

# ADICIONES EN EL CEMENTO PORTLAND Y SU RELACIÓN CON EL BIODETERIORO

Sabrina B. Prunell, Vilma G. Rosato y Jorge D. Sota

LEMac (Centro de Estudios Viales), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata-  
Avenida 60 y 124 s/n- 1900 La Plata Contacto: [vgrosato@frlp.utn.edu.ar](mailto:vgrosato@frlp.utn.edu.ar)

**Palabras claves:** biodeterioro, morteros de cemento, adiciones

## RESUMEN

El desarrollo de hongos (mohos) y líquenes sobre superficies cementicias generan reacciones alérgicas en los humanos. Las adiciones en los cementos pueden modificar la velocidad y densidad del crecimiento, de estos y/o evitarlo, mejorando la habitabilidad en las construcciones. En este estudio se moldearon probetas de morteros con cemento normal y con adiciones de "filler" calcáreo, puzolana y escoria. Se inocularon con una suspensión de esporas de *Aspergillus niger* y se incubaron a 35° C. Se estudiaron con Microscopio Estereoscópico y Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA). Se realizaron microanálisis EDAX y porosimetría por intrusión de mercurio. La colonización más abundante y el mayor grosor de las hifas se dan en las probetas de cemento con 5% de filler y la menos abundante, en las mezclas con 20 y 25% de puzolana. En las mezclas con escoria, no se observó crecimiento. El contenido de calcio libre influye en el crecimiento.

## INTRODUCCIÓN

Los materiales de construcción, como los morteros de cemento y hormigones, además de los factores climáticos, se ven afectados por el ataque de diversos organismos como hongos y líquenes. Los deterioros producidos son principalmente estéticos, pero también físicos y químicos (1). Los deterioros estéticos se deben a las manchas de colores generalmente oscuros que forman sobre la superficie de las estructuras. Por su parte, los mohos y líquenes causan daños mecánicos al penetrar con sus hifas (filamentos), ocupando los espacios vacíos en los poros del material y además, provocan alteraciones químicas al liberar ácidos orgánicos como el ácido oxálico (1,2,3). Además se debe recordar la importancia de los mohos y su influencia en la salud, pues las esporas que producen pueden causar alergias y problemas respiratorios a los habitantes de la vivienda, de manera que es importante hallar modos de controlar o evitar el desarrollo de estos organismos. Este crecimiento depende no sólo de las condiciones ambientales (luz o sombra, humedad, influencia de la contaminación ambiental), sino también de la composición y estructura de los materiales en sí. Como los aditivos utilizados en la preparación de morteros influyen principalmente sobre el contenido de Ca y la formación de la porosidad, cabe pensar, entonces, que la presencia y la proporción de aditivos puede influir en el crecimiento de microorganismos. Recientemente, los ensayos de largo plazo (4,5,6) permitieron el cultivo de hongos sobre materiales de cemento y rocas calcáreas en cámaras húmedas y el estudio

más detallado de su crecimiento y el deterioro que ocasionan por vías mecánicas y químicas (liberación de ácidos orgánicos).

En este caso se adaptó el método descrito en (5) para analizar el crecimiento de los mohos, cómo afectan las distintas adiciones y cuáles son los factores que tienen mayor influencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Aislamiento de la cepa

Se empleó una cepa de *Aspergillus niger* previamente aislada del muro del convento de San Francisco de La Plata.

### Preparación de los cultivos

Se cultivó la cepa de *Aspergillus niger* en medio de agar- extracto de malta (AEM), preparado de la siguiente forma: 1000 ml de agua destilada, 20 g de agar en polvo, 30 g de maltosa y 5 g de peptona de carne.

### Preparación de los bloques de material

Siguiendo las técnicas indicadas en (4) y (5) se confeccionaron probetas de mortero de 1x 6,5 x 2,5 cm en moldes de acrílico de 11 x 12 cm. En total se utilizaron 7 moldes, tres probetas por molde. Las mezclas se realizaron con 3 concentraciones diferentes de filler, puzolana y escorias, considerando también una mezcla patrón de cemento normal (Tabla 1). Los bloques se curaron en cámara húmeda 28 días y luego se dejaron una semana en cámara de carbonatación.

Para la preparación de las mezclas se utilizaron los siguientes componentes:

**Cemento Portland:** Es un cemento hidráulico que se obtiene de calcinar una mezcla de arcillas y piedra caliza en un horno, para pulverizar posteriormente la mezcla obtenida.

