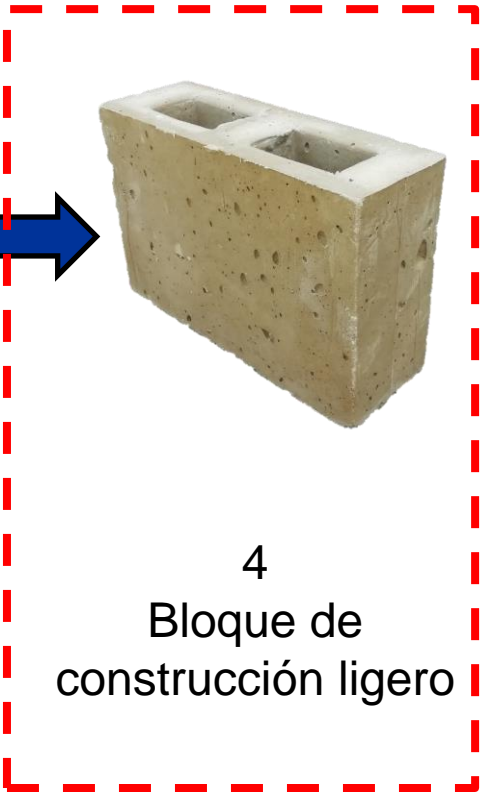
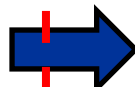
1
Materia prima



2
Matriz de
geopolímero



3
Matrices y
morteros de
geopolímero ligero

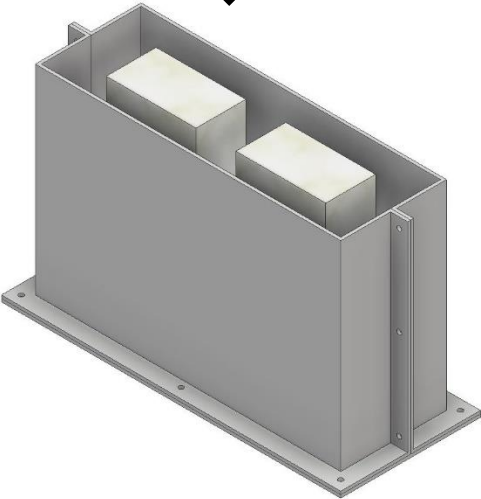


4
Bloque de
construcción ligero

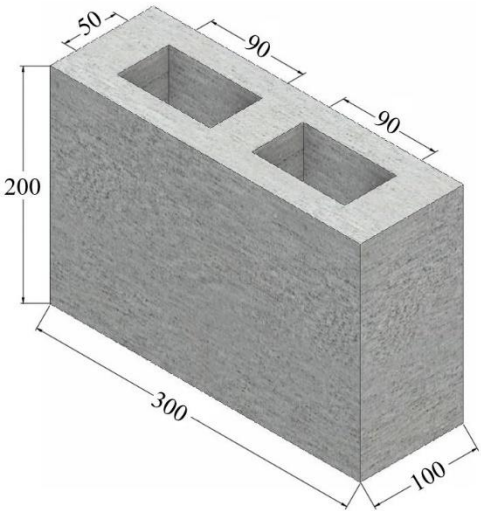
1. Producción de bloque de construcción ligero



Molde metálico cubierto con film de plástico.



Diseño similar a bloques de concreto.



Bloque de geopolímero ligero

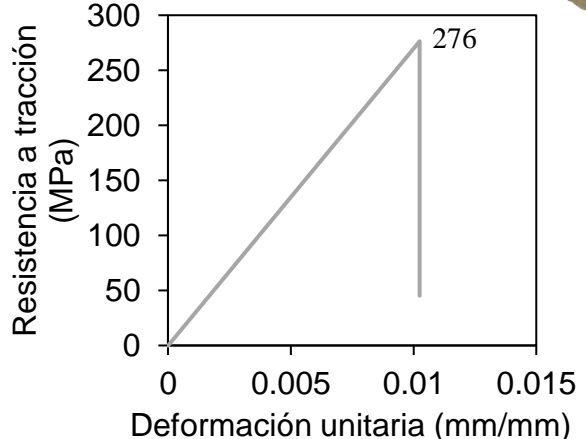
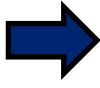
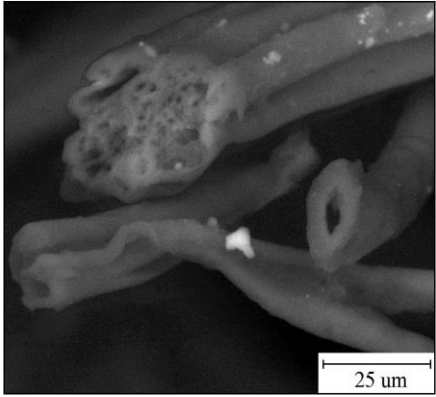
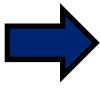


