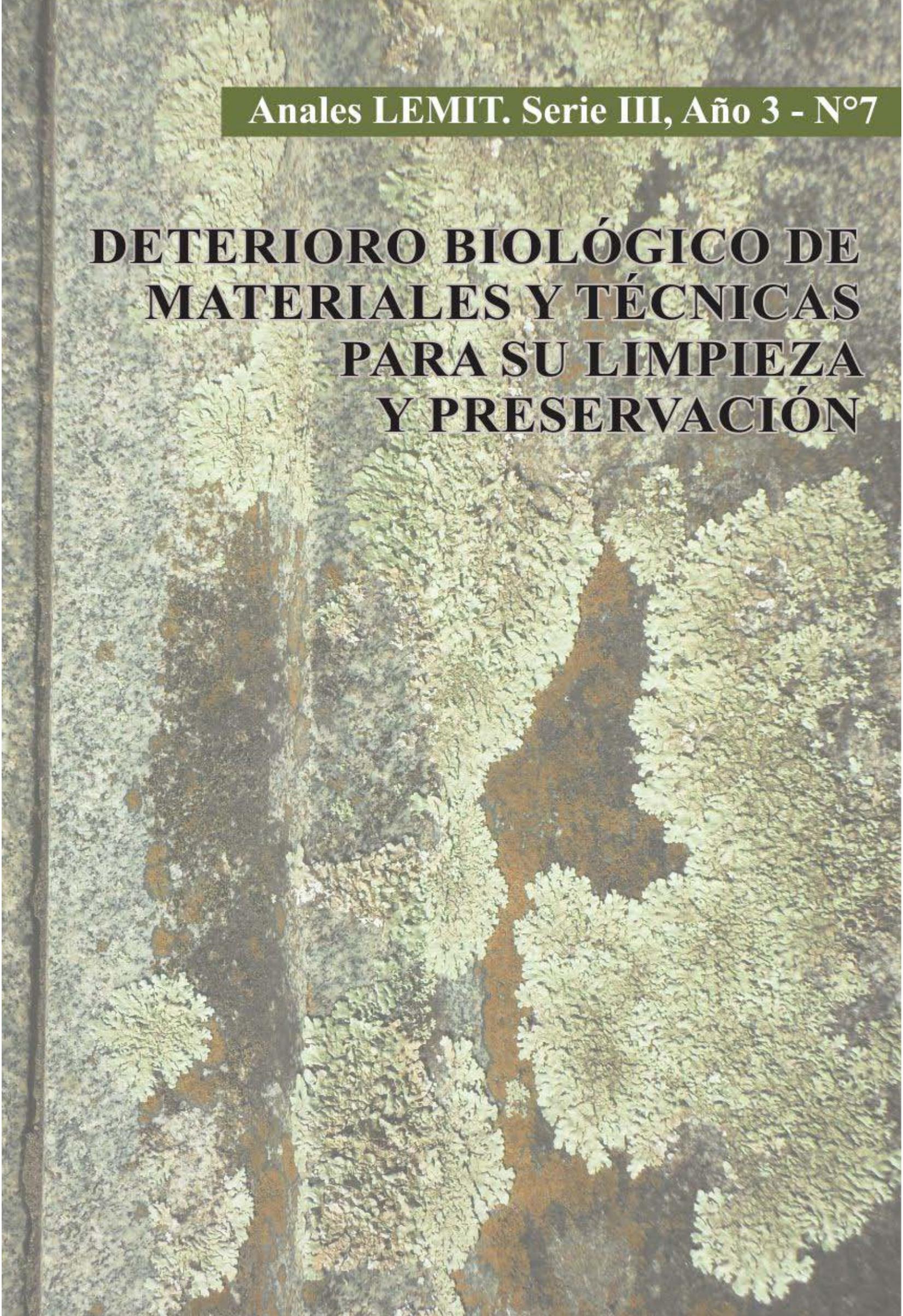


Anales LEMIT. Serie III, Año 3 - N°7

**DETERIORO BIOLÓGICO DE  
MATERIALES Y TÉCNICAS  
PARA SU LIMPIEZA  
Y PRESERVACIÓN**



# **DETERIORO BIOLÓGICO DE MATERIALES Y TÉCNICAS PARA SU LIMPIEZA Y PRESERVACIÓN**

DETERIORO BIOLÓGICO DE MATERIALES Y TÉCNICAS PARA SU LIMPIEZA Y PRESERVACIÓN / Vilma Rosato; Fabian Iloro ; Luis P. Traversa ; editado por Vilma Rosato. - 1a ed ilustrada. - La Plata: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica - LEMIT, 2016.  
100 p. ; 30 x 21 cm.

**ISBN 978-987-3838-06-4**

1. Deterioro Ambiental. 2. Materiales. 3. Conservación.  
I. Iloro, Fabian II. Traversa, Luis P. III. Rosato, Vilma, ed. IV.  
Título. CDD 607.3

***Título:***

DETERIORO BIOLÓGICO DE MATERIALES Y TÉCNICAS PARA SU LIMPIEZA Y PRESERVACIÓN

***Editor:***

Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica

***Diseño y diagramación:***

Sebastian Marquez

***Cantidad de ejemplares: 75***



Esta publicación es patrocinada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires a través de un Subsidio para Publicaciones Científicas y Tecnológicas (PCT09).



Todos los derechos reservados.

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida por algún método gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo los sistemas de fotocopias, registro magnetofónico o de alimentación de datos, sin expreso consentimiento del editor.

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced by any method graphic, electronic or mechanical, including photocopying systems, magnetic recording or record data feed, without written permission from the publisher.

## INDICE

<b>PRÓLOGO</b>	5
<b>I.- Deterioro causado por los seres vivos a las construcciones de valor patrimonial.</b> Trabajo presentado en las “VII Jornadas de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio”, LEMIT. La Plata, 20 de septiembre de 2007	7
<b>II.- Generalidades sobre aspectos tecnológicos y biodeterioro de las maderas</b>	17
<b>III.- Agentes de deterioro biológico en estructuras de hormigones ubicadas en humedales de la provincia de Buenos Aires.</b>	25
<b>IV.- El índice de peligrosidad de las plantas y su aplicación a edificios del patrimonio de La Plata.</b> Publicado en: VIII CINPAR 2012 (Congreso Internacional de Patologías y Restauración de Estructuras), La Plata, 4 al 6 de junio de 2012.	31
<b>V.- Deterioro biológico de un puente de madera en Atalaya (Partido de Magdalena) y las posibilidades para su recuperación.</b> Publicado en: VIII CINPAR 2012 (Congreso Internacional de Patologías y Restauración de Estructuras), La Plata, 4 al 6 de junio de 2012.	37
<b>VI.- Estudios con microscopía electrónica de barrido electrónico de líquenes sobre morteros y rocas de la provincia de Bs As</b>	41
<b>VII.- Líquenes creciendo sobre placas de metal</b>	49
<b>VIII.- Ensayos de dos sustancias hidrorrepelentes en ladrillos: demoran el crecimiento de biofilmes? El caso de la catedral de La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina</b>	55
<b>IX.- Limpieza de superficies: empleo de distintas técnicas sobre materiales cementíceos, tejas cerámicas, mármoles y rocas ornamentales</b>	61
<b>X.- Técnicas propuestas para el control de la vegetación invasiva en el convento de San Francisco en La Plata, provincia de Buenos Aires</b>	75
<b>XI.- Protección de la madera contra agentes bióticos y abióticos</b>	87



# PRÓLOGO

## Los estudios sobre deterioro biológico en el LEMIT

El biodeterioro se refiere a los cambios negativos en las propiedades físico-químicas de un material causadas por un ser vivo. Dada esta definición, se observa que incluye a todo tipo de materiales. Además, cualquier organismo, desde las bacterias hasta las plantas y los animales, pasando por algas, hongos y líquenes, puede ser un agente de biodeterioro. Ante la amplitud de este campo, no es de extrañar el crecimiento sostenido de esta línea de investigación en el LEMIT a medida que los relevamientos de edificios de valor patrimonial planteaban nuevos problemas y requerían distintas soluciones.

En el LEMIT las investigaciones sobre esta temática comenzaron en 1998 con los estudios de líquenes sobre diques de la Provincia de Buenos Aires. Luego se hicieron otros estudios de líquenes sobre hormigón con el relevamiento de puentes viales de distintos lugares y ambientes de la Provincia, que se ampliaron a edificios de valor patrimonial, con revestimientos símil piedra, como el Palacio Municipal de Coronel Pringles, obra del ingeniero arquitecto Francisco Salamone. Así se observaron las distintas especies presentes en el área y en los distintos ambientes rurales, urbanos, ribereños y del suroeste de la Provincia. Vale aclarar que los materiales que constituyen estas obras son hormigones y morteros antiguos, ya carbonatados, cuyo pH es inferior a 10, por encima del cual los líquenes no pueden crecer.

Las observaciones de estos organismos con MEB (Microscopio Electrónico de Barrido) y los microanálisis EDE (Espectrometría de Dispersión de Electrones) permitieron comprobar la penetración mecánica y el ataque causado por los ácidos orgánicos como el ácido oxálico, que llevan a la pérdida de iones calcio. Sin embargo, estos efectos son superficiales, de modo que no implican un riesgo estructural, aunque el daño estético ocasionado por el contraste del color del líquen con el sustrato es considerable en gran parte de los casos.

En otros relevamientos se observaron líquenes sobre tejas y se realizaron los estudios correspondientes para su identificación y análisis de la interacción con el sustrato. En las pruebas tendientes a su limpieza, se comprobó que la remoción manual y posterior limpieza con agua clorada y cepillado eran los menos agresivos para el material, considerándose como más propicio la opción de no remover la pátina biológica. Estos estudios continúan con la exposición de tejas a la intemperie y en laboratorio. Posteriormente, las investigaciones se ampliaron a otros materiales y organismos, como, por ejemplo, el caso de los vidrios emplomados, expuestos a la luz solar y la humedad. Al detectarse alteraciones en la lucarna del ex Palacio Biol de la ciudad de Buenos Aires, se realizaron estudios para verificar si existían microorganismos que la

ocasionaran. Las observaciones bajo microscopio óptico y los cultivos realizados dejaron bastantes dudas, pero las observaciones con MEB y EDE sirvieron para comprobar que se trataba de una alteración química ocasionada por la acción del agua.

En la Iglesia y Convento San Francisco de Asís, la Plata, se relevaron las patologías generales en la Iglesia, y en el patio del convento y teatro histórico. Entre todos los problemas, una preocupación especial fue la presencia de plantas vasculares que obturan las alcantarillas y causan daños de gravedad al ocasionar grietas y fisuras que pueden provocar el derrumbe. Para priorizar las tareas y señalar lo más urgente, se aplicó la escala de peligrosidad de las plantas, introducida en Italia por Signorini, determinándose que la especie *Nicotiana glauca* (palán-palán) tiene un índice de 8, muy elevado, debido a su rápido crecimiento intermurario, rebrote inmediato tras la poda, reproducción por vástagos y el gran tamaño de las raíces, que afectan internamente a toda la mampostería. Estas características hacen que las paredes y otras estructuras afectadas por *N. glauca* tengan alto riesgo de colapso, como en otras ocasiones se ha observado en balcones y cornisas.

Dada la magnitud de la problemática, se buscó un procedimiento de eliminación poco invasivo, de acción específica sobre la planta, pero que preservara la mampostería y no dañara al ambiente. Las pruebas de los materiales constitutivos (revoques, material de juntas y ladrillos) al igual que de los biocidas, se realizaron tanto en laboratorio como “in situ” y sirvieron para elaborar la cartilla de recomendaciones.

Esta experiencia se trasladó al relevamiento de otros templos católicos y de otros cultos, como la Iglesia Ortodoxa Griega “Santos Constantino y Elena” de Berisso, la Catedral Ortodoxa Siriana de Antioquía “San Pedro” de La Plata, las Iglesias Luteranas de La Plata, Berisso y San Martín, la Iglesia Evangélica Metodista Episcopal de La Plata y la Iglesia Basiliense “Nuestra Señora de la Asunción” de Berisso y la iglesia de San Pedro de Villa Garibaldi, la iglesia “Nuestra Señora de la Concepción” de General Pirán y la de “San Antonio de Padua” en Merlo.

Entre las iglesias observadas se realizaron estudios sobre las rocas de revestimiento de la Basílica de Nuestra Señora de Luján, un aglomerado calcáreo poligenético proveniente de Entre Ríos.

Otro estudio de importancia se realizó con respecto a las ruinas de la Misión Jesuítica de San Ignacio Miní, Monumento Histórico Nacional. Se identificaron los líquenes, se caracterizaron las areniscas rojas de Misiones y se efectuaron ensayos tecnológicos. Se concluyó que

los líquenes causaban un daño superficial, pero que su eliminación podría ser más nociva que su permanencia, dada la fragilidad del cemento de la roca, que se desgrana fácilmente.

Posteriormente se completó un proyecto de gran amplitud sobre los crecimientos biológicos en la envolvente de la Catedral de La Plata, que permitió evaluar las técnicas de limpieza y protección. Para este estudio se tomaron muestras de distintos sectores previamente delimitados, estudios del ambiente y del emplazamiento, cateos de materiales y la caracterización de materiales (ladrillos cerámicos y análisis de morteros), junto con el muestreo y caracterización del manto biológico.

Luego de identificar y cuantificar las especies, se procedió a elaborar en el laboratorio ensayos de limpieza factibles de aplicar en revestimientos símil piedra y muros de ladrillos, que luego se llevaron a cabo "in situ". Se probaron técnicas de protección con dos tipos de hidrorrepelente, que fueron monitoreados durante 36 meses con inspecciones visuales y técnicas de cultivo. De todo este esfuerzo surge una cartilla de recomendación para el proceso de limpieza y mantenimiento.

Otros estudios sobre edificios patrimoniales giraron en torno a la obra del Ing. Julio Barrios en la ciudad costera de Punta Lara, donde se hallaron líquenes sobre el revestimiento símil piedra blanco, pero también en la cubierta asfáltica de la escollera, y en las placas de fibra de vidrio de la cubierta.

Además se llevaron a cabo otras investigaciones en el Cementerio de La Plata, donde se relevaron los líquenes de bóvedas con revestimientos de distintas rocas ornamentales y tumbas históricas con placas de mármol blanco.

Se identificaron de las rocas y los organismos (líquenes, algas y cianobacterias), previo a los ensayos de limpieza en laboratorio que concluyeron en la intervención de la tumba de Arthur Moore de 1902. Entre esos estudios previos, al investigar el biofilme de una roca marmórea

de otra tumba, se halló que estaba atacada por una cianobacteria endolítica, identificada provisionalmente como *Synechococcus*. Se trata en consecuencia del primer hallazgo de un organismo casmoendolítico en un ambiente urbano para América del Sur, al menos según resulta de la búsqueda bibliográfica realizada.

Al intervenir en la tumba Moore, se aplicó una fórmula modificada de la pasta de limpieza AB57 desarrollada en Italia, observándose que las algas y cianobacterias liberaban pigmentos de color naranja. Esto llevó a modificar la estrategia de intervención limpiando pequeños sectores por vez, ya que esas manchas debían eliminarse inmediatamente antes de que penetraran en la roca.

En otras pruebas se relevaron los líquenes de una bóveda que fueron identificados, al igual que la roca caracterizada como una roca granítica calcoarenítica de las sierras pampeanas (Prov. de San Luis).

Recientemente, se incorporó la línea de investigación de deterioro fúngico de las maderas, un tema de gran interés, ya que los hongos ocasionan podredumbres que causan pérdida de resistencia estructural, resultando un serio riesgo para las personas y ocasionando importantes daños materiales. Conocer qué tipo de deterioro se produce y cómo impacta en las propiedades físico-mecánicas de las maderas son cuestiones importantes que deben considerarse para que las construcciones realizadas con este material puedan ser conservadas adecuadamente con los debidos coeficientes de seguridad. Cuando el proceso se haya iniciado deberá disponerse de alternativas tecnológicas para su limitación y para que la obra pueda seguir prestando servicios. Ya que en el país existen escasos antecedentes sobre estudios vinculados con la durabilidad de maderas, tanto de especies nativas como exóticas, es de vital importancia generar conocimiento en esta área.

