



EL ROL DEL
CEMENTO &
CONCRETO
DE CARA
AL CAMBIO
CLIMÁTICO



CONGRESO
Cemento & Concreto
Verde 2050



11 AL 15
MAYO 2026



Santiago,
Chile

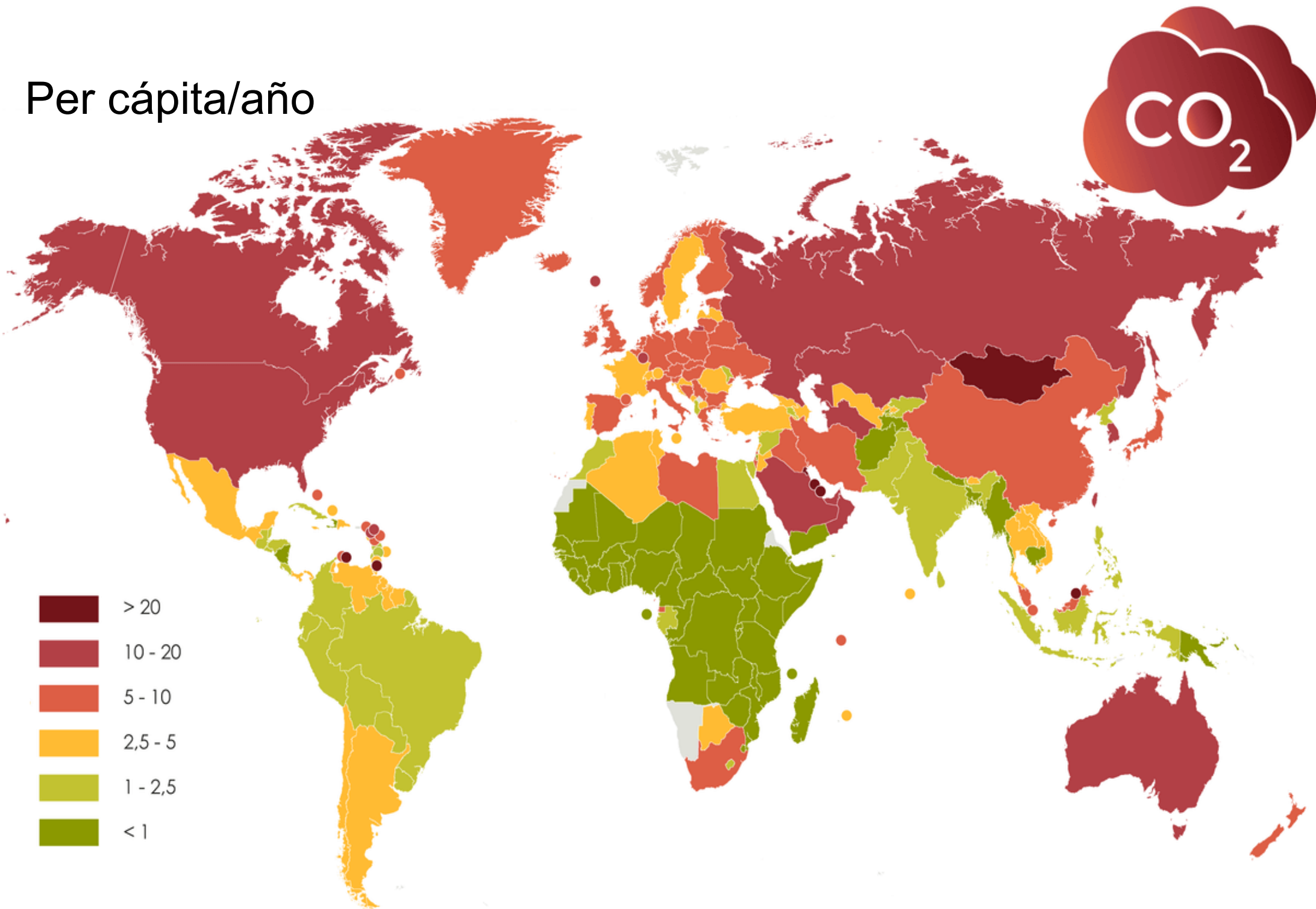
Mejorando el desempeño del cemento
adicionado con arcillas calcinadas

Jorge I. Tobón, Ph.D.

Profesor titular Universidad Nacional de
Colombia - Sede Medellín

1. Emisiones de CO₂

Per cápita/año



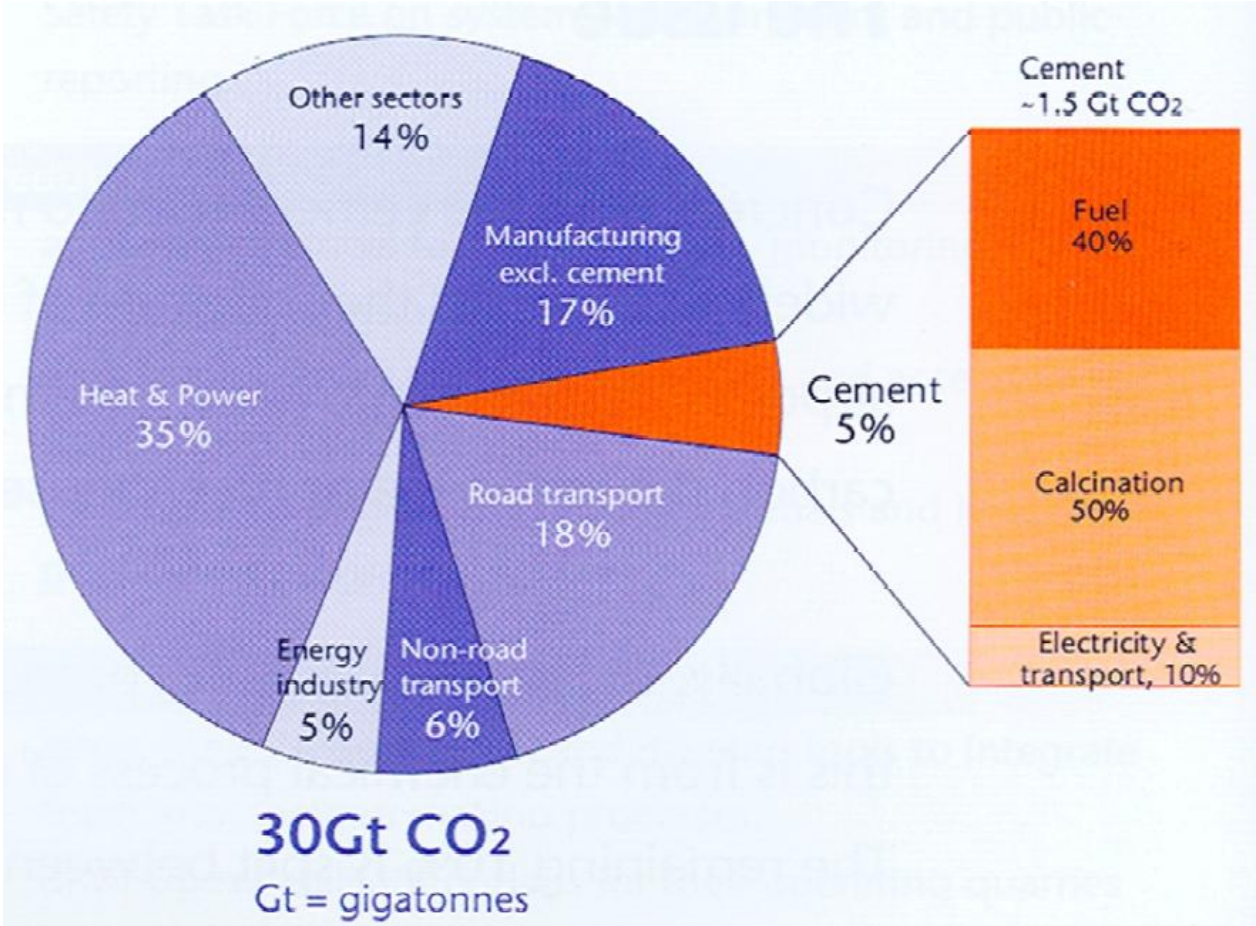
Lobo. G, 2022. Global carbon atlas

Los países menos desarrollados
< 1 tCO₂ por habitante al año,
Países desarrollados > 5 tCO₂

FICEM
Net-Zero 2050 (GCCA) [6]

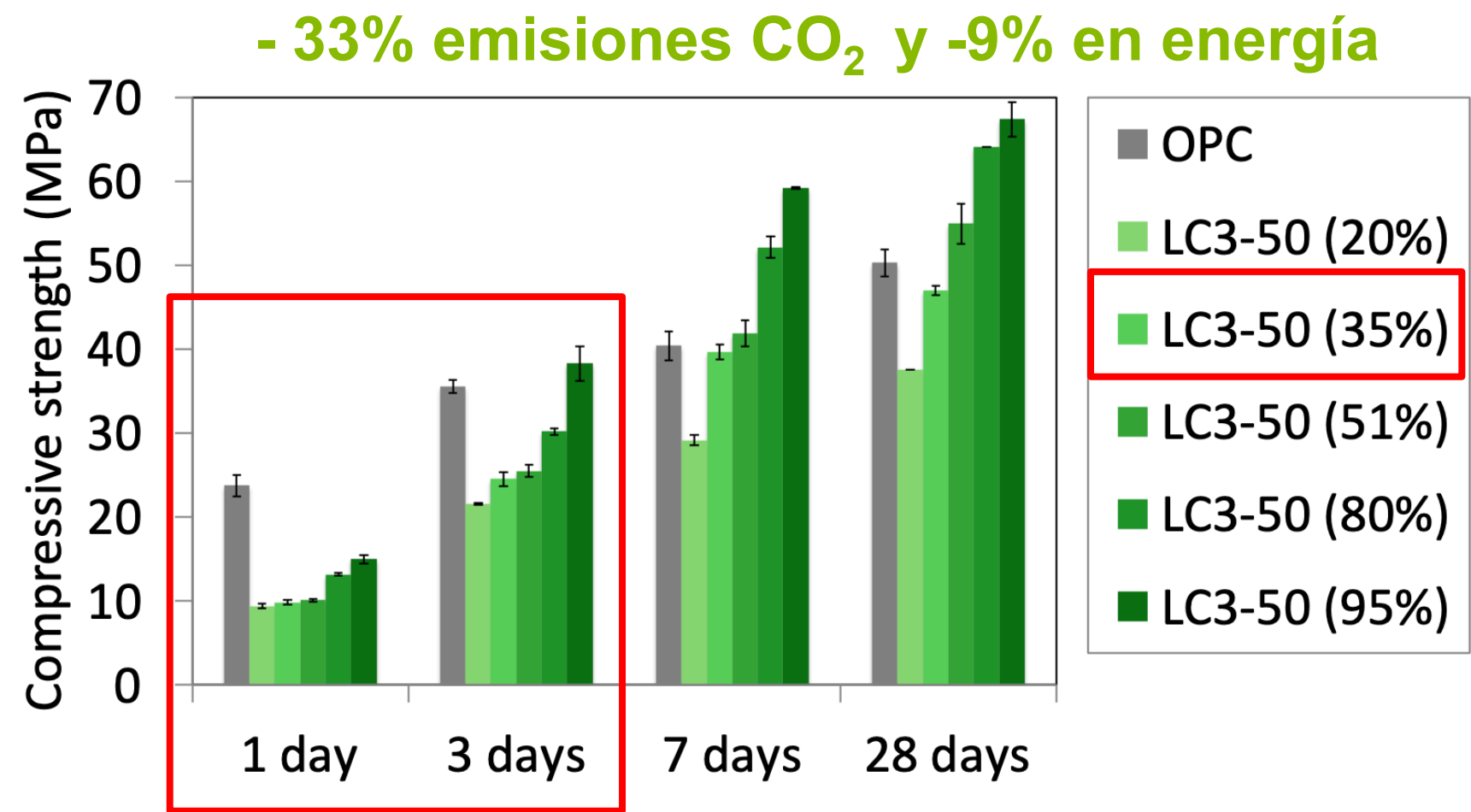


Vista aérea de planta cementera. Fotografía obtenida de https://www.freepik.es/fotos-premium/vista-aerea-fabrica-cemento-estructura-planta-hormigon-alto-grua-torre-area-produccion-industrial-noche-fabricacion-concepto-industria-global_25368063.html



2. Cementos con arcillas calcinadas

Las arcillas calcinadas y caliza destacan por su **disponibilidad mundial y bajo costo**.

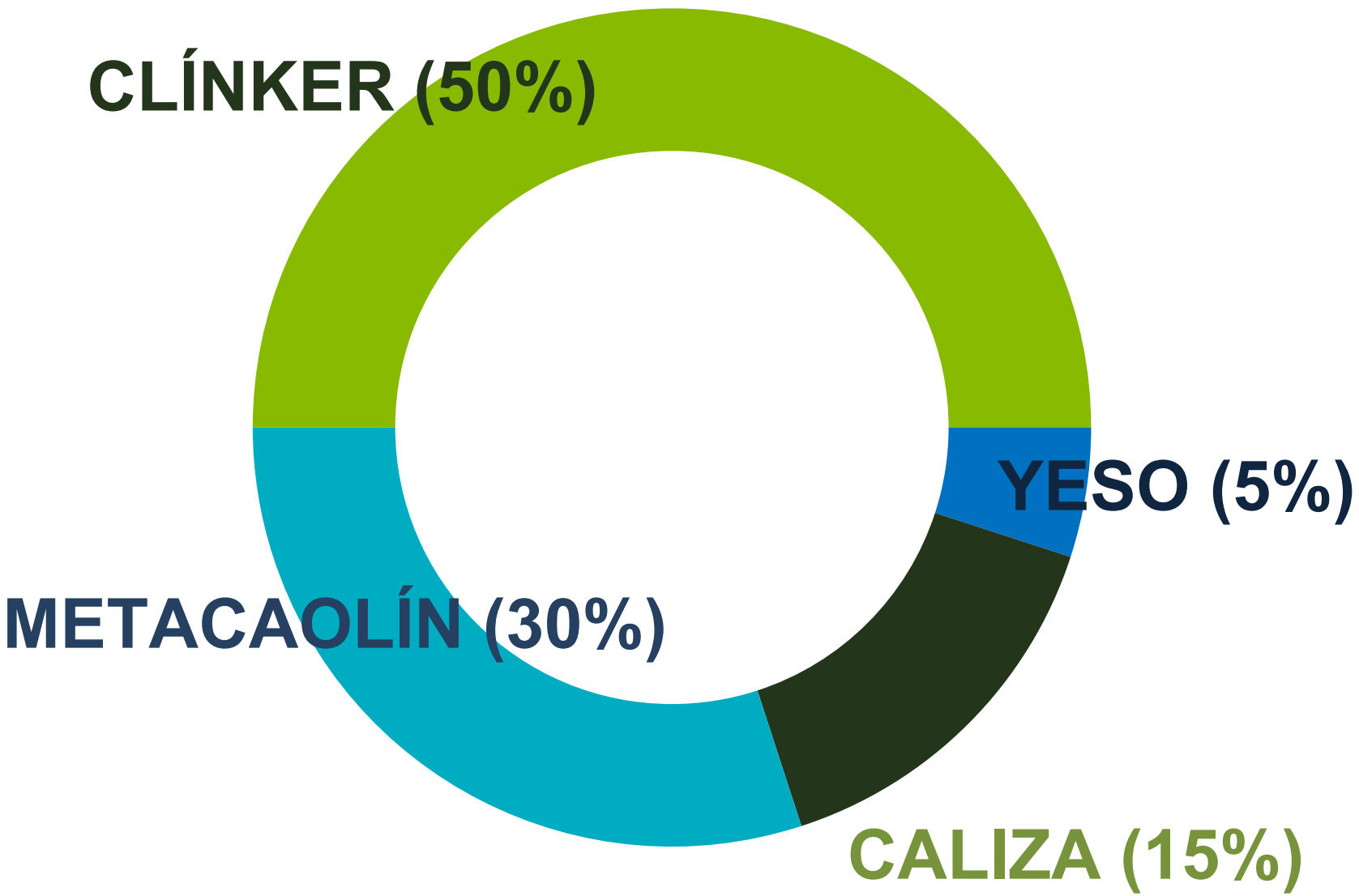


Obtenido de EPFL – LC3 – Why LC3? (<https://lc3.ch/why-lc3/>, consultado 29/04/26).

Esto limita el uso del LC₃ en aplicaciones que demandan **desencofrado rápido**: prefabricados, vías, edificación industrializada.

¿Cómo usar arcillas de bajo grado y mejorar resistencias tempranas sin sacrificar la sustitución de clíinker?

Limestone Calcined Clay Cement (LC₃)



3. Tratamientos para mejorar el desempeño de cementos con arcillas calcinadas



Universidad Nacional de
Colombia, Sede Medellín



Universitat Politècnica de
València (UPV) - España



Universidade Federal do
Rio de Janeiro - Brasil

3-1. Disminución de tamaño de partícula

1

Disminución de tamaño de partícula de los componentes

Effect of metakaolin particle size refinement on the microstructure and bonding capacity of the interfacial transition zone (ITZ) in LC3-based concrete

Julián D. Carmona-Ramírez & Jorge I. Tobón, 2026

METACAOLÍN
MK_G $D_{90} = 42.40 \mu\text{m}$
MK_F $D_{90} = 15.80 \mu\text{m}$

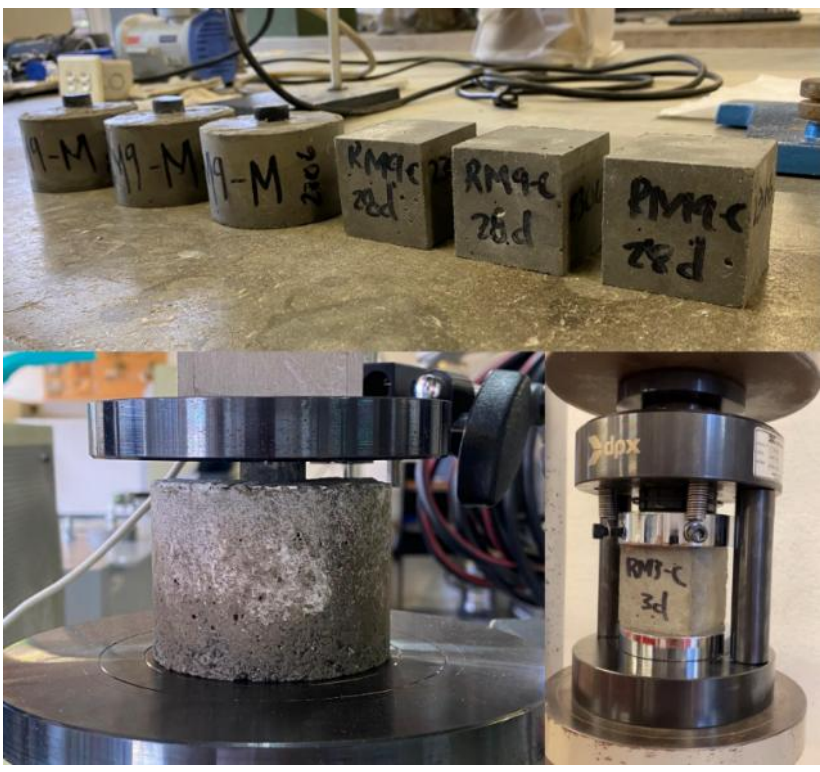
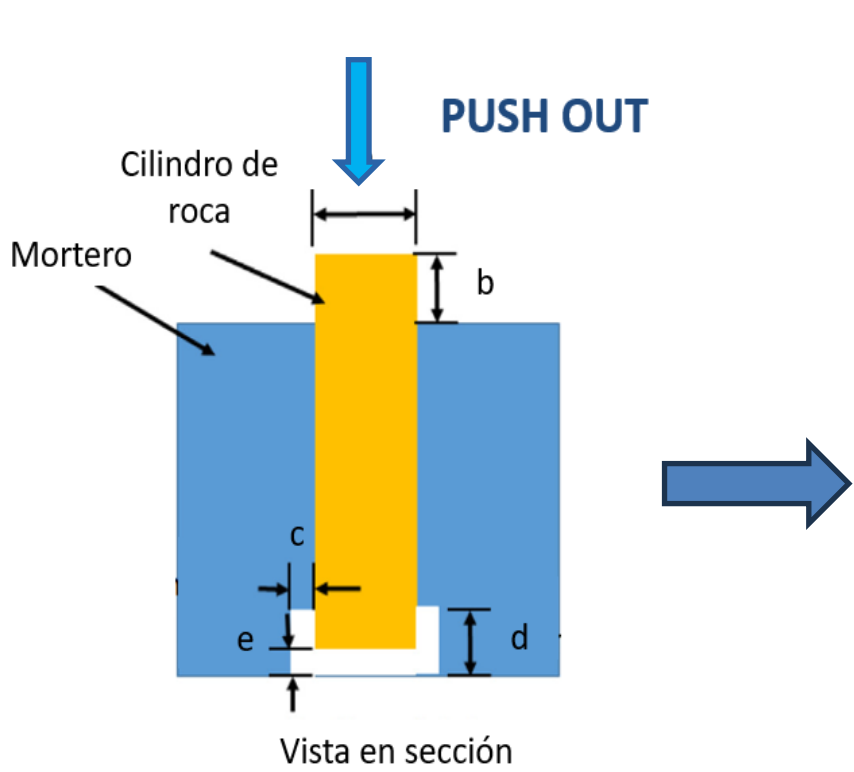
- 63% D_{90}

