

BIODETERIORO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN AMBIENTES URBANOS, RURALES Y MARINOS DE LA PROV. DE BS. AS.

Priano, C^{1.}; Leonardi, P.^{2.}; Señas, L.^{1.}; Marfil, S.^{3.}

Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253. 8000 Bahía Blanca. TE. 0291-4595184. FAX: 0291-4595148. email: cpriano@uns.edu.ar

Palabras claves: biodeterioro, hormigón, ambientes.

RESUMEN

Se estudiaron estructuras de hormigón de diferentes ambientes a fin de evaluar el biodeterioro y comparar las especies que lo colonizan. Se analizó: un edificio en la ciudad de Bahía Blanca; el estribo de un puente en la ruta Prov. N° 51; una defensa costera en el puerto de Ing. White, una alcantarilla en el camino de acceso al Polo petroquímico en Ing. White y un edificio y un pilote de un muelle en la localidad de Monte Hermoso.

Se realizaron secciones delgadas transversales del hormigón para estudiar la composición petrográfico-mineralógica de los agregados, evaluar el estado de conservación y el alcance del ataque de los agentes biológicos.

Se identificaron dos especies de líquenes crustosos, una briófito y tres especies de algas verdes. El líquen *Caloplaca citrina* se halló en los cuatro ambientes estudiados. Estos organismos degradan superficialmente a los materiales cementíceos y afectan la calidad del recubrimiento, sin comprometer el comportamiento en servicio de las estructuras.

1. Docente Dpto. de Ingeniería. UNS.

2. Docente Dpto. de Biología, Bioquímica y Farmacia. UNS. Inv. Independiente CONICET

3. Docente Dpto. de Geología. UNS. Investigador Independiente CIC de la Prov. de Bs. As.

INTRODUCCIÓN

La durabilidad de las estructuras de hormigón puede verse afectada por diversos factores, entre ellos se debe incluir a los seres vivos como agentes ambientales de deterioro. Dentro de los organismos capaces de degradar al hormigón se puede mencionar a las algas, las bacterias, los hongos, los musgos y los líquenes (simbiosis entre un hongo y un alga).

Se ha encontrado una gran diversidad de especies de líquenes colonizando obras de hormigón ubicadas en la Provincia de Buenos Aires, tanto especies crustosas como foliosas o fruticasas (1). Las más frecuentes son *Caloplaca citrina* y *Lecanora albescens*, que se han detectado en diferentes zonas de la provincia, tanto en ambientes rurales como urbanos (2,3).

Los agentes biológicos pueden afectar la estética de una estructura, modificando su superficie sin afectar las propiedades del material. Este tipo de deterioro no significa un riesgo estructural, pero puede devaluar edificios o monumentos que forman parte del patrimonio arquitectónico de una región, y que aportan un valor económico como atractivo turístico. Otro tipo de daño que pueden producir las diversas especies que colonizan las superficies de morteros y hormigones, es el deterioro físico y/o químico, que sí daña la estructura interna del hormigón.

Cuando se producen ciclos de humedecimiento y secado, las hifas, filamentos del hongo que penetran en el sustrato, se dilatan y contraen ya que pueden absorber agua hasta 35 veces su peso seco (4). Por lo tanto ejercen una acción destructiva de tipo mecánica, debido a las tensiones de tracción generadas en el hormigón, que pueden llegar a fisurarlo y desprenderlo en pequeñas láminas. Debido a que el componente algal de los líquenes necesita luz para fotosintetizar, esta penetración en el sustrato cementíceo no es más que de 1 ó 2 mm, por lo que este deterioro físico no representa un riesgo para la seguridad estructural (5), pero sí para su estética y calidad del recubrimiento.

El deterioro químico se produce ya que los agentes biológicos secretan ácido oxálico como producto del metabolismo secundario, calificado como moderadamente fuerte por sus características de agresividad. El ataque ácido de protón (H^+) acelera la lixiviación del $Ca(OH)_2$ y cuando la concentración es elevada, también ataca a los silicatos de calcio hidratados formando un gel de sílice que no tiene resistencia. El ácido oxálico se combina con el calcio formando un compuesto insoluble en agua: el oxalato de calcio. La disminución del contenido de calcio del sustrato produce la pérdida de cohesión en el mortero superficial, quedando los granos de arena sin pasta cementícea que los recubra y aglutine.

