

2023, Volumen 8, Número 2: 164-172

Dossier

“5tas. Jornadas Nacionales de Investigación Cerámica”

Editores invitados: Diego Richard, María Guillermina Couso, María Florencia Serra & Nicolás M. Rendtorff

Disposición final de arcillas calcinadas con Cd(II) adsorbido en matrices calcáreas: Evaluación del crecimiento fúngico

Gisele Portela¹, Carolina Iraporda², Luciana B. Silvestro³, Claudia Cecilia Wagner¹ & Alejandra Tironi¹

¹Facultad de Ingeniería, Centro de investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. gportela@fio.unicen.edu.ar cwagner@fio.unicen.edu.ar atironi@fio.unicen.edu.ar
²Facultad de Ingeniería, Núcleo de tecnología de semillas Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. ciraporda@fio.unicen.edu.ar
³Facultad de Agronomía, Laboratorio de Biología Funcional y Biotecnología, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología, Argentina. lucianasilvestro.ls@gmail.com



Disposición final de arcillas calcinadas con Cd(II) adsorbido en matrices calcáreas: evaluación del crecimiento fúngico

Gisele Portela¹, Carolina Iraporda², Luciana B. Silvestro³, Claudia Cecilia Wagner¹ & Alejandra Tironi¹

¹Facultad de Ingeniería, Centro de investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. gportela@fio.unicen.edu.ar cwagner@fio.unicen.edu.ar atironi@fio.unicen.edu.ar

²Facultad de Ingeniería, Núcleo de tecnología de semillas Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. ciraporda@fio.unicen.edu.ar

³Facultad de Agronomía, Laboratorio de Biología Funcional y Biotecnología, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología, Argentina. lucianasilvestro.ls@gmail.com

RESUMEN. El proceso de adsorción utilizando arcillas naturales y calcinadas como adsorbentes, se ha convertido en uno de los métodos preferidos para la eliminación de contaminantes tóxicos del agua, ya que se ha encontrado que es muy efectivo, económico, versátil y simple, resultando necesario evaluar su disposición final, como por ejemplo en matrices cementíceas o calcáreas. Por otra parte, los metales pesados son potencialmente fungistáticos, por lo que resulta de interés evaluar cómo se modifica la susceptibilidad al crecimiento fúngico en las matrices calcáreas elaboradas con arcillas calcinadas con cadmio adsorbido. El objetivo de este trabajo es estudiar la disposición final de arcillas calcinadas utilizadas para la adsorción de Cd(II), en pastas de cal hidráulica, evaluando la funcionalidad del Cd(II) adsorbido como componente retardador del desarrollo de cepas fúngicas de los géneros *Aspergillus* y *Cladosporium*. Se elaboraron pastas utilizando cal hidráulica y arcillas calcinadas con y sin cadmio adsorbido. Las pastas se mantuvieron durante 1 mes en cámara húmeda y luego 1 mes en un ambiente protegido de la lluvia. Se determinaron para todas las pastas las fases mediante difracción de rayos X y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier. Se determinó la cantidad de Cd(II) lixiviado utilizando espectroscopia de absorción atómica y se evaluó el crecimiento fúngico de las cepas de *Aspergillus* sp. y *Cladosporium cladosporioides*. Se concluyó que las pastas de cal hidráulica son una buena matriz para la contención de arcillas calcinadas con Cd(II) adsorbido sin alterar las fases obtenidas durante los procesos de hidratación-carbonatación y sin lixiviar el Cd(II). Se observó un retardo en el desarrollo de *Aspergillus* y *Cladosporium* sobre las superficies de las pastas conteniendo illita calcinada e illita calcinada con cadmio adsorbido.

Palabras clave: Adsorción Cd(II); Illita calcinada; Caolinita desordenada calcinada; Cal hidráulica; *Aspergillus*, *Cladosporium*

ABSTRACT. Final disposition of calcined clays with Cd(II) adsorbed on calcareous matrices: evaluation of fungal growth. The adsorption process using natural and calcined clays as adsorbents has become a preferred method for removing toxic contaminants from water as it is very effective, unexpensive, straightforward and versatile. It becomes necessary to evaluate its final disposition, such as part of cementitious or calcareous matrices. On the other hand, heavy metals are potentially fungistatic, thus the interest in evaluating changes in

the susceptibility to fungal growth in calcareous matrices made with calcined clays with adsorbed cadmium. The goal of this work is to study the final disposition of calcined clays used for the adsorption of Cd(II) in hydraulic lime pastes, while assessing the functionality of the adsorbed Cd(II) as a retardant component for the development of fungal strains of the genera *Aspergillus* and *Cladosporium*. Hydraulic lime and calcined clays with and without adsorbed cadmium were used to make the pastes, which were kept for one month in a humid chamber and later for one month in a rain-free environment. The phases were determined for all pastes by X-ray diffraction and Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The amount of leached Cd(II) was determined using Atomic Absorption Spectroscopy, and the fungal growth of *Aspergillus* sp. and *Cladosporium cladosporioides* strains was evaluated. We concluded that hydraulic lime pastes are a suitable matrix to contain calcined clays with adsorbed Cd(II) without altering the phases obtained during the hydration-carbonation processes and without Cd(II) leaching. We observed a delay in the development of *Aspergillus* and *Cladosporium* on the surfaces of the pastes that contained calcined illite and calcined illite with adsorbed cadmium.