CALIZA
LS_G $D_{90} = 39.50 \mu\text{m}$
LS_F $D_{90} = 17.30 \mu\text{m}$

- 56% D_{90}

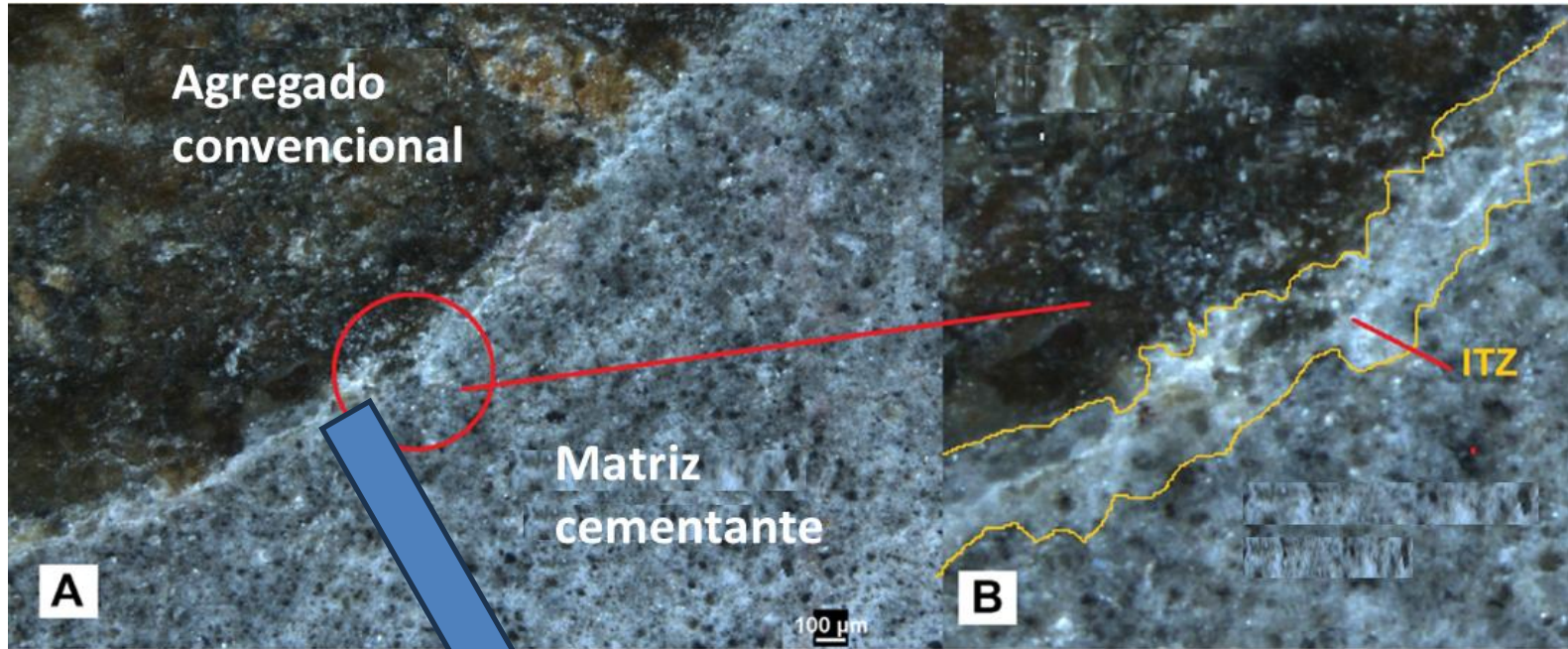
Total de tratamientos

	Mezcla	MK	LS
CONTROL LC3_G	1	Grueso	Grueso
	2	Grueso	Medio
	3	Grueso	Fino
	4	Medio	Grueso
	5	Medio	Medio
	6	Medio	Fino
LC3_MK	7	Fino	Grueso
	8	Fino	Medio
LC3_F	9	Fino	Fino

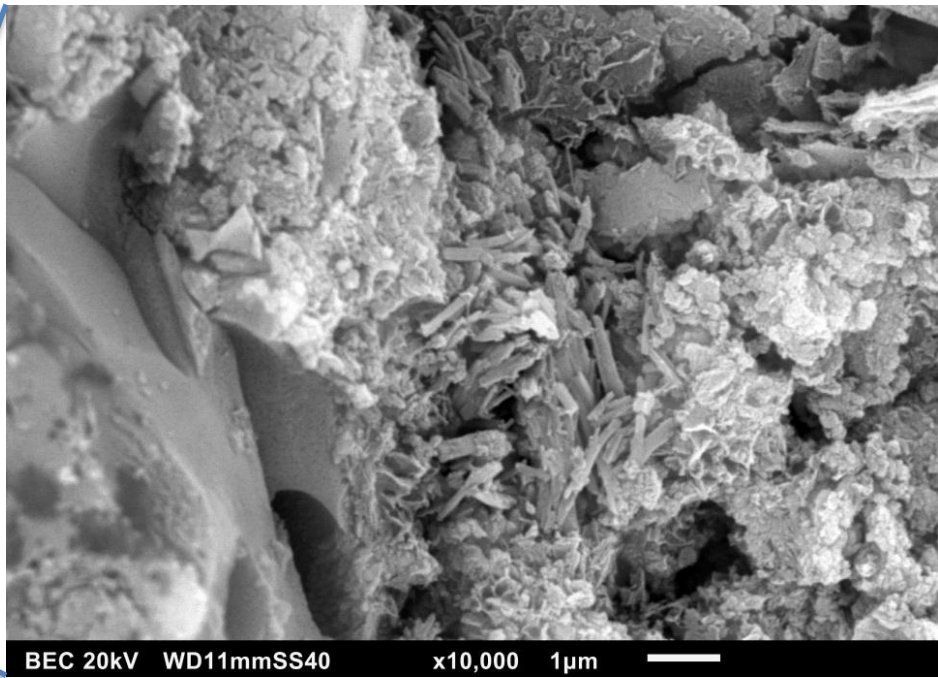
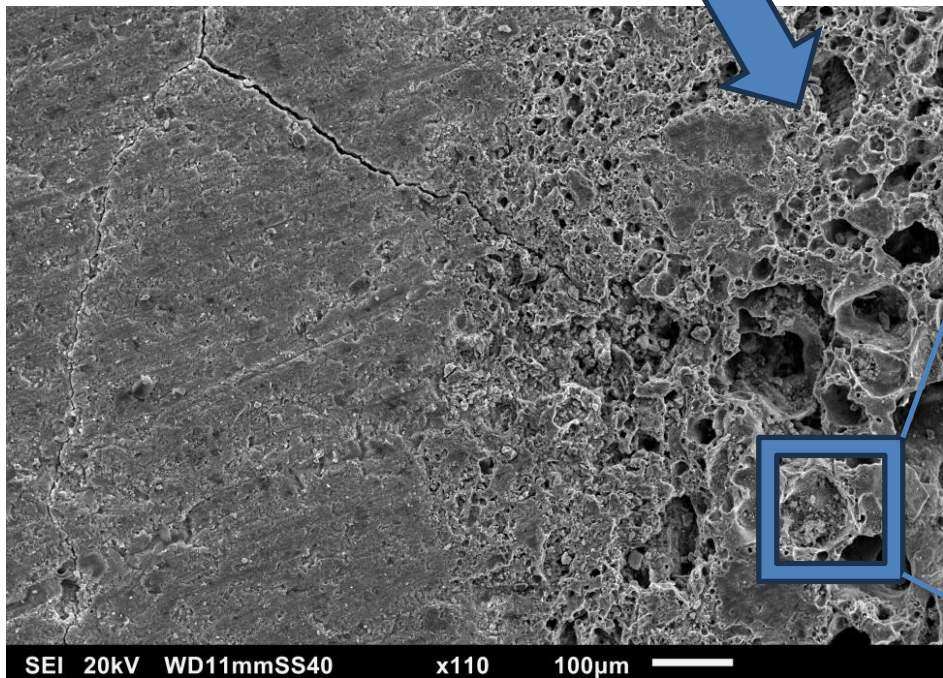


3-1. Disminución de tamaño de partícula

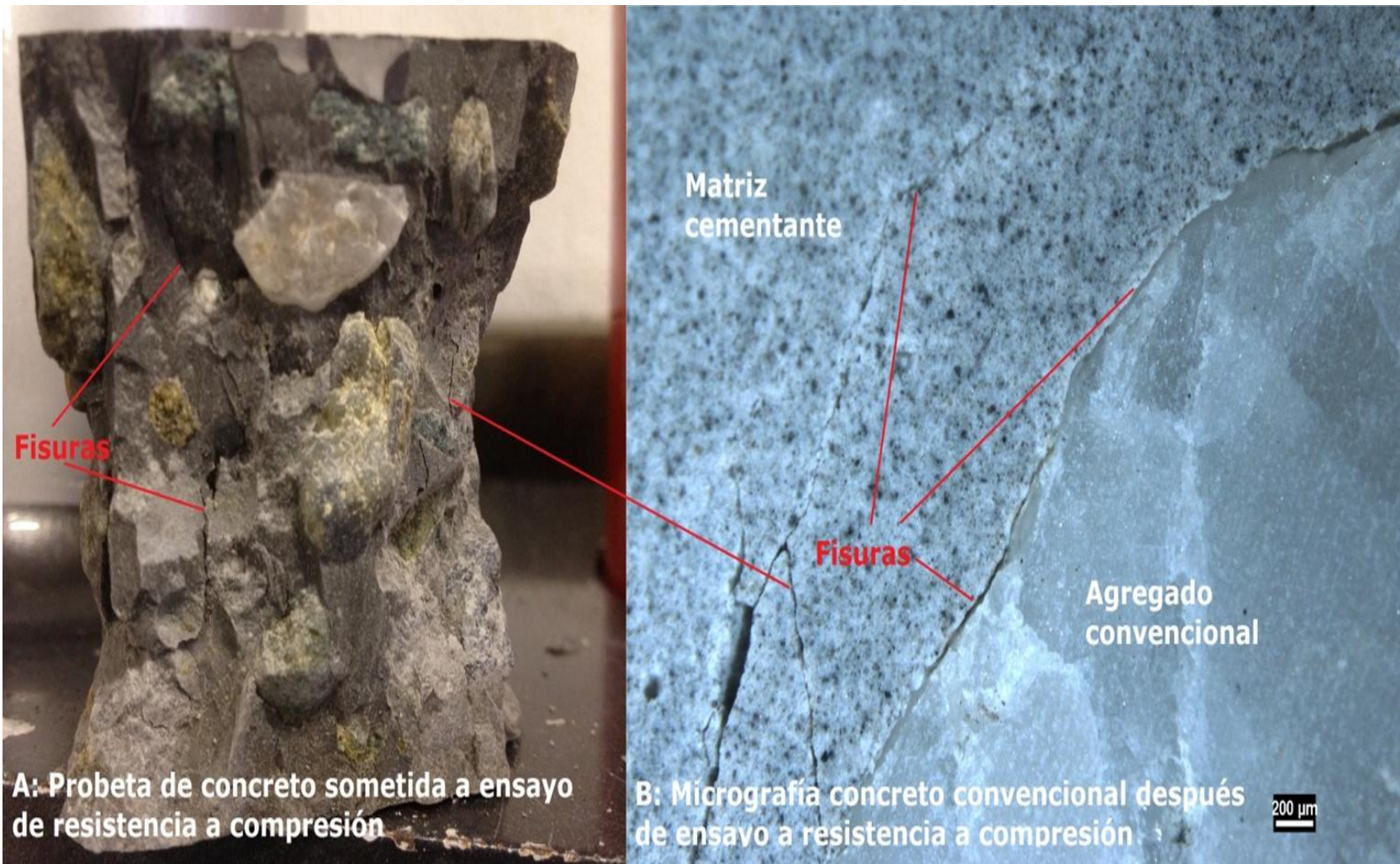
Zona de transición interfacial (ITZ)



Imágenes de microscopía óptica de la I... concretos evaluados. Obtenido y modificado de P. Vargas, Oscar Restrepo-Baena & Jorge I. Tobón, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.01.101



Vargas, Marín & Tobón, 2018



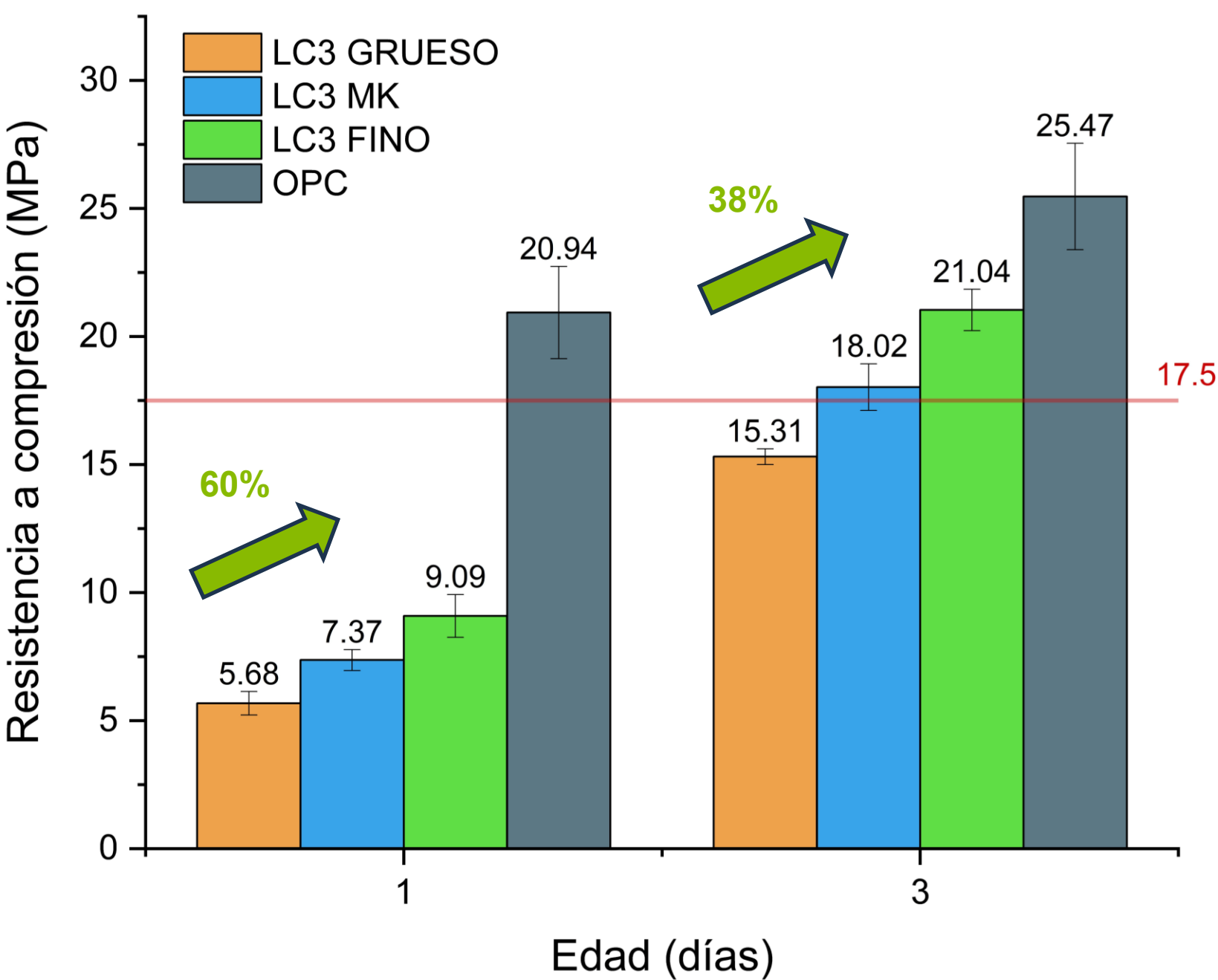
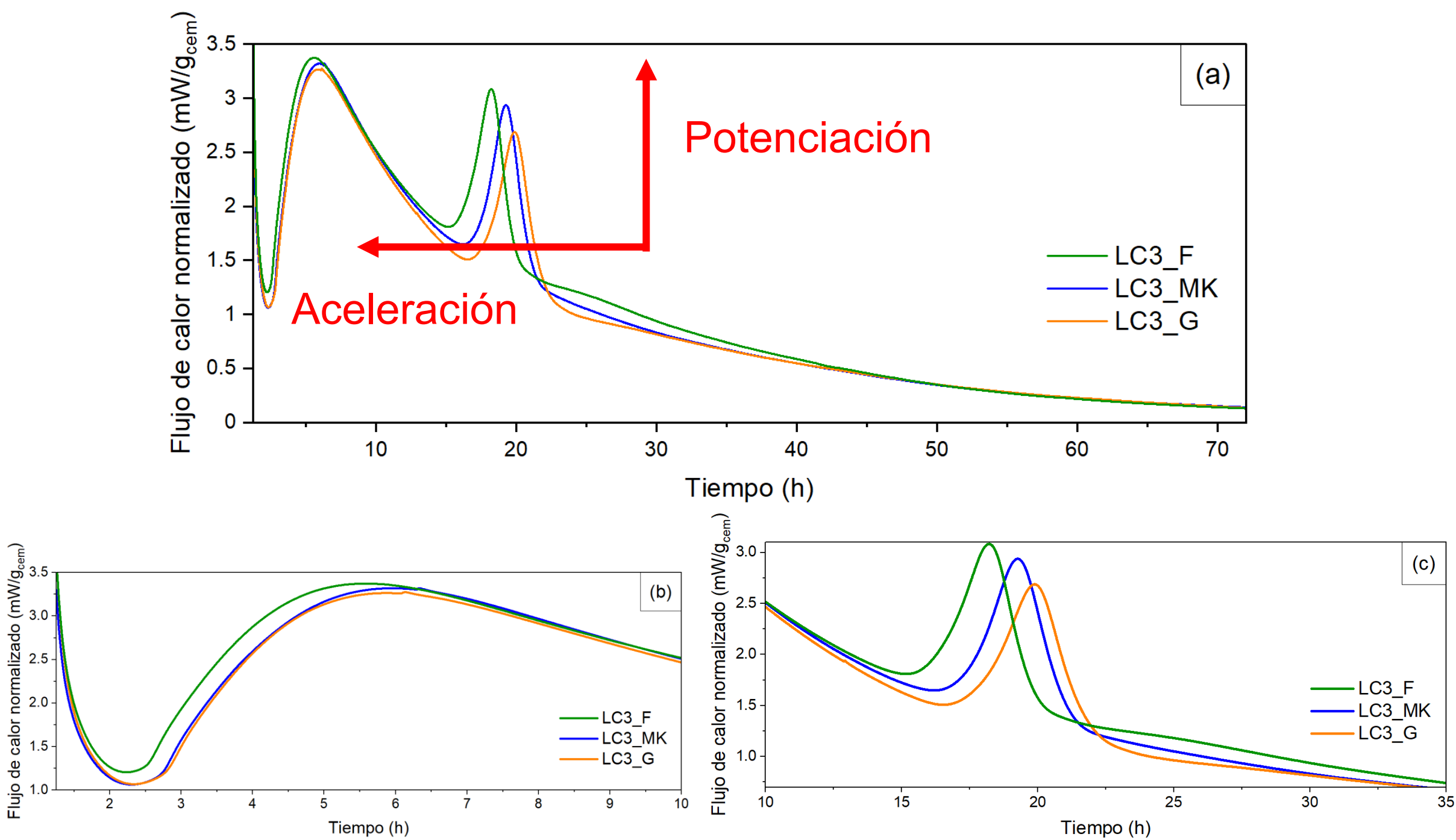
A: Probeta de concreto sometida a ensayo de resistencia a compresión

B: Micrografía concreto convencional después de ensayo a resistencia a compresión



3-1. Disminución de tamaño de partícula

1
Disminución de tamaño de partícula de los componentes



Microcalorimetrías de pastas LC3 con disminución de tamaño de partícula de metacaolín y caliza. En proceso de publicación.