Medidas en mm

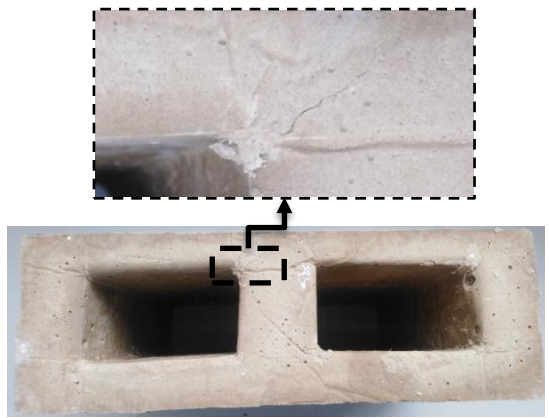
2. Estabilización del mortero usando fibras de yute



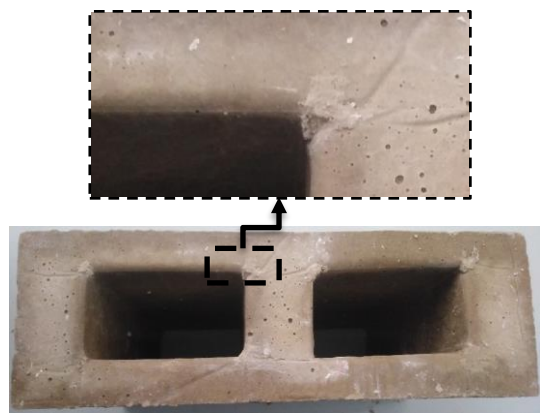
Fibras de yute



0% de fibras



0.5% de fibras



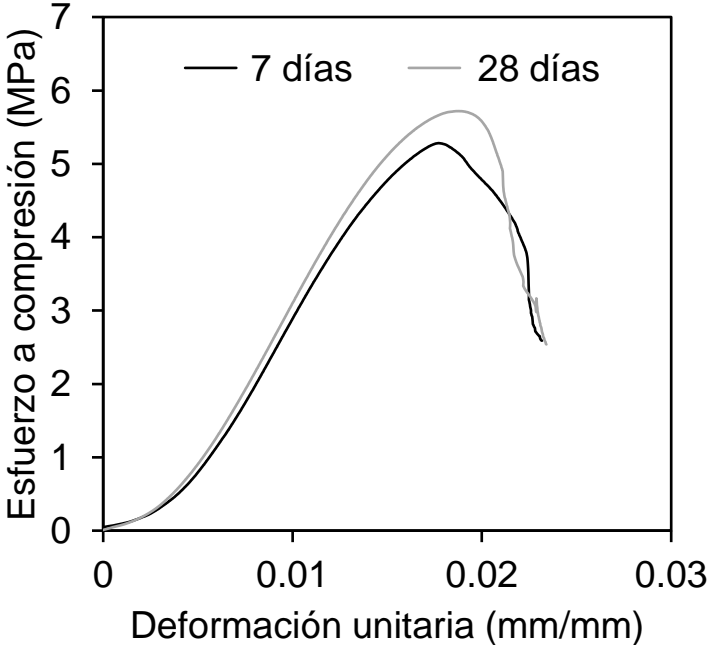
1% de fibras



3. Caracterización física y mecánica del bloque de geopolímero ligero



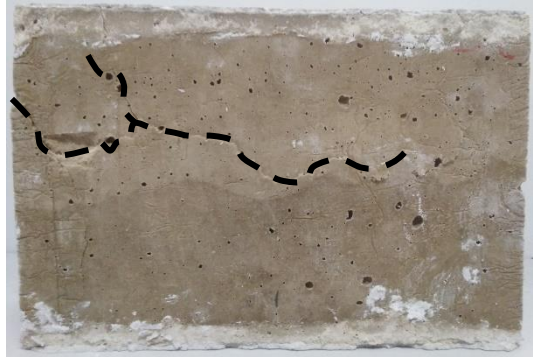
Se registró una falla parcialmente dúctil caracterizada por una grieta de aplastamiento diagonal en la cara larga de los bloques y un desmoronamiento progresivo.