Keywords: *Cd(II) adsorption; Calcined illite; Calcined disordered kaolinite; Hydraulic lime; Aspergillus, Cladosporium*

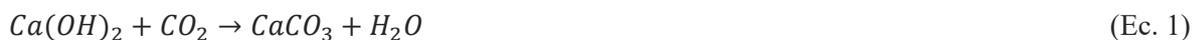
RESUMO. Disposição final de argilas calcinadas com Cd(II) adsorvido em matrizes calcárias: avaliação do crescimento fúngico. O processo de adsorção utilizando argilas naturais e calcinadas como adsorventes tornou-se um dos métodos preferidos para remoção de contaminantes tóxicos da água, pois se mostrou muito eficaz, econômico, versátil e simples, sendo necessário avaliar sua disposição final, como por exemplo em matrizes cimentícias ou calcárias. Por outro lado, os metais pesados são potencialmente fungistáticos, por isso é interessante avaliar como a suscetibilidade ao crescimento fúngico é modificada nas matrizes calcárias feitas com argilas calcinadas com cádmio adsorvido. O objetivo deste trabalho é estudar a disposição final de argilas calcinadas utilizadas para a adsorção de Cd(II) em pastas de cal hidráulica, avaliando a funcionalidade do Cd(II) adsorvido como componente retardador do desenvolvimento de cepas fúngicas do gêneros *Aspergillus* e *Cladosporium*. As pastas foram elaboradas utilizando cal hidráulica e argilas calcinadas com e sem cádmio adsorvido. As pastas foram mantidas por 1 mês em câmara úmida e mais 1 mês em um ambiente protegido da chuva. As fases foram determinadas para todas as pastas por meio de difração de raios X e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier. A quantidade de Cd(II) lixiviado foi determinada por espectroscopia de absorção atômica e o crescimento fúngico das cepas de *Aspergillus* sp. e *Cladosporium cladosporioides* foi avaliado. Concluiu-se que as pastas de cal hidráulica são uma boa matriz para a contenção de argilas calcinadas com Cd(II) adsorvido sem alterar as fases obtidas durante os processos de hidratação-carbonatação e sem lixiviar o Cd(II). Foi observado um atraso no desenvolvimento de *Aspergillus* e *Cladosporium* nas superfícies das pastas contendo illita calcinada e illita calcinada com cádmio adsorvido.

Palavras-chave: *Adsorção de Cd(II); illita calcinada; Caulinita desordenada calcinada; cal hidráulica; Aspergillus, Cladosporium*

Introducción

El proceso de adsorción utilizando arcillas naturales y calcinadas como adsorbentes, se ha convertido en uno de los métodos preferidos para la eliminación de contaminantes tóxicos del agua, ya que se ha encontrado que es muy efectivo, económico, versátil y simple (Sen Gupta & Bhattacharyya, 2006, Vieira *et al.*, 2010). Actualmente las arcillas illíticas y caoliníticas de la zona de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, se emplean como materia prima en la industria cerámica y en las cementeras. Buscando darles una nueva posible aplicación, es que Portela *et al.* (2019a, b, 2020), estudiaron su utilización como adsorbentes de iones cadmio desde soluciones acuosas. Habiendo demostrado el potencial uso de dichas arcillas como adsorbente, tanto en su forma natural como calcinada, es que resulta necesario evaluar su disposición final cuando el cadmio se encuentra adsorbido.

Los morteros elaborados con cal hidráulica (CalH) fueron utilizados para la construcción de edificios en la antigua Roma. El uso de CalH disminuyó con el desarrollo de la tecnología del cemento; sin embargo, desde la década de 1980, con el aumento de la necesidad de protección y reparación de obras y edificios históricos, surge la comparación entre ambos materiales y se reconocen las propiedades favorables de los materiales cementantes salientes. La cal hidráulica está constituida por Portlandita (hidróxido de calcio, CH) responsable del endurecimiento por contacto con el CO₂ del aire bajo la acción del agua (Ec. 1, carbonatación), calcita (carbonato de calcio, Cc) y un bajo porcentaje de silicato dicálcico y cuarzo (Q). El uso de arcillas calcinadas como reemplazo parcial de la cal hidráulica, mejora las propiedades de pastas y morteros debido a su actividad puzolánica (Tironi *et al.*, 2022a). Las puzolanas son materiales silicoaluminosos que reaccionan con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos (Ec. 2, reacción puzolánica) (Murat, 1983). Los productos obtenidos son gel de tobermorita (CSH, CaO.SiO₂.H₂O) y en el caso que el contenido de aluminio sea elevado se obtiene una fase hidratada aluminica que en presencia de calcita forma monocarboaluminato cálcico hidratado (MC, Ca₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.5H₂O) (Matschei *et al.*, 2007).