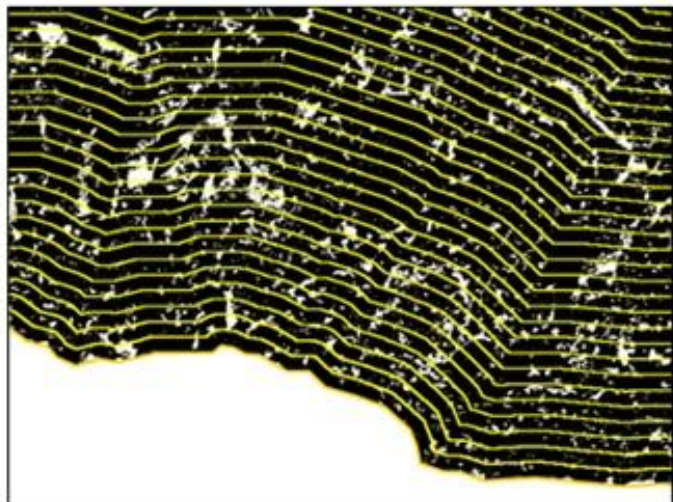
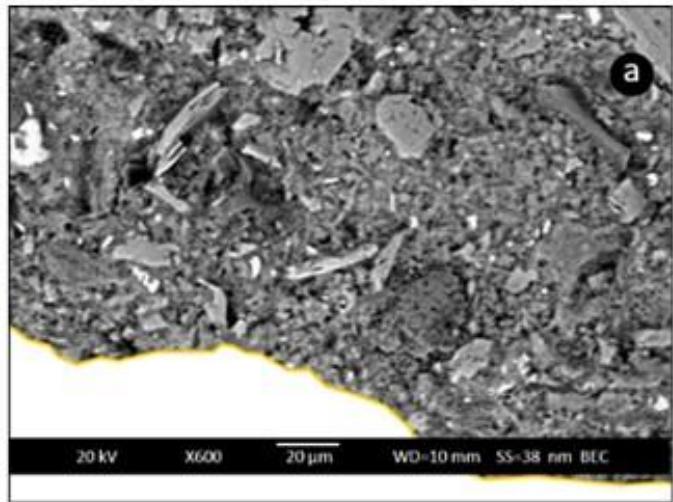
Resistencia a compresión de concretos LC3 vs OPC según tratamientos. En proceso de publicación.

3-1. Disminución de tamaño de partícula

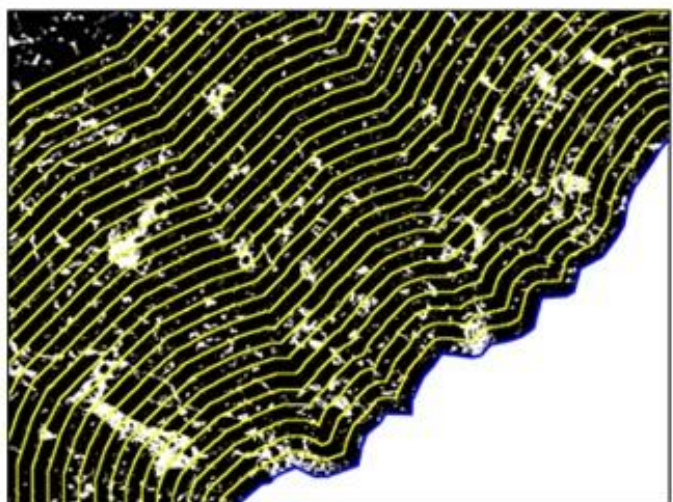
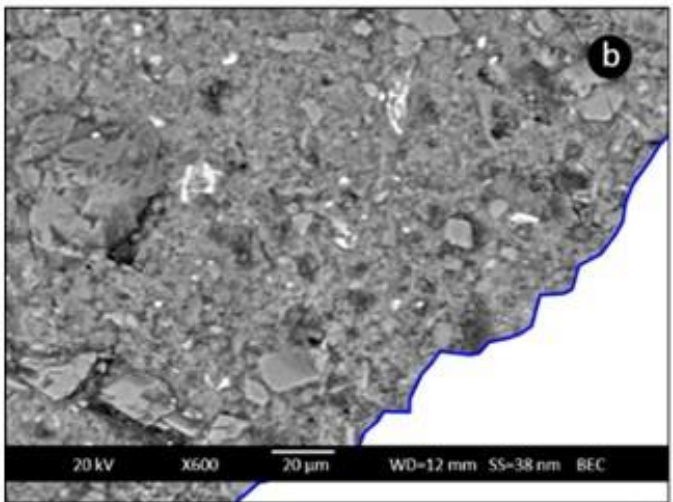
Análisis de porosidad

SEM-BSE + Image J

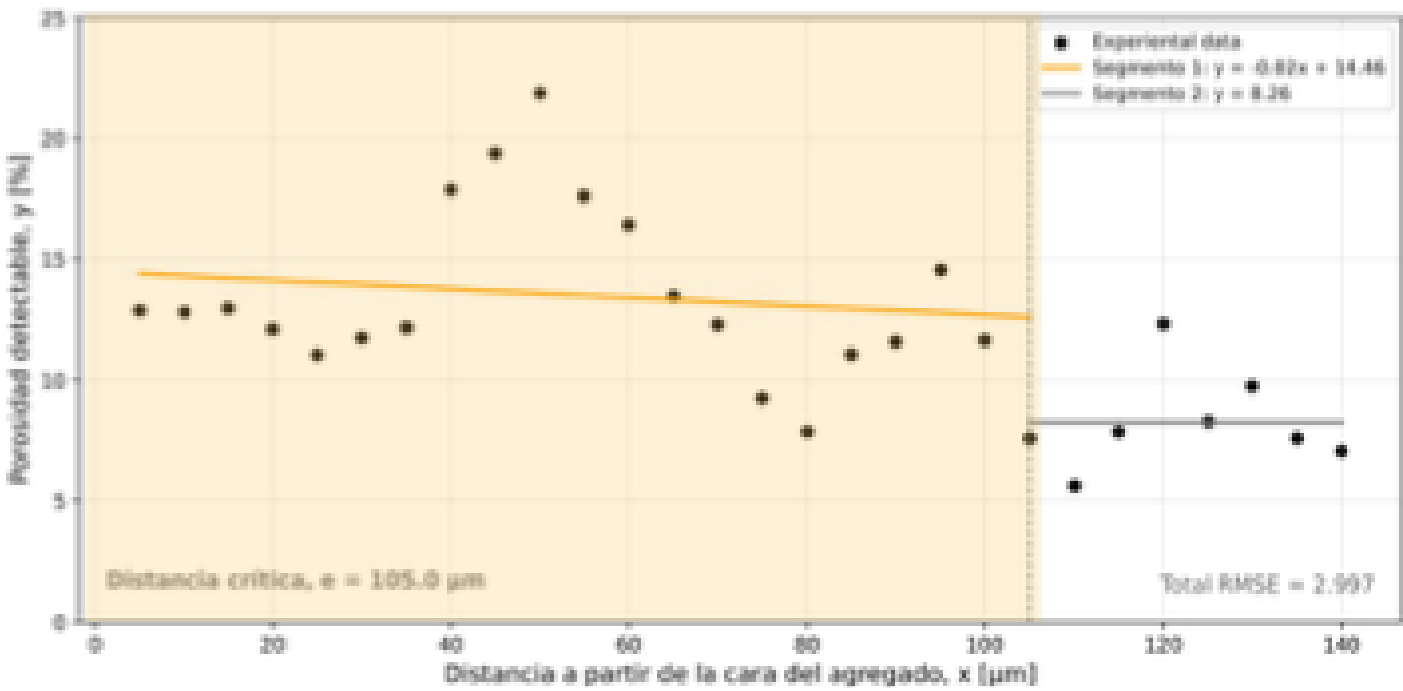
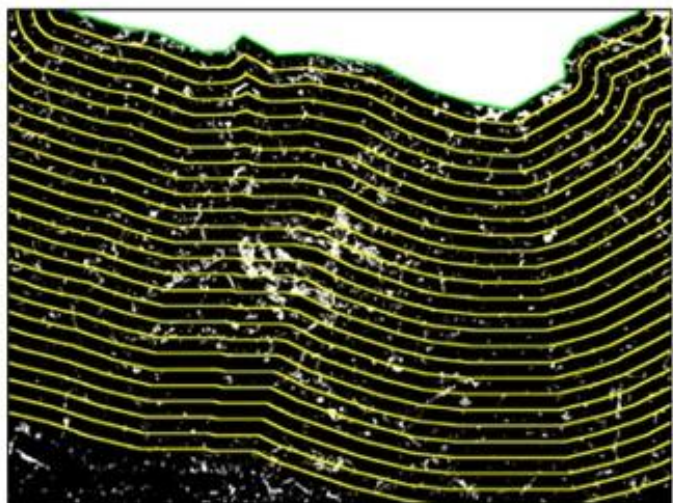
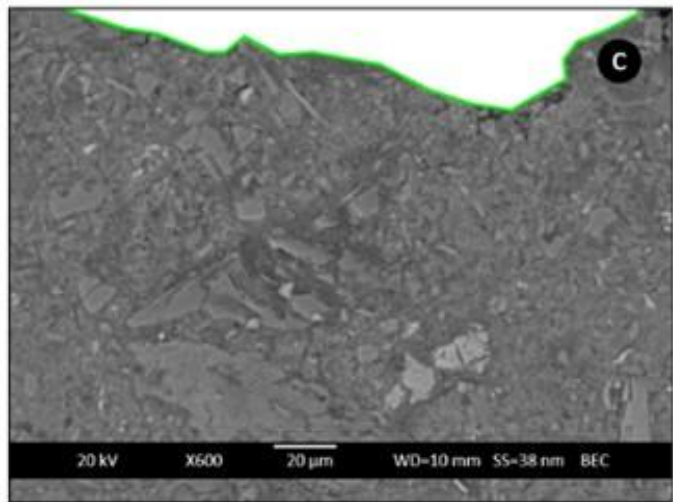
LC3 G



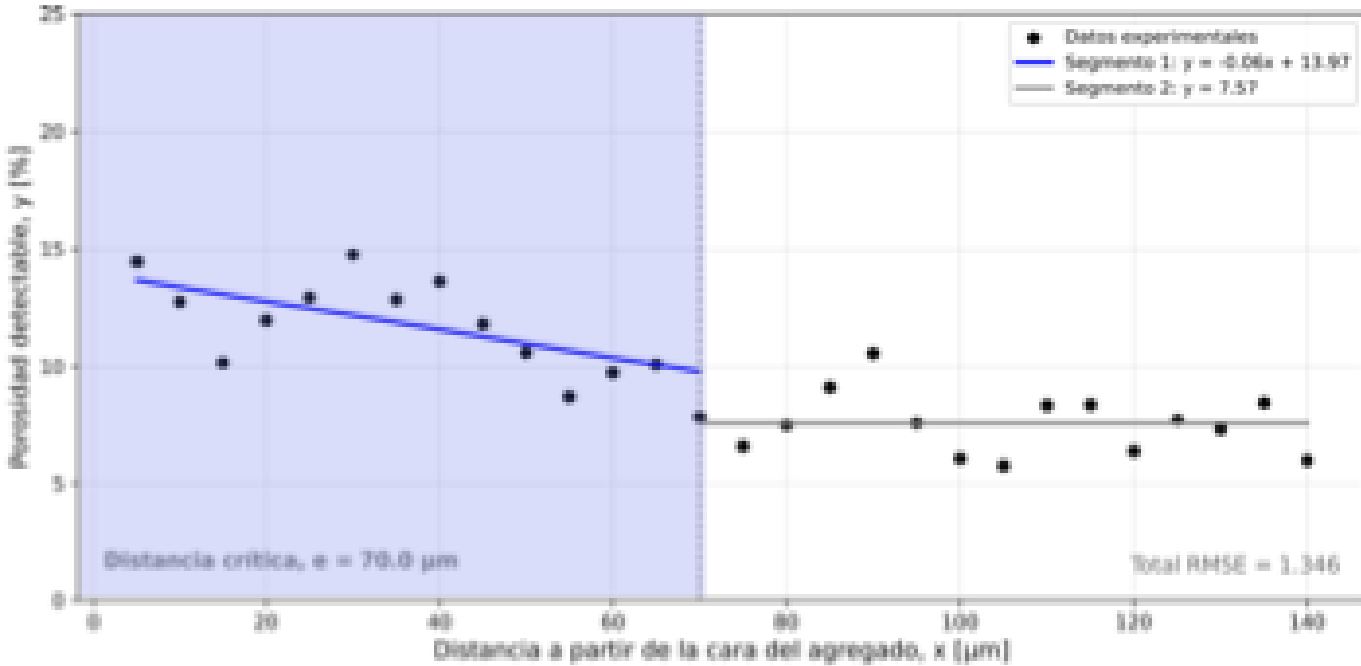
LC3 MK



LC3 F

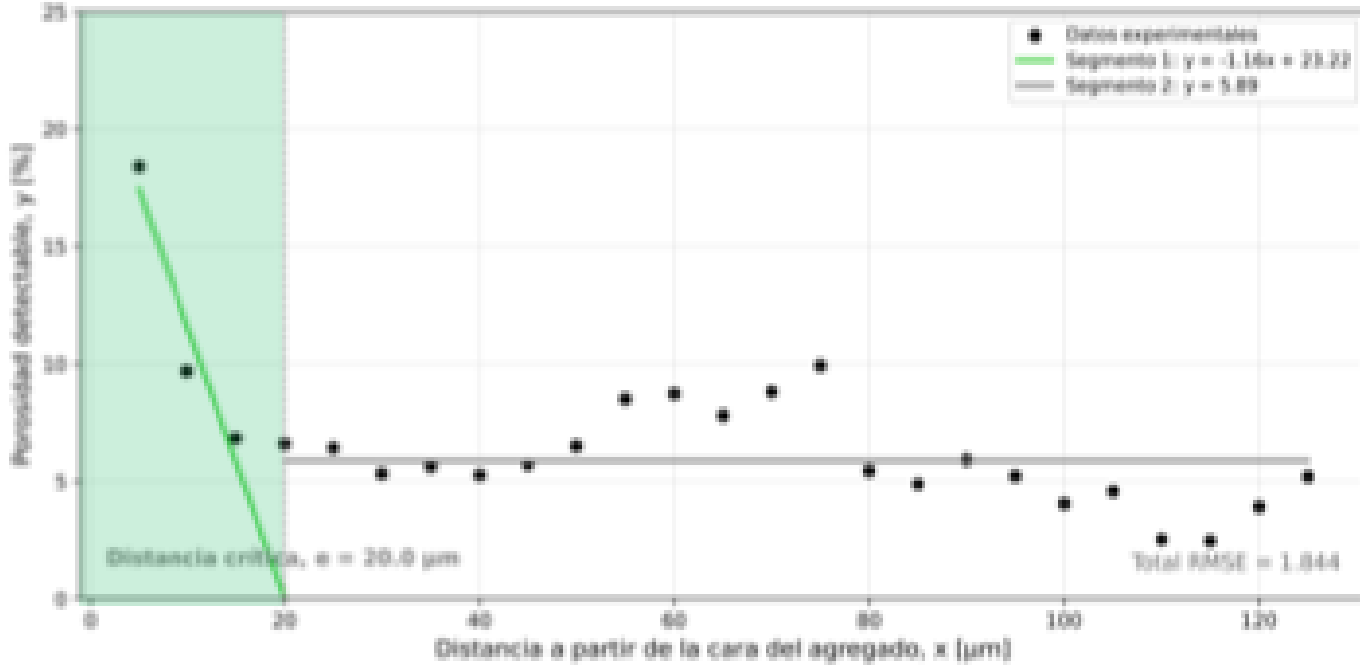


e=105 μm



e=75 μm

- 33%



e=20 μm

- 81%

1
Disminución de tamaño de partícula de los componentes

e=75 μm

- 33%

e=20 μm

- 81%

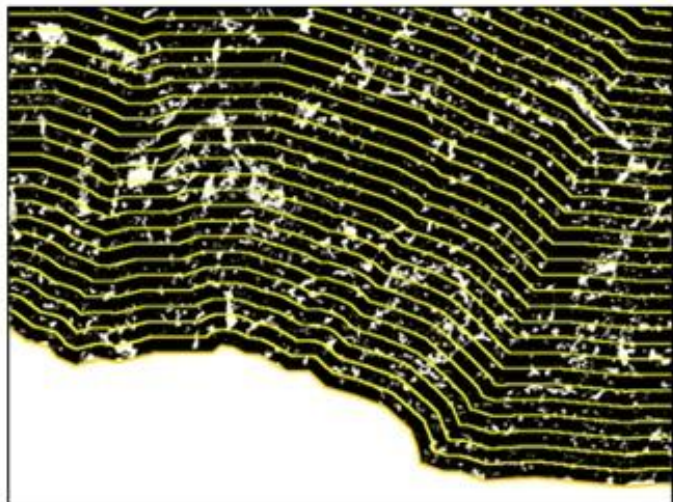
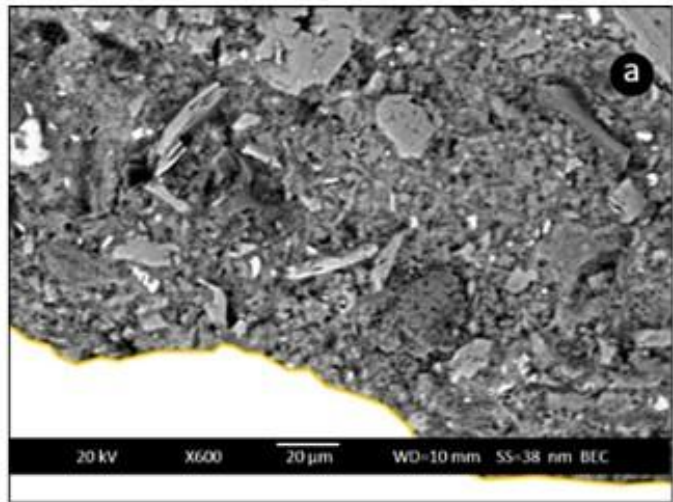
3-1. Disminución de tamaño de partícula

1
Disminución de tamaño de partícula de los componentes

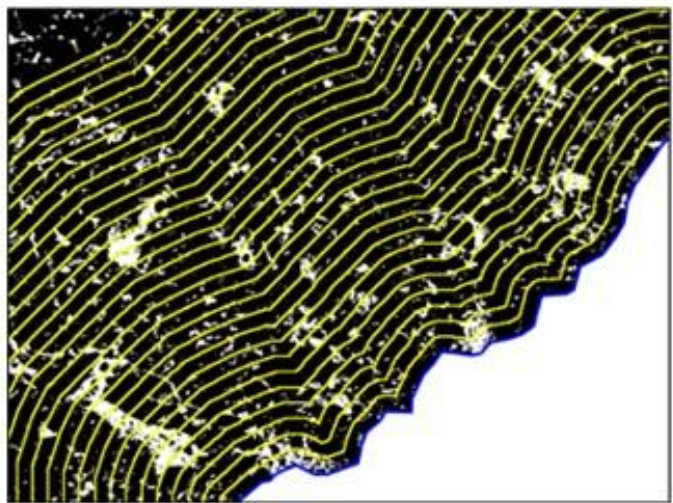
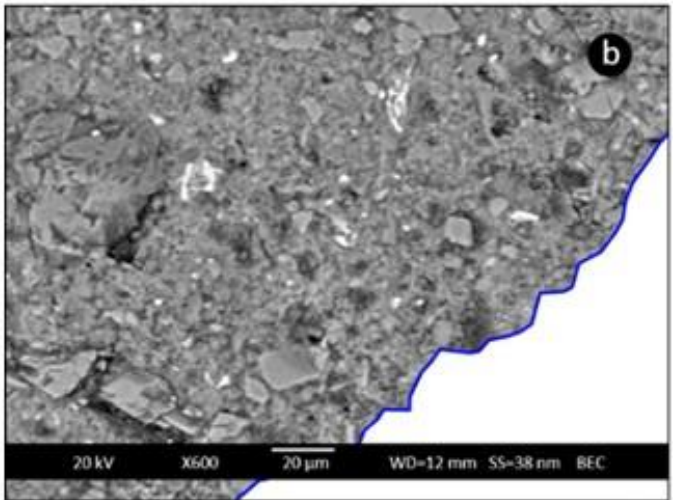
Análisis de porosidad