7 días



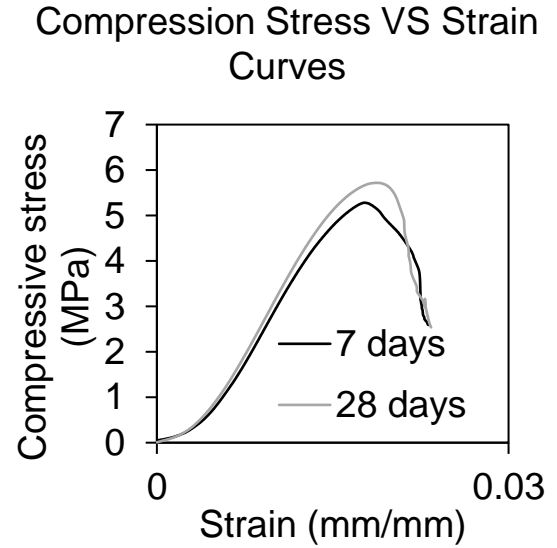
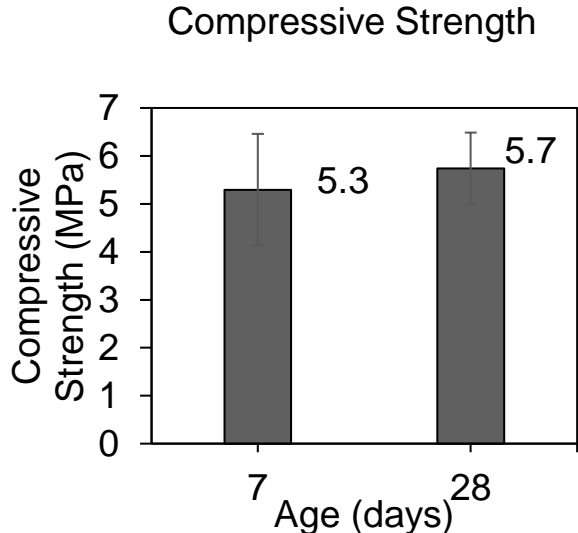
28 días



Se evaluó la resistencia a compresión del bloque a los 7 y 28 días de edad. Asimismo, se determinaron propiedades físicas como densidad, porosidad, absorción y gravedad específica.



Caracterización mecánica

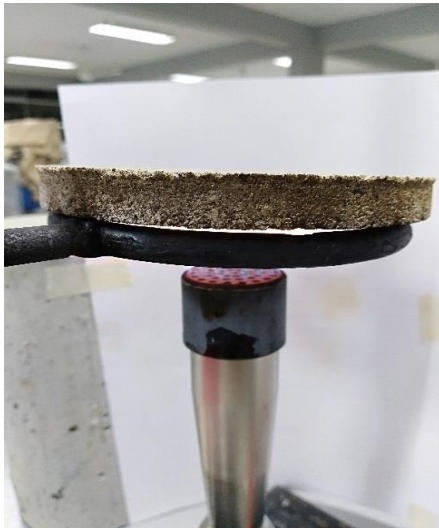


Caracterización física

Bulk Density (gr/cm ³)	Apparent Porosity	Water Absorption	Specific Gravity
1.27	24.27%	19.13%	1.68

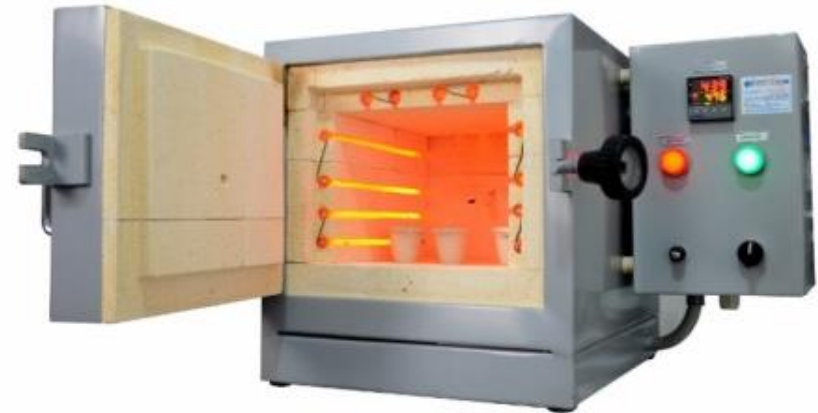
4. Evaluación de la durabilidad del bloque de geopolímero ligero

La resistencia al fuego fue evaluada por el método propuesto por Cheng y Chiu [2003]. Esta prueba se realizó aplicando una llama a 1000°C en la superficie de un disco de geopolímero ligero y se midió la temperatura del lado inverso.



Fire resistance test

La resistencia a las altas temperaturas se estudió con el método propuesto por Ranjbar y otros [2014]. Se colocaron muestras cúbicas en un horno a 300, 500, 800 y 1000°C y luego se determinó la resistencia a la compresión y la densidad aparente de los especímenes.