Como se puede apreciar, la labor realizada en el LEMIT con respecto al deterioro biológico del patrimonio construido es amplia y variada y es lo que se intenta reflejar en este libro.

# DETERIORO CAUSADO POR LOS SERES VIVOS A LAS CONSTRUCCIONES DE VALOR PATRIMONIAL

Vilma G. Rosato

## INTRODUCCIÓN

Cuando una construcción se concluye, queda expuesta a la intemperie y también a la acción de diversos organismos capaces de colonizarla y de causar deterioro en igual o mayor grado que los agentes físico-químicos.

Para comprender los mecanismos involucrados en este proceso, es necesario considerar la obra arquitectónica como un ecosistema (Figura 1)

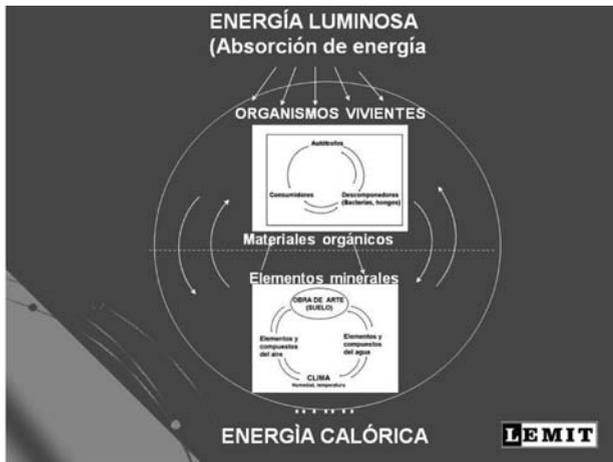


Figura 1- Interrelación de monumentos, ambiente físico y seres vivos. (De Caneva, Nugari y Salvadori, 2003)

Existe una estrecha relación entre el tipo de sustrato (la obra artística, que en este caso es una construcción y que será más o menos susceptible al ataque biológico según su composición química, pH y porosidad entre otras características), las condiciones ambientales (por ejemplo, factores del clima como humedad relativa y vientos) y el deterioro causado por los organismos colonizantes, los que forman una comunidad y a su vez influyen en las condiciones del microhábitat (por ejemplo, el mucílago que rodea las colonias de cianobacterias absorbe el agua, protegiendo a estos microorganismos de la desecación).

A su vez, los organismos presentes dependerán del tipo de sustrato, y estarán limitados por factores del medio como disponibilidad de agua y luz. También es importante considerar la influencia de la contaminación atmosférica, que restringe el desarrollo de los seres vivos, pero a la vez es dañosa para el monumento.

Durante los relevamientos de edificios con valor patrimonial realizados por el LEMIT se hallaron organismos de todo tipo:

- Bacterias y cianobacterias
- Algas
- Hongos y líquenes

- Musgos
- Plantas vasculares
- Animales

Todos estos organismos van a actuar por dos mecanismos principales:

- Físicos, ya que causan daños y rotura por crecimiento o movimiento. Aquí se debería incluir al vandalismo
- Químicos, debidos a la actividad metabólica de los organismos, ya sea para la nutrición o la excreción.

Intervienen diversas sustancias como:

- o Ácidos orgánicos e inorgánicos
- o Sustancias quelantes
- o Alcalis
- o Enzimas
- o Pigmentos

Desde luego, habrá distintos organismos colonizando distintos sustratos y su acción será distinta según el caso, de modo que se considerará cómo se produce e deterioro en los distintos materiales que forman parte de las construcciones pertenecientes al patrimonio.

## BIODETERIORO DE ROCAS (naturales y artificiales)

Las rocas son agregaciones de uno (por ejemplo, calcita) o de más minerales (como los granitos).

Los estucos, morteros, y productos cerámicos (ladrillos, tejas) se consideran como rocas artificiales y son atacadas por los mismos agentes. Estos materiales en general tienen más porosidad, que les otorga mayor capacidad de retener agua, favoreciendo a su vez el establecimiento de la microflora.

Están sujetos al ataque de bacterias, organismos microscópicos, de organización muy simple que, pese a su pequeño tamaño y su morfología sencilla (Figura 2), abarcan grupos muy diversos y especiales por su metabolismo y fisiología. Entre estos grupos debemos mencionar especialmente aquellos capaces de alterar los sustratos:

- Bacterias sulfooxidantes: generan ácido sulfúrico que se combina con la roca dando sulfatos
- Bacterias del nitrógeno: como producto de su metabolismo liberan ácido nítrico
- Bacterias heterótrofas: generan ácidos orgánicos que reaccionan y dan productos de quelación

Las bacterias atacan la roca por vía química y las alteraciones que producen en la piedra no se distinguen de aquellas puramente químicas:

- costras negras,
- pulverización,
- exfoliación.

Pero el ataque bacteriano no se considera relevante a menos que el número de bacterias presentes sea muy elevado. En los relevamientos efectuados se han detectado bacterias de tipo bacilo en los revestimientos de roca de una Basílica construida a fines del s XIX, aunque luego se comprobó que las alteraciones observadas se deben más que nada a mecanismos de transporte de agua e intercambio de iones en la roca de revestimiento, notándose depósitos de  $O_2Mn$ .

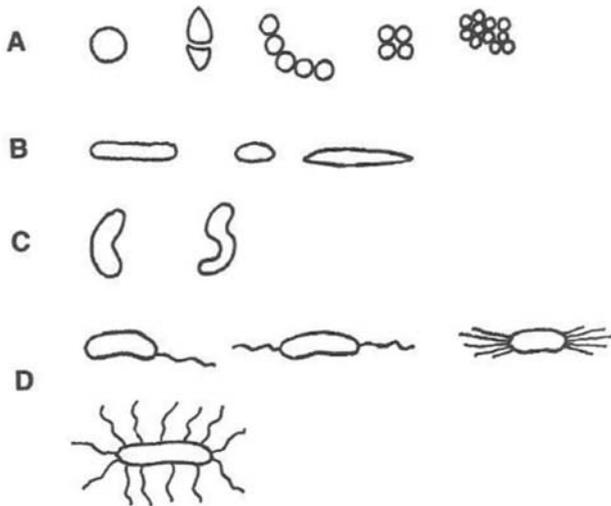


Figura 2: Formas de bacterias. A: Cocos- B: Bacilos. C y D: Vibriones y espirilos (D: Formas monotricas, anfitricas y peritricas)

Los monumentos también se ven afectados por algas y cianobacterias, que pese a ser organismos distintos, en este caso se mencionan juntos porque comparten el mismo nicho ecológico. Tienen formas de vida similares, ya que se trata de organismos fotosintéticos que, debido a esa característica, sólo pueden desarrollarse en superficies donde reciban iluminación suficiente.

Las cianobacterias están recubiertas por vainas mucilaginosas que absorben y retienen agua. Esto les permite soportar períodos más prolongados de desecación, pero estos cambios de volumen debidos a la variación del contenido de agua afectan al sustrato.

Entre los grupos de algas que colonizan edificios y monumentos están las *Chlorophyta* (algas verdes) y las Bacillariophyceae (diatomeas), ligadas a lugares con más disponibilidad de agua, como las fuentes, que son capaces de tomar silicio del medio para generar su frústulo o cubierta de sílice. En general, se hacen visibles como pátinas de diversos colores.

Las colonias de cianobacterias como *Nostoc*, *Oscillatoria* o *Scytonema* forman colonias de colores violáceos a negro; las clorofitas (*Chlorococcus*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ulothrix*) en general generan pátinas verdes, delgadas y adheridas al sustrato (Figuras 3 y 4).

Tanto las algas como las cianobacterias tienen una acción mecánica ya que aumentan o disminuyen de tamaño al

humedecerse o secarse. También tienen acción química ya sea por tomar elementos del sustrato o bien debida a las sustancias que liberan al medio.

En los monumentos de La Plata y alrededores se observan con frecuencia pátinas verdes, como en la Catedral, la iglesia de Santa Clara en Domselaar, o monumentos funerarios en el cementerio.

Se hallaron diatomeas al examinar muestras de un dique de la Provincia de Tucumán, pero en este caso, se trata de una especie planctónica, que vive flotante en el agua y que en este caso, quedaron depositadas en la pared del dique sin que se les pueda atribuir un efecto negativo sobre la superficie (Figura 5).

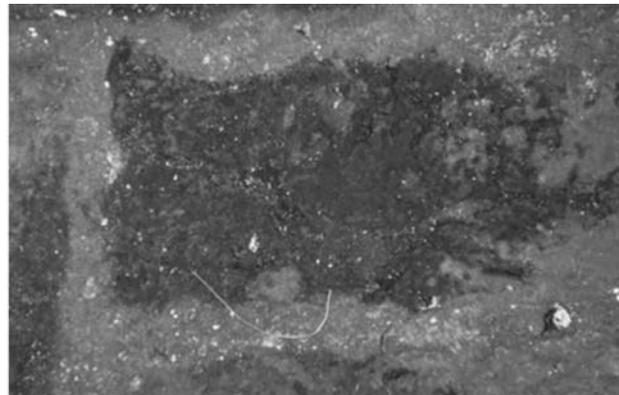


Figura 3: Pátina de cianobacterias.



Figura 4: Pátina verde, probablemente de algas clorofitas.

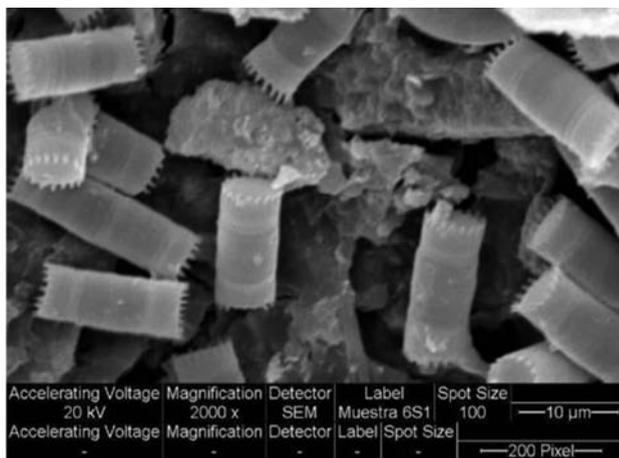


Figura 5: Imagen de microscopía electrónica de diatomeas observadas sobre el muro del dique de la provincia de Tucumán (De Rosato, 2008)

Existen además especies endolíticas que pueden vivir dentro de la roca. Se dividen en

- *Casmoendolíticas*: habitan fisuras y cavidades preexistentes.
- *Criptoendolíticas*: habitan fisuras y cavidades estructurales en las rocas porosas.
- *Euendolíticas*: que penetran activamente en el sustrato.

En cuanto a los hongos son comunes en muros húmedos y lugares sombríos y pueden ser unicelulares (como las levaduras) o tener micelio formado por filamentos llamados hifas. Carecen de clorofila, por lo que no pueden fotosintetizar, de modo que son heterótrofos que se nutren de la materia orgánica presente en el medio.

Los hongos miceliarios tienen la capacidad de actuar mecánicamente, ya que al absorber agua y desarrollarse, las hifas adquieren turgencia y ejercen presión sobre el sustrato.

También actúan químicamente porque absorben iones del medio y liberan ácidos orgánicos, como el ácido oxálico o glucurónico.

Los hongos tienen mecanismos de reproducción

- Sexuales: se da por la unión de dos gametas o en algunos casos, por la unión de hifas. Luego de este paso, suceden diversos eventos que llevan a la formación de cuerpos fructíferos en el caso de Ascomycota (por ejemplo, las morillas, el llao-llao) o los Basidiomycota (hongos en sombrero, hongos en repisa)

## REPRODUCCIÓN ASEXUAL

Los hongos pueden producir esporas asexualmente por mitosis.

En algunos casos, las esporas se generan dentro de un esporangio, como en los mohos algodonosos (*Zygomycota*). En otros grupos (*Ascomycota*, *Basidiomycota*), las esporas se producen externamente y no están reunidas dentro de una membrana, que se denominan conidios. Existen muchos hongos que no tienen reproducción sexual conocida y sólo se ha observado que se reproducen originando numerosos conidios.

Por este motivo se los conoce como Fungi Imperfecti u Hongos Imperfectos, vulgarmente llamados mohos, que incluyen especies de gran importancia como sucede en el género *Penicillium*: hay productores de antibióticos, otros productores de toxinas, especies que echan a perder los alimentos, otras de importancia sanitaria, etc.

Existen diversas especies de Hongos Imperfectos cuyas colonias forman manchas oscuras en las paredes. En una muestra de roca calcárea de revestimiento se aisló el moho *Aspergillus fumigatus* (Figura 6).

El daño que causan es principalmente de naturaleza estética, por alteraciones de la coloración, ya que los mecanismos de deterioro antes mencionados son muy lentos y graduales.

Sin embargo, no se debe perder de vista un hecho muy

importante: el aspecto sanitario, porque entre los mohos que colonizan las paredes en los interiores de las casas se encuentran especies causantes de alergias (Figura 7).



Figura 6. Aspecto microscópico del moho *Aspergillus fumigatus*.

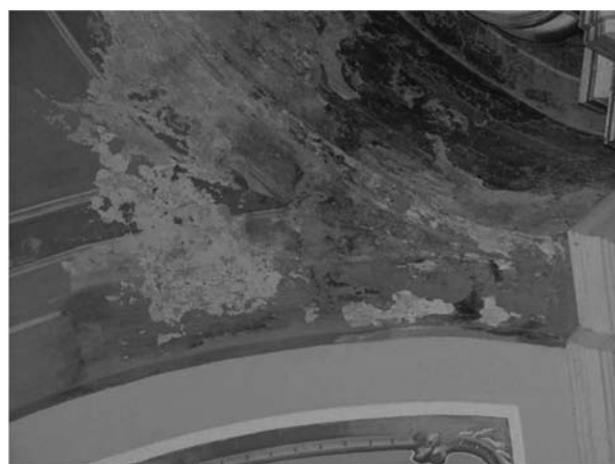


Figura 7: Iglesia de Magdalena. Paredes afectadas por colonias de bacterias y mohos.

También se debe tener en cuenta el rol principal que asumen los hongos en el deterioro de la madera, tal como se observó en los tirantes del techo de la iglesia San José Obrero de Berisso.

Hay dos mecanismos principales de deterioro:

**Pudrición blanca:** el hongo degrada la lignina y queda la celulosa. La madera se vuelve blanca, de ahí el nombre. (Figura 8)

**Pudrición parda:** el hongo degrada la celulosa y queda la lignina, de color rojizo. (Figura 9)

En tales casos, el material es utilizado como alimento, de modo que el ataque es enzimático y provoca un verdadero debilitamiento de la madera.

Entre los hongos, existen algunos con un modo de vida particular: los líquenes, que son el resultado de la simbiosis entre un hongo (*micobionte*) y un alga (*ficobionte*), que

forman colonias de varios centímetros de diámetro, a menudo de colores vivos (amarillo, anaranjado) o bien blancos, pardos u oscuros, que contrastan con el color de las superficies que ocupan (Figura 10 y 11). Aparte del daño estético, los líquenes afectan al sustrato por acción mecánica de las hifas (filamentos del micobionte) y por acción química (acción quelante de las sustancias liquénicas) o bien por combinación de ácido oxálico con el calcio presente en el sustrato para dar oxalato de calcio (Figuras 12, 13 y 14).

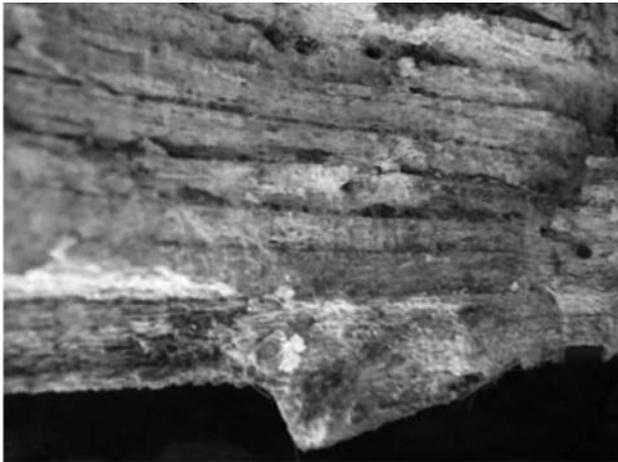


Figura 8: Madera afectada por pudrición blanca.