SEM-BSE + Image J

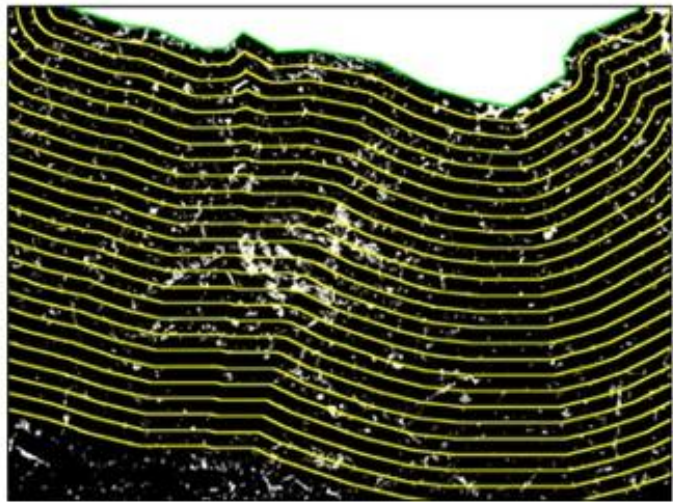
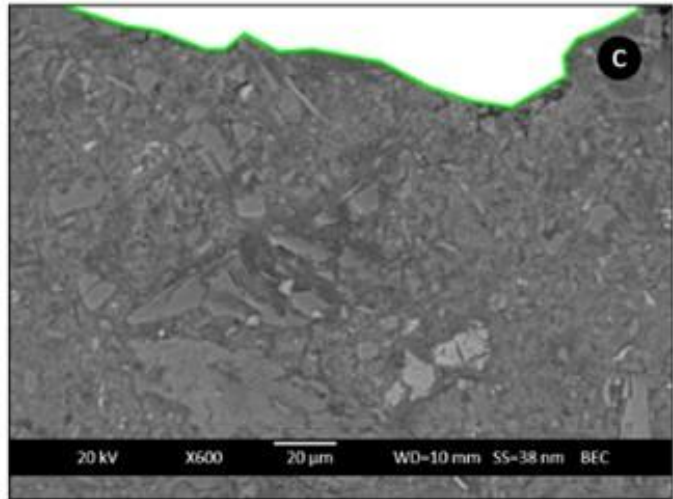
LC3_G



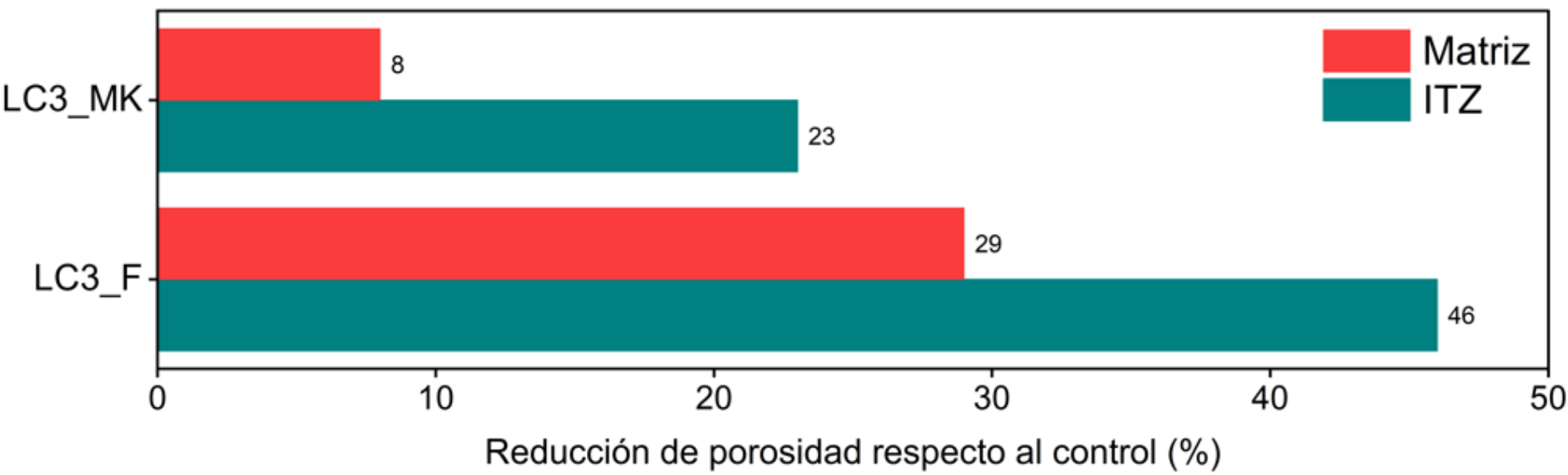
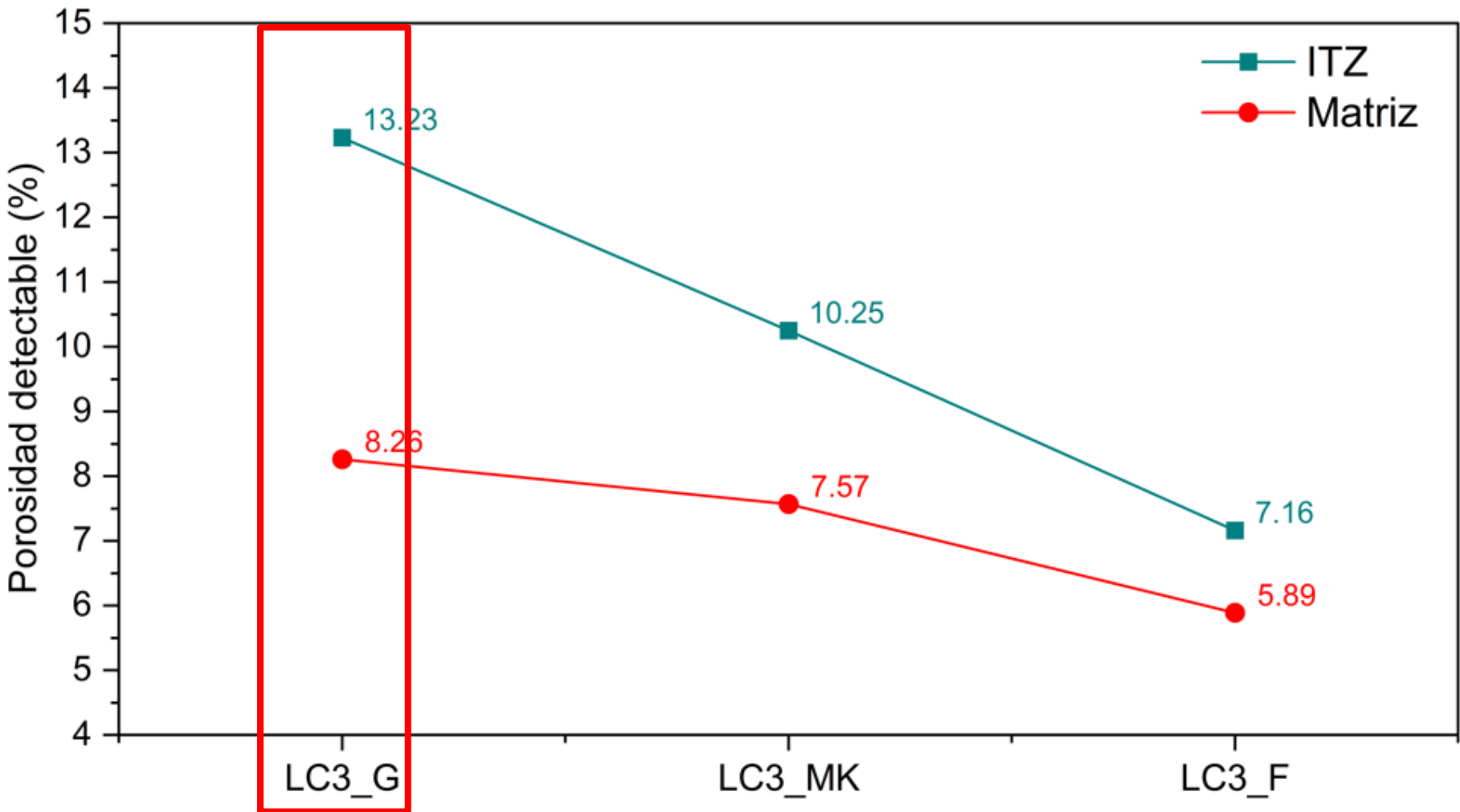
LC3_MK



LC3_F



Control

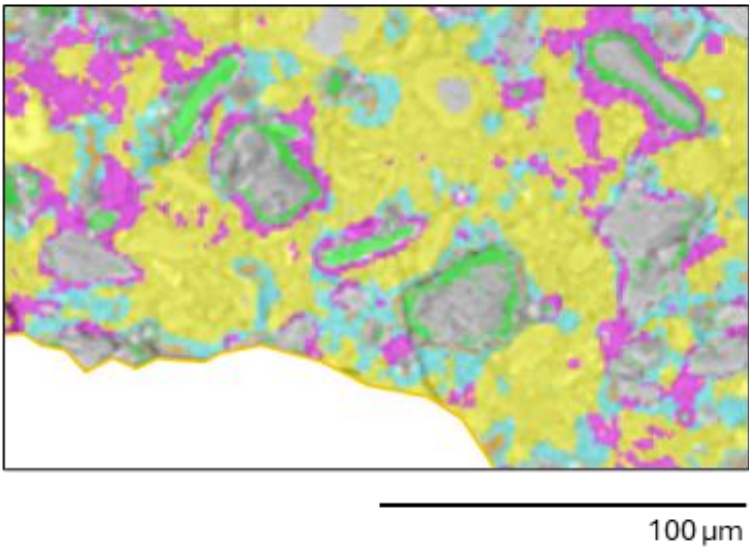
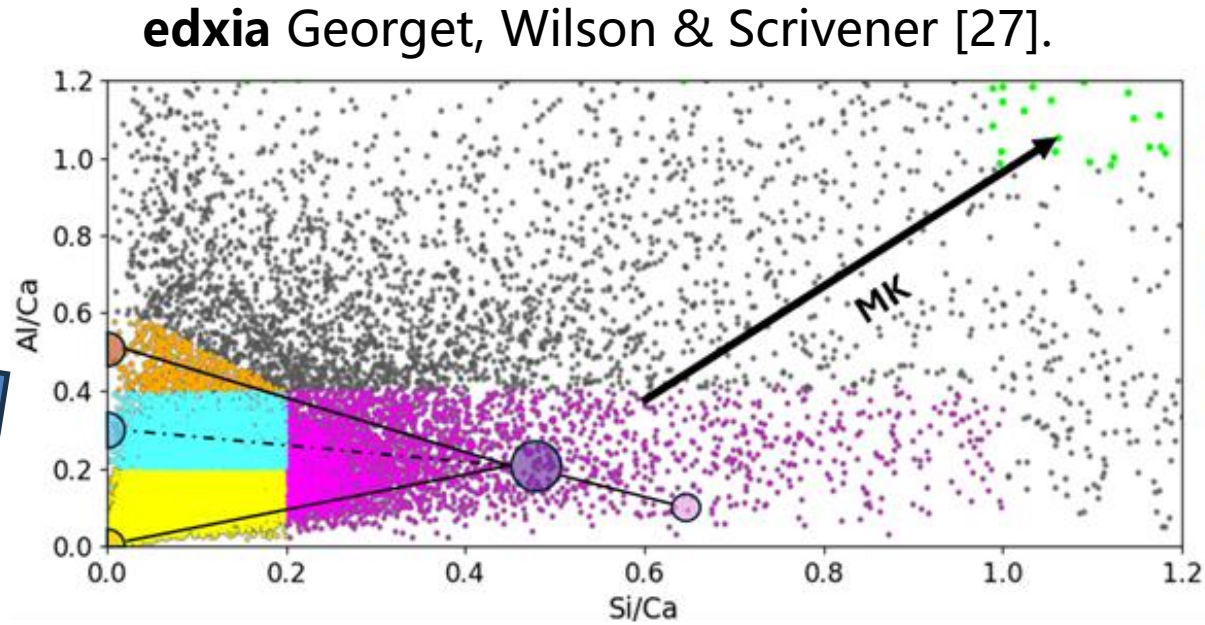
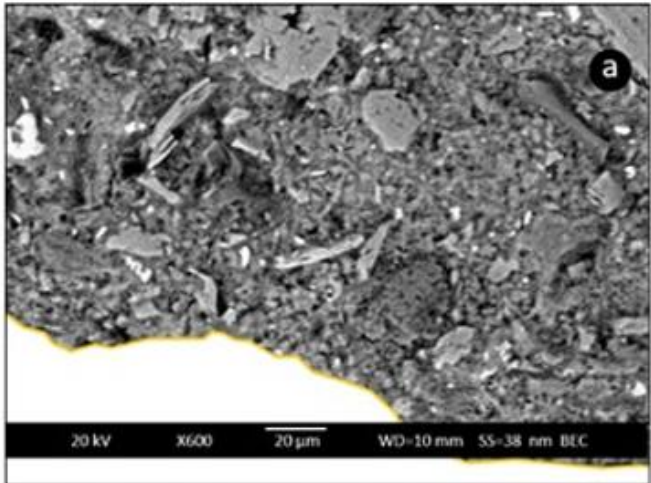


3-1. Disminución de tamaño de partícula

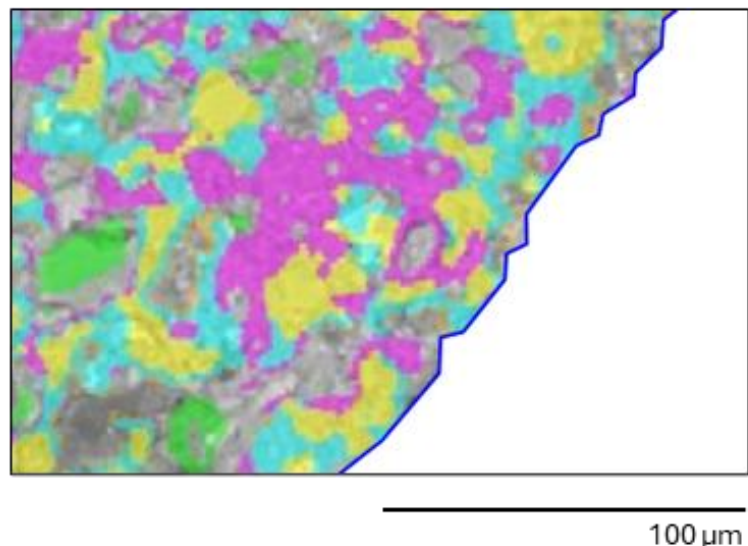
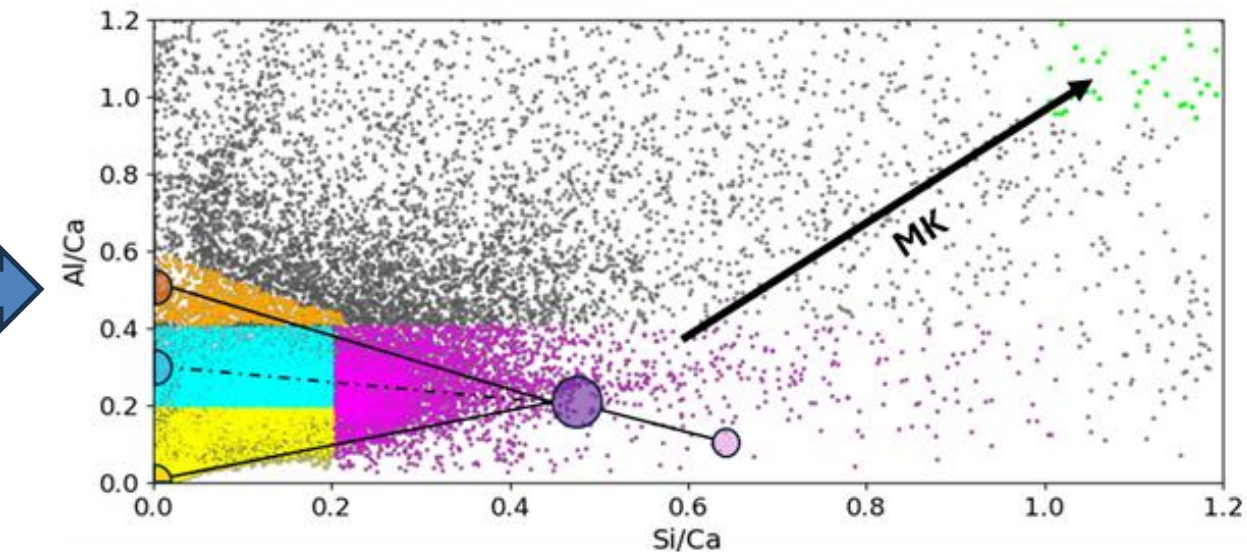
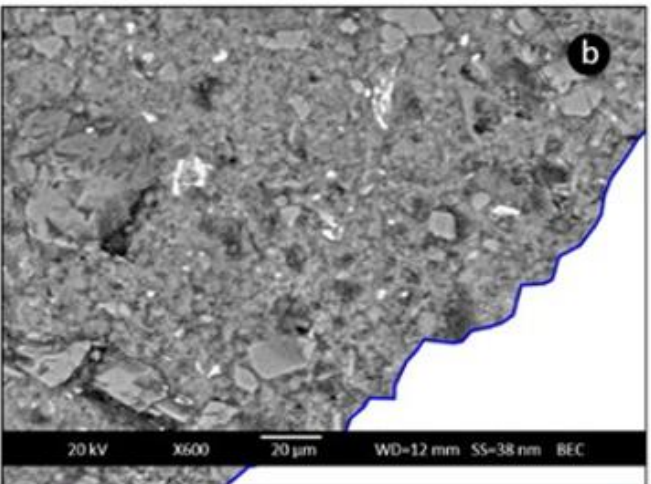
1
Disminución de tamaño de partícula de los componentes