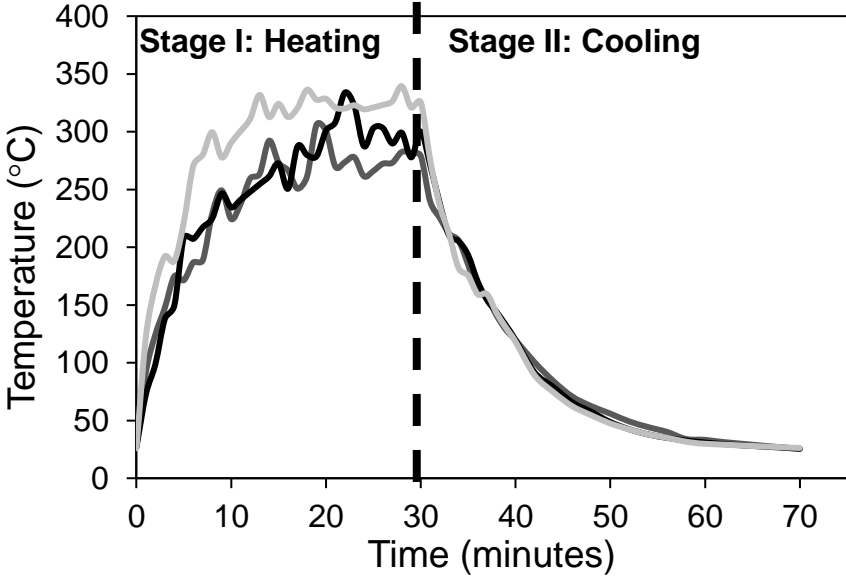


High-temperature resistance test

Las muestras de disco de geopolímero ligero cambiaron de color a uno más oscuro pero conservaron su forma en las pruebas de resistencia al fuego. La temperatura en la cara opuesta del disco alcanzó su máximo (menos de 350 °C) y se mantuvo constante hasta que la llama se extinguió.

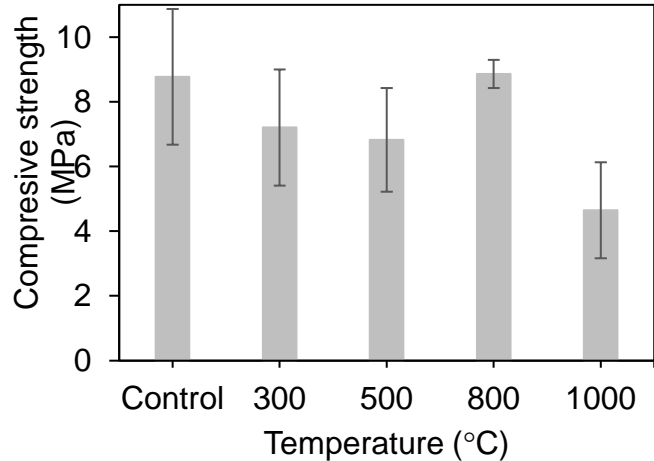
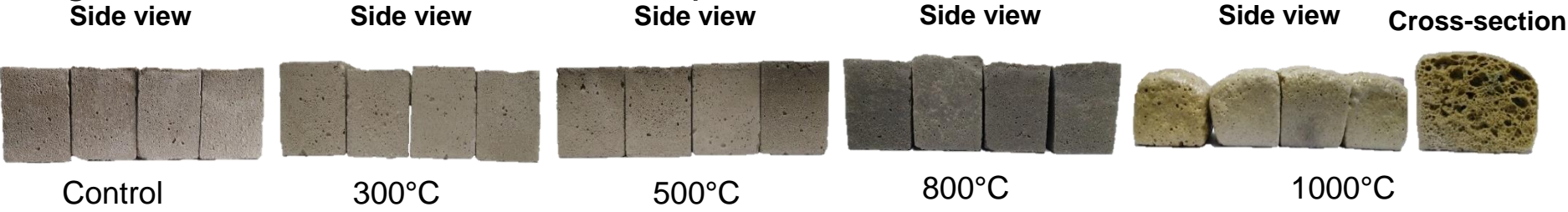


Fiber-reinforced lightweight geopolimer disc

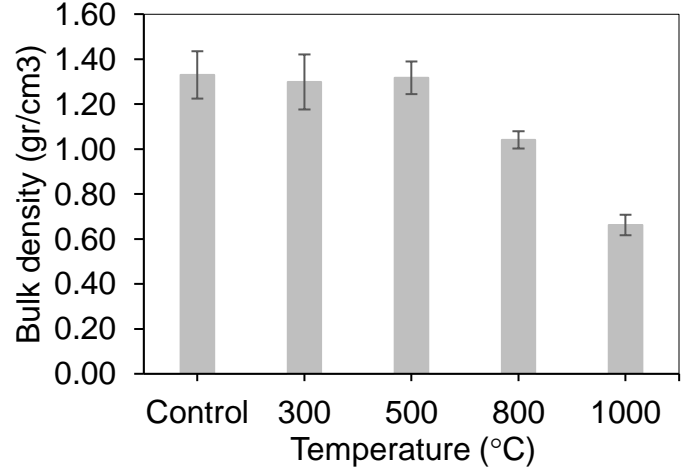


Reverse-side temperature vs. time from fire resistance tests

En la prueba de resistencia a altas temperaturas, se observó un cambio a un color más oscuro a medida que la temperatura aumentaba y no se evidenció cambios volumétricos significativos hasta una temperatura de 800 °C. Asimismo, las propiedades físicas y mecánicas no cambiaron significativamente hasta esta temperatura.