Figura 11: Palacio Municipal de Coronel Pringles: Pared colonizada por *Flavoplaca austroclitina*.

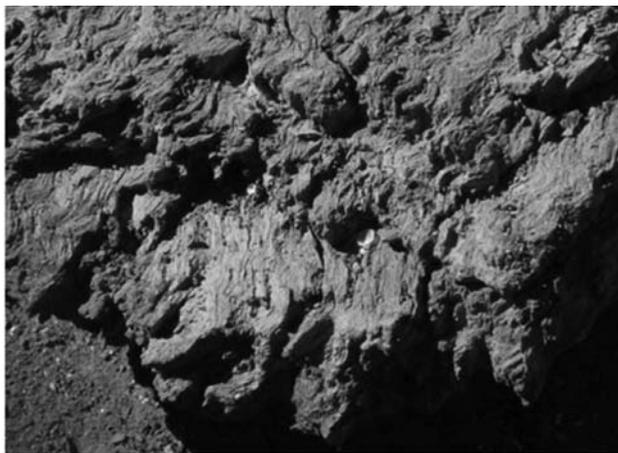


Figura 9: Madera afectada por pudrición parda.

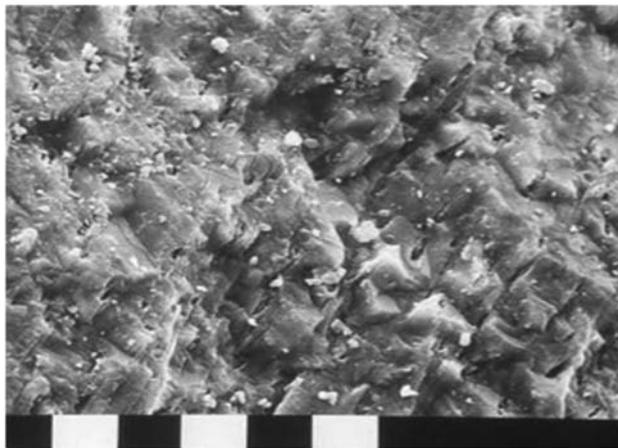


Figura 12 : Granito no colonizado.

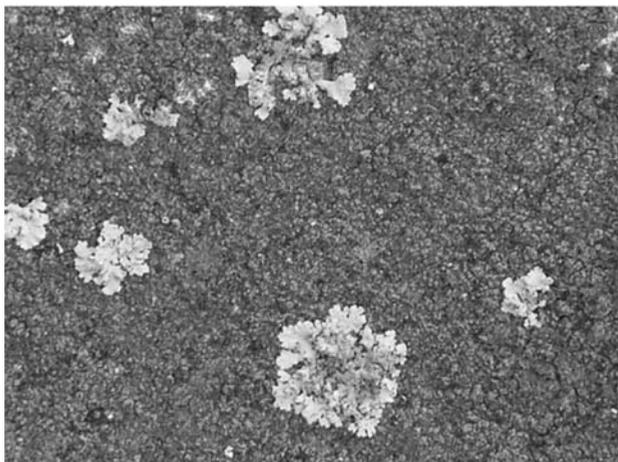


Figura 10: *Flavoplaca austroclitina*. y *Physcia caeruleascens*

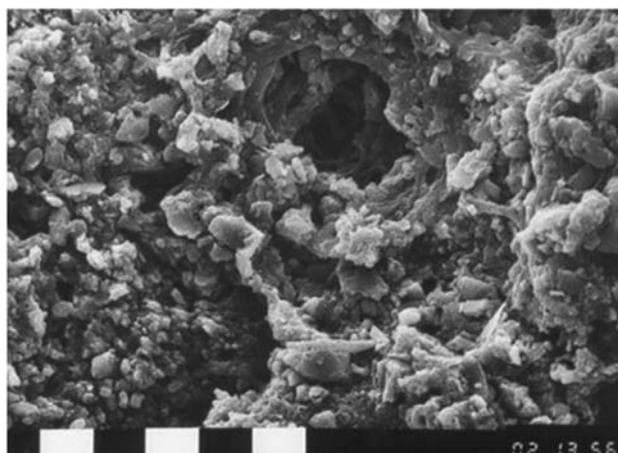


Figura 13: Granito afectado por *Flavoplaca austroclitina*.

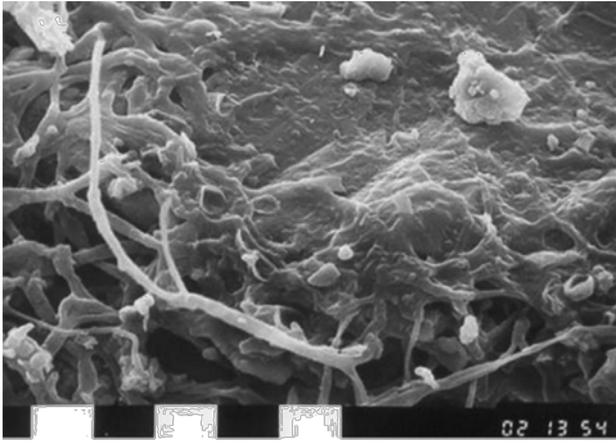


Figura 14: Granito atacado por *Lecanora albescens*. (De Rosato, 2001)

Los líquenes se reproducen del mismo modo que los hongos, pero a esto se agrega que tienen medios de reproducción conjunta del hongo y del alga por propágulos, llamados isidios y soredios.

Los isidios son corpúsculos formados por una corteza del hongo y una médula constituida por micelio y células algales, en tanto los soredios son ovillos de hifas laxamente dispuestas envolviendo las algas.

En el caso de los líquenes que colonizan edificios o monumentos, es importante tener en cuenta si tienen isidios y soredios, porque una limpieza sin aplicar un tratamiento biocida sólo contribuirá a expandirlos: al eliminar los líquenes mediante hidrolavado, la superficie queda irregular y más porosa (Figuras 15, 16, 17 y 18).

A la vez, el agua a presión elimina los líquenes, pero además contribuye a dispersar los isidios o soredios, que comienzan a desarrollarse y colonizan nuevamente la superficie en períodos que van de seis meses a un año.

Esto se ha notado en la Municipalidad de Olavarría y el Monumento a la Madre, en dicha ciudad.

También se estudiaron extensas colonizaciones de líquenes en el palacio Municipal de Coronel Pringles y el techo de tejas de la iglesia San José Obrero de Berisso, prácticamente cubierto por un líquen folioso (*Xanthoparmelia microspermum*), cuyos ricines (estructuras a modo de raíces que se adhieren a la superficie) pueden también causar daño (Figuras 19 y 20).

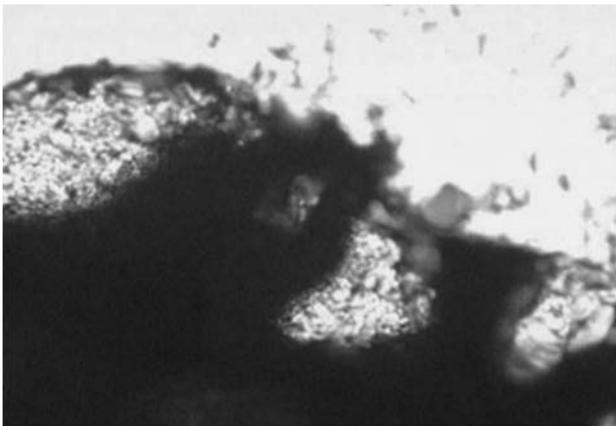


Figura 15: Imagen de microscopio de un corte delgado de material colonizado hidrolavado a 80 bar.

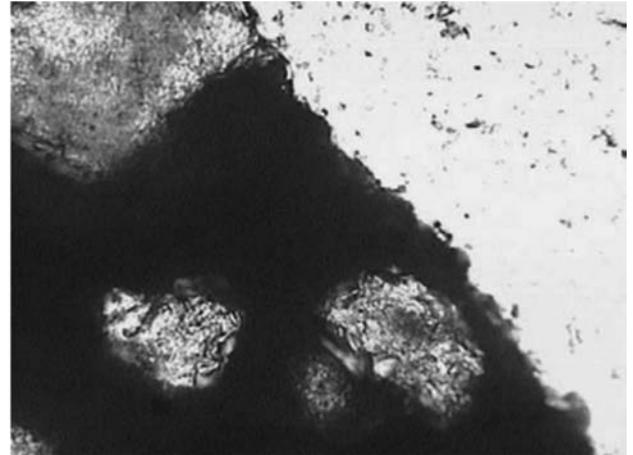


Figura 16: Imagen de microscopio de un corte delgado de material no colonizado, hidrolavado a 100 bar.



Figura 17: Monumento a la Madre, Olavarría, luego de la limpieza.



Figura 18: Monumento al año de la limpieza: se observan las manchas amarillas de las colonias de líquenes.

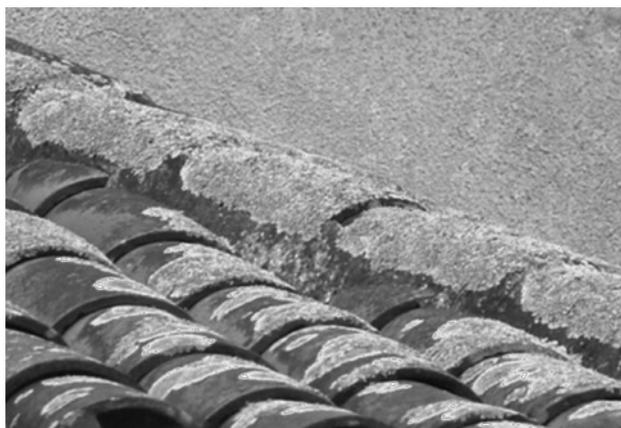


Figura 19: Techo de la iglesia de San José Obrero colonizado por *Xanthoparmelia microspermum*.

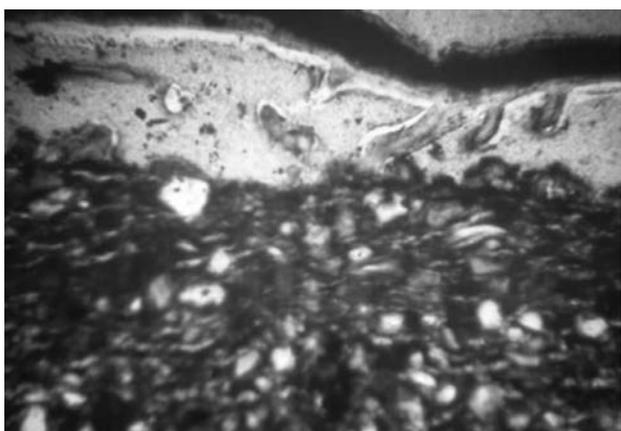


Figura 20: Imagen de una sección delgada de la teja colonizada por el líquen vista con el microscopio.

Otra importante característica de los líquenes es su capacidad de colonizar diversos sustratos: durante los relevamientos realizados se los encontró en las barandas metálicas de un puente (Figura 21) e incluso otra especie creciendo sobre material asfáltico.

En cuanto a los musgos, se trata organismos fotosintéticos que se desarrollan formando colonias macroscópicas, bien visibles. Cada planta individual tiene rizoides a modo de raíces; cauloides a modo de tallos y filoides a modo de hojas y las estructuras reproductivas están formadas por un pie, una seda o estructura erguida y delgada que termina en una cápsula con una tapa u opérculo donde se forman las esporas.



Figura 21: Líquenes sobre la baranda metálica del puente La Postrera sobre el río Salado.

Colonizan lugares húmedos y así es que se los ha encontrado en muros de ladrillo en lugares sombreados y poco expuestos, como en la Catedral de La Plata o la iglesia de Santa Clara en Domselaar (Figura 22).

Los musgos tienen la capacidad de provocar daños a las superficies colonizadas por la penetración de los rizoides y se ha comprobado que al menos algunas especies son capaces de absorber Ca del sustrato. Sin embargo, como en el caso de los líquenes, no siempre es recomendable su eliminación: en el caso de la casa del pintor-poeta Alejandro Bustillo en Berazategui, se observó una densa colonización de musgos en las tejas (Figura 23) y se estimó que si se los quitaba, las tejas quedarían más porosas y podrían sufrir daño por el impacto directo de las gotas de lluvia.

En el caso de un dique ubicado en la Provincia de Tucumán se encontró que estaba densamente colonizado por musgos y también se estimó que, en realidad, esta cubierta protegía a la estructura contra el impacto de rocas y guijarros arrastrados por la corriente.

También los helechos y plantas con flores causan daños importantes, ya que la presión ejercida por las raíces agranda las grietas, de modo que el deterioro que causan es principalmente de tipo mecánico, aunque las raíces también intercambian iones con el medio y pueden provocar daños de tipo químico. Se observó el crecimiento de plantas en distintos sitios, como en la capilla de San Pedro, en Villa Garibaldi, la iglesia de San Benjamín en Los Hornos o la misma Catedral de La Plata.



Figura 22: Musgo sobre la Catedral de La Plata



Figura 23: Musgos sobre la tejas del taller del pintor-poeta Alejandro Bustillo en Berazategui.



Figura 24: Helechos en la capilla de San Pedro, villa Garibaldi.



Figura 25: "Besitos porteños" (*Cymbalaria muralis*) en la Catedral de La Plata.

Ya sean helechos o plantas, lo conveniente es aplicar un herbicida y retirar las plantas secas, ya que así se facilita limpiarlas, porque al secarse la raíz ofrece menos resistencia a ser quitada y no hay riesgo de aumentar el daño profundizando la grieta.

En los casos mencionados anteriormente es necesario recurrir a biocidas. Pero para esto, debe cumplir ciertas condiciones:

- Ser específico
- No reaccionar con el sustrato
- No ser tóxico para las personas.

Existen diversos tipos de biocidas:

- Inorgánicos: hipoclorito de sodio (lavandina); peróxido de hidrógeno (agua oxigenada)
- Orgánicos: sales de amonio cuaternario

Por último, existen animales capaces de deteriorar seriamente los materiales. Entre los grupos conocidos citaremos:

- Phylum Arthropoda: Clase Insecta Causan daños graves a las maderas, ya que se alimentan de las mismas, capacidad que tienen gracias a los organismos simbióticos degradadores de celulosa que habitan en su aparato digestivo.
- Phylum Chordata: Clase Aves (Columbiformes-

palomas). Clase Mammalia (Chiroptera-murciélagos)

En este caso, los daños son resultado de la actividad de los animales y el deterioro químico provocado por sus excretas.

Entre los insectos, son sumamente importantes los Isoptera (termitas), por los daños que ocasionan a las estructuras de madera y que sólo en EE.UU causa daños por valor de xxxx millones de dólares. En los edificios inspeccionados por el LEMIT hasta ahora, no hemos hallado problemas ocasionados por estos insectos. Sin embargo, han sido motivo de titulares periodísticos debido a la amenaza que representan para las estructuras de madera de la Ciudad Prohibida en Beijing (China).

Hay otros insectos, como taladros y carcomas, que también dañan la madera y son corrientes en nuestra zona, habiéndose notado su presencia, por ejemplo, en el taller del pintor-poeta Alejandro Bustillo, en Berazategui.



Figura 26: Madera afectada por carcoma, en el taller del poeta-pintor A. Bustillo, en Berazategui.



Figura 27: Papel y madera afectados por carcoma en el taller del poeta-pintor A. Bustillo, en Berazategui.

En cuanto a las aves, en particular las palomas comunes (*Columba livia*) no es sencillo controlarlas, porque se reproducen en gran número, son muy adaptables y los edificios y torres altas hacen las veces de acantilados, lugares donde anidan naturalmente. Durante los relevamientos realizados por personal del LEMIT, se observaron palomas en todos los sitios, aunque no

tenemos experiencia directa en el control de las mismas. No existe un método económico y eficaz: los alambres y redes antipaloma no logran un control total y las aves logran acomodarse e incluso anidar entre las púas (Figura 28 y 29).