Análisis de porosidad

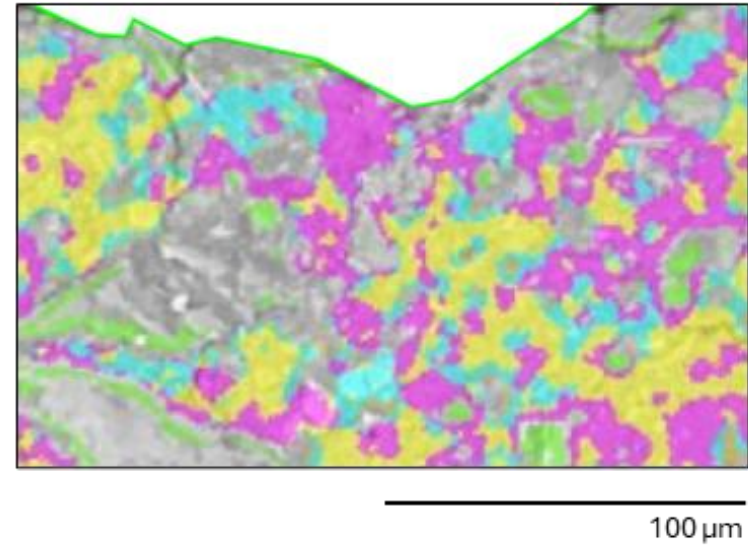
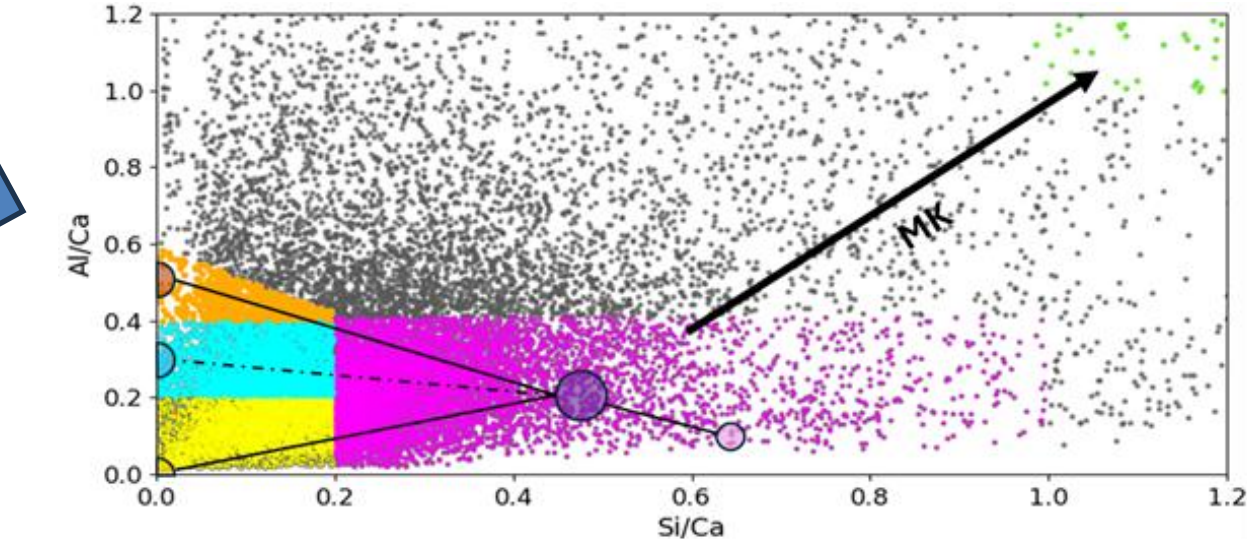
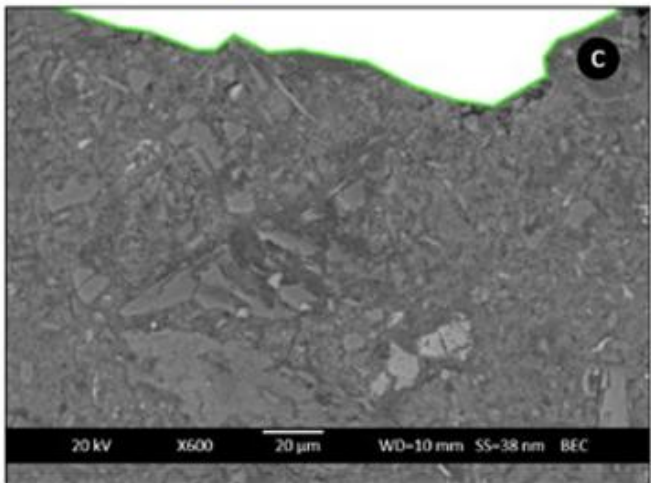
LC3_G



LC3_MK



LC3_F



Fases identificadas

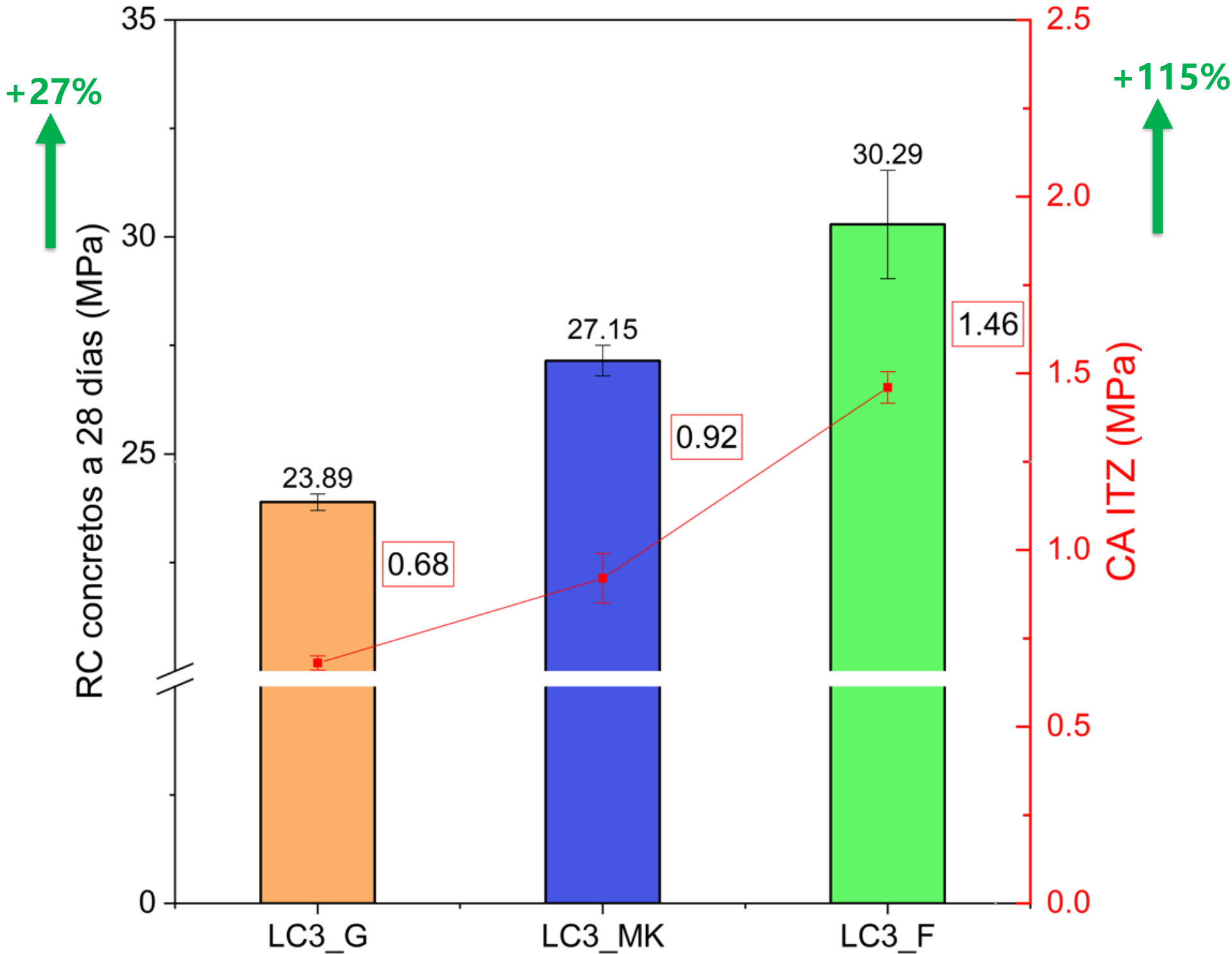
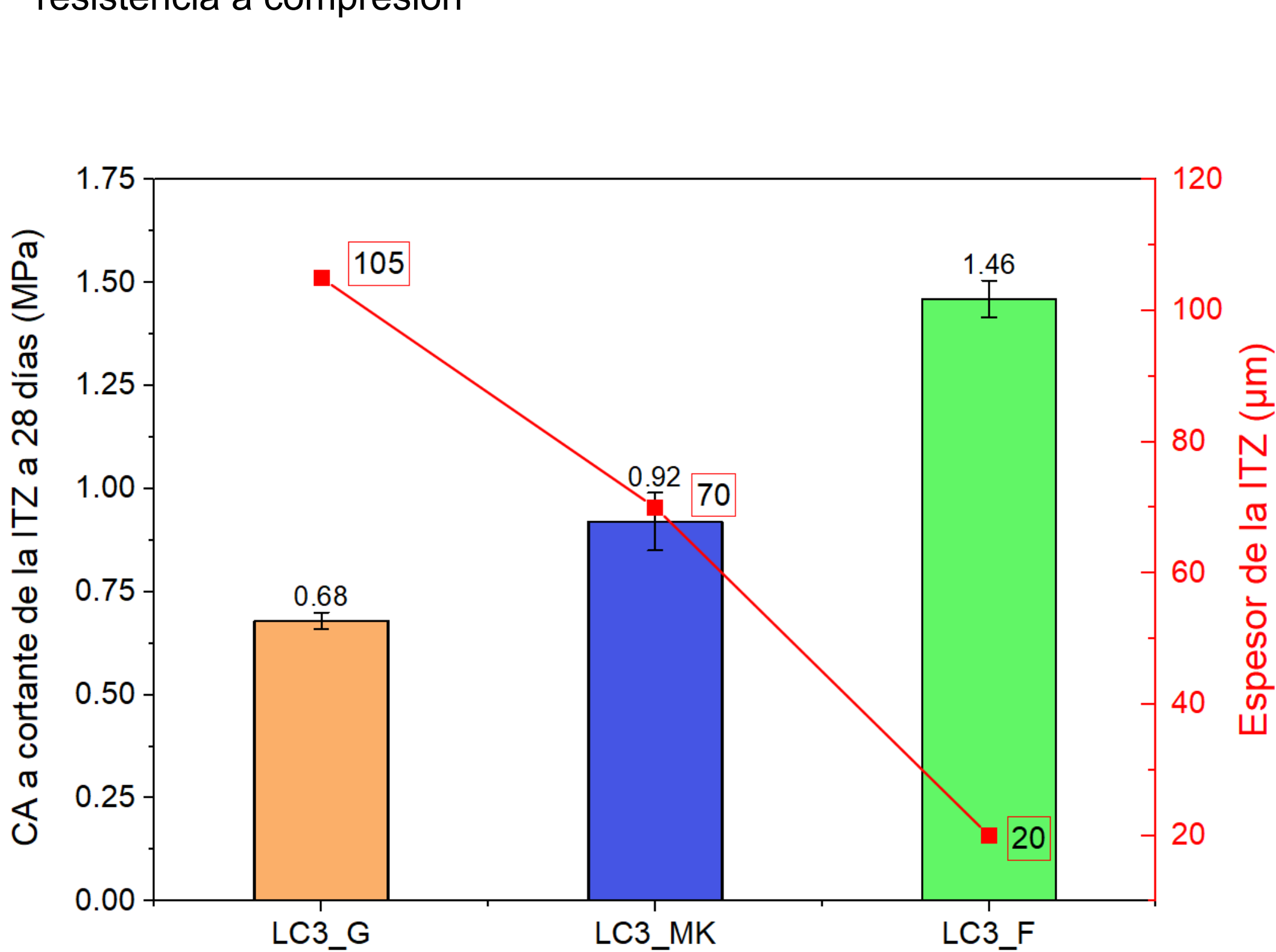
- C-(A)-S-H
- LS & CH
- AFm
- MK
- AFt

3-1. Disminución de tamaño de partícula

1
Disminución de tamaño de partícula de los componentes

Análisis de porosidad

Efecto sobre la capacidad de adherencia y la resistencia a compresión



3-2. Naturaleza de los componentes

Naturaleza de los componentes

Use of spent fluid catalytic cracking catalyst (FCC) in Limestone Calcined Clay Cement (LC3) systems: Studies in pastes and mortars [8]

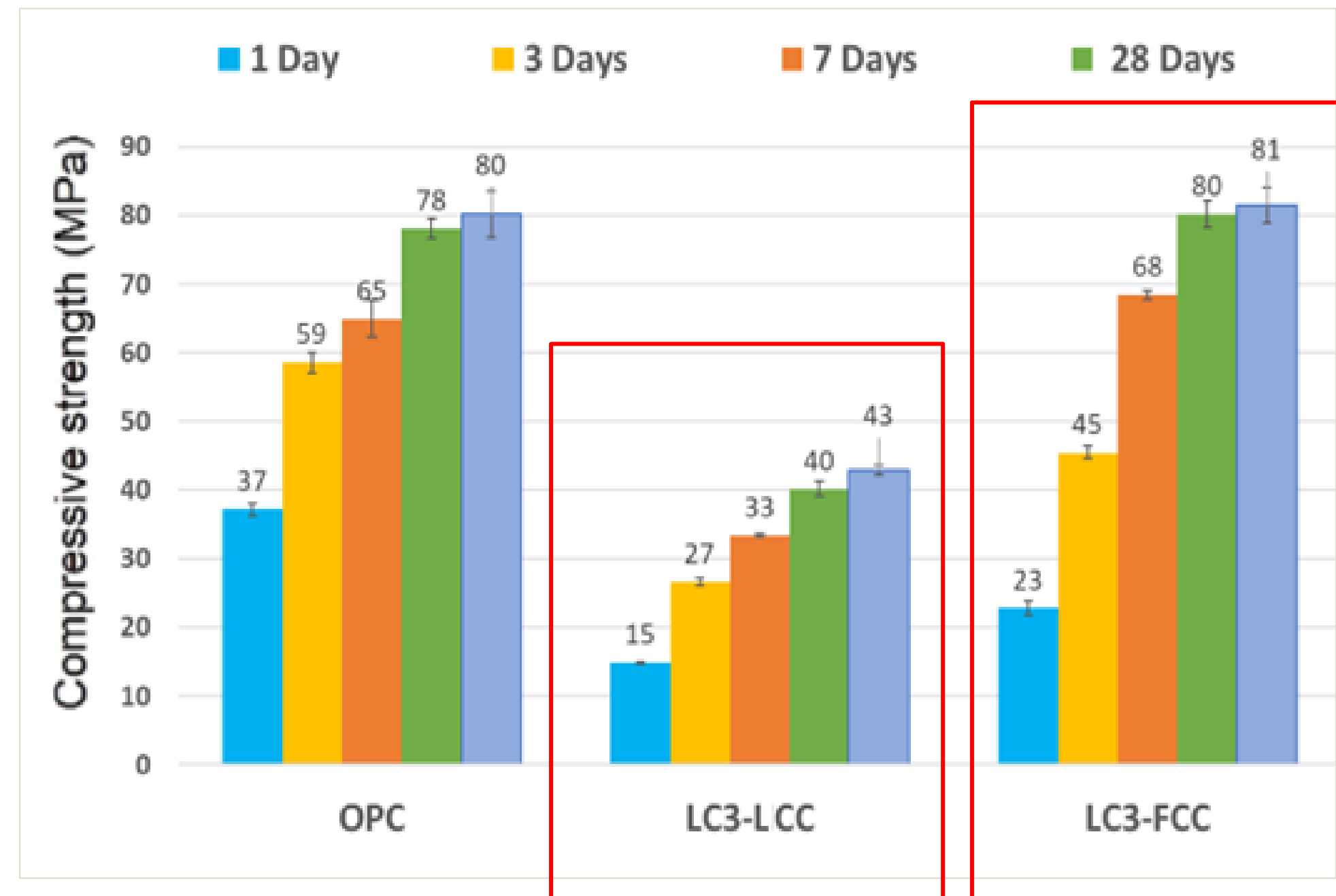
P. Vargas *et al.*, 2024

El **FCC (Fluid Catalytic Cracking spent catalyst)** zeolita tipo faujasita proveniente de la refinería del petróleo. Generación 200.000–400.000 t/año a nivel mundial.

Composición y características:

- 47% SiO₂ + 49% Al₂O₃ — **similar al metacaolín.**
- **No requiere calcinación** — solo molienda. Doble ahorro: energético y de CO₂.

Diseño: LC3 = 50% OPC + 30% FCC + 15% carbonato + 5% yeso.



Resultados de resistencia a compresión de mezclas OPC, LC3 con arcilla calcinada y LC3 con FCC a distintas edades.

LCC: arcilla calcinada de bajo grado

3-2. Naturaleza de los componentes

Optimisation of Using Low-Grade Kaolinitic Clays in Limestone Calcined Clay Cement Production (LC3) [9]

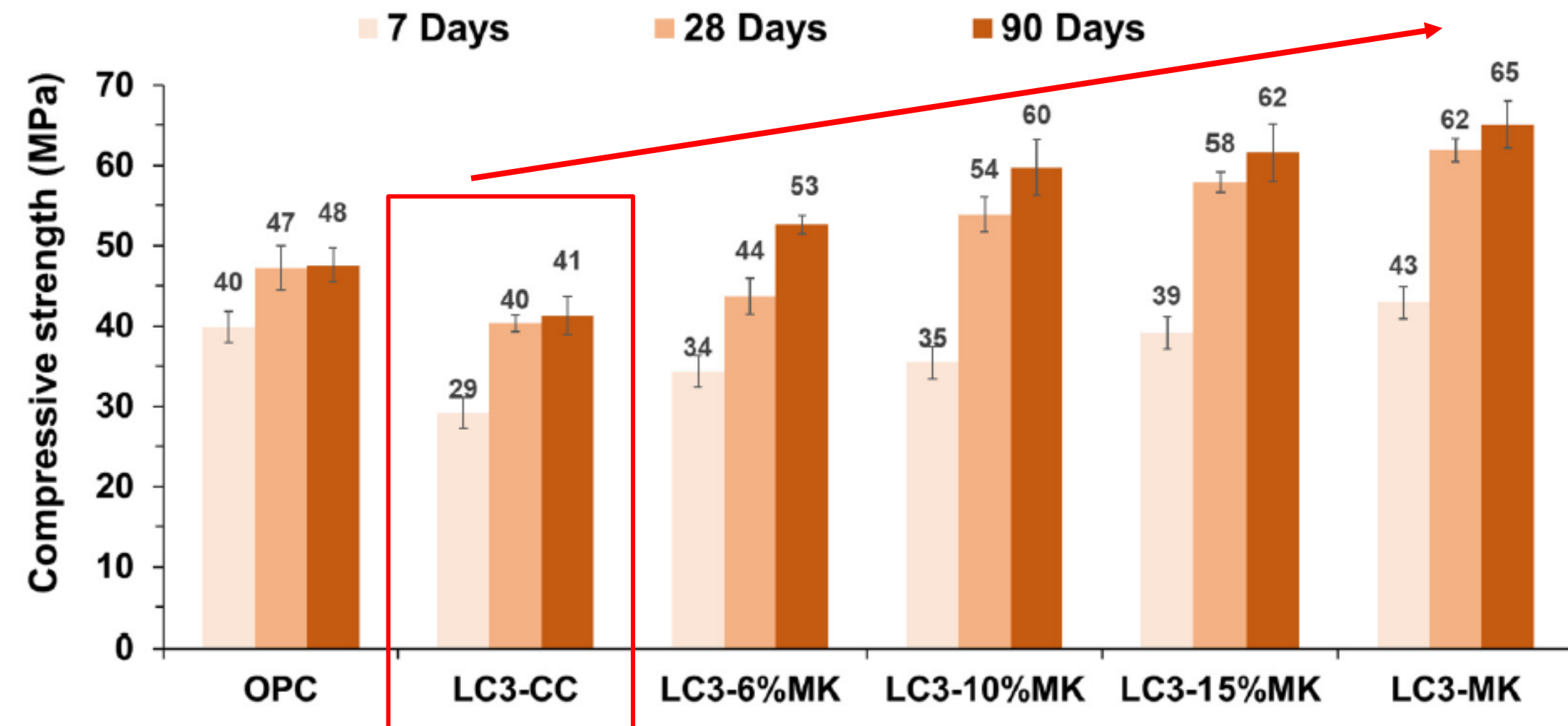
P. Vargas *et al.*, 2025

Naturaleza de los componentes

Arcilla de **bajo grado** < 30%

Modificación de la fracción correspondiente a la arcilla por medio de reemplazo por **Metacaolín (6, 10, 15 y 100%)**

El incremento en pureza y reactividad de la fuente de silicoaluminatos favorece las resistencias iniciales en mezclas LC₃ (aplica para FCC)



Resultados de resistencia a compresión de mezclas LC3 con distintas condiciones de arcilla calcinada.