La superficie del mortero atacado pierde cohesión y queda erosionada pero la película de oxalato de calcio taponan los capilares reduciendo la capacidad de succión e impermeabilizando la capa externa del hormigón, por lo que aparentemente, el proceso químico no debería continuar, siendo la degradación del mortero cementíceo exclusivamente de índole superficial. Esto no es así ya que los

futuros ciclos de secado y mojado, debido al agua de lluvia, originan desprendimientos de los líquenes del sustrato y arrastran parte de la pátina de oxalato de calcio y del gel rico en sílice que se ha formado. De esta forma se inicia nuevamente el proceso de degradación química del mortero que ha quedado expuesto al recolonizarse la nueva superficie (6).

La adaptabilidad de los líquenes, en especial *Caloplaca citrina*, les permite colonizar sustratos cementíceos en ambientes de diferentes características. Pero la presencia y crecimiento de colonias de estos líquenes requieren que la superficie del hormigón haya perdido su alcalinidad original, es decir que se presente carbonatada con pH inferior a 10. Se ha comprobado que en estructuras jóvenes el crecimiento de líquenes es nulo y recién comienzan a desarrollarse cuando se carbonata su superficie (2). La carbonatación es un proceso natural que se desarrolla entre los productos hidratados del cemento (ricos en calcio) y el dióxido de carbono de la atmósfera. Como resultado, se reduce la alcalinidad del hormigón a valores cercanos a la neutralidad, entre 7 y 8 (7).

El hormigón puede estar emplazado en diferentes ambientes: rural, urbano, marino y/o industrial. Esta clasificación se basa generalmente en la presencia y velocidad de deposición del dióxido de azufre (SO₂), de los iones cloruros y del dióxido de carbono (CO₂). Una atmósfera rural, en general, no contiene contaminantes químicos agresivos al hormigón; la urbana presenta un ligero aumento del contenido de dióxido de carbono, originado por la combustión del parque automotor; una atmósfera industrial se caracteriza por su alto grado de contaminación, principalmente compuestos de azufre y óxidos de nitrógeno, originado por la presencia de fábricas, industrias siderúrgicas y petroquímicas o grandes núcleos urbanos; y por último, el ambiente marino está caracterizado por la presencia de iones cloruros (Cl⁻) (7).

Algunos autores determinaron que la presencia de contaminantes en atmósferas urbanas no afecta en forma apreciable, la actividad metabólica de los líquenes estudiados (2), aunque establecieron que son organismos sensibles a la contaminación atmosférica y observaron una baja diversidad de agentes biológicos en zonas urbanas en contraposición a un mayor número de especies colonizantes en áreas rurales y costeras (8).

MATERIALES

Con el propósito de evaluar el biodeterioro y comparar las diversas especies que colonizan el hormigón, se estudiaron estructuras emplazadas en ambientes urbano, rural, marino e industrial. Se relevaron cuatro obras:

- 1) Corresponde a una estructura realizada hace más de 40 años de un edificio en el centro de la ciudad de Bahía Blanca, cuya construcción se suspendió hasta la actualidad (Ambiente urbano). (Figura 1a).
- 2) Hormigón del estribo de un puente construido hace más de 50 años, ubicado en la ruta Provincial N° 51, a 60 Km de la ciudad de Bahía Blanca, en el límite entre

los Partidos de Bahía Blanca y Coronel Pringles (Provincia de Buenos Aires). (Ambiente rural). (Figura 1b).

- 3) Defensa costera ubicada en una dársena del puerto de Ing. White (Provincia de Buenos Aires). (Ambiente marino).
- 4) Una alcantarilla en el camino de acceso al Polo petroquímico en Ing. White (Provincia de Buenos Aires). (Ambiente industrial – marino).
- 5) Losa de un edificio en la localidad de Monte Hermoso, a 100 m de la línea costera (Provincia de Buenos Aires). (Ambiente marino).
- 6) Pilote de un muelle en la zona de fluctuación de marea, en la localidad de Monte Hermoso. (Provincia de Buenos Aires). (Ambiente marino).

MÉTODOS

Se tomaron muestras de hormigón que presentaban degradación superficial por la presencia de organismos en cada una de las obras.