Figura 28: Paloma anidando entre la púas del alambre antipaloma, La Plata.



Figura 29: Palomas que burlaron la red antipaloma, Iglesia Santa Clara de Domselaar

Hay una posible solución constructiva para las cornisas, ya que las palomas no pueden posarse en superficies con inclinación mayor de 60°, aunque se ha visto que no siempre es así, como sucede en la Catedral de La Plata (Figura 30).

Entre los sistemas que funcionan se cuentan:

- Ultrasonido: emite ondas de frecuencia muy aguda, no audibles para los humanos, pero sí para las aves y murciélagos. Es un sistema costoso.
- Emisión de baja frecuencia: es costoso, pues se trata de un sistema eléctrico que emite ondas de baja frecuencia que molestan a las aves en el momento que se acercan y antes de que puedan posarse, obligándolas a alejarse y sin causarles daño alguno. El inconveniente, al igual que en el caso anterior, es el cableado y el número de parlantes necesarios, especialmente cuando el perímetro a proteger es muy extenso.

La introducción de predadores (halcones) es costosa, por el tiempo y el dinero que se requiere para adiestrar un halcón, pero muy efectivo para espantar a las aves de aquellos sitios donde no se desea su presencia. Se trata de dejar volar el halcón y alimentarlo, de modo que las palomas noten la presencia de la rapaz y se vayan. Este método fue utilizado hace tres años en la Catedral de La Plata, logrando buen éxito, pero luego se abandonó por motivos económicos.

Los cebos anticonceptivos también son una buena solución, tal como demuestra la experiencia de Venecia. Aunque actúan a largo plazo, reducen efectivamente



Figura 30: Palomas posadas en una cornisa empinada, en la Catedral de La Plata.

la población y tienen la ventaja de no interferir en la interacción de palomas y humanos, ya que se entrega o vende el alimento con hormonas, y así la gente puede alimentar a las palomas a la vez que contribuye a su control poblacional. Esto requiere regulación y control por parte de las autoridades: es necesario que se difunda y se informe al público. En Venecia, por ejemplo, se cobra una multa de mil euros por alimentar a las palomas con alimento sin tratar.

## CONSIDERACIONES FINALES

En la Provincia de Buenos Aires, especialmente la zona costera del Río de La Plata., se dan condiciones de clima favorable para el desarrollo de organismos que deterioran monumentos del patrimonio. En los relevamientos

efectuados se detectaron diversos organismos de todos los grandes grupos existentes en la naturaleza, afectando de diversas maneras a los edificios pertenecientes al patrimonio arquitectónico. La correcta identificación de los mismos y el conocimiento de su biología son importantes para recomendar los métodos adecuados de control y limpieza, o bien, en otros casos, la posibilidad de no intervenir.

## Agradecimientos

Al personal del área de geología del LEMIT por la colaboración en la preparación de los cortes delgados y al Lic. Manuel Ponce por las imágenes obtenidas del microscopio.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Alexopoulos y Mims. *Introductory Mycology*.
- 2.- Bech-Anderson, J. 1972- Biodeterioration of natural and artificial stone caused by algae, lichens, mosses and higher plants. En : *Biodeterioration VI. Proceedings of the Sixth International Biodeterioration Symposium*: 126-131. CAB International Mycological Institute.
- 3.- Bourelly P, (1972). *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. I. Les algues vertes*. Boubée & Cie. Paris. V. 1: 572 pp.
- 4.- Caneva G., Nugari M.P., y Salvadori O., 2003- *La Biologia nel restauro*. Nardini Editori, Firenze (Cuarta Ed.).
- 5.- Dornieden T., Gorbushina A.A. 2000- New methods to study the detrimental effects of poikilotroph microcolonial micromycetes (PMM) on building materials. EN Fassina V. (Ed.): *Proceedings of the 9th, International Congress on Deterioration and conservation of Stone*, Venice, June 19-24, 2000.- Elsevier, Amsterdam , vol 1: 461-468.
- 6.- Gaylarde C. 2001.- O papel das cianobactérias na deterioração de prédios de patrimônio cultural.” EN Videla H.A.: “Biodeterioro de monumentos históricos de Iberoamérica” 1ª *Reunión Internacional de la Red Temática XV-E*, Sevilla, España, Febrero de 2000.
- 7.- Lazzarini L., Tabasso M.L. 1994- *Il restauro della pietra*. 320 pp. CEDAM, Padua.
- 8.- Ozenda P., Clauzade G. (1970). *Les Lichens. Étude biologique et flore illustrée*. Masson et. Cie. Paris.
- 9.- Nimis P.L., Pinna D. y Salvadori O. 1996 *Licheni e conservazione dei monumenti*. Ed. CLUEB, Bologna, 1996, pp. 165.
- 10.- Rosato, V.G. 2002 *Hidrolavado de superficies colonizadas por líquenes en monumentos y edificios históricos*. I Jornada Técnicas de restauración y conservación del patrimonio. La Plata, 6 de septiembre de 2002. (Editado en CD).
- 11.- Ribas Silva M (2000) L'aide du programme Minéraux à l'étude de la biodétérioration du béton, e-ISBN: 2351580133 (pro020) *Proceedings of the 1st. International RILEM Workshop Microbial Impact on Building Materials*, Sao Paulo, 6-7 de julio de 2000. Published in CD.
- 12.- Rosato, V. G. 2008 - Pathologies and biological growths on concrete dams in tropical and arid environments in Argentina. *Materials and Structures* 41:1327-1331 DOI 10.1617/s11527-007-9331-0.
- 13.- Saiz -Jiménez C. y Ariño X. 2001- Colonización biológica y deterioro de morteros por organismos fotótrofos. EN Videla H.A.: *Biodeterioro de monumentos históricos de Iberoamérica* 1ª *Reunión Internacional de la Red Temática XV-E*, Sevilla, España, Febrero de 2000.



# GENERALIDADES SOBRE ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y BIODETERIORO DE LAS MADERAS

Alfieri, P. y Correa M. V.

## LA MADERA

La madera es un material biológico de naturaleza vegetal y composición química muy compleja, formada anatómicamente, desde la parte más externa hacia el interior, por la corteza, la albura, el duramen y la médula. Esta compleja organización estructural hace que la madera sea un material anisotrópico, con propiedades diferentes en sus tres planos normales de corte (transversal, radial y tangencial), que la convierten en un elemento particular y con propiedades diferentes a otros materiales comúnmente utilizados en la construcción. Además es un material poroso, que está compuesto por más de un tipo de células, por lo tanto su constitución es heterogénea .

Las diferencias presentes en cada uno de estos tejidos determinan las distintas especies que luego son agrupadas taxonómicamente por filogenia. Una vez que se identificó la madera, la ingeniería de materiales puede prever el comportamiento del leño en procesos industriales y evaluar la aptitud tecnológica de la madera, lo cual involucra la rama de la tecnología de madera. Esto demuestra la multidisciplinariedad necesaria para abordar la utilización de este material.

En este capítulo entonces se describirá la anatomía y morfología de la madera a escala macroscópica, así como también otras características relevantes de este material ya que conocer las mismas tiene el objeto de comprender su influencia en las propiedades tecnológicas que posee.

## CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y QUÍMICAS DE LA MADERA

La madera es un tejido compuesto por células que presentan paredes constituidas por diversas cantidades de celulosa, hemicelulosa y lignina. La madera, xilema o leño es la parte sólida de los árboles por debajo de la corteza. Se trata entonces de un tejido vegetal diferenciado que en etapas maduras en vegetales leñosos cumple la función de sostén, transporte de agua y almacenamiento de sustancias de reserva.

Las características de la madera varían según la especie del árbol de origen e incluso dentro de la misma especie por las condiciones del lugar de crecimiento. Aún así hay algunas características cualitativas comunes a casi todas las maderas.

La gran diversidad de plantas leñosas se refleja en la variada morfología y composición química de su madera. Por lo general, se las puede dividir en dos grandes grupos, las frondosas o de madera dura (Angiospermas) y las coníferas o de madera blanda (Gimnospermas). Las

maderas duras tienen poros o vasos que se encuentran entre las fibras y el parénquima. El contenido de celulosa está en los rangos de 40 a 50% con 15 a 25% de lignina y de 15 a 25% de hemicelulosa. El resto de los materiales son de diversos compuestos extracelulares.

Las maderas blandas se componen de traqueidas superpuestas, conectadas por aberturas que las rodean y células del parénquima y en algunos casos, canales de resina. La concentración de lignina es entre 5 y 10% mayor que en las maderas duras, más y se encuentra aproximadamente la misma cantidad de celulosa entre 40-50%. Las maderas blandas presentan menos hemicelulosa que las duras. La composición química de las maderas blandas es también diferente ya que poseen diferentes tipos de lignina (principalmente unidades de guayacil propano), de hemicelulosas (manosa es el componente más común) y extractivos de madera (diferentes terpenos, ácidos grasos, etc.).

También existen diferencias en la composición de la madera de las plantas frondosas templadas y tropicales. Las maderas, tales como la teca, la caoba y el ébano tienen mayores concentraciones de lignina y de extractivos que muchas maderas duras de plantas de clima templado tales como el arce, el abedul y el álamo [1].

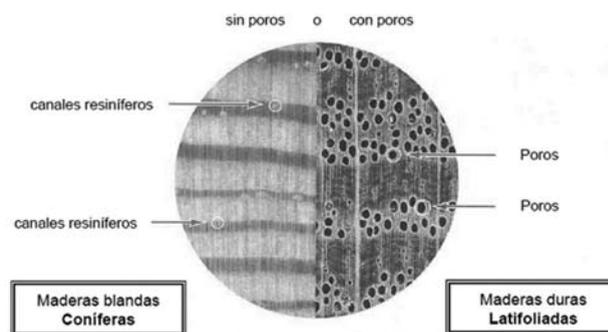


Figura 1. Estructura vista a lupa de maderas duras y blandas: se observa la gran diferencia anatómica de las mismas. Esta diferencia sirve para estimar su comportamiento en servicio.

Las anomalías presentes en los árboles también pueden resultar en maderas con características inusuales. La inclinación de los tallos de los árboles presenta una anatomía y composición química diferente que la madera normal de la misma especie. En las coníferas, la madera que se forma en la parte inferior del tronco o en los tallos inclinados es llamada madera de compresión y tiene células con paredes más gruesas y con alto contenido de lignina. La composición química de la lignina, la orientación

de las microfibrillas de celulosa y la composición de la hemicelulosa también varía considerablemente respecto de la madera normal [2,3]. La madera de compresión posee una mayor resistencia a la descomposición que la madera normal [3]. Para las maderas duras, la parte superior de los troncos y las ramas inclinadas son las áreas que más alterada tienen su estructura. En esta región se encuentra la llamada madera de tensión, tiene células fibrosas con una capa adicional de celulosa pura que se forma hacia el lado luminal de la pared celular llamada capa gelatinosa. Esta madera parece ser tan susceptible al deterioro como lo es la normal [2].

La madera es un material anisótropo (sus propiedades varían según la dirección de las fibras) en muchas de sus características, por ejemplo en su resistencia o elasticidad, esta en el eje axial es de 20 a 200 veces mayor que en el eje transversal. También es un material ortótropo ya que su elasticidad depende de la dirección de deformación.

Por otra parte, tiene un comportamiento higroscópico, pudiendo absorber humedad tanto del ambiente como por inmersión en agua, si bien en distinta forma y cantidad. Además la madera es un material polar con lo cual lo hace fácilmente tratable con sustancias polares tales como agua, barnices y pegamentos de base acuosa, etc.

Este material, tiene la particularidad de presentar propiedades físico-mecánicas muy buenas (densidad, resistencia a la compresión, flexión, corte, etc.). Esto hace que pueda ser trabajada de manera satisfactoria tanto manualmente como con maquinaria. Los tonos y variantes de corte le proveen aspecto estético muy agradable.

Por tratarse de un material de composición heterogénea, constituido por células dispuestas y organizadas en diferentes direcciones, es muy importante definir el plano en el cual se está trabajando o se está describiendo a la madera. Es por ello que estos planos se definen antes de describir la estructura macroscópica, para ubicarla correctamente en el espacio.

Los planos convencionales de corte son (Figura 2):

**- Corte Transversal:**

Es el corte que se realiza de manera perpendicular al eje del árbol. En este plano se observan los anillos de crecimiento y sus características: ancho de anillos, porcentaje de madera temprana y madera tardía y tipo de transición entre

las mismas. Si los radios son lo suficientemente grandes se observan como líneas que cruzan los anillos de crecimiento en ángulo recto. Otros elementos macroscópicos que se observan en esta sección, son el tipo de porosidad, agrupación y disposición de los poros, contenido de los poros, tamaño de los poros, tamaño de los radios, tipo de parénquima, textura y el tipo de transición que existe entre albura y duramen. En la latifoliadas se observa los vasos o poros y en las coníferas las traqueidas (células lignificadas con lumen vacío) que al ser cortadas transversalmente pueden observarse como pequeños orificios.

Microscópicamente se pueden observar todos los tejidos que se producen en cada uno de los periodos vegetativos y las diferencias existentes entre células del inicio o del término de cada crecimiento, por ejemplo en la mayoría de las especies que crecen en climas templados, se puede determinar con exactitud la cantidad de madera que se agrega en cada periodo de crecimiento anual.

**- Corte Radial:**

Es el corte paralelo al eje longitudinal del tronco en donde resulta paralelo a los radios o perpendicular a los anillos de crecimiento. Este es el corte más estable con respecto al corte tangencial porque hay menor contracción. A escala macroscópica, en este plano se observa el tamaño de los radios, tipo de grano y el lustre o brillo de la madera.

**- Corte Tangencial:**

Es el corte paralelo al eje longitudinal del tronco o tallo, en donde el mismo es perpendicular a los radios o tangente a los anillos de crecimiento. Es aquel que se realiza tangente a la circunferencia que forma el tronco del árbol. En este plano, a escala macroscópica, se observa la presencia de las líneas vasculares así como los radios y se presentan como pequeñas líneas oscuras que se extienden en la dirección longitudinal. La longitud de esa línea representa la altura del radio.

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LAS MADERAS**

Las maderas de uso en la construcción de viviendas, infraestructura, etc. presentan características que es necesario conocer y valorar a fin de que puedan ser empleadas; en particular, se debe conocer los valores característicos de la resistencia, rigidez y densidad.

En cuanto a las propiedades mecánicas, como anteriormente

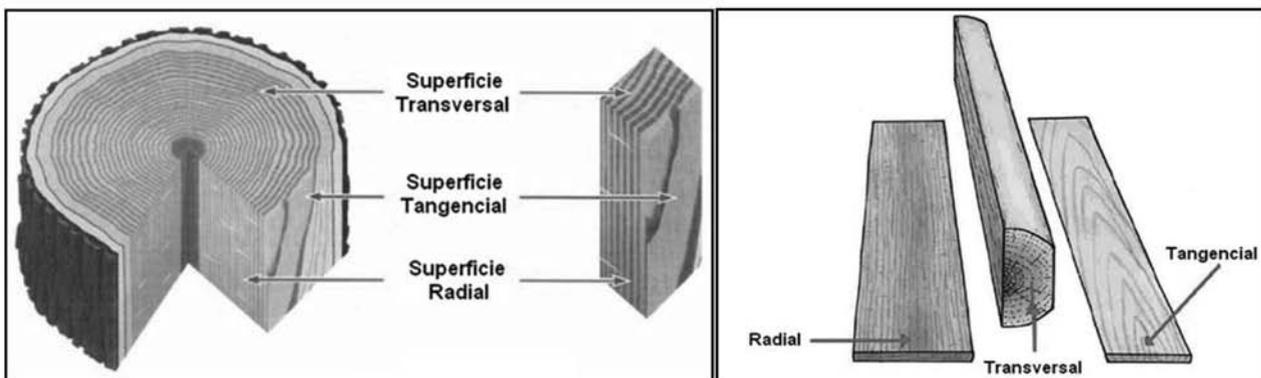


Figura 2. Planos anatómicos de corte: Por tratarse de un organismo heterogéneo constituido por células dispuestas y organizadas en diferentes direcciones es importante ubicar en que dirección se está trabajando o describiendo este material.

se mencionó, se debe tener especial atención en la dirección en la cual se realiza el ensayo con respecto a la dirección de las fibras; la tracción o la compresión presentan valores diferentes si se realizan en forma paralela o perpendicular a la dirección de las fibras. También es necesario, cuando se determinan estas propiedades, trabajar con valores característicos debido a la gran dispersión de los mismos que ocurre fundamentalmente debido a las características intrínsecas de la madera.