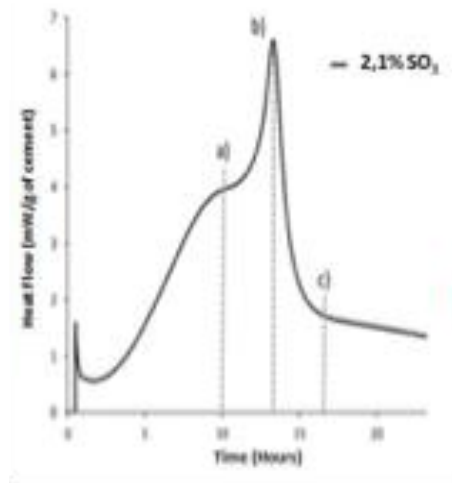
3-3. Sulfato Óptimo

3

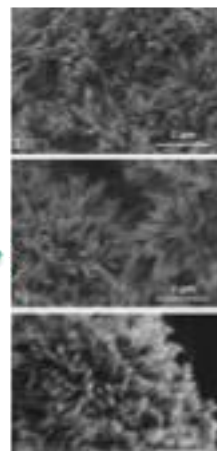
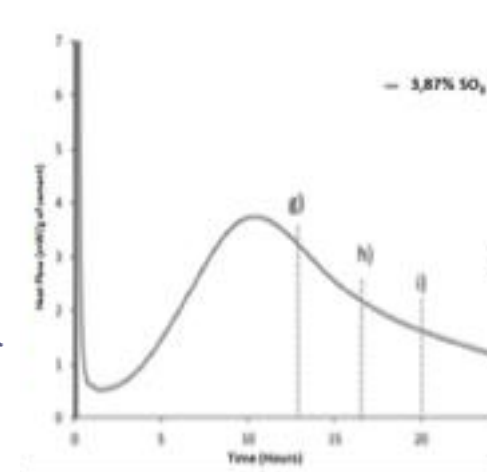
Sulfato Óptimo

Semillas de C-S-H

2,1% SO₃

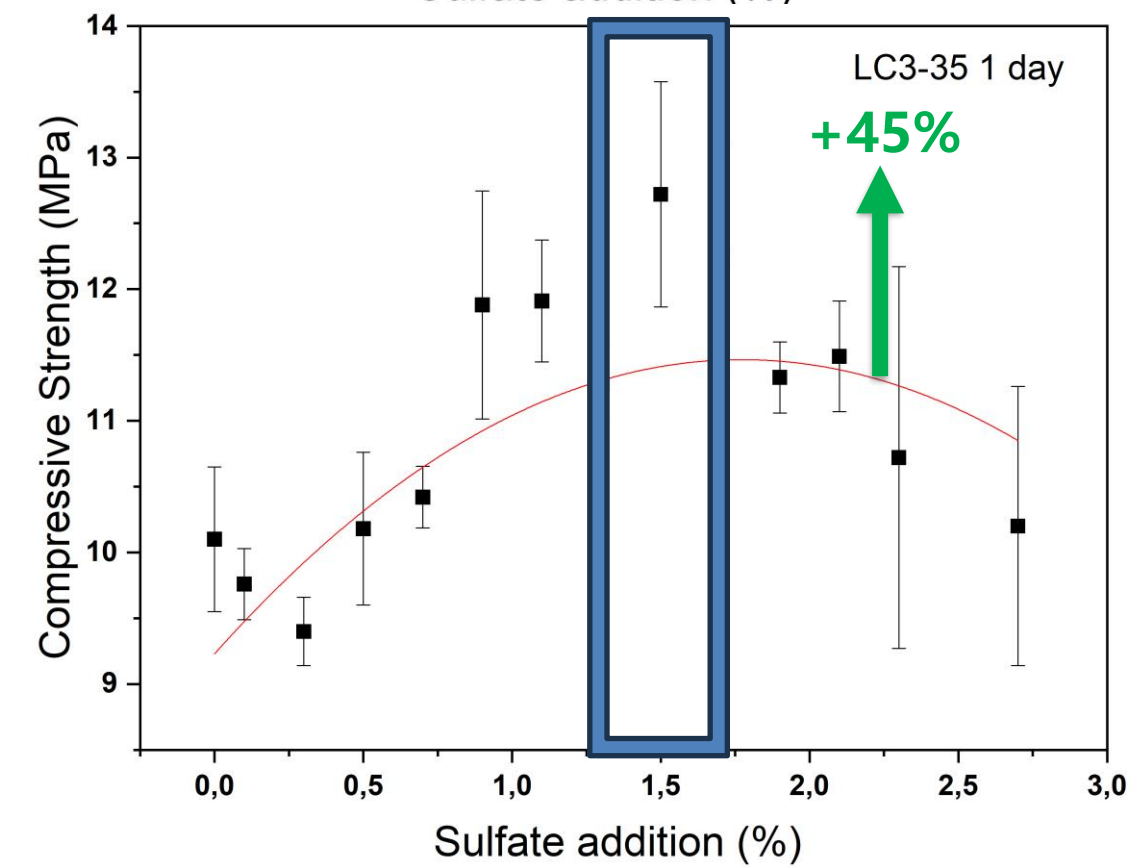
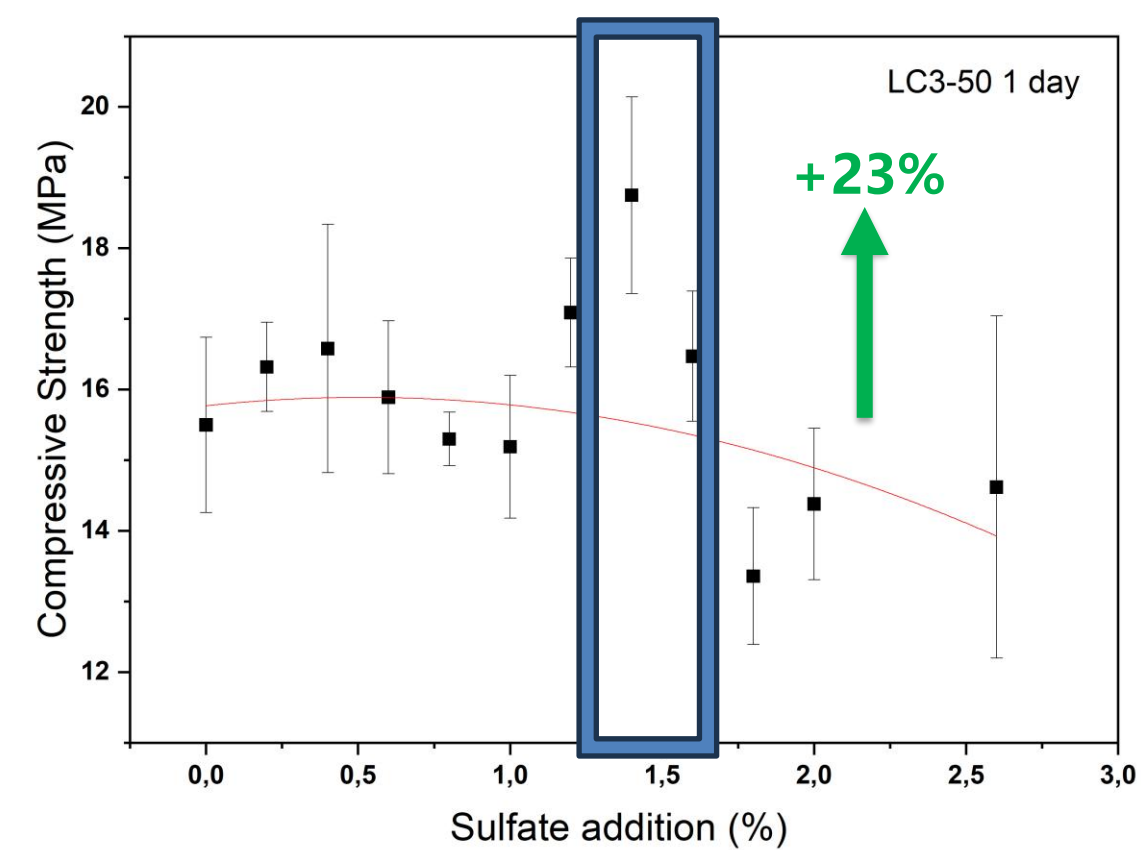
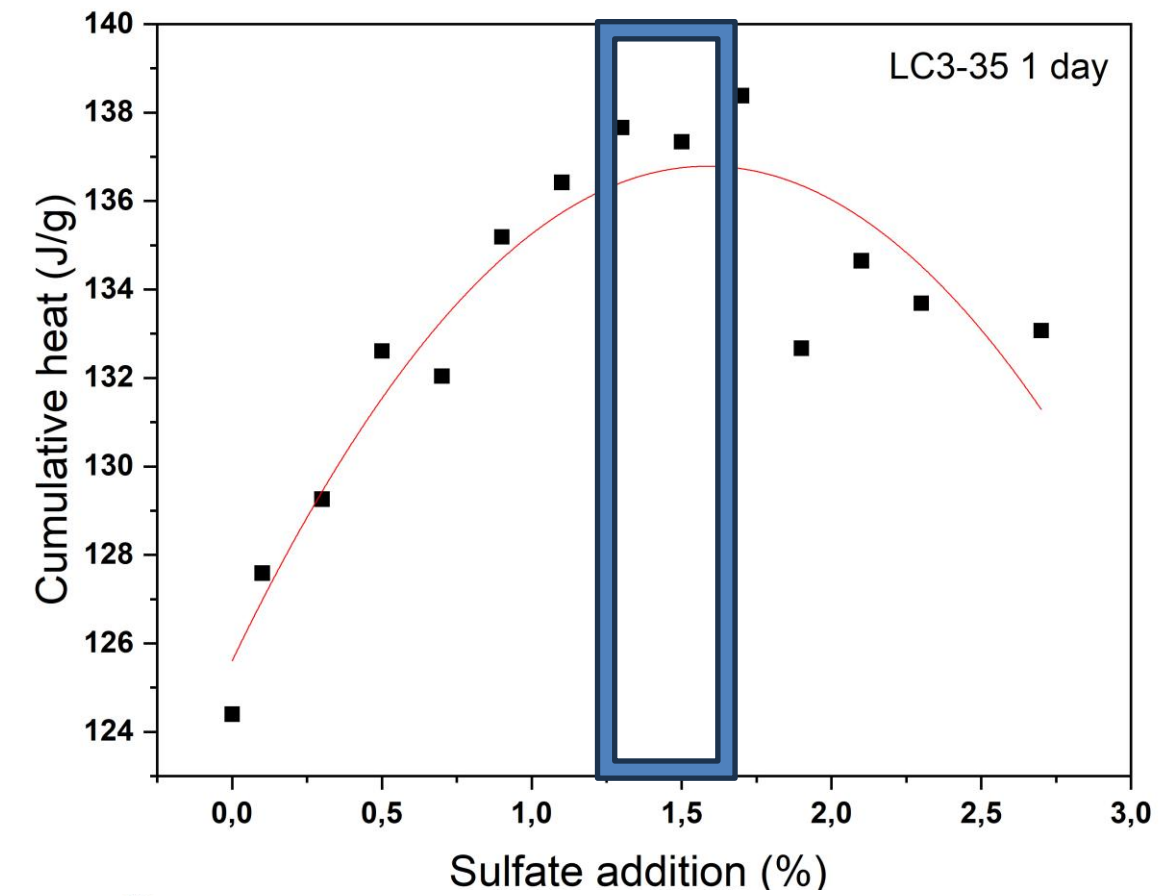
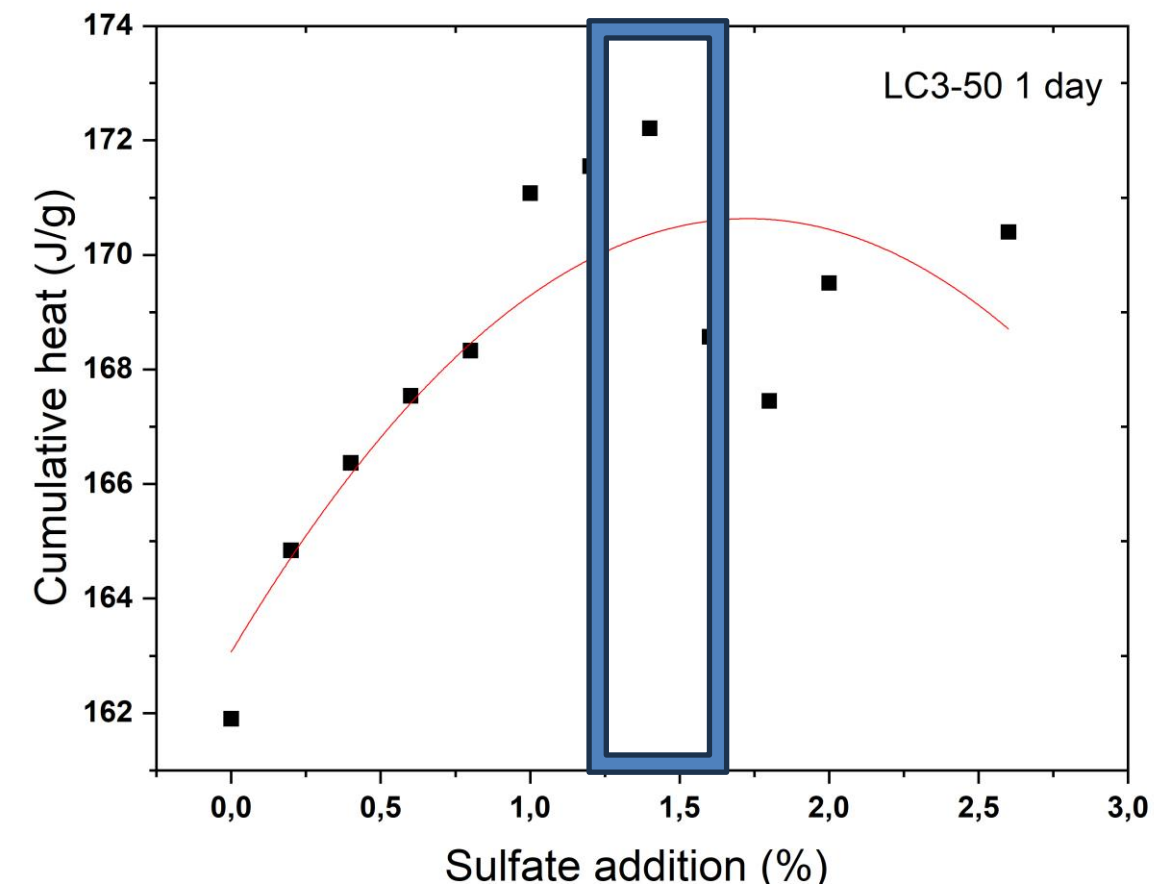


3,87% SO₃



ASTM C 563-20

Standard Guide for Approximation of Optimum SO₃ in Hydraulic Cement



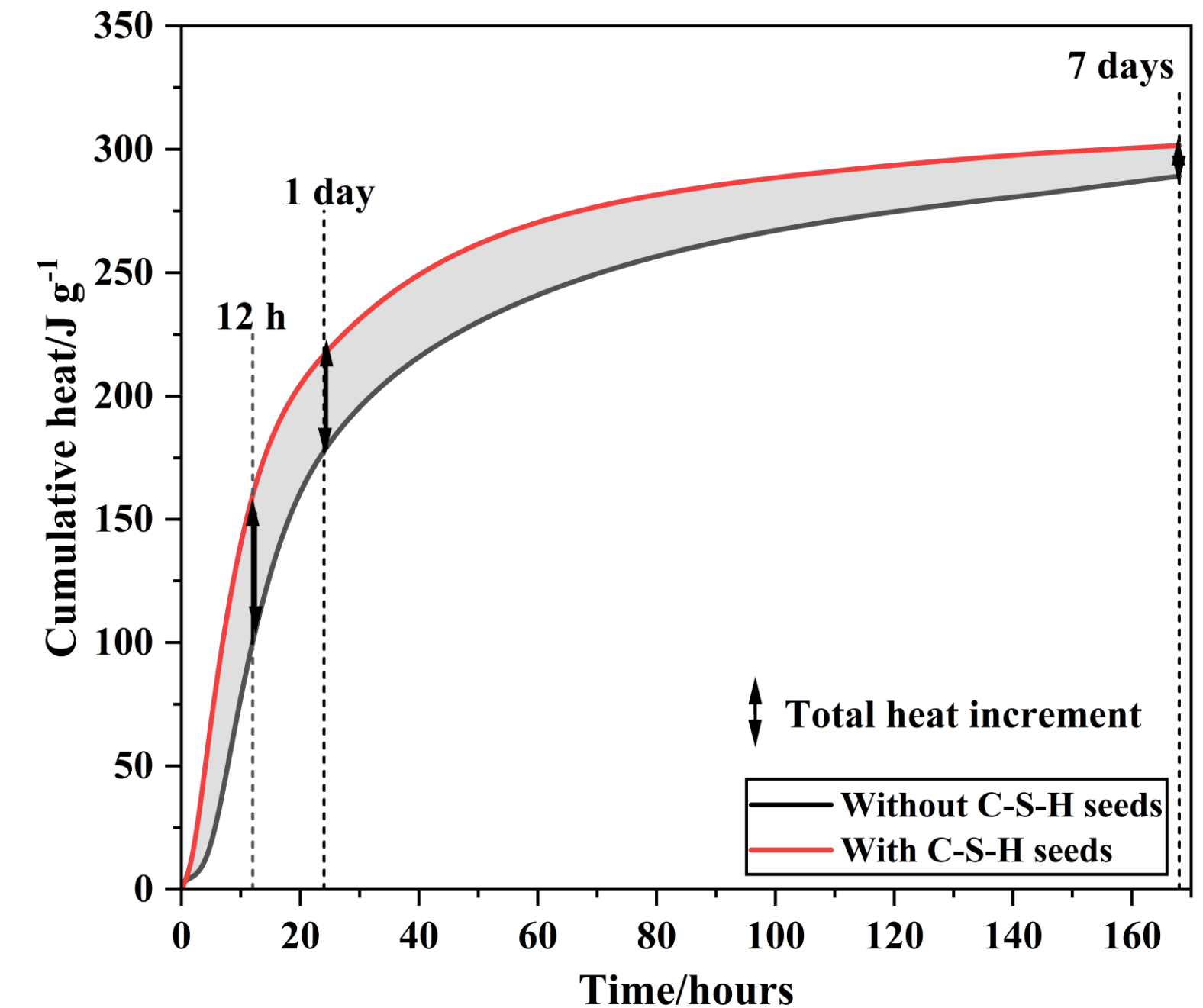
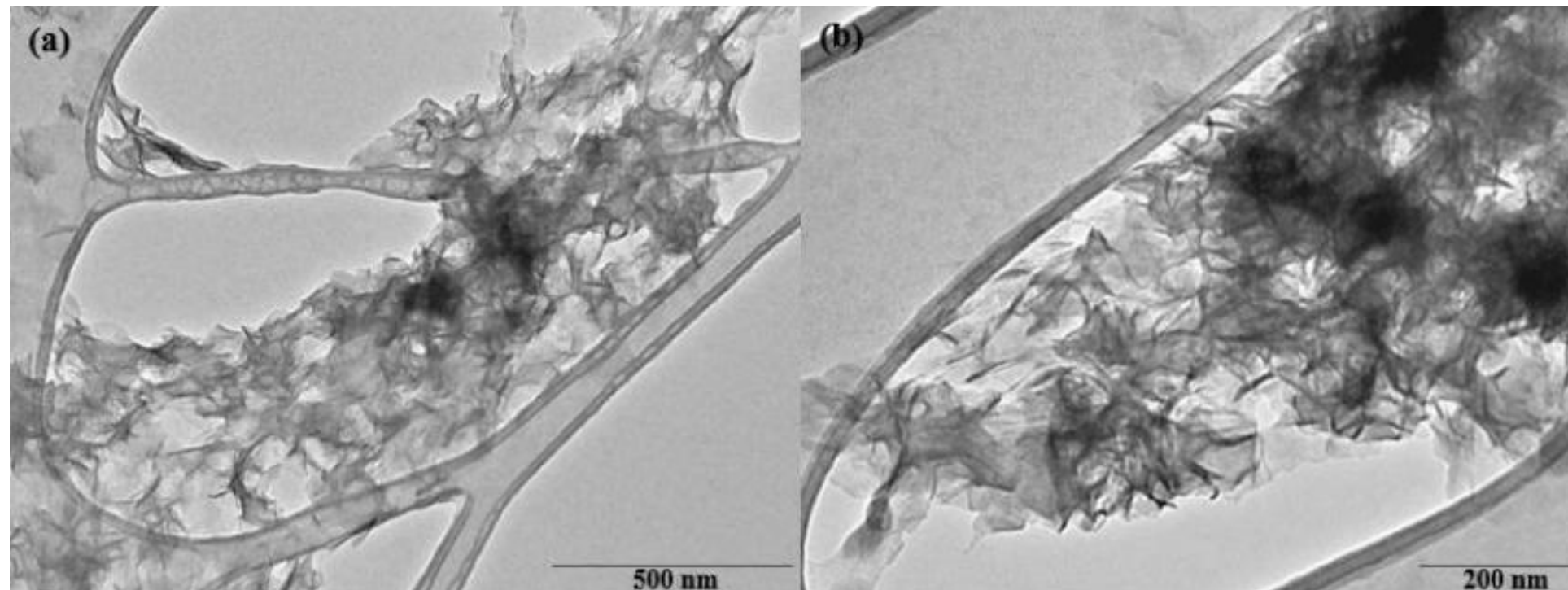
3-3. Semillas de C-S-H

Aceleración y potenciación de la cinética de hidratación

La influencia de las semillas de C-S-H en la hidratación de mezclas LC3 con bajo contenido de clínker

Guilherme Cocco, Oscar Mendoza & Jorge I. Tobón

Semillas C-S-H (Master X-Seed 100); Relación Ca/Si: 1.43; D_{50} : 21.5 nm; SSA: 80-320 m²/g; Estructura fibrosa.