**Arena fina silícea:** Es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas, es la que sus granos pasan por el tamiz de mallas 1mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25 mm.

**Puzolana natural:** material silico-aluminoso, que posee propiedades hidráulicas.

**Filler calcáreo:** material calcáreo compuesto por carbonato de calcio bajo la forma de calcita, que contiene impurezas como cuarzo, minerales arcillosos y feldespatos.

**Escoria de alto horno:** Material silico-calcáreo que se obtiene en las cubas de fundición de aceros y que posee propiedades hidráulicas, frente al hidróxido de calcio.

### Inoculación e incubación de los bloques

Previo a la inoculación, se esterilizaron los bloques y vermiculita mediante el proceso de tindalizado: los materiales se dejan una hora en la autoclave con la espita abierta. Este proceso se repite durante 3 días. Así se asegura la eliminación de todos los microorganismos sin someter al material a la presión.

**Tabla 1:** Dosificaciones

Mezcla	Agua	Cemento	Arena	a/mc	Filler	Puzolana	Escoria
1	21	35,00	105	0,60	-	-	-
2	21	33,25	105	0,60	5%	-	-
3	21	31,50	105	0,60	10%	-	-
4	21	28,00	105	0,60	20%	-	-
5	21	29,75	105	0,60	-	15%	-
6	21	28,00	105	0,60	-	20%	-
7	21	26,25	105	0,60	-	25%	-
8	21	28,00	105	0,60	-	-	20%
9	21	24,50	105	0,60	-	-	30%
10	21	17,50	105	0,60	-	-	50%

Este material se dispuso en frascos de plástico estériles de 500 ml de capacidad: primero se colocó la vermiculita en la base y se regó con 30 ml de agua destilada estéril. Luego se cubrió la base de vermiculita con un filtro estéril de 10 cm de diámetro y se ubicaron los bloques (dos por cada frasco).

Los cultivos de *A. niger* se inundaron con agua destilada estéril y se raspó la superficie con un ansa estéril para obtener una suspensión de esporas, que se roció sobre la superficie de los bloques.

Una vez preparados los cultivos, se incubaron durante 4 meses en la estufa de cultivos a 35° C. Luego se observaron bajo microscopio estereoscópico (ME) y microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA). Además, se estudiaron los materiales mediante microanálisis de espectrometría de dispersión de electrones (EDE) y porosimetría por intrusión de mercurio.

## RESULTADOS

Los resultados de la microporosimetría se presentan en la Tabla 2, expresados como el porcentaje del volumen medido para cada intervalo de poros respecto del volumen total. En el último renglón se indican los valores del volumen total de poros en mm<sup>3</sup> para cada tipo de mezcla. Se comparan el cemento normal con el cemento con 5% filler calcáreo y la mezcla con 25% de puzolana porque son los que tuvieron el mayor y el menor desarrollo de *A. niger*. En general, se observa que los cementos con adiciones tienen mayores porcentajes de poros pequeños. Si se compara el porcentaje del volumen total para cada rango de tamaño de poro, el cemento con 5% de "filler" calcáreo tiene valores intermedios entre el cemento normal y el cemento con 25% de puzolana, excepto para el rango de 1000 a 10000 Å. (Tabla 2)

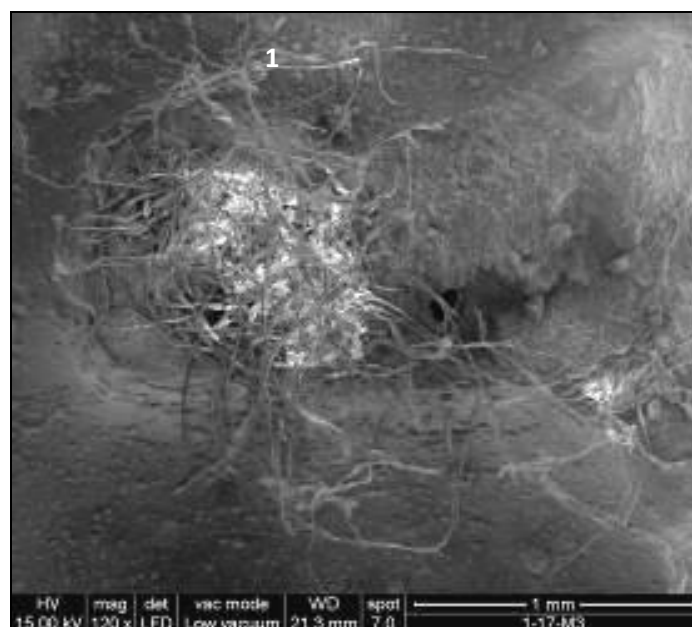
De todas maneras, lo importante es el volumen de poros en el rango de 10000 a 100000 µm (1-10 µm), ya que éste es el rango de tamaño de las hifas. Justamente, los poros de este tamaño se hallan en el menor porcentaje en las mezclas con escoria. Las hifas medidas en este caso van de 7 a 10 µm, aunque en *A. niger* pueden hallarse hifas más delgadas, de 2- 3 µm. De todos modos, y aunque es un hecho a corroborar, también cabe pensar que estas hifas de tamaño menor tengan extremos capaces de penetrar en los poros más pequeños y luego causar su ruptura al crecer.