Compressive strength

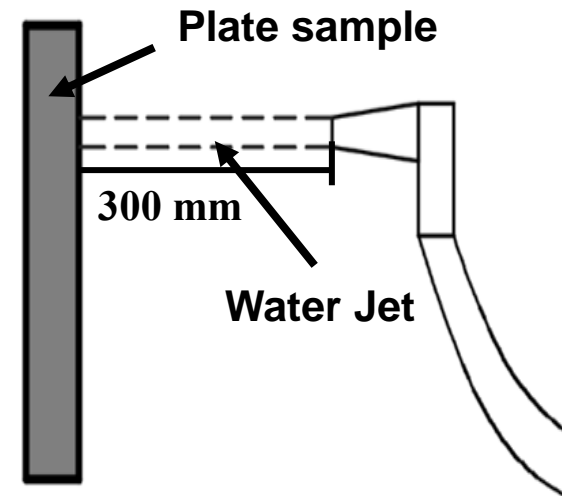


Bulk density

La resistencia a erosión del agua se estudió basándose en pruebas de permeabilidad y de erosión por chorro. Los materiales de baja y alta impermeabilidad se clasifican en función del ángulo de contacto de una gota, mientras que el estado de la superficie después del chorro de agua indica el nivel de erosión causado por la exposición al agua a altas presiones.

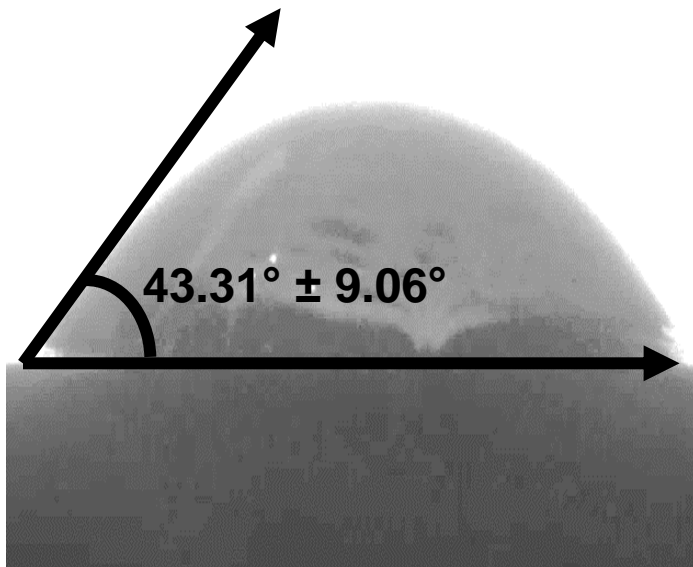


Ramé-hart contact angle
telescope-goniometer

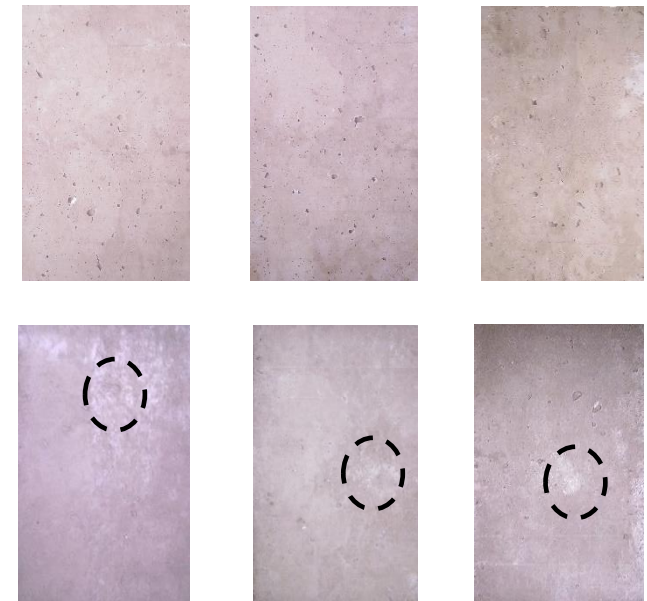


Scheme of water jet test

Las pruebas del ángulo de contacto evidenciaron una alta tasa de absorción y una baja impermeabilidad del geopolímero ligero. Sin embargo, el chorro de agua a presión no causó penetración en la superficie de los especímenes ensayados.