Se utilizó estereomicroscopio, microscopía óptica y electrónica de barrido para observar sus características morfológicas y microscopía de polarización sobre secciones delgadas a fin de estudiar las características del hormigón, determinar la composición petrográfico – mineralógica de los agregados gruesos y finos y evaluar la profundidad de penetración de las especies biológicas. Para ello se trabajó con un microscopio electrónico de barrido EVO 40XVP Leo; un estereomicroscopio trinocular Olympus SZ-CTV, un microscopio Leitz SM LUX y microscopio de polarización Olympus, trinocular BH-2, con cámara de video y programas computarizados para el tratamiento de imágenes.

Se midió la profundidad del frente carbonatado mediante pulverización de fenolftaleína en solución alcohólica al 1%, sobre la superficie del hormigón recientemente expuesta. Esta técnica colorimétrica de teñido se caracteriza por dejar incoloro el hormigón que se encuentra carbonatado (aproximadamente $\text{pH} < 9$) y teñirlo de color púrpura al hormigón no carbonatado. Se determinó densidad, absorción y espacios vacíos según la norma ASTM C642 (9). Los ensayos físicos se realizaron cuando fue posible, dependiendo de las características del material muestreado.

RESULTADOS

El clima predominante en la región donde se relevaron las diferentes obras, es semiárido templado, con una temperatura media anual de 15 °C y con una precipitación media de 700 mm. Si tomamos en consideración la clasificación de exposición dada por el Reglamento de Proyecto CIRSOC 210 (10), se puede ubicar a las estructuras 1: edificio y 2: estribo de puente, en un ambiente tipo A2: ambiente normal, con temperatura moderada y fría, sin congelación, humedad alta y media con ciclos de mojado y secado, precipitación media anual menor que 1000 mm. La estructura 3: defensa costera, se clasifica en ambiente tipo M3: ambiente marino, en zona de fluctuación de mareas. Mientras que la estructura 4: alcantarilla, se clasifica

en ambiente tipo M2-Q2: ambiente marino, a menos de 1 Km de la línea de marea alta y contacto frecuente con aire saturado con sales en superposición a un ambiente con agresividad química fuerte.

1) **Ambiente Urbano:** Se identificó *Caloplaca citrina*, liquen crustoso que crece habitualmente sobre el hormigón. El talo es de color amarillo, con apotecios sésiles, color naranja. Con microscopio electrónico de barrido se observaron hifas, filamentos del hongo, que penetran en el sustrato sólo hasta 2 mm (Figura 2a).

También se identificó *Pellia sp*, briófito de la Clase Hepaticae, aunque en este caso, no se observaron rizoides penetrando la capa superficial del hormigón (Figura 2b). Entre y sobre los filoides de *Pellia* se hallaron numerosos filamentos del alga verde *Klebsormidium sp*.

Otro agente de deterioro de gran importancia es la acumulación de deposiciones que algunas aves dejaron sobre las losas provocando el correspondiente ataque ácido, reteniendo humedad y favoreciendo el desarrollo de bacterias que a su vez corroen el hormigón. En la obra en estudio se comprobó que el material estaba tan degradado que quedaba a la vista la armadura de refuerzo.

Se realizaron secciones delgadas transversales del hormigón. Con microscopio de polarización se observó la presencia del hongo afectando al mortero sólo en la parte superficial (Figura 2c). El resto se presenta en excelente estado de conservación. No hay microfisuramiento. Los contactos agregado-mortero son netos. El agregado fino está constituido por una arena natural, en cuya composición petrográfico-mineralógica participan las rocas volcánicas con pastas vítreas, valvas carbonáticas, cuarzo, rocas graníticas y vidrio volcánico fresco (Figura 2d).

La densidad medida es 2,40 g/cm³, la absorción de 2,7% y la porosidad de 5,1%. La profundidad de carbonatación, en la muestra extraída, es de 20 mm.

2) **Ambiente Rural:** Se identificaron dos especies de *Caloplaca*: *Caloplaca citrina* y *Caloplaca sp* (Fig. 2e). Esta última especie posee un talo color grisáceo, que cuando está húmedo es de color verde oscuro. Los apotecios son gris oscuro con márgenes blancos.

Con microscopio petrográfico se observó la presencia de líquenes solo en la superficie del hormigón. El resto del material analizado se encuentra en perfecto estado de conservación. No hay fisuras ni fenómenos de reacción. Los contactos agregado – mortero son netos. Las cavidades de aire accidental están generalmente vacías. El agregado grueso es un canto rodado polimíctico en cuya composición predominan las cuarcitas con rocas metamórficas subordinadas. El agregado fino es una arena natural constituida por cuarcitas, rocas metamórficas, cuarzo, feldespatos y escasas rocas graníticas. (Figura 2f).