COCCO *et al.* (2024)

3-3. Semillas de C-S-H

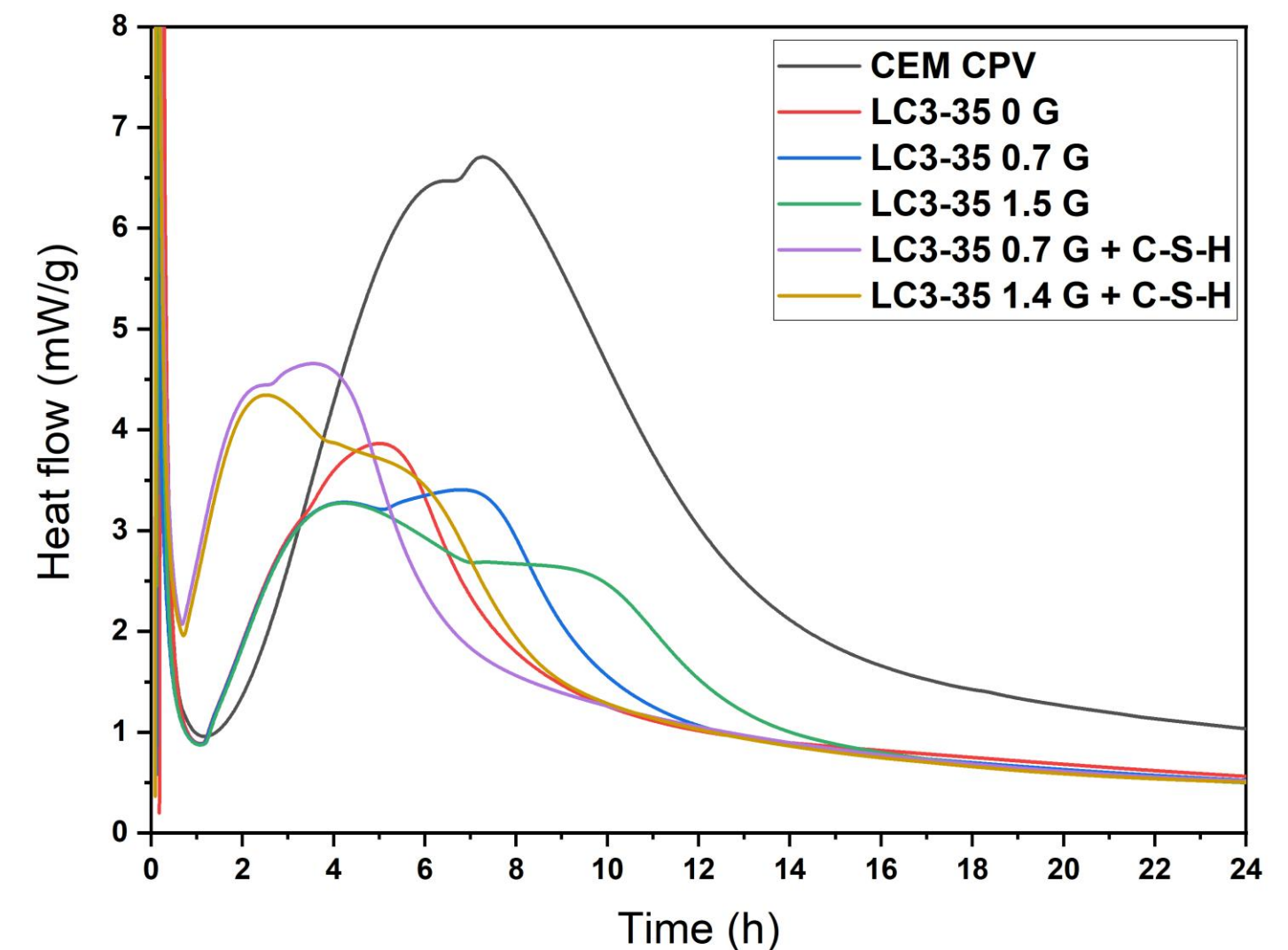
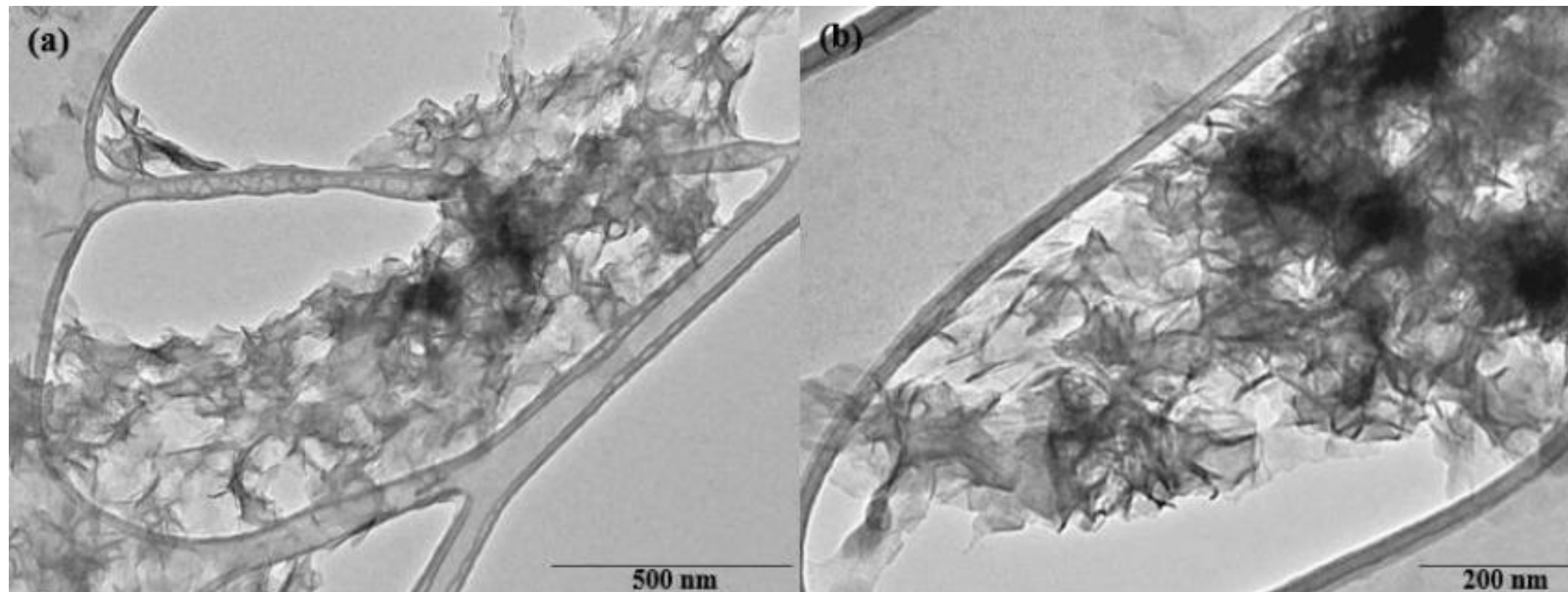
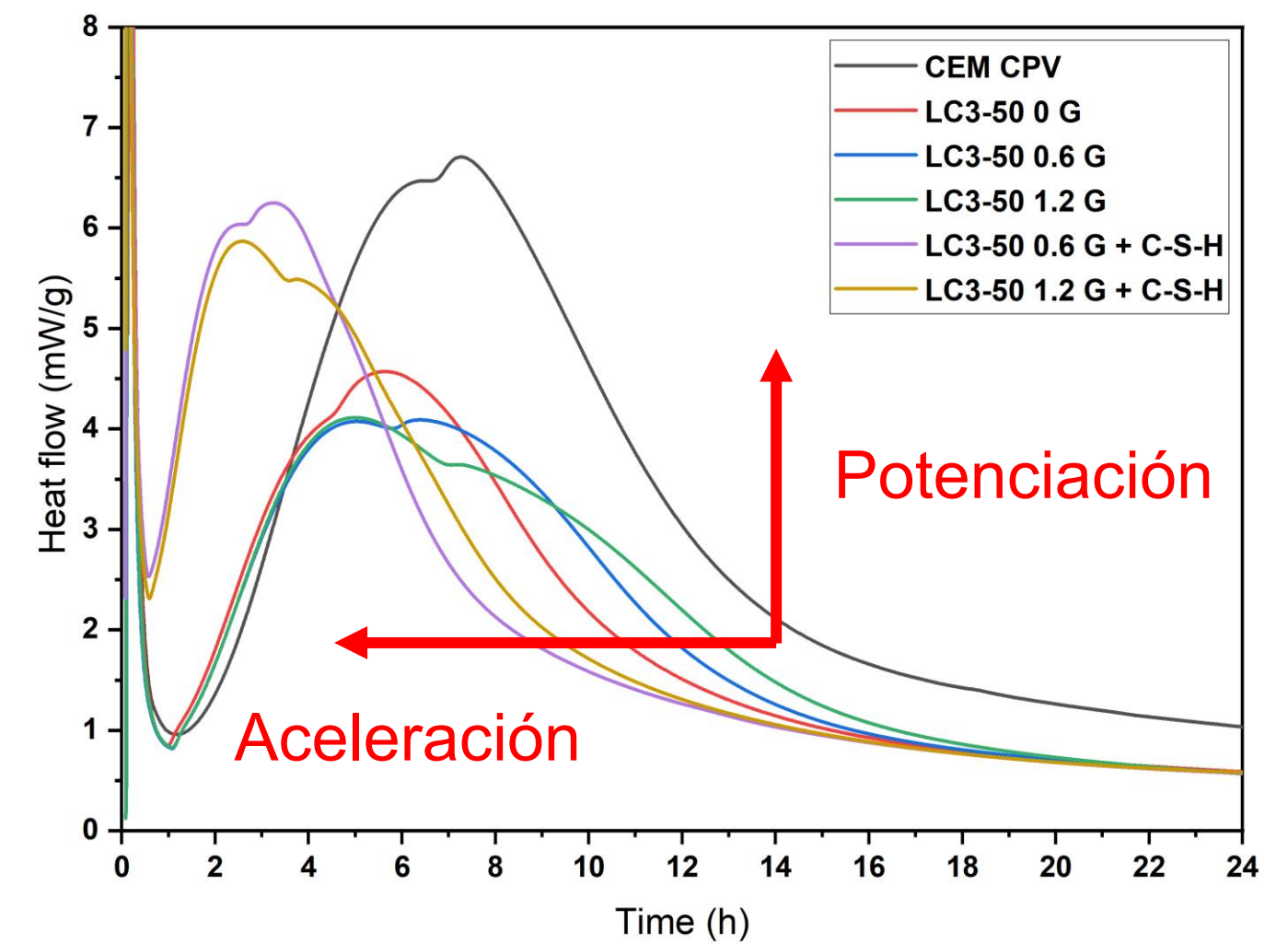
Aceleración y potenciación de la cinética de hidratación

La influencia de las semillas de C-S-H en la hidratación de mezclas LC3 con bajo contenido de clínker

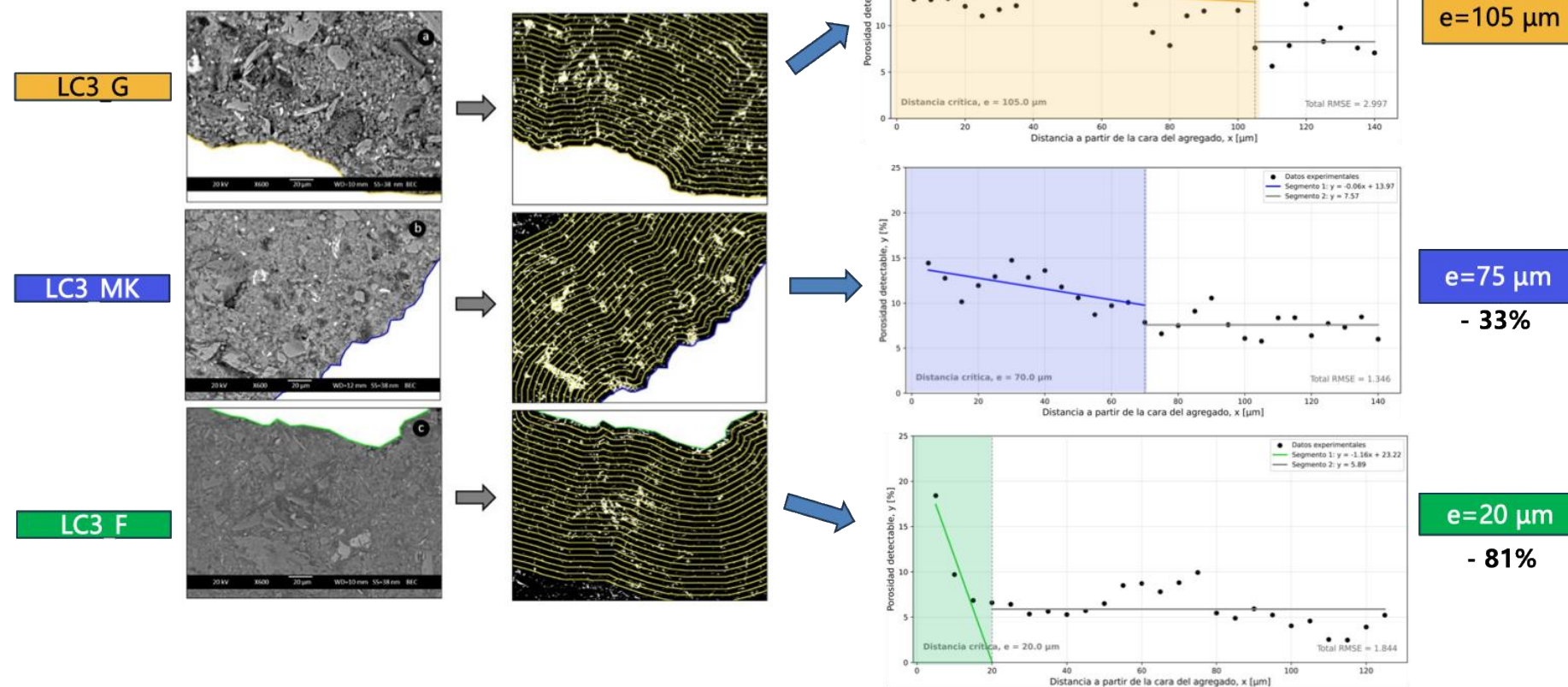
Guilherme Cocco, Oscar Mendoza & Jorge I. Tobón

Semillas de C-S-H

3



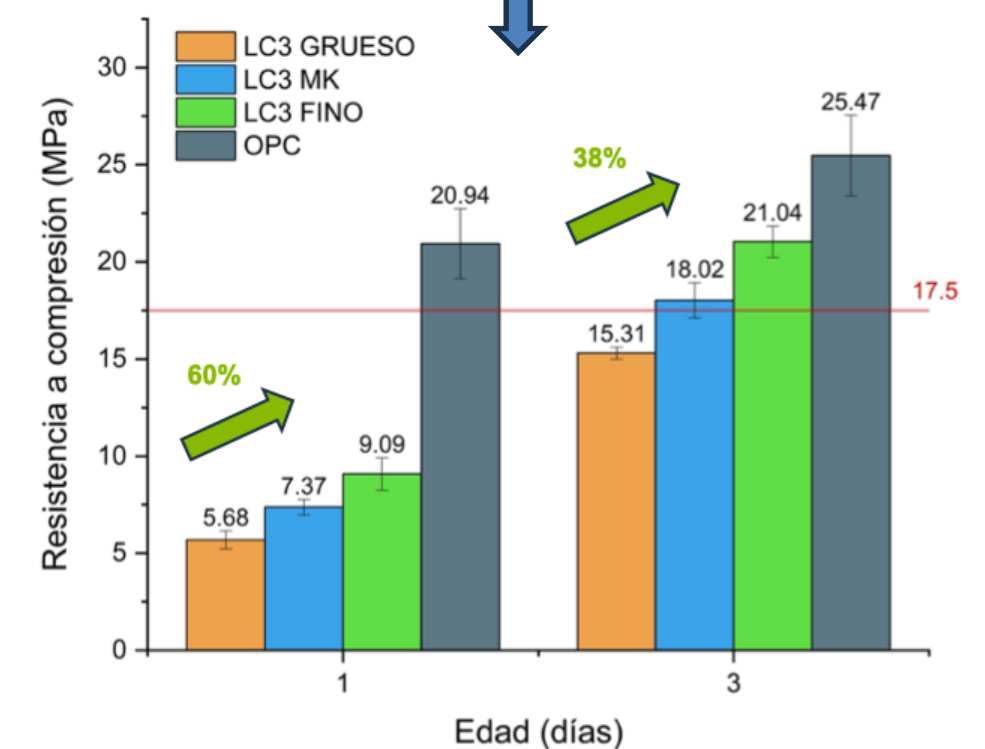
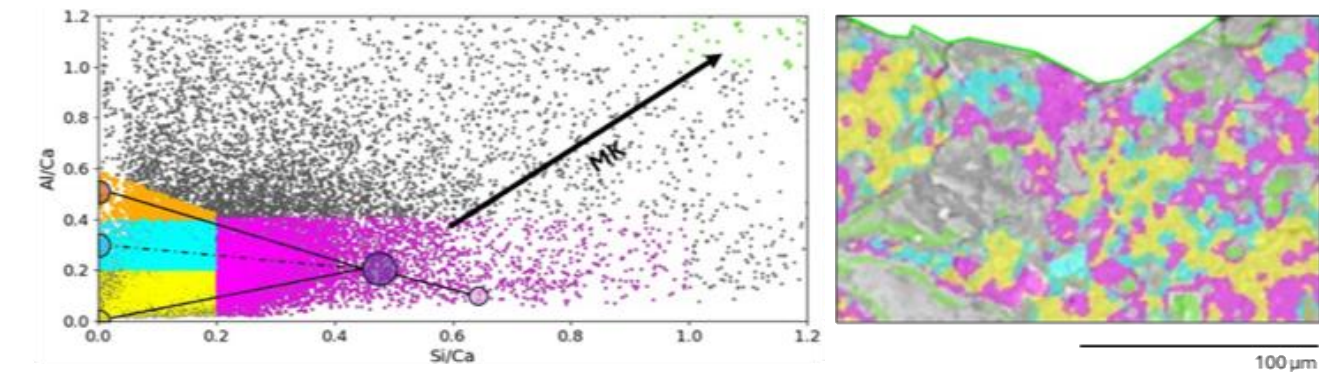
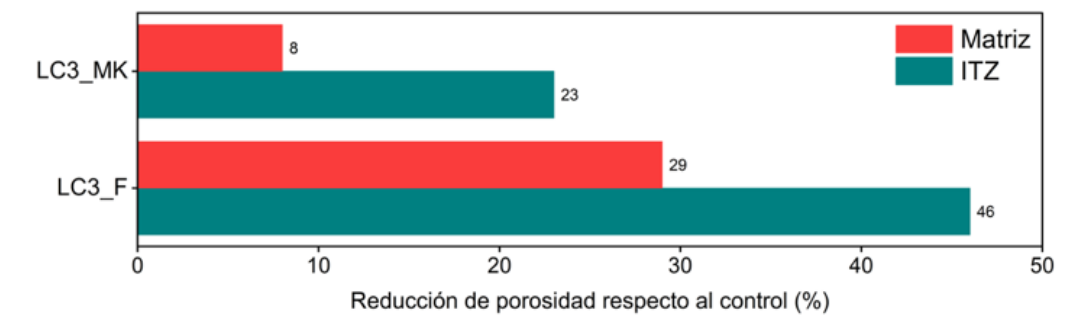
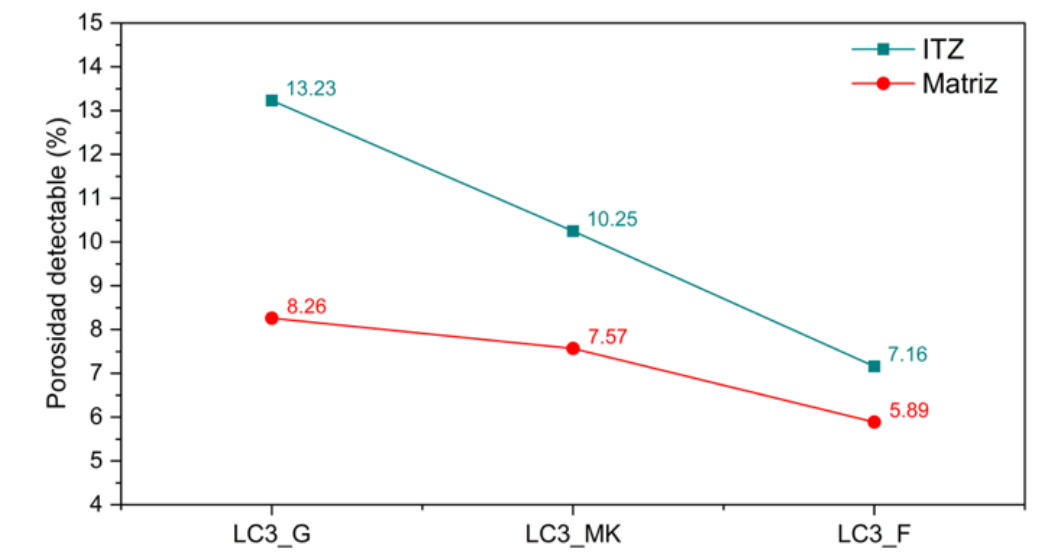
4. Conclusiones