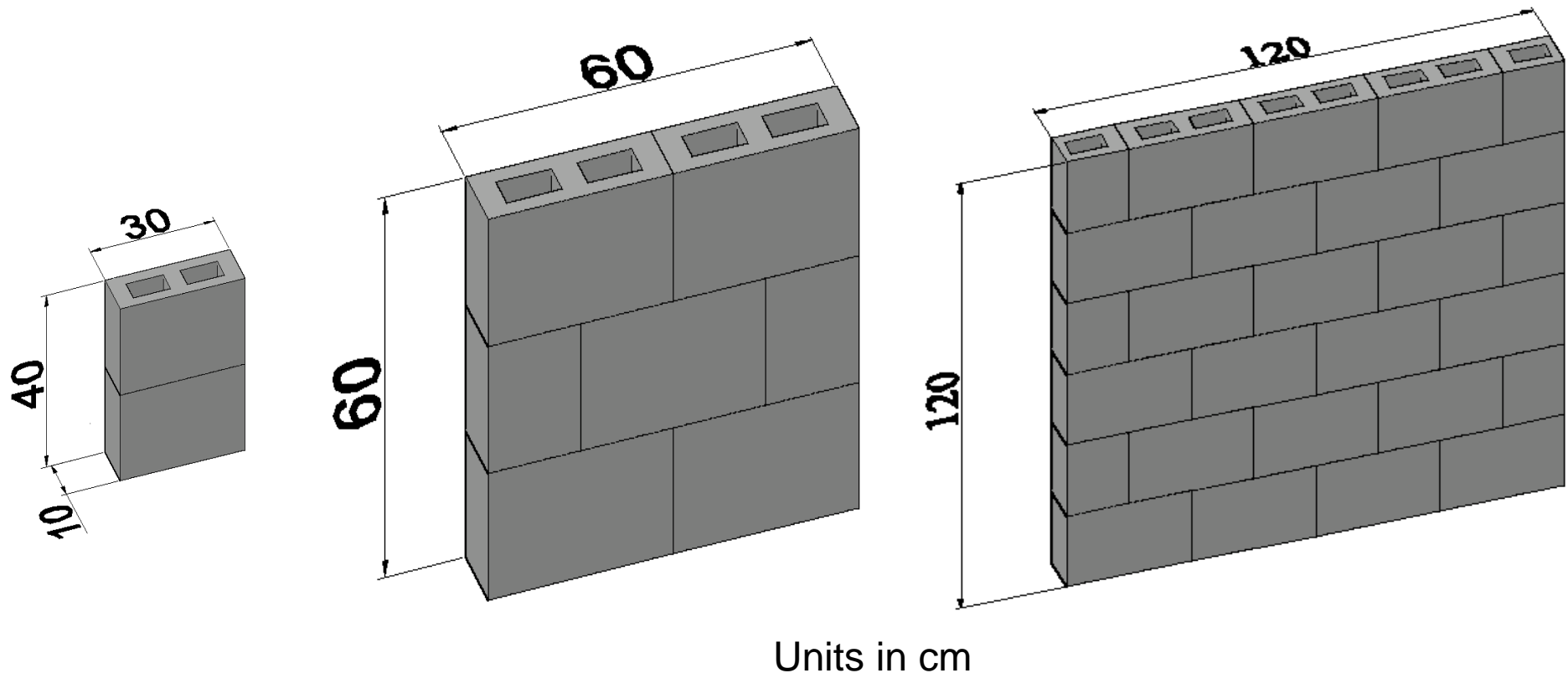
Contact angle measurement



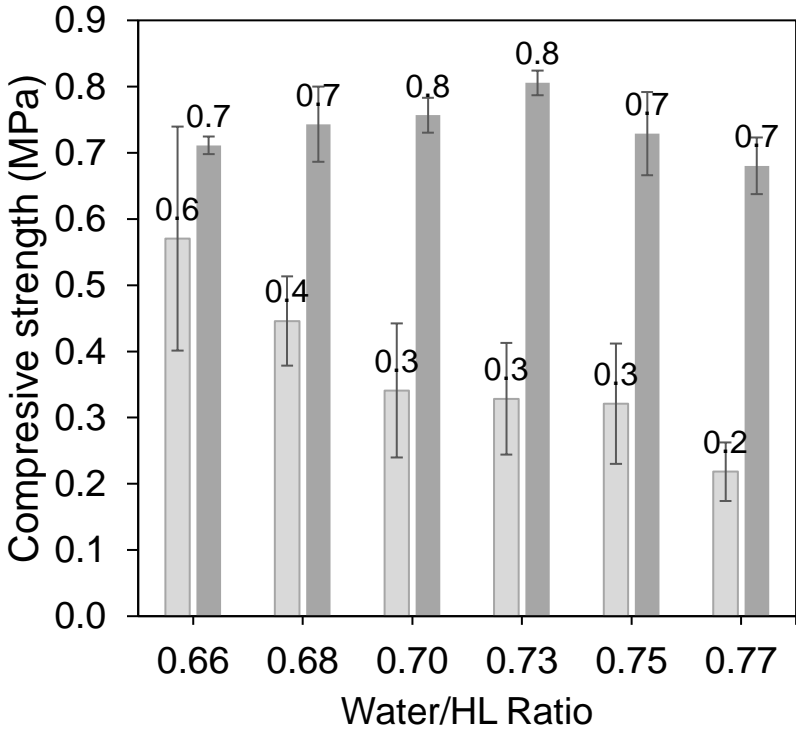
Sample surfaces subjected to water jet erosion