Las arcillas calcinadas a una temperatura adecuada se comportan como puzolanas, por lo que las matrices calcáreas resultan una buena alternativa para evaluar la disposición final de arcillas calcinadas con cadmio adsorbido (Tantawy *et al.*, 2014).

Los hongos pueden crecer en casi todos los materiales naturales y sintéticos, especialmente si son higroscópicos o húmedos y porosos, y si tienen disponibles sustratos para su crecimiento. El crecimiento de hongos se puede producir tanto en superficies internas como externas, directamente sobre el hormigón, sobre la pintura o sobre los materiales de construcción, como por ejemplo en revestimientos de paredes a base de cal (Adams *et al.*, 2016). Considerando los hongos filamentosos que producen biodeterioro de superficies, los géneros *Aspergillus* y *Cladosporium*, se encuentran dentro de los que se identifican con mayor frecuencia en ambientes interiores (Wirth *et al.*, 2019) por el ingreso de sus esporas en forma de bioaerosoles, a través del polvo, tierra, elementos, ropa, alimentos, entre otros (Infante *et al.*, 1999). Hace tiempo que se reconoce el papel de los hongos de interior en los trastornos irritativos, es decir, principalmente en enfermedades no infecciosas como la alergia y el asma. Los bioaerosoles de origen fúngico, que consisten en esporas y fragmentos de hifas, son fácilmente respirables y son potentes provocadores de irritación bronquial y alergia (Britton, 2003). El género *Aspergillus* reviste especial importancia porque contiene especies productoras de micotoxinas, perjudiciales para la salud humana (Albright, 2001). Las micotoxinas mejor documentadas en ambientes interiores son las aflatoxinas, los tricotecenos y las ocratoxinas (Kilburn, 2004; Zain, 2011). Los seres humanos pueden estar expuestos a estas toxinas por esporas transportadas por el aire o a través de productos agrícolas que contienen toxinas o edificios mohosos (Vojdani *et al.*, 2003; Gottschalk *et al.*, 2008). La especie *Cladosporium cladosporioides* se asocia con infecciones cutáneas, oculares y nasales (Haleem y Mohan, 2012). Los metales pesados son potencialmente fungistáticos (Kaur *et al.*, 2013), por lo que resulta de interés evaluar cómo se modifica la susceptibilidad al crecimiento fúngico en las matrices calcáreas elaboradas con arcillas calcinadas con cadmio adsorbido. De esta forma se brindan estrategias para una mejora en la calidad de vida a partir de: la disposición final de las arcillas utilizadas para el tratamiento de efluentes contaminados con Cd(II), en una matriz que inmoviliza los contaminantes; y la posible reducción del crecimiento de hongos perjudiciales para la salud, en paredes revocadas con los revestimientos desarrollados.

El objetivo de este trabajo es estudiar la disposición final de arcillas calcinadas utilizadas para la adsorción de Cd(II), en pastas de cal hidráulica, evaluando la funcionalidad del Cd(II) adsorbido como componente retardador del desarrollo de cepas fúngicas de los géneros *Aspergillus* y *Cladosporium*.

Materiales y Métodos

Materiales

Para la elaboración de las pastas se utilizó cal hidráulica (CalH) y arcillas calcinadas con y sin Cd adsorbido: arcilla illítica calcinada con Cd adsorbido (IC-Cd, 14 mg Cd(II) / g IC); arcilla illítica calcinada con actividad puzolánica lenta (IC) (Tironi *et al.*, 2022b); arcilla caolinítica calcinada con Cd adsorbido (CDC-Cd, 3 mg Cd(II) / g CDC); y arcilla caolinítica calcinada con elevado contenido de aluminio y mayor reactividad puzolánica (CDC) (Tironi *et al.*, 2022b). En la Tabla 1 se presenta la composición química de las arcillas calcinadas y de la cal hidráulica. La arcilla illítica fue producida en forma industrial a 950 °C y la arcilla caolinítica fue calcinada a 700 °C durante 30 minutos en mufla (Indef modelo 272) (Tironi *et al.*, 2022b).

Tabla 1. Composición química de las arcillas calcinadas y de la cal hidráulica en porcentaje en masa.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
IC	60,8	15,6	12,0	4,3	1,1	-	5,5	-
CDC	71,7	23,9	1,0	0,3	0,3	0,1	0,7	0,5
CalH	16,39	2,18	1,26	76,42	0,75	0,63	0,56	-

Preparación de pastas

Se prepararon cuatro pastas utilizando cal hidráulica (CalH) con un reemplazo del 10% en peso por: illita calcinada con Cd adsorbido, illita calcinada, caolinita calcinada con Cd adsorbido y caolinita calcinada. Se mantuvo una relación constante en peso de agua / (CalH o CalH+arcilla calcinada) de 0,62. Las pastas se mantuvieron durante 1 mes en cámara húmeda (proceso de hidratación-carbonatación) y luego 1 mes en un ambiente protegido de la lluvia (proceso de carbonatación natural).

Caracterización de pastas

Se determinaron para todas las pastas las fases mediante difracción de rayos X (DRX, equipo Bruker D2 phaser) y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR, espectrómetro Nicolet Magna 500).