e=105 μm

e=75 μm
- 33%

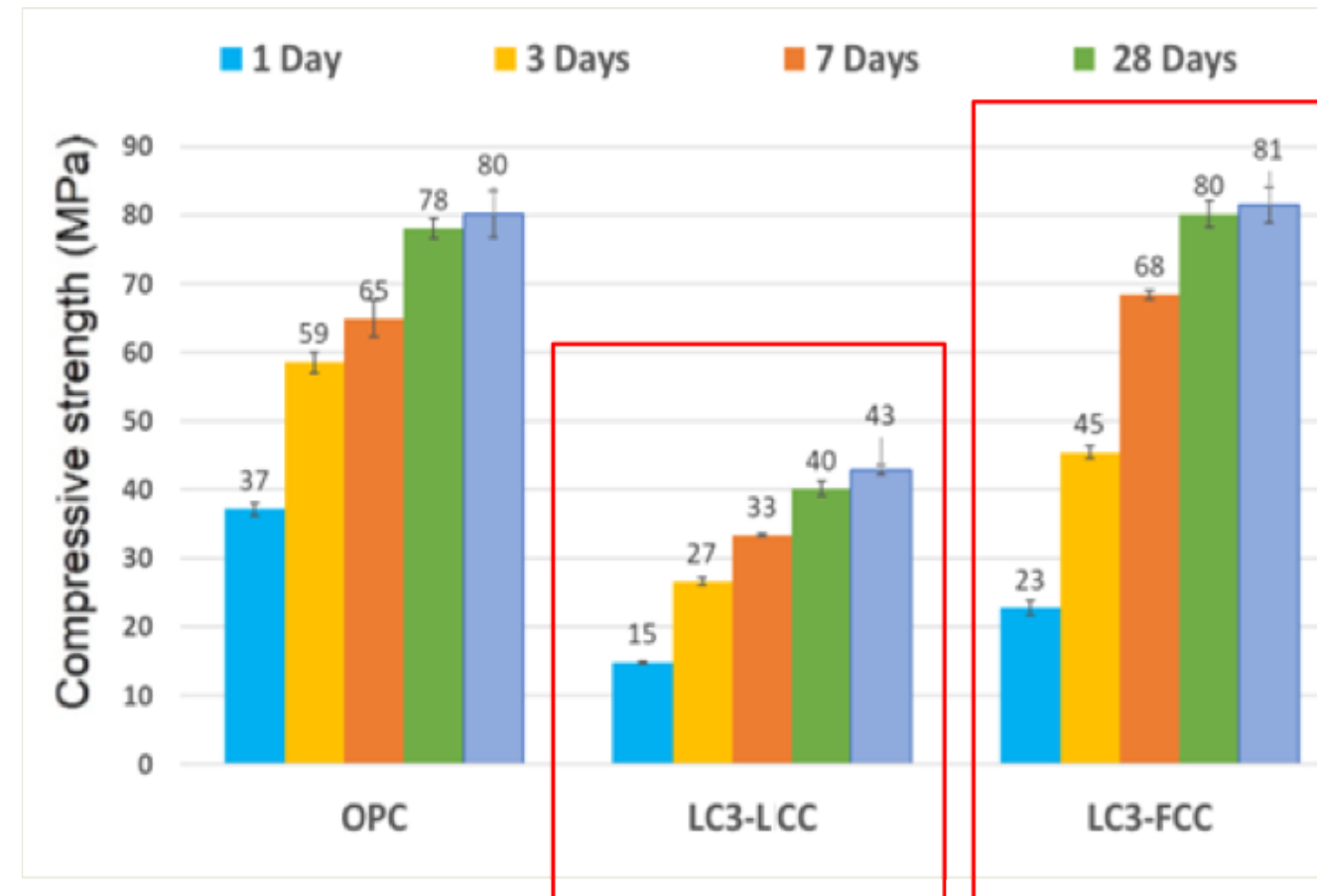
e=20 μm
- 81%



Reducir el tamaño de partícula de **arcillas de bajo grado y caliza** en el LC3 genera una **sinergia** que **disminuye** tanto el **espesor (80%)** como la **porosidad (46%)** de la **ITZ** a través de la **mayor formación** del **gel CASH**, lo cual se traduce en una **ganancia de resistencia** a compresión del **60% a un día** y del **38% a tres días**.

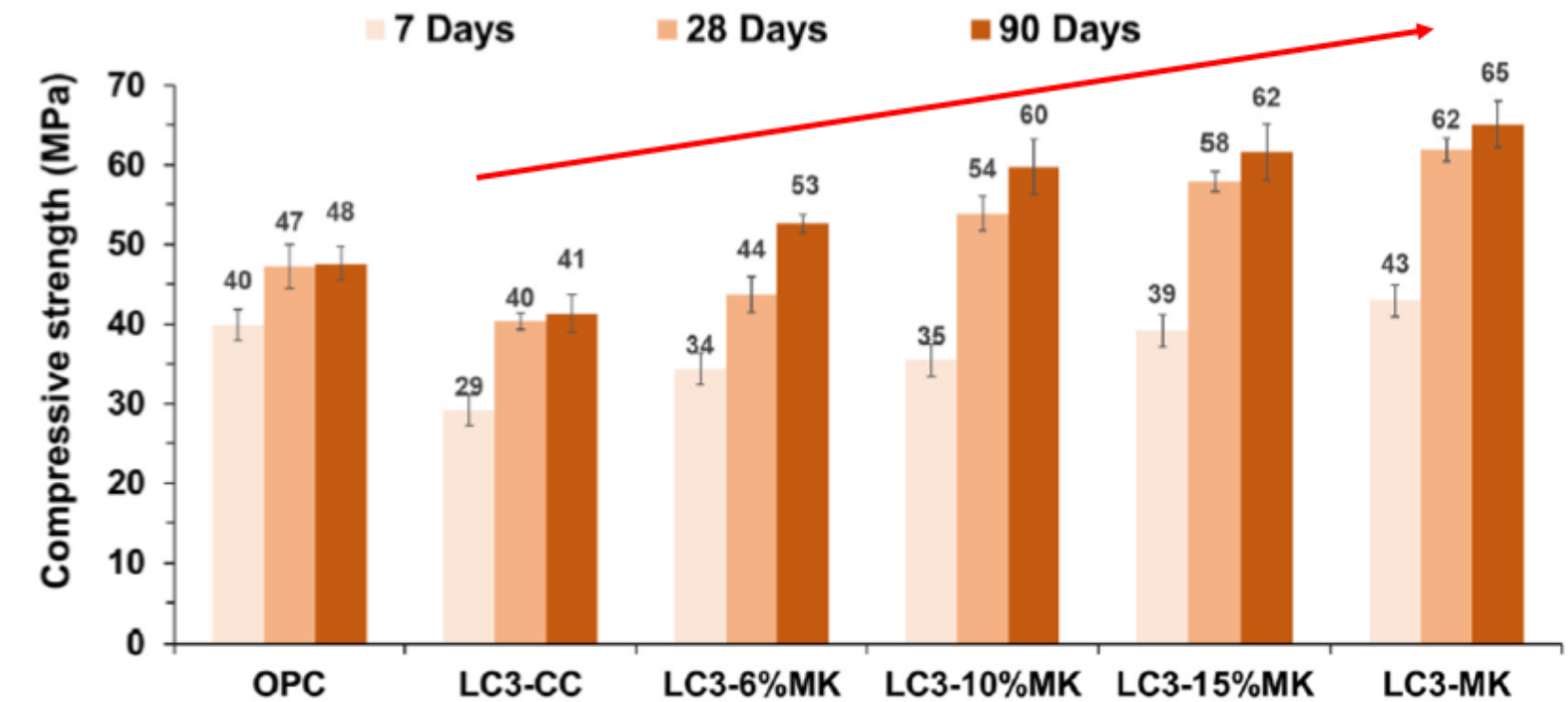
4. Conclusiones

Uso de materiales más reactivos



LCC: arcilla calcinada de bajo grado

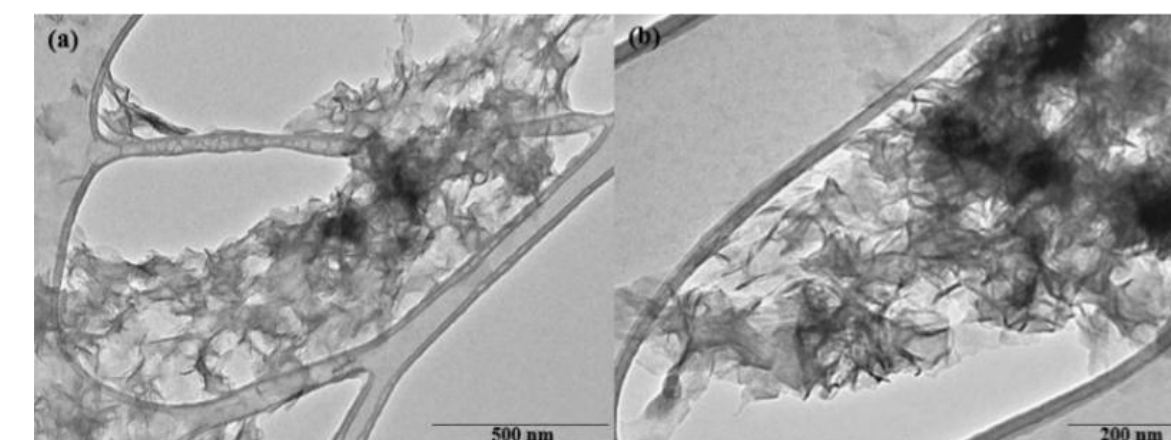
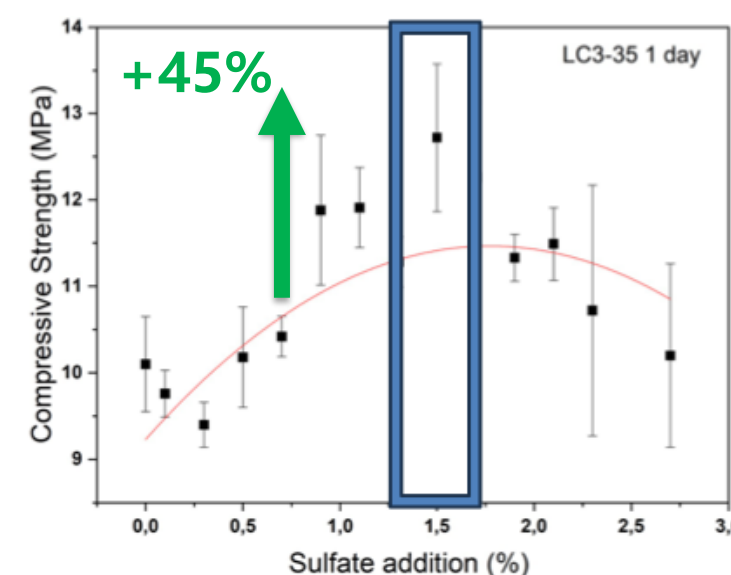
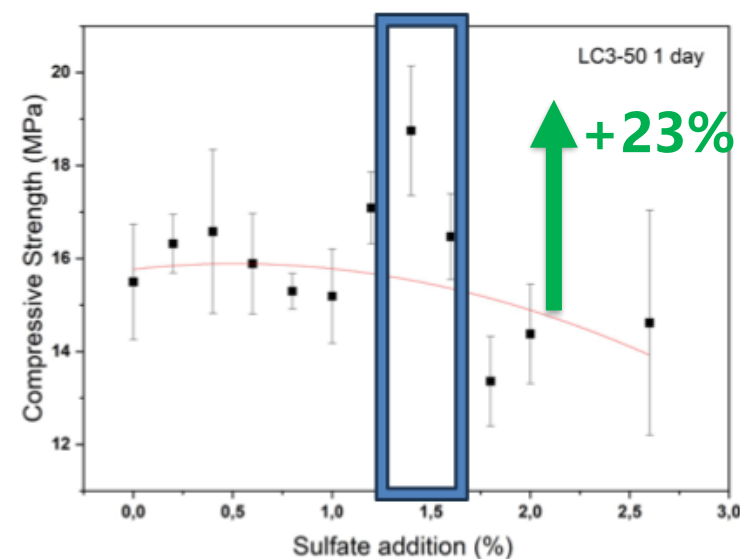
Usar **materiales más reactivos** como el **FCC** mejora no solo las **resistencias iniciales** sino las **finales**. Con **ventajas** como la de ser un **residuo** y **no necesitar calcinación**.



Sustituir una **arcilla de bajo grado** por solo con un **6% de MK de alta pureza** iguala o **mejora** las **resistencia a compresión** de un **OPC**.

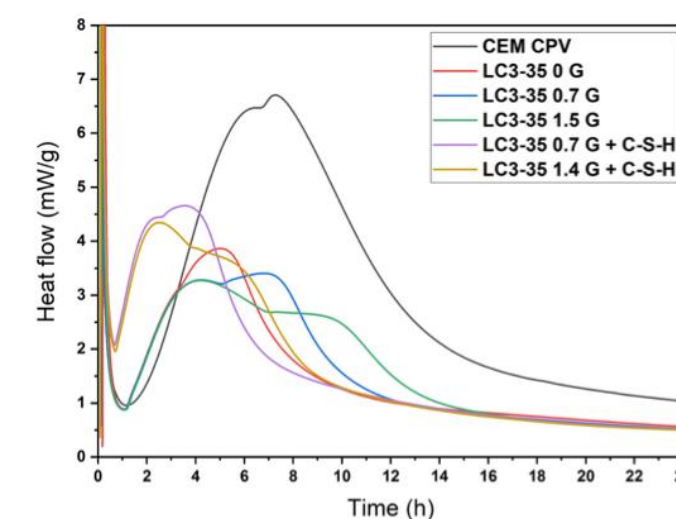
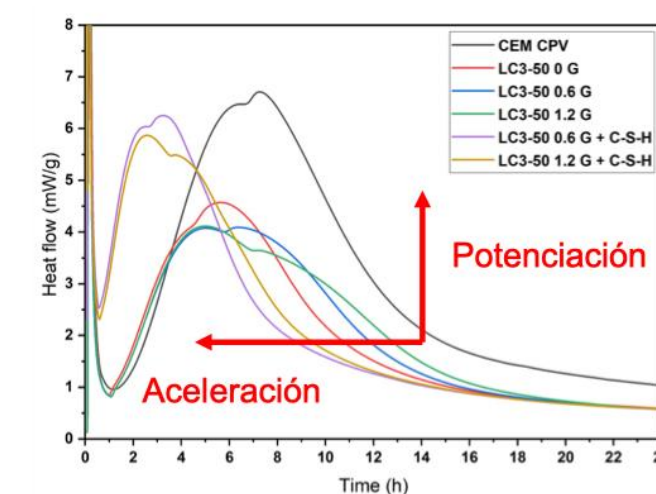
4. Conclusiones

Sulfato óptimo y Semillas de C-S-H



La **optimización de sulfatos** en un LC3 puede **mejorar su resistencia a compresión** a **un día** entre un **20y 45%**.

Las **semillas de C-S-H** **potencializan y aceleran** las reacciones de **hidratación** de los LC3, con lo cual se espera que **mejoren su desempeño a edades iniciales y finales**.



9. Referencias

- [1] International Energy Agency, “Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry,” Paris, 2018.
- [2] Supriya, R. Chaudhury, U. Sharma, P. C. Thapliyal, and L. P. Singh, “Low-CO₂ emission strategies to achieve net zero target in cement sector,” Journal of Cleaner Production, vol. 417. Elsevier Ltd, Sep. 10, 2023. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137466.
- [3] C. R. Gagg, “Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis,” 2014, doi: 10.1016/j.engfailanal.2014.02.004.
- [4] Worldometer, “World Population,” [https://www.worldometers.info/world-population/#:~:text=8.1%20Billion%20\(current\)&text=The%20term%20%22World%20Population%22%20refers,curren%20living\)%20of%20the%20world](https://www.worldometers.info/world-population/#:~:text=8.1%20Billion%20(current)&text=The%20term%20%22World%20Population%22%20refers,curren%20living)%20of%20the%20world).
- [5] GCCA, “CEMENT AND CONCRETE AROUND THE WORLD,” <https://gccassociation.org/concretefuture/cement-concrete-around-the-world/>.
- [6] GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION, “Global Cement and Concrete Association,” GLOBAL CEMENT AND CONCRETE INDUSTRY ANNOUNCES ROADMAP TO ACHIEVE GROUNDBREAKING ‘NET ZERO’ CO₂ EMISSIONS BY 2050. Accessed: May 11, 2023. [Online]. Available: <https://gccassociation.org/news/global-cement-and-concrete-industry-announces-roadmap-to-achieve-groundbreaking-net-zero-co2-emissions-by-2050/>

9. Referencias

- [7] F. Zunino and K. Scrivener, “Factors influencing the sulfate balance in pure phase C3S/C3A systems,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 133, p. 106085, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.cemconres.2020.106085.
- [8] P. Vargas *et al.*, “Use of spent fluid catalytic cracking catalyst (FCC) in Limestone Calcined Clay Cement (LC3) systems: Studies in pastes and mortars,” *J. Clean. Prod.*, vol. 451, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.142177.
- [9] P. Vargas *et al.*, “Optimisation of Using Low-Grade Kaolinitic Clays in Limestone Calcined Clay Cement Production (LC3),” *Materials*, vol. 18, no. 2, p. 285, Jan. 2025, doi: 10.3390/ma18020285.



EL ROL DEL
CEMENTO &
CONCRETO
DE CARA
AL CAMBIO
CLIMÁTICO



CONGRESO
Cemento & Concreto
Verde 2050



11 AL 15
MAYO 2026



Santiago,
Chile

Jorge I. Tobón, Ph.D.
Universidad Nacional de Colombia
jitobon@unal.edu.co