Una característica importante de las maderas es su densidad la cual está directamente relacionada con la calidad de la madera en servicio. La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 156 kg/m<sup>3</sup> siendo la densidad aparente la que varía notablemente entre especies incluso en un mismo árbol, en función de la altura del fuste y de la distancia al centro del tronco. Una vez secas, hay especies que apenas alcanzan los 300 kg/m<sup>3</sup> (*Cecropia adenopus*) mientras que otras pueden llegar a superar los 1200 kg/m<sup>3</sup> (*Schinopsis balansae*). Las diferentes densidades son las que determinan los posibles usos para la industria.

Por otra parte, la dureza es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de la estructura de la madera; ésta está directamente relacionada con: la densidad (a mayor densidad, mayor dureza), con el modo de crecimiento del árbol (crecimiento más lento produce madera más dura), con el clima de desarrollo (en climas cálidos se obtienen maderas más duras), con la zona de tronco (la parte central, más antigua, son más duras que las exteriores), el grado de humedad (a medida que aumente éste, la dureza primero aumenta para posteriormente disminuir). De acuerdo con esto las maderas son clasificadas en duras o blandas (Figura 1): las maderas blandas son fundamentalmente las coníferas, son árboles de crecimiento rápido y baja densidad siendo maderas fáciles de trabajar y de escasa resistencia a la degradación. Son bastante más económicas que las maderas duras, por eso su uso es tan extendido en la construcción, en la carpintería o en la fabricación de papel y de tableros de fibras.

Por otro lado, las maderas duras son fundamentalmente las latifoliadas, las cuales tienen crecimiento lento y mayor densidad, son bastantes más caras que las maderas blandas, más difíciles de trabajar pero con elevada resistencia a la degradación.

Como todo material, la madera presenta ciertas limitaciones derivadas, en este caso, de su naturaleza orgánica. Así, los mayores inconvenientes de la misma están relacionados con la combustibilidad y la degradación biológica.

## **IMPORTANCIA DE LA MADERA COMO MATERIAL**

La madera es uno de los materiales más nobles con que el hombre aún cuenta hoy; fue uno de los primeros elementos que se utilizó para la confección de herramientas, armas, navíos, viviendas, como productos primarios; y caucho, gomas, sustancias medicinales, aceites, resinas, corcho, fibras, entre otros, como subproductos.

Hoy en día su versatilidad es utilizada tanto para producir papel, con gran diversidad de formas como tableros de partículas o aglomerados, tableros de fibras como los MDF

(Medium Density Fibreboard) o los hardboard; terciados, laminados y multilaminados entre otros. Su manufactura la ha transformado en casas, cercas, juguetes, muebles, instrumentos musicales, soporte de alambrados o tendidos eléctricos, telegráficos o telefónicos, decoración, etc.

Pese a la generación y evolución de otros materiales en cuanto a sus características tecnológicas, la madera sigue siendo una materia prima imprescindible ya que su demanda año tras año. Estudios recientes indican que a mayor nivel de vida de una población, mayor es el consumo de madera per cápita; en Argentina la industria forestal cuenta con establecimientos dedicados a distintos tipos de producciones que van desde la industria procesadora de la madera, como es la industria del aserradero, hasta la producción de objetos más elaborados relacionados con la industria del mueble. Dentro de esta gama de actividades, la industria de la celulosa y papel y la del aserradero, son las mayores demandantes de rollizos de madera de especies cultivadas [4,5].

El problema central del uso de este material es su procedencia: cada año el área boscosa mundial va disminuyendo abruptamente. La importancia de los bosques radica en que cumplen un rol fundamental en la conservación de los suelos y la regulación climática; es el ecosistema que concentra la mayor riqueza y variedad de flora y fauna, así como los insumos necesarios para la producción de medicinas y alimentos; son reguladores de las altas temperaturas por ser fijadores de dióxido de carbono como así también poseen una gran capacidad para absorber el agua de lluvia por lo que contribuyen en una eficaz barrera contra las inundaciones [6-9].

Actualmente nuestro país cuenta con una superficie de 31.443.873 hectáreas de bosques nativos, lo que representa tan sólo el 30% de las masas forestales originales producto del avance de la frontera agrícola y la explotación maderera siendo las regiones más afectadas el Parque Chaqueño, la Selva Misionera y la Selva Tucumano Boliviana [10].

La gran intensidad y velocidad de explotación de bosques nativos no permite la regeneración de los bastiones ecológicos llevando a pérdidas de especies nativas invaluable e irrecuperables; esto se observó principalmente en la década de 1990 con el aumento de la inversión en infraestructura, la introducción de transgénicos y siembra directa, el fenómeno de desmonte con maquinaria pesada, la ampliación de la frontera agropecuaria y la producción de soja, entre otros [11,12].

Esto no quiere decir que la madera deje de ser utilizada como material, sino que significa tener conciencia y utilizarla de manera prudente, siguiendo pautas de planeamiento sustentable a la hora de explotar este recurso natural: esto debe basarse fundamentalmente en asegurar la descendencia de cada árbol cortado y en que la madera obtenida de ese árbol tenga una elevada durabilidad en servicio para así lograr un rendimiento sostenido. Lo primero se logra con la plantación de árboles, así como se siembra los productos comestibles para luego, con el debido manejo, selección y correcto aprovechamiento, cosechar madera en cantidad, de calidad, de buen precio y lo más importante a perpetuidad. Lo segundo, se logra mediante la utilización de tratamientos que hagan una madera aserrada más duradera, atacando los puntos débiles de este material como pueden ser el deterioro por acción

de agentes biológicos, por acción de agentes atmosféricos o del fuego.

### PRODUCCIÓN FORESTAL Y DISPONIBILIDAD DE ESPECIES EN ARGENTINA.

La actividad forestal de bosques de cultivo en la provincia de Misiones está basada principalmente en especies de coníferas teniendo la principal concentración de pinos cultivados del país (se han implantado 200.000 hectáreas de coníferas); las variedades principales son los pinos norteamericanos *Pinus elliotti* Engelm y *Pinus taeda* L y desde hace algunos años el híbrido entre *Pinus elliottii* var. *elliottii* y *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, *Pinus ponderosa* y el pino Paraná o Brasil, *Araucaria misionense* o curý (*Araucaria angustifolia*); ésta última con un área plantada según el Ministerio de Ecología en el año 2000 de aproximadamente 18.000 hectáreas. Por otra parte, las plantaciones de eucalipto registran muy elevadas tasas de crecimiento; las especies más comunes son *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*. Otras especies cultivadas en la provincia son el paraíso (*Melia azedarach*) y el kiri (*Paulownia fortunei*) [10,13].

La zona del litoral, a orillas del río Uruguay, bordea las provincias de Corrientes y Entre Ríos; sus suelos arenosos son ideales para el cultivo de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*) y pinos [10,13].

En el valle de Calamuchita, provincia de Córdoba existe más de 30.000 hectáreas de bosques de pinos cultivados (*Pinus elliottii*) y diversas especies de pino mexicano [10,13].

En el noroeste argentino, que abarca las provincias de Jujuy, Salta y Tucumán las tierras son aptas para la plantación de pinos mexicanos (*Pinus patula* y *Pinus greggi*) y también para *Pinus taeda* y algunas especies de eucaliptos [10,13].

En la provincia de Buenos Aires, las implantaciones forestales se han realizado para la protección de los cultivos o en pequeños lotes para la producción de madera, con una producción insuficiente para satisfacer la demanda de la industria establecida en las cercanías de la ciudad de Buenos Aires. Los eucaliptos, de las variedades *Eucalyptus globulus* ssp., *E. maidenni* y *E. dunnii* al norte, *E. viminalis* en el oeste y *E. globulus* ssp., en la región cercana a las ciudades puerto de Mar del Plata y Necochea, son las especies más comunes. Las tierras marginales para el cultivo de eucaliptos son implantadas con álamos y otras especies. En la zona del Delta del Paraná, cercana a los importantes mercados de Buenos Aires, se han implantado álamos y sauces, particularmente en las islas Delta donde diques de contención aseguran un óptimo nivel de agua para el crecimiento forestal [10,13].

La Patagonia posee más de un millón de hectáreas aptas para la forestación, siendo la región de mayor potencial se sitúa cerca de la frontera con Chile, donde se pueden plantar especies como *Pinus ponderosa*, *Pinus contorta* y *Pseudotsuga menziesii*, con una producción a costos relativamente bajos. Además, se encuentran especies de *Araucaria* o Pehuén (*Araucaria araucana*), también llamada piñonero, pino araucaria o pino de brazos; es un árbol nativo de Chile y Argentina, que hoy en día

se encuentra distribuido en zonas muy restringidas de la Cordillera de los Andes y en una pequeña población de la Cordillera de la Costa chilena. Debido a su lento crecimiento se han observado araucarias que han alcanzado hasta 1.000 años de edad [10,13].

Por último, respecto a las especies de madera más utilizadas en la cadena de valor industrial el Pino, el Eucalipto y el Cedro siguen siendo las más elegidas por los industriales de nuestro país. [10,13]. En cuanto a las especies autóctonas las más utilizadas para la producción de maderas son:

Quebracho colorado (*Schinopsis* spp) 36%, Algarrobo (*Prosopis* spp), 17%, Lengua (*Nothofagus pumilio*) 7.5%, Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*) 6.5%, Lapacho (*Tabebuia* spp) 2.13% Urunday (*Astronium balansae*) 1.6%, Guaraniná (*Bumelia obtusifolia*) 1.3%, Palo blanco (*Calycophyllum multiflorum*) 1.25%, Palo amarillo (*Phyllostylon rhamnoides*) 1.17% y Guacayán (*Caesalpinia paraguayensis*) y Guayaibí blanco (*Patagonula americana*) 1.07% cada una .

En nuestro país se produjo un gran incremento de los bosques implantados: actualmente cubren una superficie cercana a las 800.000 hectáreas y se encuentran formados en un 50% por coníferas (pinos), 30% de eucaliptos, 16% de sauces y álamos y 4% de otras (*Gmelina*, *Paulownia*, etc.), siendo la región mesopotámica es la principal zona de bosques cultivados [10-16], Figura 3.



Figura 3. Mapa de la Argentina en el cual se muestra la distribución empresas de explotación maderera: Se observa la concentración estratégica empresarial según disponibilidad de áreas explotables

## NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA UN ANTIGUO MATERIAL.

Enfocado a satisfacer la demanda de los consumidores de maderas desde hace varios años un sector de la ingeniería de los materiales trabaja para mejorar procesos y desarrollar productos con valor añadido que mantengan e incrementen el sector de la industria forestal. Así mismo han surgido numerosas innovaciones con objeto de satisfacer necesidades de la industria de la construcción y de los consumidores con el fin de aunar las ventajas de emplear productos de madera frente a otros materiales [17].

En el campo de la ingeniería se toma un material para construir un producto con un proceso industrial perfectamente planificado con el fin de lograr prestaciones estructurales, dimensionales, térmicas o de apariencia. En el marco de la ingeniería de los materiales está implicada también la modificación o tratamiento de estos para mejorar su performance en servicio. Específicamente para el éxito de la ingeniería aplicada en maderas se debe a maximizar los recursos forestales y optimizar la calidad de los productos [17-20].

Los productos de madera en el mercado incluyen productos decorativos (suelos, armarios, muebles, carpintería, revestimientos, etc.), productos remanufacturados o prefabricados estructurales (vigas, paredes, forjados, paneles aislantes) y otros usos aplicados en la construcción provenientes de productos intermedios del proceso de industrialización de madera como ser madera aserrada (parquets, muebles, molduras y torneados), laminados y enchapados (para revestir paneles, terciados, glomerados o placas), compensados (que se obtienen a través de la unión de dos o más láminas), tableros de partículas (también denominados aglomerados), tableros de fibras (que son aglomerados con diferente grado de procesamiento), etc. [17,18].

La ingeniería o tecnología de productos de madera ha experimentado un gran auge en los últimos años, con grandes innovaciones en las principales líneas de aplicaciones: laminados, chapas de frondosas y coníferas, contrachapado o madera terciada, tablero LVL (del inglés Laminated veneer lumber) o chapas de madera laminadas, OSB (del inglés "Oriented strand board") o tableros de fibra orientada y MDF (del inglés "Medium Density Fibreboard") o Fibrofácil [21,22].

La evolución del sector industrializado de la madera presenta una alta correlación con la del sector forestal: las fábricas más importantes poseen plantaciones forestales propias para abastecerse de sus insumos y concentran un alto porcentaje de la producción nacional, además de los pequeños y medianos productores instalados hace años en las principales provincias madereras del país. Se trata de un sector de fuerte capitalización nacional, con importante presencia de capitales transnacionales [23-25].

Por el contrario, la producción de muebles de madera, a diferencia de la producción forestal, se contrajo en forma sostenida a lo largo de las últimas décadas ya que esta actividad se ha visto afectada no sólo por la caída de la demanda doméstica, sino también, por el creciente flujo de las importaciones. La fabricación de muebles se concentra

en Buenos Aires (con un 36% de la producción) y en las provincias de Santa Fe y Córdoba. La totalidad de la cadena se aprovisiona con insumos locales, salvo algunos casos puntuales de fabricación de muebles de línea, que incorporan maderas importadas [26-28].

Actualmente, en el marco de la realización de construcciones que sean sustentables con el medioambiente, han aumentado los estudios y técnicas para realizar construcciones de viviendas realizadas completamente en madera [29-32]. Las casas de madera presentan la ventaja de ser una opción de viviendas más económica y más rápida de fabricar que el sistema tradicional de construcción húmeda, lo cual es un aporte importante en el ámbito social. Además se las considera más ecológica que la construcción convencional debido a que en estas se utilizan materiales no derivados ni del petróleo ni de la minería, son reciclables y biodegradables principalmente porque la madera disminuye el impacto ambiental con respecto a otros productos como el aluminio, hierro, cemento, ladrillos, plásticos, entre otros. Entre los tipos de madera que se dispone para construir una vivienda se encuentran las que provienen de bosques implantados de pino, eucaliptos, álamo, sauce, paraíso, entre otros.

Desde el punto de vista económico se conoce que el con el mismo costo de construcción de dos casas de material, se construyen tres casas de madera de iguales dimensiones y prestaciones, y con el tiempo que demanda edificar una de material, se terminan cuatro en eucaliptos y pino.

En el ámbito ecológico, también es relevante mencionar que las capas de madera que emplean estas casas aíslan térmicamente de manera más eficiente (seis veces más) que el ladrillo, lo que implica ahorro de energía tanto en calefacción como en refrigeración. También hay mayor ahorro de energía en la producción de los materiales a emplear.

Desde hace varios años, el INTA Concordia trabaja en el diseño de este tipo de casas junto con la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay. Cuentan además, con el sistema "know-how" que se adoptó tras la capacitación en el Emoiq, sigla en francés de la "École des Métiers et Occupations de l'Industrie de la Construction" de Quebec, Canadá. Los profesionales allí nucleados son especialistas líderes en este tipo de actividad ya que en su país, el 90% de las viviendas son de madera, con construcciones de hasta seis pisos. Las viviendas construídas con este sistema cuentan con el Certificado de Aptitud Técnica (CTA), que extiende la Subsecretaría de Vivienda de la Nación.