Ensayo de lixiviación física

Se realizó lixiviación física siguiendo los lineamientos de la técnica de extracción propuesta por la EPA (Environmental Protection Agency): las pastas fueron finamente molidas, el líquido lixivante utilizado fue agua destilada y el tiempo de extracción (agitación continua) fue de 24 hs. Finalmente se determinó la cantidad de Cd(II) lixiviado utilizando espectroscopía de absorción atómica (Thermo iCE 3000, corriente de la lámpara 50%, llama aire-acetileno, longitud de onda 228,2 nm, paso de luz 0,5 mm).

Evaluación del crecimiento fúngico

Para evaluar la funcionalidad del Cd(II) adsorbido sobre el desarrollo fúngico sobre las pastas, se emplearon cepas de *Aspergillus* sp. y *Cladosporium cladosporioides*, aisladas de superficies interiores (paredes y techos) de viviendas particulares de la ciudad de Olavarría (Provincia de Buenos Aires). Para ello, se prepararon las pastas en recipientes plásticos cilíndricos, se esterilizó la superficie con luz UV durante 40 min. Luego, se colocaron dentro de recipientes plásticos estériles conteniendo una base de vermiculita estéril, húmeda y se inoculó la superficie de las pastas con 0,5 ml de suspensión de esporas de *Aspergillus* y *Cladosporium* (1x10⁶ esporas /mililitro) (Iraporda *et al.*, 2022). Los envases se mantuvieron tapados a temperatura ambiente durante 8 meses. Se tomaron fotografías digitales de las condiciones de la superficie en el tiempo inicial y luego de 8 meses. Las zonas afectadas por crecimiento fúngico se determinaron visualmente. Se tomaron muestras puntuales de las manchas desarrolladas sobre las pastas, utilizando un ansa bacteriológica en punta, se sembraron por punción placas de agar Sabourade (Britania, Argentina), se incubaron en una cámara para hongos durante 4-5 días a 22 +/- 2 °C, con alternancia luz oscuridad (12 horas), se observaron mediante

microscopía óptica (microscopio óptico Leica DM2700M) y se utilizó bibliografía específica a fin de evaluar si el desarrollo fúngico observado se corresponde con la cepa inicialmente sembrada (Domsch *et al.*, 1980).

Además se observó el crecimiento fúngico sobre las diferentes muestras mediante microscopía óptica, utilizando un microscopio óptico (Leica DM2700M), con un aumento total de 100X.

Resultados

Caracterización de pastas

En la Figuras 1 y 2, se presentan los difractogramas y los espectros FTIR, respectivamente, de las pastas luego de los procesos de hidratación carbonatación (60 días desde la elaboración).

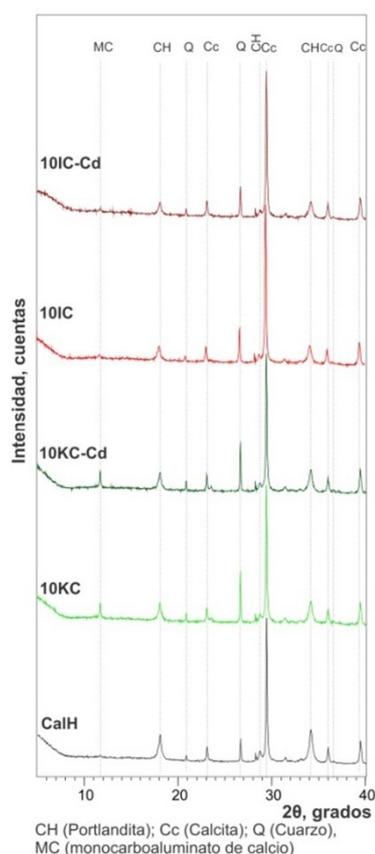


Figura 1. DRX pastas hidratadas y carbonatadas.