5. Evaluación del sistema estructural con bloques de geopolímero ligero

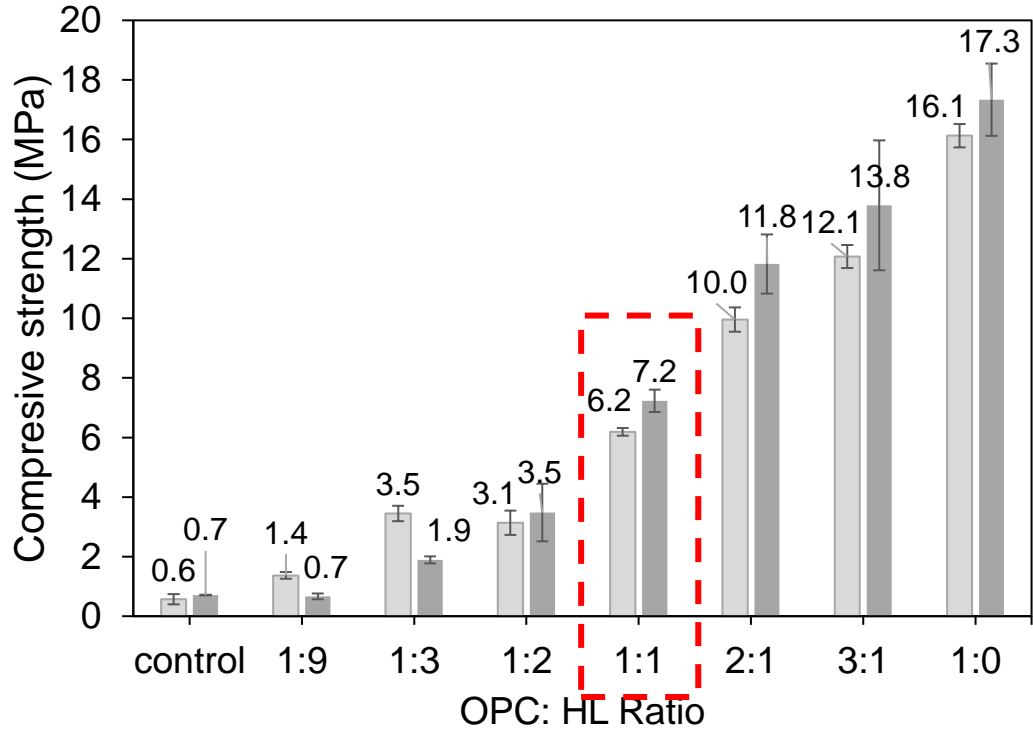
El sistema estructural se evaluó mediante ensayos de compresión uniaxial en pilas y compresión diagonal en muretes.



Se desarrolló un mortero hidráulico mixto mezclando cemento Portland ordinario (OPC), cal hidráulica (HL), agregados finos y agua para reducir el uso de OPC en el mortero de albañilería.



Lime Hydraulic mortar



Lime Hydraulic and Ordinary Portland Cement mortar

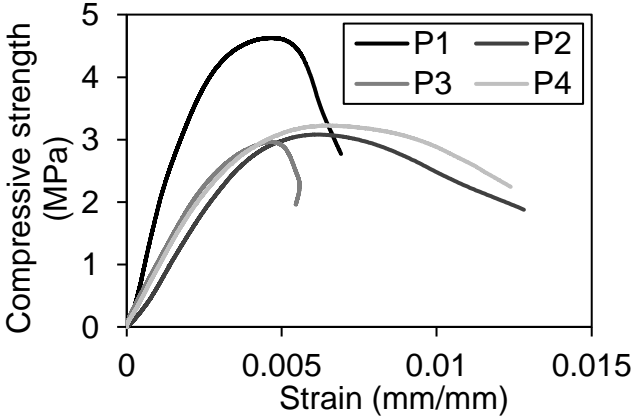
Los ensayos de compresión uniaxial en pilas dieron como resultado una resistencia a la compresión de la mampostería de 3.24 MPa, similar a la esperada para una mampostería de ladrillos de arcilla cocida (3.4 MPa).