La última tendencia en construcción de madera en nuestro país es la de ladrillos fabricados con este material [33-36]. El sistema permite la construcción de una vivienda con ladrillos de madera y se conoce como BME (Bloques de Madera Encastrados), Figura 4. En éste tipo de construcción los bloques o ladrillos se superponen unos a otros unidos a través de listones o tarugos de madera y clavos metálicos, lo que garantiza una perfecta vinculación formando un entramado de madera y metal que finalmente se transforma en las paredes de la vivienda. Posteriormente, la madera es protegida con sellador de juntas elásticas asegurando la ausencia de filtraciones de aire o agua.

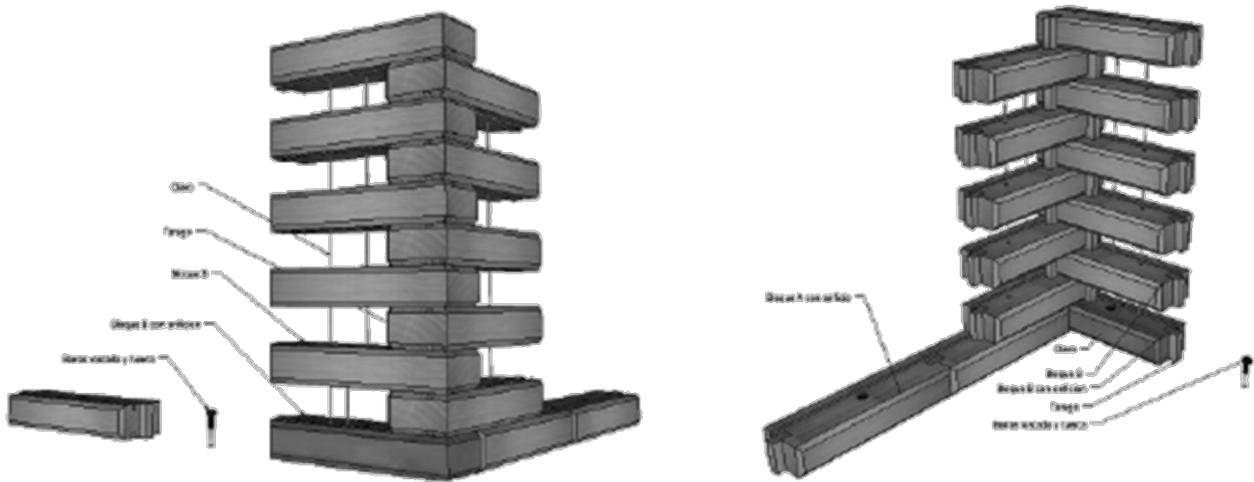


Figura 4. Tecnología de construcción con Bloques de madera encastrados (BME): los bloques o ladrillos se superponen unos a otros unidos a través de listones, tarugos de madera y clavos metálicos, lo que garantiza una perfecta vinculación formando un entramado de madera y metal que finalmente se transforma en las paredes de una vivienda.

Estos bloques son fabricados con madera de forestaciones de pino ponderosa en la Patagonia argentina; las principales ventajas que presenta su utilización son la rápida construcción, la resistencia en paredes portantes y no portantes, la disminución en las cargas de la edificación, no utiliza agua por lo que se obtiene una construcción con menor carga de humedad, ahorra tiempos en la construcción ya que no hay que esperar el fraguado de los materiales, reduce sustancialmente la generación de desperdicios en obra, reduce el esfuerzo físico de los obreros y por lo tanto las horas hombre, entre otros. Además, otorga beneficiosas cualidades a las edificaciones como la obtención de muros robustos, térmicos, acústicos, antisísmico, estéticos por las vetas naturales de la madera, no condensa la humedad, durables y son de fácil mantenimiento (por ejemplo barnizado).

Es importante remarcar que con el aumento de la tecnología de la madera, es importante que rijan antes que certifiquen el uso de la misma y controlen la explotación de este recurso natural. La certificación forestal es una herramienta que surgió hace unos 20 años a escala internacional y ya se ha posicionado como un valioso aporte al consumidor y a la sociedad para garantizar el origen responsable evitando así que haya tala de zonas o especies protegidas. Es decir que mediante prácticas cada vez más sustentables y certificadas por sosten ambiental, social y económico, garantizan acceder a un producto renovable y reciclable [36-38].

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, se concluye que el mercado maderero continúa en constante crecimiento y es juega un papel importante dentro de la industria Argentina [39]; los últimos datos de la FAIMA [4] indican que las Pymes madereras aumentaron su dotación de personal en un 9,86%, durante 2014. Unas 450 empresas del país respondieron las encuestas para el Anuario 2014 de la FAIMA que fue presentado recientemente, con datos que brinda una descripción sobre el escenario actual del sector. La principal fuente de este informe es el RIMRA [5] y como dato destacado, se dió a conocer que las empresas madereras aumentaron su dotación de personal en un 9,86%, durante el último período.

El Centro INTI-Maderas y Muebles llevó a cabo un relevamiento integral de los distintos tipos de maderas nativas del país, en función de su uso comercial, cifra que asciende a más de cien especies diferentes. El informe comprende los 17 usos de dicha materia prima y amplía qué tipo de madera es apta para cada producción. Uno de los objetivos principales de este estudio fue dar a conocer que en muchas regiones del país, se utilizan maderas sin saber cuáles son adecuadas para los usos que se les dan, siendo importante conocer que para cada tipo de uso, hay un tipo de madera específica y que en la Argentina existen muchas variedades acordes a cada necesidad [40].

En este punto la industria está en constante expansión y para que continúe así y mejore más aún se debe hacer

hincapié en la vinculación científico-tecnológica con la industria para aportar nuevas tecnologías y desarrollos según las necesidades, mejoramiento del producto final como así también aportar a la capacitación de los empleados en el sustrato industrializado para que puedan optimizar los pasos industriales y asegurar la máxima calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Scheffer, T.C., Morrell, J.J., 1998. Natural Durability of Wood: A Worldwide Checklist of Species. *Research Contribution 22*. Forest Research Laboratory, Oregon State University. pp 58.
- 2- Blanchette, R.A., Obst, J.R., Timell, T.E., 1994. Biodegradation of compression wood and tension wood by white and brown rot fungi. *Holzforschung* 48 (Suppl.), 34–42.
- 3.- Timell, T.E., 1986. *Compression Wood in Gymnosperms*, Vols. 1–3. Springer, Heidelberg, 2150 pp
- 4.- FAIMA, Federación Argentina Industria de la Madera y Afines, <http://www.faima.org.ar/>
- 5.- RIMRA (2014) Registro de la Industria Maderera de la República Argentina.
- 6.- Molchanov, A.A. (1963) *The hydrological role of forests*, 407 pp.
- 7.- Streck, C. and Scholz, S.M. (2006) The role of forests in global climate change: whence we come and where we go. *International Affairs*, 82 (5): 861–879.
- 8.- Campbell, B.M. and Luckert, M.K. (2002) Towards understanding the role of forests in rural livelihoods. People and Plants Conservation Series In: *Uncovering the hidden harvest: valuation methods for woodlands and forest resources*. London, UK, Earthscan Publications, pp. 1-12.
- 9.- Gustafsson, L. et al (2012) Retention Forestry to Maintain Multifunctional Forests: A World Perspective, *BioScience*, 62 (7): 633-645.
- 10.- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), *Inventario Nacional de Bosques Nativos, Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas*, <http://www.ambiente.gov.ar/>
- 11.- Brasier, G. (2004) *Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal al año 2020*. Informe Nacional N° 1. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. SAGPyA.
- 12.- Di Paola, M.M (2005) Expansión de la frontera agropecuaria, *Apuntes agroeconómicos*, Año 3, N° 4.
- 13.- Asociación Forestal Argentina (AFOA) <http://www.foa.org.ar/>
- 14.- The Nature Conservancy (TNC), <http://www.mundotnc.org/>
- 15.- Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA), <http://www.vidasilvestre.org.ar/>
- 16.- Pengue, W. (compilador) 2008. La apropiación y el saque de la naturaleza, Fundación Heinrich Böll, GEPAMA.
- 17.- Majada, J., et al. (2013) Innovación de procesos y productos en el sector de la madera, *6º Congreso Forestal Español*, Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- 18.- Shackelford, J.F. (2005), *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*, Pearson Alhambra. 84-205-4451.
- 19.- Jiménez, F; Vignote, S (2000) *Tecnología de la Madera*, 2º Edición, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica Madrid, España.
- 20.- Callister, W.D. (1997) *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Barcelona: Editorial Reverté, S.A.,
- 21.- Kúdela, J. and Babiak M. (2012) *Wood the Best Material for Mankind*, Arbora Publishers, Zvolen, Slovakia, 1.
- 22.- United Nations Economic Commission for Europe (2006) Forest Products Annual Market Review UNECE/FAO Timber Section United Nations Publications Sales No. 06. II.E.11, 142 pp.

- 23.- Maslaton, C. (2005) Potencial del complejo maderero argentino. Propuestas para el desarrollo de la cadena madera-muebles y su inserción en el mercado mundial. *Documento de trabajo N° 2*. INTI. 95 pp.
- 24.- Martínez Nogueira, R. (1994) Empresas familiares: una mirada multidisciplinaria. Diagnóstico y Análisis organizacional. *Alta Gerencia N° 37*. Año I. Tomo II, 37-50.
- 25.- Kiely, R. (1995) *Sociology and development. The impasse and beyond*. Londres. University College of London Press.
- 26.- Bercovich, N. (2000) *Evolución y Situación Actual del Complejo Forestal en Argentina*. División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID/IDRC)
- 27.- Montalba Navarro, R, Carrasco Henríquez, N. y Araya Cornejo, J. (2005) Contexto económico y social de las plantaciones forestales en Chile. El caso de la Comuna de Lumaco, región de la Araucanía. *Movimiento mundial por los Bosques Tropicales*. Ed. Rosgal. 72 pp.
- 28.- Valtriani, A. (2008) Modelos de desarrollo forestal, sus conflictos y perspectivas en el sector de micro PyMEs forestales. Estudio de caso en la región noroeste y centro de la provincia del Chubut, Tesis doctoral en Economía, Universidad de Buenos Aires, 2206–2214.
- 29.- Vishal Puri, Pradipta Chakraborty, Swapan Majumdar (2014) A Review of Low Cost Housing Technologies in India *Advances in Structural Engineering*, 1943-1955.
- 30.- Sánchez Acosta, M., Keil, G. y Barros, J. (2015) La construcción en madera potencia la cadena forestal, nota diario la nación del 24 de enero de 2015, sección campo, página 6.
- 31.- Sánchez Acosta, M. M., Servin, A., Yelín, N., Garnier, R. (2011) Casa canadiense de madera de eucalipto de interés social en Concordia. Etapa II. Proyecto “Un techo digno para todos”, *XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos*, Concordia, Entre Ríos, 20 y 21 de Octubre de 2011 actas, Asociación Ingenieros Agrónomos del Nordeste de Entre Ríos, Sección VII, 1-18.
- 32.- Steiger, L., Hugues, T., Weber, J. (2009) *Construcción con madera. Detalles, productos, ejemplos*, Editorial Gustavo Gili, España, 110 pp.
- 33.- Domuyo Arq S.A. (2011) artículo diario Rio Negro, sección municipales.
- 34.- MADEWORK (2015) *Sistemas BME para construcción de cabañas*, <http://brickma.com.ar/>
- 35.- Giallatini Durand, E. (2013) *Certificado de aptitud técnica de BME* UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, 104 pp.
- 36.- CADAMDA (Cámara de la Madera) *Revolución de la construcción sostenible tiene a la madera como protagonista*, <http://maderayconstruccion.com.ar/>
- 37.- World Wildlife Found, Informe de 2001.
- 38.- Tamarit U., J.C., 2003, Análisis del escenario de la certificación forestal en el contexto del desarrollo sustentable, *Madera y Bosques*.
- 39.- Maslatón, C. (2011) Plan Estratégico Industrial-Argentina 2020, *INTI-Economía Industrial*, 41p.
- 40.- <http://www.inti.gob.ar/maderas/caracterizacion.htm>

# AGENTES DE DETERIORO BIOLÓGICO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGONES UBICADAS EN HUMEDALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Rosato, Vilma Gabriela, García, Renato Andrés

## INTRODUCCIÓN

Las estructuras de hormigón, como cualquier construcción, están sujetas al deterioro causado por el ambiente, incluyendo el crecimiento de diversos organismos, como cianobacterias, microalgas, hongos, líquenes, musgos y plantas. En el caso de la Provincia de Buenos Aires se encuentran diversidad de ambientes que influyen en el tipo de organismos que podrán desarrollarse sobre las construcciones. En otros trabajos anteriores se analizaron estructuras ubicadas en ambientes marinos, serranos, rurales y urbanos [1, 2, 3]. La mayor variedad de especies en el centro de la Provincia y el área serrana, y la menor, en las áreas urbanas (lo que se atribuye a la contaminación por el tránsito y la industria). También llama la atención la baja diversidad hallada en las zonas marinas.

En este trabajo se inspeccionaron diversas estructuras como puentes, espigones y defensas costeras de la localidad de Punta Lara (Partido de Ensenada, Prov. de Buenos Aires), sobre la costa de Buenos Aires. También se examinó un puente sobre el Canal 1, en las proximidades de su desembocadura en la Bahía de Samborombón, construido en 1971 en un ambiente rural en el partido de Tordillo, con el fin de observar y comparar los distintos organismos que se hallan en cada ambiente.

## METODOLOGÍA

Se realizaron inspecciones visuales, relevamientos fotográficos y muestreos en distintos puntos de la localidad de Punta Lara: puentes sobre el arroyo Doña Flora, arroyo Miguelín, canal del arroyo El Gato canal del Arroyo Rodríguez y del Arroyo Villa Elisa, las defensas de la costa, y espigón del Club Universitario (ex Jockey Club) construidos en la década de 1940. Se inspeccionó, además, el puente-esclusa sobre el Canal 1, en el Partido de Tordillo.

### 2.1 Descripción de la zona de estudio

Punta Lara: es un balneario popular del Partido de Ensenada, ubicado a orillas del Río de La Plata y a 10 km de La Plata, capital de la Provincia. En 1941, para dar impulso al turismo, se desarrolla el centro cívico con la escuela, la comisaría, la iglesia Stella Maris y se construye la sede balnearia del Jockey Club La Plata, que además de la pileta y demás instalaciones deportivas, cuenta con un espigón de pesca [4]. Todos estos desarrollos y el posterior crecimiento de la población requirieron la construcción del camino costanero “Almirante Brown”, que cruza los arroyos y canales antes citados y que, debido a las frecuentes crecidas y temporales, está protegido por muros de defensa (Figuras 1 a 8).



Figura 1: Puente sobre el arroyo Doña Flora.



Figura 2: Puente sobre el canal del arroyo El Gato.



Figura 3: Puente sobre el canal del Arroyo Rodríguez



Figura 4: Puente sobre el Arroyo Miguelín



Figura 5: Puente sobre canal del Arroyo Villa Elisa (Boca Cerrada).



Figura 6: Muralla de defensa (Boca Cerrada).



Figura 7: Muralla de defensa sobre la Av. Costanera.



Figura 8: Espigón del Club Universitario (Ex Jockey Club).

La otra construcción objeto de estudio es el puente- esclusa del canal 1, en la zona rural de Tordillo, que forma parte de un camino vecinal, y que cumple además la función de esclusa reguladora (Figura 9 ).

### Ensayos tecnológicos

Se midieron la profundidad de carbonatación mediante la técnica de teñido con solución alcohólica de fenoltaleína

al 10%, el porcentaje de absorción de agua a 24 horas en muestras de hormigones de las murallas de las defensas costeras de Boca Cerrada y del puente de Canal 1.

### Identificación de los organismos

Se colectaron muestras de los organismos hallados, cuyas características fueron observadas con microscopio estereoscópico y óptico, que fueron utilizadas para identificarlos mediante las claves correspondientes [5, 6, 7, 8]. Una vez identificados, se tomaron en cuenta diversas características (porte, velocidad de crecimiento, presencia de raíz, reproducción por vástagos, etc.) y se obtiene el índice de peligrosidad [9,10]



Figura 9: Puente esclusa sobre Canal 1 (Tordillo)

## RESULTADOS

### Caracterización de los materiales

Los resultados se presentan en la tabla 1. Se observa que son de poca densidad y porosos, por lo que absorben gran cantidad de agua.