La densidad medida es 2,23 g/cm³, la absorción de 10,7% y la porosidad de 21,8%. La profundidad de carbonatación, en la muestra extraída, es de 10 mm.

3) **Ambiente marino:** En la obra ubicada en ing. White se tomaron tres muestras de hormigón: una sobre la propia defensa costera de la dársena que se encuentra en la zona de fluctuación de marea, en la que se observó la presencia del alga verde *Enteromorpha* (Fig. 3a). Sobre una muestra obtenida de una toma de agua en la misma dársena, por sobre el nivel de marea, se observaron dos especies de algas verdes: *Klebsormidium* y *Chlorella*. En una tercera muestra tomada de una estructura de hormigón ubicada en la misma dársena pero a unos 100 m de la línea costera, se identificó la presencia *Caloplaca citrina*. (Figura 3b).

En la localidad de Monte Hermoso se tomaron dos muestras: en la losa del edificio ubicado a 100 m de la línea costera, se halló *Caloplaca citrina*; y en el pilote del muelle ubicado sobre la costa, en la zona de fluctuación de marea, se identificó la presencia de un alga verde *Enteromorpha*.

4) **Ambiente industrial-marino:** en el hormigón de la alcantarilla se identificó la presencia del mismo líquen crustoso que en los anteriores ambientes, *Caloplaca citrina*.

El agregado fino es una arena natural constituida por cuarzo, feldespato, rocas graníticas, carbonato de calcio, vidrio volcánico, cuarcitas, minerales opacos y rocas volcánicas (frescas, alteradas y vítreas). El agregado grueso es piedra partida granítica. No se observaron fenómenos de reacción que afecten el hormigón.

CONCLUSIONES

Se identificaron dos especies de líquenes crustosos, una briófito y tres especies de algas verdes. El líquen *Caloplaca citrina* se halló en los cuatro ambientes estudiados. Sin embargo, en el ambiente marino, esta especie se encontró alejada de la zona de fluctuación de marea. Estos organismos degradan superficialmente a los materiales cementíceos sin comprometer el comportamiento en servicio de las estructuras estudiadas, pero se afecta notoriamente el aspecto estético y en algunos casos, la calidad del recubrimiento de las armaduras.