Piles Instrumentation



Failure Mode



Compression Stress (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)
3.24	1362

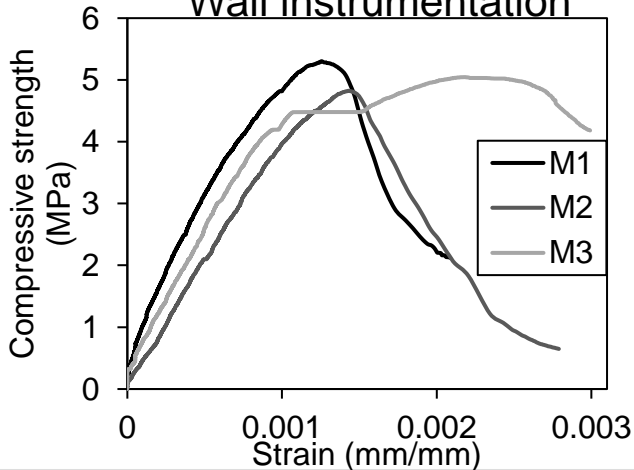
Los muros ensayados bajo una compresión diagonal una resistencia media al corte de 0,381 MPa, ligeramente inferior a la esperada para la mampostería de ladrillos de arcilla cocida (0,5 MPa).



Wall instrumentation

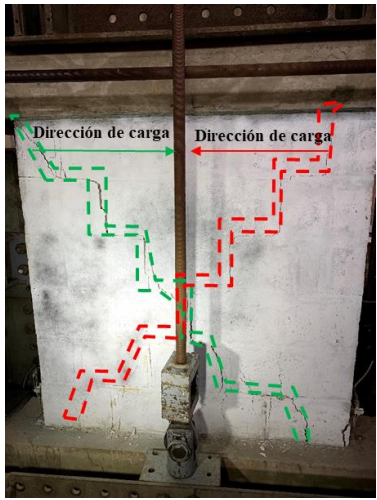
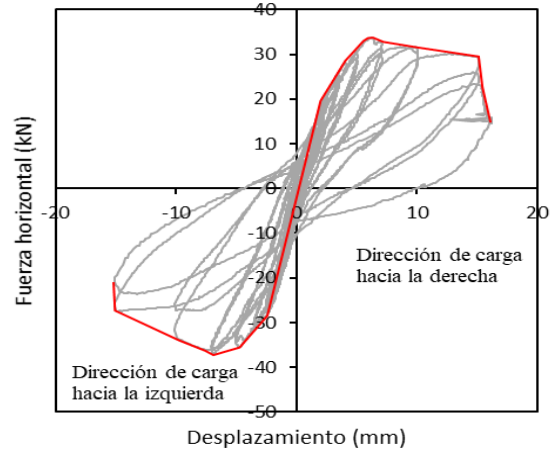
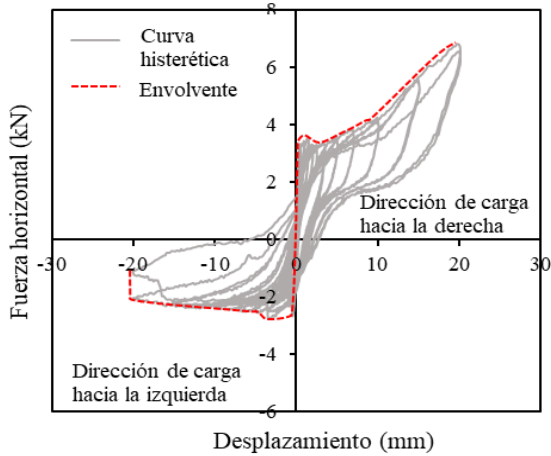


Failure mode



Shear strength (MPa)	Modulus of Rigidity (MPa)
0.38	286

Los muros de GeoBloques se sometieron a una carga lateral cíclica para simular su comportamiento ante eventos sísmicos.



Conclusiones

- Se ha conseguido fabricar un material de construcción alternativo a base de puzolana mediante el uso de geopolímeros con buenas propiedades mecánicas respecto a los materiales convencionales.
- Se ha encontrado una dosificación óptima para la matriz geopolimérica con una alta resistencia a compresión (26 MPa) a 7 días de fabricación.
- Mediante el uso de peróxido de hidrógeno como agente espumante y la adición de agregado fino para producir morteros de geopolímeros ligeros se ha logrado reducir la densidad de 1.6 a 1.13 g/cm³ alcanzando una resistencia a compresión de 5.9 MPa.
- Se ha producido un bloque de construcción con resistencia a compresión de 5.3 Mpa a 7 días de fabricación y una baja densidad (1.3 g/cm³) que puede ser utilizado en muros no portantes.