	Densidad	% Abs. Agua (24 h)	Porosidad (%)
Boca Cerrada	2,1	11,54	24
Canal 1	1,9	13,36	25

Tabla 1. Características de los morteros analizados

### Identificación de los organismos

Los organismos hallados, pertenecientes a 14 especies, se indican en la tabla 2. Estas especies incluyen algas (*Chlorococcales*- “Verdín”), ocho especies de líquenes (*Caloplaca austroclitina*, *Caloplaca teicholyta*, *Candelaria concolor*, *Lecanora albescens*, *Lecanora dispersa*, *Lecanora muralis*, *Staurothele monosporoides* y *Xanthoparmelia farinosa*) musgos y cuatro especies de plantas (*Brassica nigra* “nabiza”, *Ipomoea cairica* “campanilla alilada”, *Tillandsia aëranthos* o “clavel del aire”, *Taraxacum officinalis* o “diente de león” y *Gramineae* o “hierbas”).

Como ya se observó anteriormente, el líquen *C. austroclitina* es la especie más ubicua, ya que está en todos los lugares excepto en el puente del canal del arroyo El Gato. Por el contrario, otras especies como *Caloplaca teicholyta*, *Candelaria concolor*, *Lecanora albescens*, *L. dispersa*, *L. muralis* y *Xanthoparmelia farinosa* sólo aparecen en un solo lugar cada uno. Esto es diferente a

lo visto anteriormente en puentes de la zona costera [2], donde siempre aparecían juntos *Caloplaca austroclitina* (como *C. citrina*), *Caloplaca holocarpa* y *Lecanora albescens*.

*Xanthoparmelia farinosa* es la única especie foliosa (con aspecto de hoja), hallada en el espigón del Club Universitario. En el Puente “La Postrera” [1, 2] se hallaron también líquenes foliosos e incluso fruticulosos (con aspecto de pequeños arbustos), pero este puente se halla en una zona de bosques de tala (*Celtis spinosus*), y además, los líquenes fruticulosos se hallaron en las barandas de metal.

En cuanto a *Staurothele monosporoides*, se halló en cuatro de los lugares. Esta especie se ha encontrado también en otros puentes y en el dique de Tandil [11], indicando una preferencia por lugares húmedos. Lo mismo puede decirse de los musgos: están en los lugares más sombreados y húmedos.

Con respecto a las plantas, llama la atención la presencia de *Ipomoea cairica* (“campanilla alilada”), enredadera perenne de rápido crecimiento, y de *Tillandsia aëranthos* (“clavel del aire”), que, aunque son comunes, no se habían hallado con anterioridad en otros puentes. Este hecho tiene que ver probablemente con las condiciones de sombra y humedad: los puentes donde se hallaron están resguardados por árboles, tal como se puede observar en las figuras 1, 2, 3.

En el puente-esclusa de canal 1, las plantas halladas son *Brassica nigra*, y *Gramineae*, que se corresponden con la vegetación común de esa zona rural. *B. nigra*, al igual que *T. officinalis*, son hierbas de rápido crecimiento y raíces robustas.

	Puente A. Doña Flora	Puente C. A. El Gato	Puente canal A. Rodríguez	Muros (1ª. Rotonda)	Puente A. Miguelín	Puente C. Villa Elisa	Boca Cerrada (Muros )	Espigón del Club Universitario	Puente esclusa del C. 1
<i>Chlorococcales (algas)</i>				X			X		
<i>Caloplaca austroclitina</i>	X		X	X	X	X	X	X	X
<i>Caloplaca teicholyta</i>						X			
<i>Candelaria concolor</i>								X	
<i>Lecanora albescens</i>								X	
<i>Lecanora dispersa</i>									X
<i>Lecanora muralis</i>									X
<i>Staurothele monosporoides</i>			X	X	X	X			X
<i>Xanthoparmelia farinosa</i>								X	
Musgos	X	X					X		
<i>Brassica nigra</i>									X
<i>Ipomoea cairica</i>	X	X							
<i>Tillandsia aëranthos</i>		X	X						
<i>Taraxacum officinalis</i>	X								
<i>Gramineae</i>									X

Tabla 2. Organismos hallados



Figura 10: *Ipomoea cairica*



Figura 11: Musgos



Figura 12: *Tillandsia aëranthos*

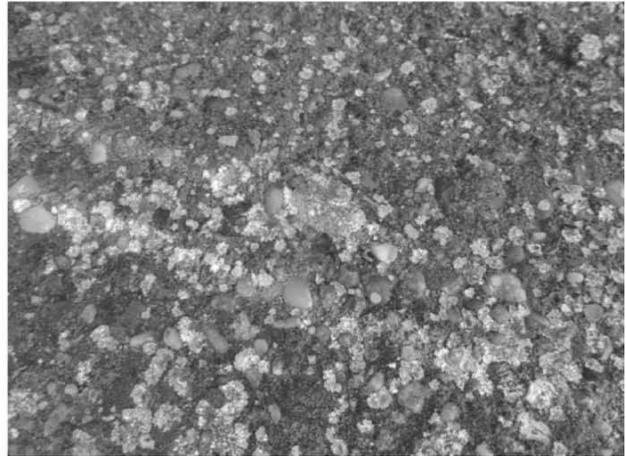


Figura 13: *Caloplaca teicholyta*



Figura 14: *Caloplaca austroclitina*



Figura 15: *Brassica nigra*

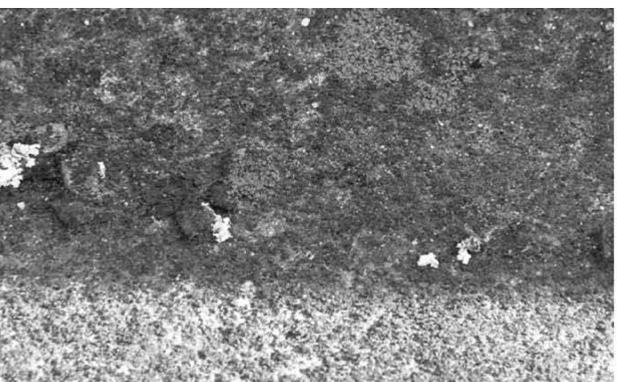


Figura 14: *Xanthoparmelia farinosa*

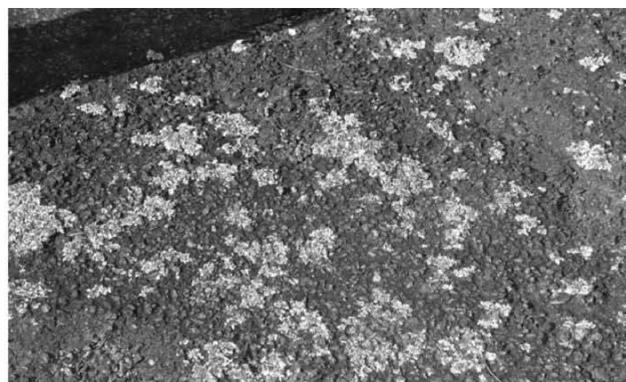


Figura 15: *Caloplaca cinnabarina*

Los índices de peligrosidad se indican en la tabla 3. Los líquenes se agruparon en una única categoría, ya que todos tienen el mismo valor. Como se observa, algas y líquenes tienen un índice bajo, mientras las plantas tienen un índice medio (4-5), debido a que crecen con rapidez y tienen raíces con gran desarrollo, capaces de agrandar fisura y causar daños estructurales.

## CONCLUSIONES

Se halló una mayor diversidad de organismos en el área costera tomada como un todo, debido a condiciones más húmedas y sombreadas. No hay mayores diferencias en cuanto a especies de líquenes, siendo más pobre el área rural.

En ambos casos, se nota una mala calidad de los materiales, con elevada absorción de agua y porosidad, lo que hace más fácil el desarrollo de los líquenes y plantas.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Rosato, V.G. Lichens found on “La Postrera” bridge across Salado River, Chascomús (Buenos Aires Province). En: M. Ribas-Silva (Ed.): *Microbial Impact on Building Materials. Proceedings of the International RILEM Conference:77-83*. Lisboa, Portugal, 8-9 de septiembre de 2003.
- 2.- Rosato V. G. and Traversa L. P. “Lichens on road bridges located in urban, rural and coastal environments of Buenos Aires”. Ponencia. Workshop. Moema Ribas Silva, Ed: *Proceedings II RILEM International Workshop on Microbial Impact on Buildings and Building Materials*, Vitória, Brasil, 7-9 de julio de 2004.
- 3.- Rosato, V. G. “Agentes de deterioro biológico en ambientes rurales, urbanos y costeros de la Provincia de Buenos Aires.” *Ciencia y Tecnología del Hormigón*. 12: 25-29 (2005)
- 4.- Delâge R., Lofeudo R. and Rosato V. G. Estado de conservación del edificio ex Jockey Club de la Provincia de Buenos Aires en Punta Lara, Ensenada. *Ciencia y Tecnología de los Materiales* 1: 50-61 (2011)
- 5.- Poelt, J. *Bestimmungsschlüssel der europäischen Flechten*. Cramer, Lehre. 1969
- 6.- Osorio, H.S. Apuntes de liquenología y clave para los géneros de líquenes de los alrededores de Buenos Aires. *Sociedad Argentina de Botánica, Notas Botánicas*, 1 (1977)
- 7.- Lahitte H. B. and Hurrell J.A. *Plantas de la costa. Las plantas nativas y naturalizadas más comunes de las costas del Delta del Paraná, Isla Martín García y Ribera Platense*. L.O.L.A. (Literature of Latin America), Buenos Aires (1997)
- 8.- Cabrera A. L. and Zardini E.. *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires*. Editorial ACME, Buenos Aires (1978)
- 9.- Signorini M. A. Lo studio e il controllo della vegetazione infestante nei siti archeologici. Una proposta metodologica. In Marino L., Nenci C. (Eds.), *L'area archeologica di Fiesole. Rilievi e ricerche per la conservazione*. Alinea ed., Firenze: 41-46. (1995)
- 10.- Signorini M.A L'indice di pericolosità: un contributo del botanico al controllo della vegetazione infestante nelle aree monumentali. *Inf. Bot. Ital.*, 28 (1): 7-14 (1996)
- 11.- Rosato, V. G. and Traversa, L.P. Lichen growth on a concrete dam in a rural environment (Tandil, Buenos Aires Province, Argentina). *Proceedings of the 1st. International RILEM Workshop Microbial Impact on Building Materials*. Sao Paulo, 6-7 de julio de 2000. publicado en CD.

	Índice de peligrosidad
<i>Chlorococcales</i> (algas)	1
Líquenes	2
Musgos	2
<i>Brassica nigra</i>	5
<i>Ipomoea cairica</i>	5
<i>Tillandsia aëranthos</i>	4
<i>Taraxacum officinalis</i>	5
<i>Gramineae</i>	4

Tabla 3. Índice de peligrosidad de las especies halladas (los líquenes se agruparon como categoría única)



# EL ÍNDICE DE PELIGROSIDAD DE LAS PLANTAS Y SU APLICACIÓN A EDIFICIOS DEL PATRIMONIO DE LA PLATA

Rosato, Vilma Gabriela; García, Renato Andrés

## INTRODUCCIÓN

Todo organismo tiende a modificar el medio donde se encuentra para obtener nutrientes, indispensables para su desarrollo normal [1]. En el caso de los muros de las edificaciones la vegetación los usa como sustrato, esto conlleva a que los organismos ataquen el material al igual como lo harían con un sustrato natural, este ataque que recibe puede ser clasificado en dos componentes que forman parte de un mismo proceso [2].

El ataque físico es el más conspicuo: lo llevan a cabo con las estructuras de fijación (raíces, ricines, rizomas, hifas), que penetran en el material con el fin de fijar al organismo, produciendo fracturas o utilizando las ya existentes. En cualquier caso el crecimiento del organismo es acompañado por el aumento de tamaño de sus estructuras de fijación lo que profundiza y ensancha la fractura aumentando el daño al material, pudiendo producir desprendimientos y daños estructurales. Además esto expone el interior del material a las condiciones climáticas y en estas fracturas se van acumulando sedimentos, lo que facilita la colonización de la estructura por parte de otros organismos, aumentando el deterioro.

En conjunto con el ataque físico, se lleva a cabo un ataque químico: además de penetrar en el material las estructuras de fijación liberan sustancias ácidas para solubilizar nutrientes y para facilitar la penetración en el sustrato. Si bien este ataque no puede producir daños de tanta importancia como el producido por el anteriormente mencionado puede ocasionar deterioro del aspecto y desgastando el material.

Para poder estimar el daño físico-mecánico que las plantas pueden llegar a ocasionar sobre las estructuras se utiliza un índice que mide el daño o "peligrosidad" que cada especie puede producir, mediante el método desarrollado por Signorini [3]. Éste estandariza las características morfológicas de las plantas, de importancia en el deterioro, y como resultado nos da una estimación de la peligrosidad que cada especie puede tener, permitiéndonos evaluar la situación de cada edificio según la vegetación que esté creciendo sobre el mismo y permitiéndonos seleccionar medidas de control adecuadas focalizándolas en las plantas que puedan ocasionar mayor daño. Este índice ha sido utilizado para la evaluación de la conservación de zonas arqueológicas [4] como así también en la intervención de edificios de valor patrimonial [5].

En Argentina esta metodología ha sido empleada por García & Rosato [6], en donde los autores hacen notar la utilidad y practicidad del mismo del mismo además de comprobar que puede ser claramente aplicado a la

vegetación que se encuentra en la zona.

Este trabajo tiene como objetivo explicar la metodología y la utilización del índice de peligrosidad, como así también difundirlo en la comunidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método desarrollado por Signorini (1996) utiliza caracteres morfológicos de fácil identificación para la descripción del efecto (peligrosidad) que las plantas tendrán sobre la estructura. La tabla presenta tres columnas cada una con una característica diferente, a su vez cada columna esta subdividida, cada subdivisión presenta un valor asignado en forma creciente según el daño que pueda causar (mientras más agresiva para la superficie mayor será su valor), para la obtención del índice se escoge una característica en la primera columna, las opciones de la segunda y tercer columna están sujetas a la elección precedente, a continuación se describe brevemente el contenido de la tabla:

En la primera columna la característica principal es el tipo biológico y tiene 6 subdivisiones, cada una con un valor de 0 a 6, según la importancia que tengan en el riesgo para la estructura. El valor 0 corresponde a las plantas anuales debido a que los tejidos que forman el organismo son endebles y de poco tamaño ya que el mismo sólo vive un año, mientras en el otro extremo tenemos a los árboles con el valor más alto de 6 ya que sus estructuras (tallo y raíces) son leñosas, tienen una vida prolongada y pueden alcanzar un gran tamaño.

En la segunda columna tiene como característica la invasividad y vigor: dentro de esta columna tenemos hasta un máximo de 3 subdivisiones que poseen valores entre 0 y 2. En éstas se evalúa el desarrollo, su forma de crecimiento y en las leñosas también se agrega la presencia de vástagos. Las formas menos invasivas tienen un valor de cero y las más invasivas un valor mayor.

La tercera columna categoriza el aparato radical, aquí encontramos tres subdivisiones con valores de 0 a 2. En las plantas herbáceas se evalúa la presencia de un eje central en el aparato radical (raíz axonomorfa), si es débil o robusto. Mientras en las plantas leñosas la invasividad del mismo, poco, medianamente o muy invasivo.

Una vez obtenidos los valores de las tres columnas para una determinada especie, se suman los mismos obteniendo el índice de peligrosidad, para una interpretación más sencilla existen tres categorías dependiendo el valor obtenido: de 0 a 3 son especies poco peligrosas; de 4 a 6 peligrosidad media; de 7 a 10 con alta peligrosidad.