**Tabla 2:** Distribución del tamaño de poros, expresados en porcentaje del volumen total (La última fila expresa el volumen total en mm<sup>3</sup>.)

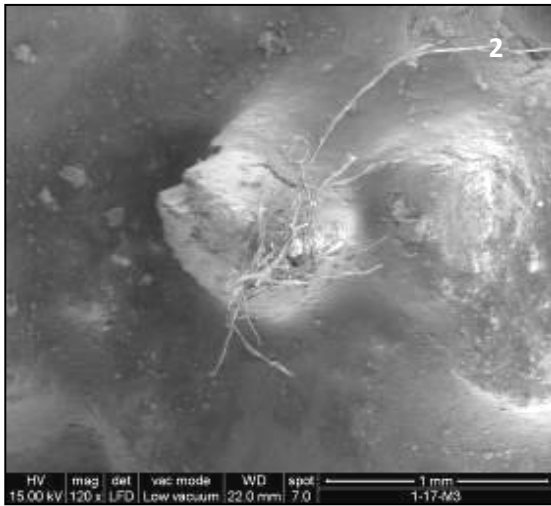
Muestras	Cemento normal	Cemento 5% "filler" calcáreo	Cemento 25% puzolana	Cemento 20% escorias
% del Volumen total de poros para el rango de tamaño de poros (en Å)				
<10	23	24,3	30,2	1.6
10-100	43,5	43,7	42,7	35.3
100-1000	25,9	21,7	18,3	43.4
1000-10000	5,4	9,4	6,9	19.4
10000-100000	2,2	0,9	0,9	0.3
<b>Volumen total de los poros en mm<sup>3</sup></b> <b>poros en(mm<sup>3</sup>)</b>	<b>92.2</b>	<b>116.2</b>	<b>103.2</b>	<b>76</b>

### Crecimiento del moho

En las observaciones en MEs y MEBA se notó un mayor desarrollo de *A. niger* en el cemento normal y el cemento con filler calcáreo al 5%, en tanto es muy escaso en las mezclas con puzolana. Se observa que, además, el desarrollo se da sobre todo alrededor de los clastos de agregado (Figuras 1 a 7). En cuanto a las mezclas con escoria, no se ha observado crecimiento (Figura 8).



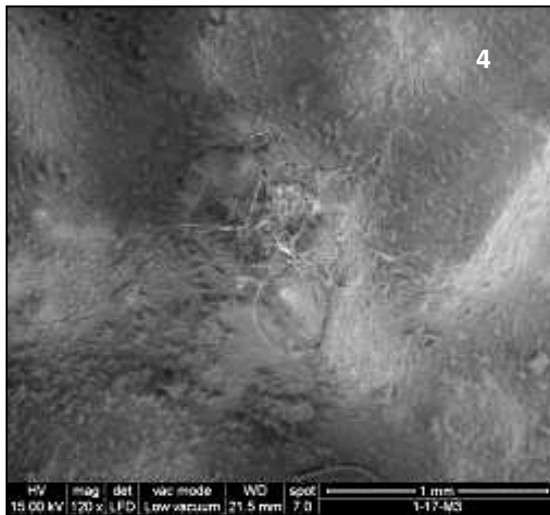
**Figura 1:** Mortero de cemento normal.