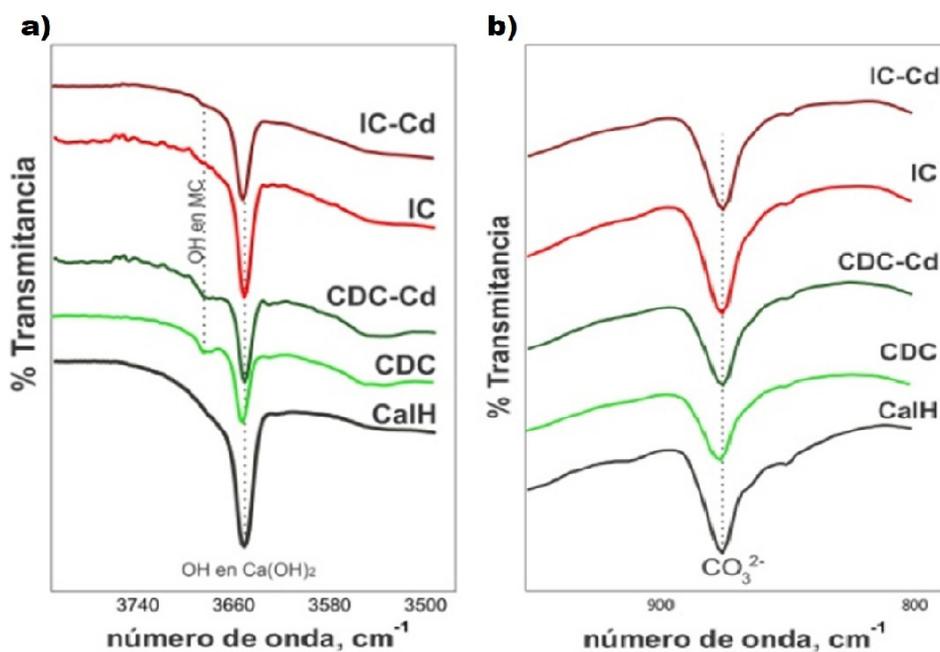


Figura 2. FTIR pastas (a) banda OH en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y banda OH en MC y (b) banda CO_3^{2-} en CaCO_3 .

- Para las pastas elaboradas con CDC, el contenido de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (CH en DRX, banda OH en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en FTIR) y de CaCO_3 (Cc en DRX, banda CO_3^{2-} en FTIR) es menor que en la pasta CalH, lo que indica que se consumió $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en la reacción puzolánica, además de la formación de $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{12}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (MC, en DRX, banda OH en MC en FTIR). En las pastas elaboradas con CDC-Cd se identifica mayor contenido de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, y de CaCO_3 respecto a las pastas CDC, pero menor que en la pasta CalH, concluyendo que se produce reacción puzolánica, pero en menor medida que en la pasta CDC: el Cd(II) adsorbido en la superficie de CDC disminuye levemente su elevada actividad puzolánica, sin modificar las fases obtenidas.

- La pasta IC presenta menor contenido de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e igual contenido de CaCO_3 que la pasta CalH, a pesar de la dilución del 10%, mostrando que el agregado de IC favorece la carbonatación al modificar la estructura porosa (Tironi *et al.*, 2022b), el pico leve de MC en DRX mostraría una incipiente reacción puzolánica. La pasta IC-Cd presenta menor contenido de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y de CaCO_3 que la pasta CalH, indicio del comienzo de la reacción

puzolánica, ya que el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ no se consumió únicamente durante la carbonatación (Ec. 1). La incorporación de Cd(II) adsorbido a la superficie de la IC, modifica su estructura favoreciendo la lenta reacción puzolánica de esta arcilla calcinada.

Ensayo de lixiviación física

En los líquidos lixiviados no se detectó Cd(II), mostrando que la participación de las arcillas calcinadas en la reacción puzolánica no afectó a la inmovilización del Cd(II).

Evaluación del crecimiento fúngico

En las Figuras 3 y 4 se presentan imágenes de las pastas, al inicio del ensayo (60 días desde la elaboración) y luego de transcurridos 8 meses de la inoculación con esporas de *Aspergillus* sp. (Fig. 3) y *Cladosporium cladosporioides* (Fig. 4). Visualmente, se detectó crecimiento de *Aspergillus* sp. y *Cladosporium cladosporioides* en las superficies de las pastas CalH, CDC y CDC-Cd; y menor desarrollo en IC e IC-Cd.

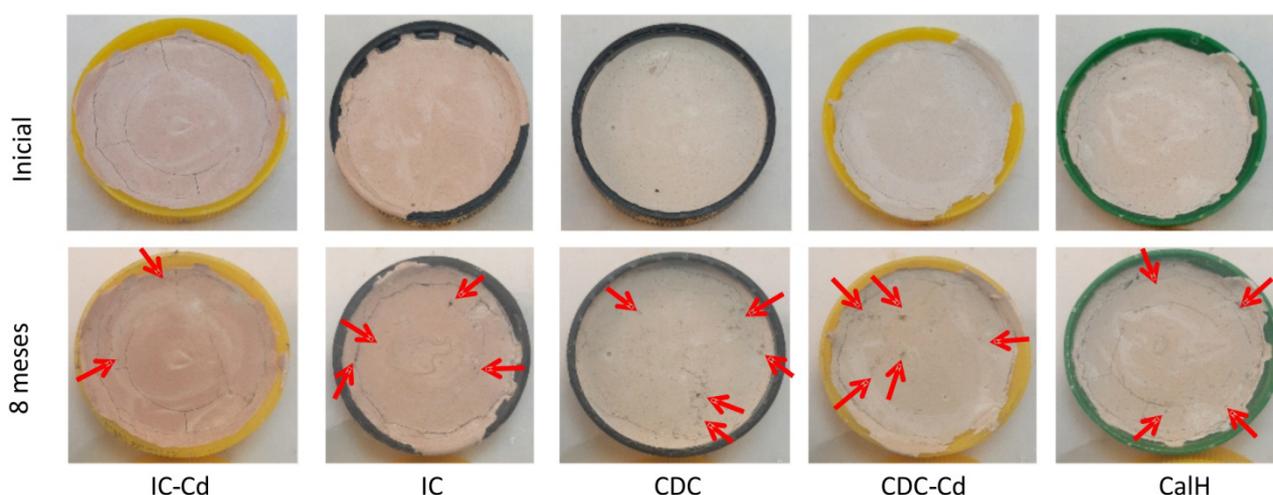


Figura 3. Pastas al inicio y 8 meses después de la inoculación con esporas de *Aspergillus* sp. Las flechas rojas indican zonas con desarrollo fúngico.