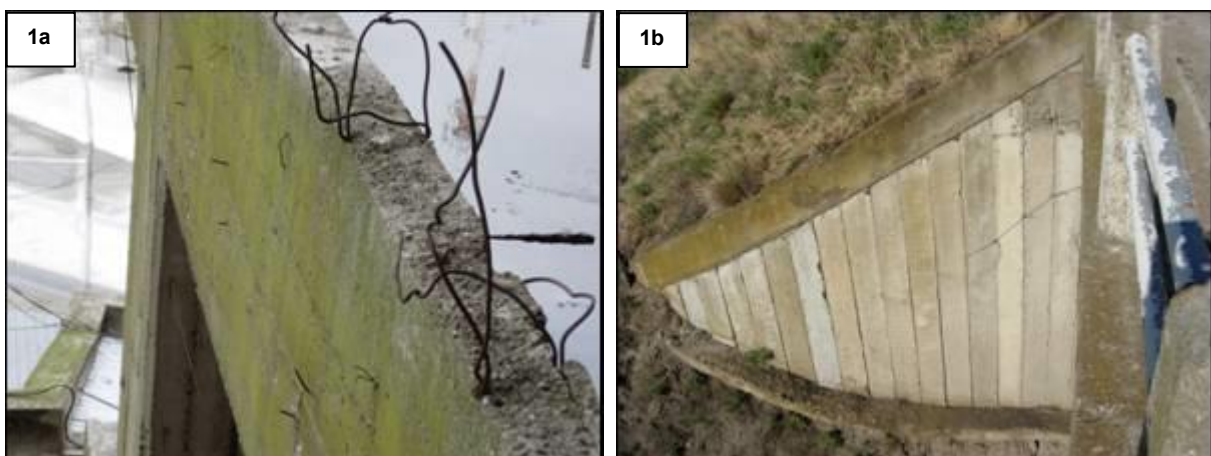


Fig. 1a.: Hormigón en ambiente urbano. 1b.: Hormigón en ambiente rural

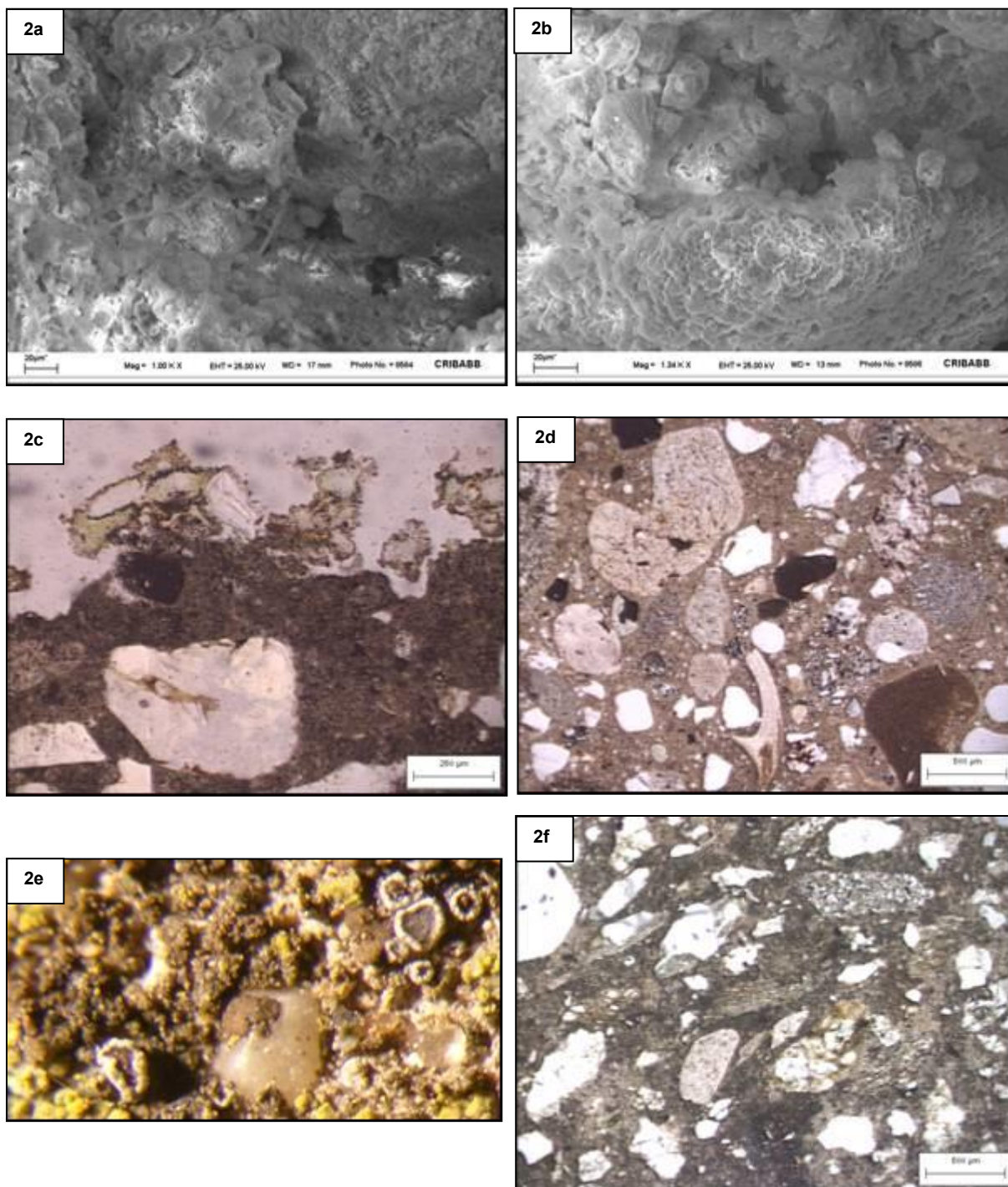


Fig. 2a.: *Caloplaca citrina* vista con microscopio electrónico de barrido, se observan las hifas penetrando el sustrato cementíceo. 2b.: *Pellia sp.* observada con SEM. 2c.: Se muestra al liquen afectando la parte superficial del mortero. 2d.: Hormigón sano (lejos de la superficie afectada). 2e.: *Caloplaca sp.* vista al microscopio. 2f.: Hormigón correspondiente al estribo del puente de la ruta 51, en perfecto estado de conservación.