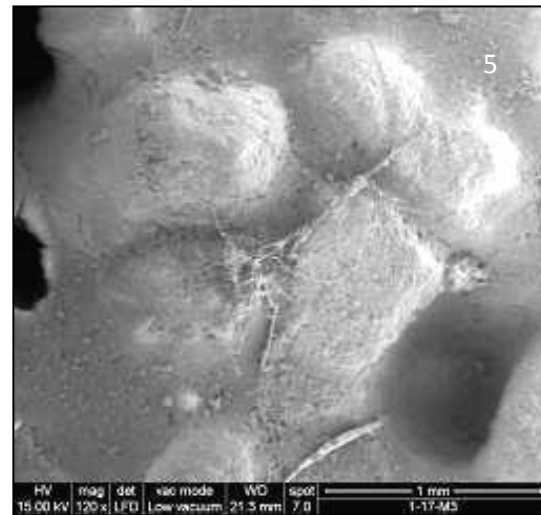
**Figura 2:** Mortero de cemento con 5% de "filler"



**Figura 3:** Mortero de cemento con 10% de "filler"



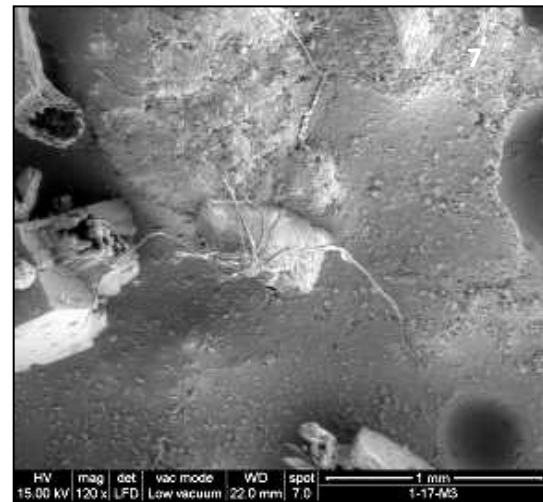
**Figura 4:** Mortero con 20% de "filler"



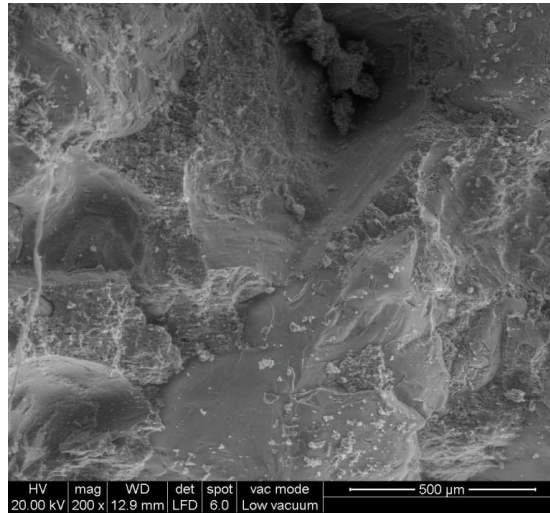
**Figura 5:** Mortero con 15 % de puzolana.



**Figura 6:** Mortero con 20 % de puzolana.



**Figura 7:** Mortero con 25 % de puzolana.



**Figura 8:** Mortero con 20% de escorias (EGH)

### Observaciones con MEBA

En la Tabla 3 se observan los microanálisis en los bloques donde se observó crecimiento del hongo. Los porcentajes resultan del promedio de las mediciones de 5 puntos en cada muestra

**Tabla 3:** Resultados de los microanálisis EDE

Muestra Elementos	Cemento normal	Cemento "filler " 5%	Cemento "filler " 10%	Cemento "filler " 20%	Cemento Puzolana 15%	Cemento Puzolana 20%	Cemento Puzolana 25%
C	11.82	9.15	8.26	11.63	7.25	8.75	11.88
O	48.03	41.38	44.47	41.58	38.93	46.79	52.58
Na	-	0.39	-	-	-	-	-
Mg	0.31	0.40	0.73	0.19	-	-	-
Al	-	1.32	0.36	0.13	.83	0.15	-
Si	1.50	3.63	2.69	1.31	3.29	0.86	0.70
Ca	38.05	42.78	43.48	45.16	48.55	42.98	34.84
Fe	-	0.95	-	-	1.15	0.47	-