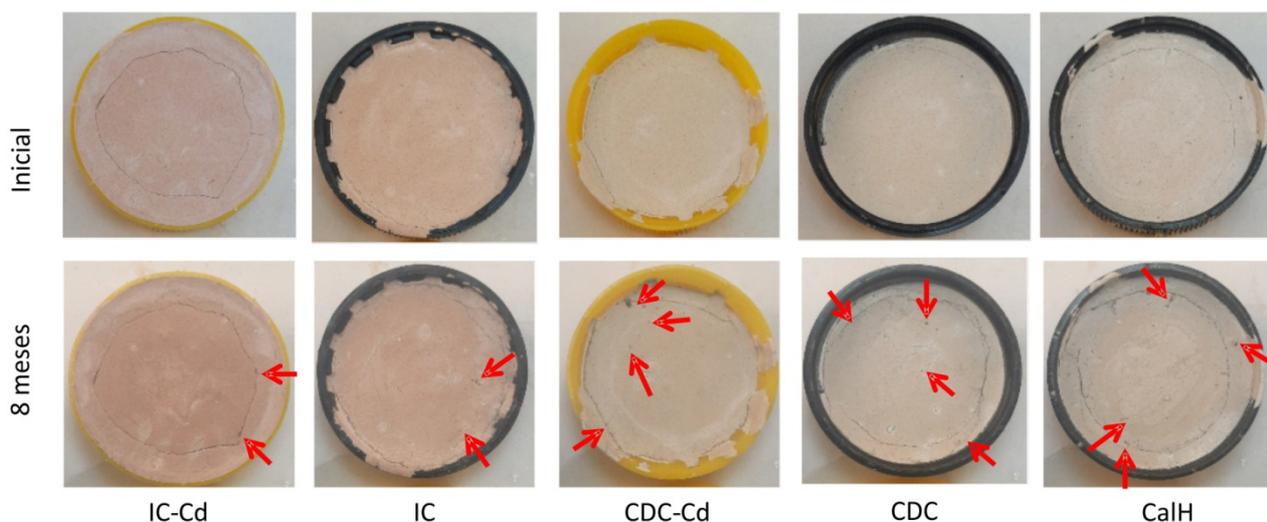


Figura 4. Pastas al inicio y 8 meses después de la inoculación con esporas de *Cladosporium cladosporioides*. Las flechas rojas indican zonas con desarrollo fúngico.

La Figura 5 muestra el desarrollo de colonias típicas de las cepas fúngicas empleadas en medio Sabourade, sembradas a partir de muestras puntuales tomadas de las marcas observadas en las superficies de las pastas CDC

y Cd-CDC (*Aspergillus*, Fig. 5a) e IC-Cd (*Cladosporium*, Fig. 5b), corroborando que el desarrollo fúngico observado se corresponde con la cepa inicialmente sembrada.

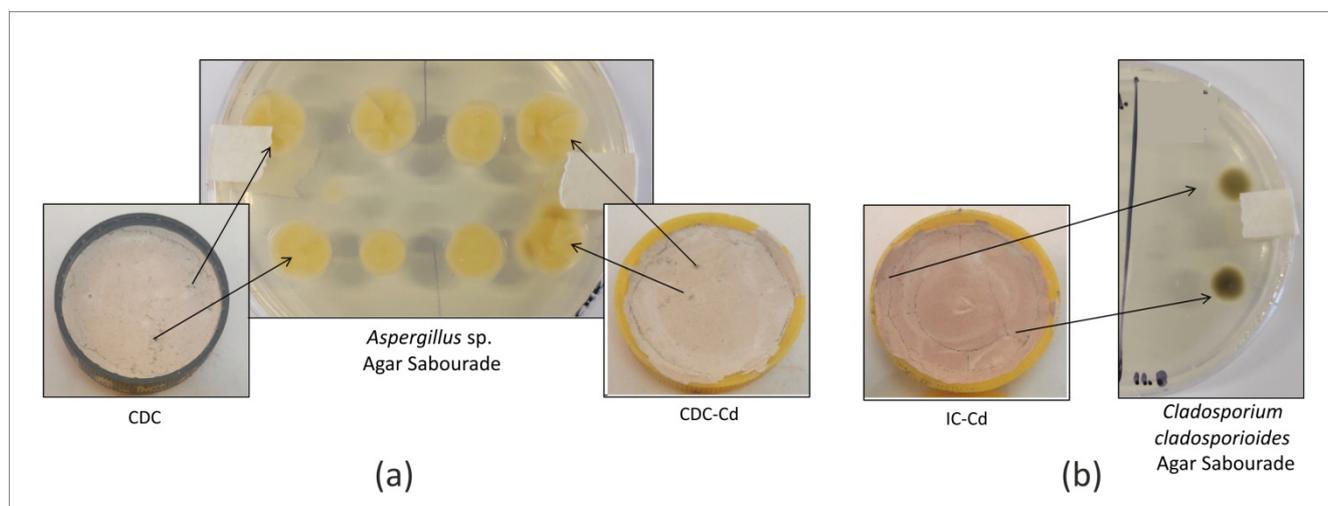


Figura 5. a) Colonias de *Aspergillus* sp. en agar Sabourade sembradas a partir de toma de muestras puntuales de la superficie de pastas CDC y CDC-Cd. **b)** Colonias de *Cladosporium cladosporioides* en agar Sabourade sembradas a partir de toma de muestras puntuales de la superficie de pastas IC-Cd.