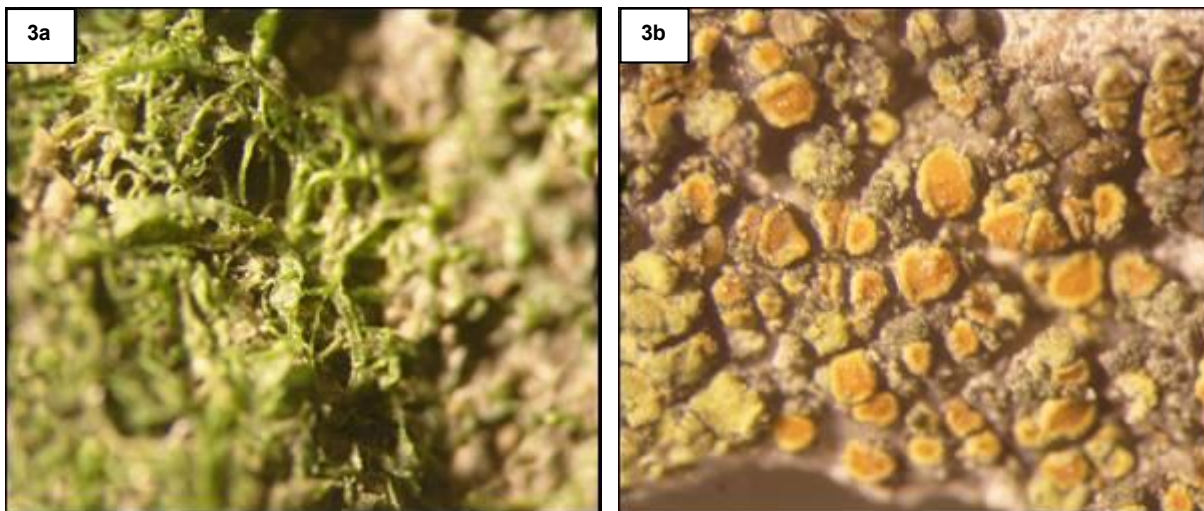


Fig. 3a: alga verde *Enteromorpha*. 3b.: *Caloplaca citrina*.
Ambas del ambiente marino.

REFERENCIAS

- (1) Rosato V. "Diversity and distribution of lichens on mortar and concrete in Buenos Aires Province, Argentina". *Revista Darwiniana* 44 (1), pp 89-97. ISSN 0011-6793. (2006)
- (2) Traversa L., Zicarelli S., Iasi R., Rosato V. "Biodeterioro de morteros y hormigones por acción de los líquenes". *Revista Hormigón* N° 35, pp 39-48. (2000)
- (3) Rosato V., Traversa L. "Lichen growth on a concrete dam in a rural environment (Tandil, Buenos Aires Province, Argentina)". *First International RILEM Workshop on Microbial Impact on Building materials*, RILEM, Sao Paulo, 6-7 July. (2000)
- (4) Ciarallo A., Festa L., Piccioli C., Raniello M. "Microflora actino in the decay of stone monuments". *VI International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne 2, pp 607-616. (1985)
- (5) Rosato V. "Degradación del hormigón por acción liquénica". 14° Reunión Técnica, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Olavarría 24-26 octubre. Tomo I, pp 97-103. (2001)
- (6) Traversa L., Rosato V., Zicarelli S., Taus V. "Simulación de ataques liquénicos a materiales cementíceos aplicando ácido oxálico". *El hormigón estructural y el transcurso del tiempo*, Memorias Simposio *fib*, La Plata, Argentina, 28-30 septiembre. Volumen 1, pp 195-200. (2005)
- (7) Traversa L. "Corrosión de armaduras en atmósferas rurales, urbanas, marinas e industriales". *Durabilidad del hormigón estructural*. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. ISBN 987-99797-2-9. pp 217-257. (2001)
- (8) Rosato V. "Agentes de deterioro biológico en ambientes rurales, urbanos y costeros de la provincia de Buenos Aires". *Revista Ciencia y Tecnología del Hormigón LEMIT*, N° 12, pp 25-31. ISSN 0327-4845. (2005)
- (9) ASTM C642-97: "Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete" (1997)
- (10) "Reglamento CIRSOC 201, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón", Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Argentina. (en discusión pública). (2002)

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería, Departamento de Geología y a la SECyT de la Universidad Nacional del Sur, a la CIC y al CONICET por el apoyo brindado para el desarrollo de estas investigaciones y al Sr. Rodolfo Salomón por la colaboración en la compaginación de las fotomicrografías.