Al examinar los resultados de los microanálisis (Tabla 3), se realizan las siguientes consideraciones acerca de la presencia de Ca. Primero se genera Ca que se libera en las reacciones de hidratación del cemento que queda libre en los capilares. Luego se debe considerar la acción probable del Ca que se incorpora al incorporar el filler (Carbonato de Calcio). Al adicionar la puzolana, el Ca disminuye (seguramente por la fijación del hidróxido de calcio por parte de la sílice de la puzolana, formando los silicatos secundarios), lo que explicaría el escaso crecimiento del moho. Al adicionar el filler si bien el Ca aumenta (probablemente no sea fácil para las hifas usarlos) observándose menos crecimiento del moho a las mayores proporciones de filler. Esto indica que no se puede establecer una relación directa entre el porcentaje total de Ca y el crecimiento, por estar el Ca en compuestos diferentes, lo que es lógico si se recuerda que las sales de calcio son poco solubles en agua, frente a los hidróxidos. En cuanto a las probetas de mortero con escoria, no se observó crecimiento. En el caso del agregado de escoria en los porcentajes elegidos, conociendo la actividad de la escoria, experimenta una muy buena fijación del hidróxido de

Ca liberado en las reacciones de hidratación, de modo que queda muy poco calcio disponible para el hongo (u otros microorganismos).

No se tomaron en cuenta los otros cationes y metales (Na, Mg, Al, Fe), porque están en porcentajes muy bajos, y su presencia se debe principalmente a que forman parte de los silicatos que constituyen los agregados finos. Se trata de materiales heterogéneos, de modo que la presencia o ausencia de los mismos y los porcentajes en que aparecen es variable en las distintas mezclas y también varía en las mediciones entre un punto y otro en la misma muestra

## CONCLUSIONES

El moho creció en todas las muestras, excepto en los morteros con escoria. Se desarrolla principalmente alrededor de los clastos y se observó que el menor desarrollo se produce ante las mayores proporciones de filler calcáreo y de puzolana y en todas las de escoria (Figuras 1 a 7). Al comparar ese resultado con los datos de volumen de poros entre 1 y 10  $\mu\text{m}$  y los porcentaje de elementos obtenidos del microanálisis EDE, no surge una relación directa entre el volumen de poros o el porcentaje total de Ca y el crecimiento, por lo que se infiere que el valor realmente importante para el microorganismo es el de Ca soluble.

Por el contrario, al examinar la porosidad y la distribución de los tamaños de poro, se observa una distribución con poros más pequeños en el cemento con escoria. Tiene el menor porcentaje de poros mayores a 1  $\mu\text{m}$  de las muestras analizadas (0.35%). Se infiere que la ausencia de crecimiento en estas probetas y el menor crecimiento en el mortero con puzolana se deben a que las hifas (filamentos del hongo) tienen un diámetro de 7- 8 hasta 10-12  $\mu\text{m}$ , con algunas hifas muy delgadas que alcanzan sólo 3  $\mu\text{m}$  de diámetro. En consecuencia, si el mortero tiene poros de tamaño inferior a éstos, la penetración del material resultará más dificultosa para el moho, cuyo desarrollo será más lento o prácticamente nulo (como sucede en los morteros con escoria y en menor medida, en las mezclas con puzolana).

## REFERENCIAS

- (1) Caneva G., Nugari M.P. y Salvadori O., "La Biología nel restauro." Nardini Editori, Firenze (Cuarta Ed.)(2003)- 249 pp
- (2) Rosato, V. G., "Degradación del hormigón por acción liquénica". *Actas de la Reunión de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, Olavarría, 25-26 de octubre (2001), Tomo I: 97-103. S/ ISSN
- (3) Rosato V. G., Sota J. D. y Prunell S. B. (En prensa)-"Influence of cement materials' composition on microbiological colonization of dams". EN: Khelifi, S. (Ed.): "Dams: structure, performance and safety management.", Nova Publishing Group, Londres. 2012
- (4) Wiktor V., De Leo F., Urzú C., Guyonnet R., Grosseau Ph., García-Díaz E, "Accelerated test to study fungal biodeterioration of cementitious matrix." *International Biodeterioration and Biodegradation* 63 (2009): 1061-1065
- (5) Prunell, S., Rosato, V. G., Sota, J. D., "Deterioro biológico acelerado por acción del hongo *Aspergillus niger* en matrices de cemento Portland con adiciones." 2do Congreso Iberoamericano y X Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio", La Plata, 13 al 15 de setiembre (2011) (en CD)
- (6) Dornieden T., Gorbushina A.A, "New methods to study the detrimental effects of poikilotroph microcolonial micromycetes (PMM) on building materials." EN: Fassina V. (Ed.), *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venice, June 19-24, Vol I. (2000)* : 461-468. Elsevier.