En la Figura 6 se muestran representativamente imágenes tomadas mediante microscopía óptica de las superficies de las pastas, donde se observan las estructuras fúngicas. En las superficies de las pastas CalH, CDC y CDC-Cd, se observa un mayor desarrollo de *Aspergillus* sp. y *Cladosporium cladosporioides*.

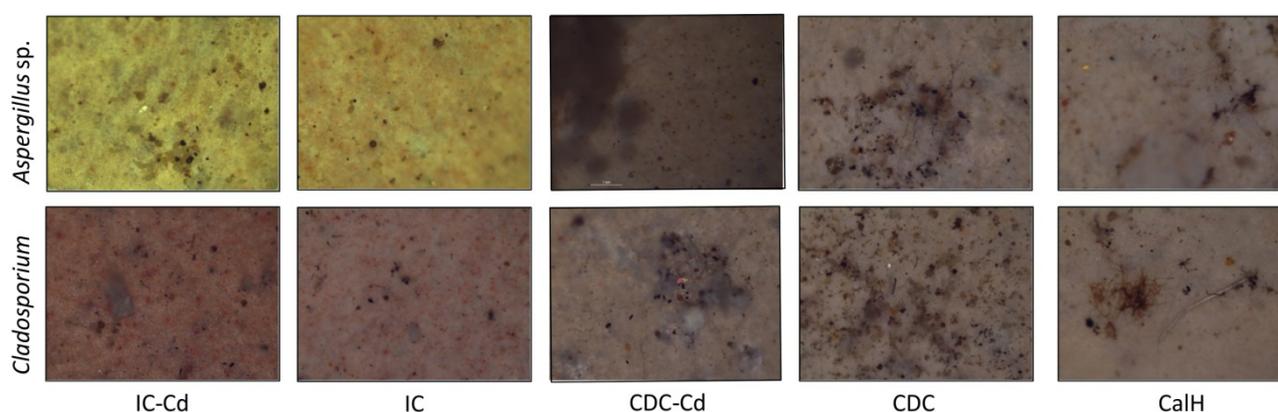


Figura 6. Fotografías microscopio óptico (100X) tomadas de la superficie de las pastas luego de 8 meses de inoculación con esporas de *Aspergillus* sp. (fila superior) y *Cladosporium cladosporioides* (fila inferior).

Conclusiones

Se concluyó que las pastas de cal hidráulica son una buena matriz para la contención de arcillas calcinadas con Cd(II) adsorbido sin alterar las fases obtenidas durante los procesos de hidratación-carbonatación y sin lixiviar el Cd(II). La presencia de Cd(II) adsorbido modifica levemente la reactividad de las arcillas calcinadas, mejorando la actividad puzolánica de la arcilla illítica calcinada.

Se observó un retardo en el desarrollo de *Aspergillus* y *Cladosporium* sobre las superficies de las pastas conteniendo illita calcinada (IC) e illita calcinada con cadmio adsorbido (IC-Cd). Estos resultados demuestran que el cambio en la composición de las pastas de cal hidráulica modifica el desarrollo de hongos sobre la superficie de las mismas.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por FIO-UNCPBA y CONICET. C. I, C.C.W y A.T. son miembros de la Carrera de Investigador del CONICET. Los investigadores agradecen el apoyo recibido por la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Proyectos 03-PIO-67E y 03-PIO-104E)

Bibliografía

- Adams, R.I.; Bhangar, S.; Dannemiller, K.C.; Eisen, J.A.; Fierer, N.; Gilbert, J.A. & Bibby, K. (2016) "Ten questions concerning the microbiomes of buildings", *Building and Environment*, 109, pp. 224-234.
- Albright, D. (2001) "Human health effects of airborne mycotoxins exposure in fungi-contaminated indoor environment", *Professional Safety*, 46(11), pp. 26-28.
- Britton, L.A. (2003) "Microbiological threats to health in the home", *Clinical laboratory science: journal of the American Society for Medical Technology*, 16(1), pp. 10-15.
- Domsch, K.H.; Gams, W. & Anderson, T.H. (1980) *Compendium of soil Fungi*. Vol. 1, Londres, Academic press.
- Fatahinia, M.; Zarei-Mahmoudabadi, A.; Shokri, H. & Ghaymi, H. (2018) "Monitoring of mycoflora in outdoor air of different localities of Ahvaz, Iran", *Journal of Mycolgie Medical*, 28(1), pp. 87-93.
- Gottschalk, C.; Bauer, J.; & Meyer, K. (2008) "Detection of satratoxin G and H in indoor air from a water-damaged building", *Mycopathologia*, 166(2), pp. 103-107.
- Haleem, A.A. & Mohan, S. (2012) "Fungal pollution of indoor environments and its management", *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(4), pp. 405-426.
- Infante, F.; Castro, A.; Domínguez, E.; Gúadía, A.; Méndez, J.; Sabariego, S. & Vega, A. (1999) "A comparative study of the incidence of *Cladosporium conidia* in the atmosphere of five Spanish cities", *Polen*, 10, pp. 15-23.
- Iraporda, C.; Silvestro, L.B.; Ferreyro, F.S. & Tironi, A. (2022) "Metodología de ensayo para la medición de un indicador de durabilidad biológico en morteros y hormigones", X Congreso Internacional y 24° Reunión Técnica "Ingeniera Eugenia Valiente", Buenos Aires, 31 Octubre al 4 Noviembre. Buenos Aires, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, pp. 433-440.
- Kaur, G.; Siddique, R. & Rajor, A. (2013) "Micro-structural and metal leachate analysis of concrete made with fungal treated waste foundry sand", *Construction and Building Materials*, 38, pp. 94-100.
- Kilburn, K.H. (2004) "Role of molds and mycotoxins in being sick in buildings: neurobehavioral and pulmonary impairment", *Advances in applied microbiology*, 55, pp. 339-359.
- Matschei, T.; Lothenbach, B.; Glasser, F.P. (2007) "The AFm phase in Portland cement", *Cement Concrete Research*, 37, pp. 118-130.
- Murat, M. (1983) "Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals. I. Preliminary investigation on metakaolinite", *Cement and Concrete Research*, 13(2), pp. 259-266.
- Portela, G.; Tironi, A. & Wagner, C.C. (2020) "Comparación de la efectividad de arcillas caoliníticas con estructura ordenada y desordenada para la remoción de Cd(II)", *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 11(3), pp. 1-10.
- Portela, G.; Tironi, A. & Wagner, C.C. (2019a) "Remoción de Cd(II) de soluciones acuosas utilizando arcillas de mediano grado", 4tas Jornadas Nacionales de Investigación Cerámica, Rosario, 17-18 Octubre. Santa Fe, Universidad Tecnológica de San Nicolás, Asociación Técnica Argentina de Cerámica, pp. 31.
- Portela, G.; Wagner, C.C. & Tironi, A. (2019b) "Comparación de la efectividad de illita, caolinita y montmorillonita para remover Cd(II) de soluciones acuosas", IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental, Florencio Varela, 2-5 Diciembre. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Nacional Arturo Jauretche, pp. 213.
- Sen Gupta, S. & Bhattacharyya, K.G. (2006) "Removal of Cd(II) from aqueous solution by kaolinite, montmorillonite and their poly(oxo zirconium) and tetrabutylammonium derivatives", *Journal of Hazardous Materials*, B128, pp. 247-257.
- Tantawy, M.A., Ahmed, S.A., Abdalla, E.M. & Qassim, M.I. (2014) "Immobilization of copper ions laden kaolin waste: influence of thermal treatment on its immobilization in cement paste", *Journal of Materials Cycles Waste Management*, 8(2).
- Tironi, A.; Iraporda, C.; Córdoba, G.P.; Silvestro, L.B. & Irassar, E.F. (2022a) "Morteros elaborados con cal hidráulica y arcillas calcinadas: evaluación de carbonatación y crecimiento fúngico". 24° Reunión técnica AATH 2022 y X Congreso internacional, CABA, 31 de Octubre al 4 de Noviembre. Buenos Aires, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, pp. 93-100.
- Tironi, A.; Sposito, R.; Córdoba, G.P.; Zito, S.V.; Rahhal, V.F.; Thienel, C. & Irassar, E.F. (2022b) "Influence of different calcined clays to the water transport performance of concretes", *Magazine of Concrete Research*, 74(14), pp. 702-714.

- Vieira, M.G.A.; Almeida Neto, A.F.; Gimenes, M.L. & da Silva, M.G.C. (2010) "Removal of nickel on Bofe bentonite calcined clay in porous bed", *Journal of Hazardous Materials*, 176, pp. 109-118.
- Vojdani, A.; Campbell, A.W.; Kashanian, A. & Vojdani, E. (2003) "Antibodies against molds and mycotoxins following exposure to toxigenic fungi in a water-damaged building", *Archives of environmental health*, 58(6), pp. 324-336.
- Wirth, A.; Pacheco, F.; Toma, N.; Valiati, V.; Tutikian, V. & Gomes, L. (2019) "Análisis sobre el crecimiento de hongos en diferentes revestimientos aplicados a sistemas ligeros", *Revista ingeniería de construcción*, 34(1), pp. 5-14.
- Zain, M.E. (2011) "Impact of mycotoxins on humans and animals", *Journal of Saudi chemical society*, 15(2), pp. 129-144.