## LUGARES MUESTREADOS

### MUSEO DE CIENCIAS NATURALES

Fue proyectado en 1884 por los Arquitectos Heynemann y Äberg, sobre modelos de museos europeos y terminado de construir en 1889. Hay dos características que resaltar: fue concebido como Museo para albergar la colección del Perito Francisco Moreno, con un plan que reflejaba la visión evolucionista, y su estilo es neoclasicista ecléctico, ya que toma detalles del arte americano precolombino inspirándose en las civilizaciones maya, azteca, diversas culturas peruanas y argentinas, combinándolos con columnas corintias. También destacan las esculturas representando dos *Smilodon* (Tigre diente de sable) y el relieve del frontis, obra del artista italiano Víctor de Pol, que representa al Conocimiento con su antorcha en alto, recorriendo el velo de la ignorancia que cubre al mundo. Declarado MHN, es de enorme valor no sólo por la antigüedad y belleza del edificio, sino también por las exhibiciones y colecciones que alberga.



Figura 1: Museo de Ciencias Naturales de La Plata

### PALACIO MUNICIPAL

Este edificio, de estilo renacentista alemán, se destaca por su torre, símbolo de los ayuntamientos europeos. Se caracteriza por su sobria grandiosidad pudiendo asegurarse que es el edificio municipal más lujoso de sus similares en América Latina. En un principio estuvo rodeado de verjas artísticas, común en aquella época, que en 1910 fueron quitadas quedando convertido, en lo que es hoy, con sus magníficos jardines integrados a los espacios verdes de la ciudad. Su construcción comenzó en junio de 1883 y se terminó, salvo detalles, en el año 1886, habiéndose habilitado la planta baja en agosto de 1884, lo que nos hace comprender la rapidez y deseos de concluir cuanto antes con los trabajos iniciados. Los planos fueron elegidos por un Concurso Internacional el 6 de mayo de 1881. Fue proyectado por el Arq. Huberto Stiers, Hannover (Alemania), quien obtuvo además el premio destinado por el Gobierno al mejor proyecto. Los cimientos de este edificio fueron abiertos por el empresario Bertelli, la obra se llevó a cabo bajo la supervisión del Arq. Ernesto Meyer, el cual se encontraba en La Plata, como representante técnico de su colega y compatriota Huberto Stiers. En su parte posterior, se puede distinguir claramente su estilo y similitud al Palacio de Versalles. Ocupa una superficie de 14.400 m<sup>2</sup>, incluyendo los jardines.



Figura 2: Palacio Municipal de La Plata

### IGLESIA Y CONVENTO DE SAN FRANCISCO

En 1884, a dos años de fundada la ciudad de La Plata, la Orden Franciscana realizó gestiones para que el gobernador Dardo Rocha cediera una manzana de terreno a los fines de construir un complejo conformado por una iglesia, un convento y una escuela. Tras la presentación y aprobación de los planos confeccionados por el arquitecto francés León Meusnier se inician las obras en etapas y con modificaciones dados los problemas presupuestarios por la magnitud del complejo que, pese a las dificultades y demoras, se completó gracias a las donaciones y los fondos obtenidos por la Orden, contando con mano de obra local y el trabajo de los mismos frailes. El templo fue reconstruido a raíz de un incendio hacia 1902 y modificado por el Ingeniero Botillana y el arquitecto Cioccini, entre otros.



Figura 3: Fachada de la Iglesia de San Fco. de La Plata

En virtud de la ley 8.571 fue declarado Monumento Histórico Provincial en 1975 por haberse celebrado allí el matrimonio del entonces Coronel Juan Domingo Perón con María Eva Duarte el 10 de diciembre de 1945, asentado en el libro de actas de la parroquia. Dicha ley fue derogada por el gobierno militar, pero luego restablecida en 1987 por el gobernador Antonio Cafiero. A través del decreto 1617, publicado en el Boletín Oficial el 14 de Octubre de 2011, la presidente Cristina Fernández de Kirchner lo declaró Monumento Histórico Nacional.

presentes y los demás microorganismos, por lo que ahora se mencionan las plantas observadas en diversos monumentos y mausoleos.

### CEMENTERIO MUNICIPAL DE LA PLATA

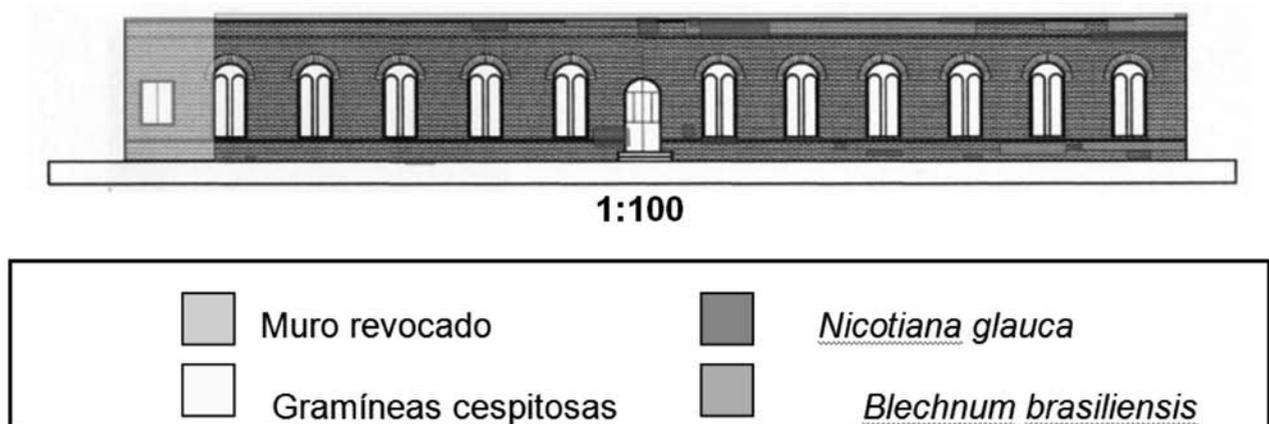
El portal neoclásico construido en 1887 y la planificación fueron obra del arquitecto Pedro Benoit, quien, al igual que lo hizo en la ciudad, utilizó un esquema en damero atravesado por diagonales, con plazas y avenidas. El predio incluye diversas bóvedas, mausoleos y monumentos de interés artístico, arquitectónico e histórico que merecen ser resguardadas, especialmente las que revelan simbolismos masónicos y las de inspiración egipcia. En trabajos anteriores, se hicieron estudios sobre los líquenes



Figura 4: Portal del Cementerio Municipal de La Plata

Especie \ Lugar	Índice de Peligrosidad	Iglesia y Convento de San Francisco	Municipalidad de La Plata	Museo de Ciencias Naturales	Cementerio
Cianobacterias	1	X	X	X	X
Algas Clorococcales	1	X	X	X	X
Líquenes	2	X		X	X
Musgos	2	X		X	X
<i>Tillandsia aëranthos</i>	4				
Asteraceae	4	X		X	X
Gramíneas		X			X
<i>Microgramma mortoniana</i>	5			X	
<i>Pteris longifolia</i>	5	X	X	X	X
Gramíneas	4				
<i>Aeonium arboreum</i>	5			X	
<i>Casuarina sp</i>	7				X
<i>Tilia moltkei</i>	7				X
<i>Nicotiana glauca</i>	8	X	X		X

Tabla de las especies observadas, lugares de hallazgo e índice de peligrosidad.



Zonificación de especies existentes en el convento de San Francisco

### **Helecho (*Pteris longifolia*)**

Planta pequeña epífita, de hasta 90 cm, aparato radical denso con numerosas raíces que no penetran a gran profundidad, sino que se adhieren superficialmente, utiliza grietas preexistentes para su anclaje a la superficie. Se la puede encontrar sobre troncos y es muy común encontrarla sobre muros en toda la zona. (Figura 5)

### **Palán palán (*Nicotiana glauca*)**

Arbusto leñoso perenne de 2 a 4 mts, aparato radical con gran desarrollo pudiendo alcanzar una profundidad considerable, se reproduce vegetativamente por estolones radicales. Es una planta nativa de zonas montañosas adaptada a crecer en suelos rocosos, también se la encuentra adventicia en regiones cálidas de todo el mundo y es muy común encontrarla creciendo sobre muros. (Figura 6)

### **Clavel del aire (*Tillandsia aeranthos*)**

Pequeña planta herbácea epífita con hojas arrosetadas de 6 cm de largo, las raíces son numerosas y pequeñas y no penetran en el sustrato sino que se adhieren superficialmente. Durante la primavera da flores con pétalos de color lila y extremo azul. Es común encontrarla adherida a diversos tipos de sustratos. (Figura 7)

### ***Microgramma mortoniana***

Planta herbácea de pequeño porte hojas de hasta 7 cm de

largo, el aparato de fijación está constituido por pequeñas raíces de hasta 4mm de diámetro. Comúnmente se la encuentra sobre troncos de árboles. (Figura 8)

### **Siempre verde (*Aeonium arboreum*)**

Pequeño arbusto perenne de hasta 1mts de altura, el tallo es poco ramificado y remata en una roseta de hojas, las raíces son numerosas pudiendo formar una gran masa. En esta zona se cultiva como ornamental. (Figura 9)

### **Trébol amarillo (*Melilotus officinalis*)**

Hierba anual o bianual de pequeño porte, hasta 80 cm, las raíces son numerosas, todas derivadas de una raíz principal de mayor tamaño. (Figura 10)

### **Casuarina sp.**

Árbol de gran porte que alcanza entre 25-30 mts, tiene un rápido desarrollo en buenas condiciones de hasta 1 m por año, con raíces numerosas, leñosas y gran desarrollo superficial; por este motivo se utiliza para la fijación de terrenos y como ornamental (Figura 11).

### **Tilo (*Tilia moltkei*)**

Árbol de hojas caducas de 10-12 mts de alto, con un crecimiento lento, presenta una raíz principal de gran tamaño de la que se surgen raíces leñosas de menor tamaño. Plantado como ornamental en la zona (Figura 12).



Figura 5: Helecho (*Pteris longifolia*)



Figura 7: Clavel del aire (*Tillandsia aeranthos*)



Figura 6: Palán palán (*Nicotiana glauca*)

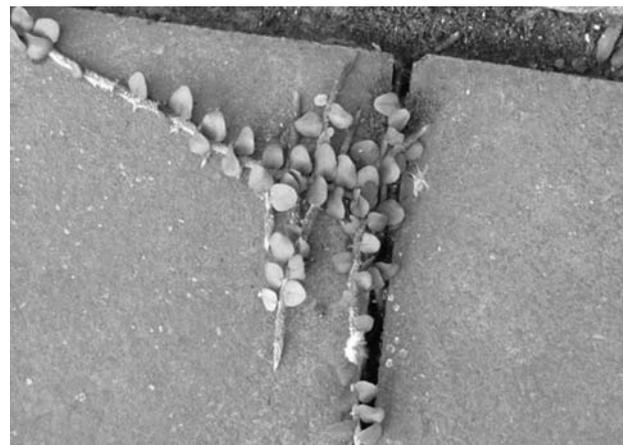


Figura 8: *Microgramma mortoniana*



Figura 9: Siempre verde (*Aeonium arboreum*)



Figura 11: *Casuarina* sp.



Figura 10: Trébol amarillo (*Melilotus officinalis*)



Figura 12: Tilo (*Tilia moltkei*)

## CONCLUSIONES

El Índice de peligrosidad ha demostrado ser una herramienta útil, debido a su sencilla metodología y a su escala de valores lo que lo convierte en un método de rápida y eficaz aplicación al momento de evaluar el deterioro de las estructuras por las plantas. Aunque también hay que remarcar que debido a las características que la tabla utiliza para dar los valores de peligrosidad y a la necesidad de reconocer a las especies, para una

aplicación más eficiente que están causando el deterioro el índice debe ser aplicado por personal especializado con conocimiento en morfología y clasificación de plantas. En este caso, se aplicó para caracterizar a las especies que afectan los monumentos en el área de La Plata, hallándose plantas autóctonas como los helechos *Pteris longifolia* y *Microgramma mortoniana* a la par de otras como *Casuarina* sp., *Tilia moltkei* y *Aeonium arboreum* que son cultivadas como ornamentales y se observaron por primera vez creciendo sobre monumentos.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- M. Begon, J. L. Harper y C. R. Townsend: *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Sci., Oxford (1996).
- 2.- C. C. Dewey: *An investigation into the effects of an herbicide on historic masonry materials*. Faculties of the University of Pennsylvania in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science (1999).
- 3.- M. A. Signorini: L'indice di pericolosità: un contributo del botanico al controllo della vegetazione infestante nelle aree monumentali. *Informatore botanico italiano*, 28 (1), (1996), pagg. 7-14.
- 4.- T. Matteini: La vegetazione nel disegno dei paesaggi archeologici. *Ricerche per la progettazione del paesaggio* (2006) – numero 3 – vol 3.
- 5.- E. Zanotti: Flora vascolare della rocca sforzesca e della cerchia muraria di Soncino (Cremona). *PIANURA- N. 10* (1998) p. 113-145.
- 6.- R. García & V. G. Rosato: Organismos hallados en muros de mampostería de ladrillos. *2 Congreso Iberoamericano y X Jornada "Técnicas de restauración y conservación del patrimonio"* 14, 15 y 16 septiembre de 2011 La Plata-Argentina.



# DETERIORO BIOLÓGICO DE UN PUENTE DE MADERA EN ATALAYA (PARTIDO DE MAGDALENA) Y LA POSIBILIDADES PARA SU RECUPERACIÓN

Rosato, Vilma Gabriela; Barreda, Marcelo; Traversa, Luis Pascual; Gómez Zardi, José

## INTRODUCCIÓN

Los puentes tienen como función principal unir dos puntos que están, por lo común, a ambos lados de un río o un arroyo, pero además, en muchos casos, adquieren un valor patrimonial por su antigüedad, o por su valor arquitectónico. En algunos casos, ya forman parte del paisaje y se transforman en imágenes que identifican al lugar, contribuyendo a darle identidad. En consecuencia, toda tarea de mantenimiento y conservación debe asegurar buenas condiciones de funcionamiento y también resguardar el valor histórico y patrimonial. Para cumplir estos objetivos, se deben proteger las estructuras de los diversos factores que las deterioran y afectan su durabilidad, como la humedad y las precipitaciones, la contaminación del agua o la atmósfera, el agua salada del mar y la presencia de nieblas salinas. También se debe considerar la acción de seres vivos como líquenes y musgos, que no son capaces de generar un daño estructural importante, pero sí alteran la estética, tal como ya se ha observado en otros trabajos [1] [2].

La situación es distinta cuando se trata de puentes de madera, porque éste es un material de origen orgánico y biodegradable. Entre los organismos que afectan la madera tenemos los insectos y muy especialmente los hongos, causantes de las llamadas pudriciones.

Se distinguen tres tipos principales de ataque [3]:

*Pudrición parda:* el hongo tiene enzimas del grupo de las celulasas y degrada la celulosa, dejando la lignina. La madera queda resquebrajada y parda, de ahí el nombre.

*Pudrición blanca:* el hongo degrada la lignina y queda la celulosa. La madera se vuelve blanca y quebradiza como un papel.

*Pudrición blanda:* causada por mohos que penetran en el interior de las células que forman las fibras, atacan la pared y causan de ese modo el reblandecimiento de la maderas.

En este caso, sí existe pérdida de resistencia mecánica del material, que compromete la estructura. Éste es un factor que se debe tener en cuenta sobre todo con los puentes, ya que están en ambientes con humedad, e incluso las columnas pueden estar hundidas en el agua, situaciones que favorecen el desarrollo de los hongos.

Este trabajo presenta la situación en que se encuentra el puente de estructura mixta de madera, acero y tablero de hormigón, que cruza el Arroyo Buriñigo a la altura de la localidad de Atalaya, además de sugerir ideas para una

posible puesta en valor y recuperación del mismo

## Materiales y métodos

Se efectuó una inspección visual y un relevamiento fotográfico del puente. Se tomaron muestras de agua del arroyo que se utilizaron para medir pH, conductividad y presencia de sulfatos. Otra muestra de agua se recogió en un recipiente estéril y luego se repartió en cápsulas de Petri estériles a las que se les agregaron trocitos de madera balsa autoclavada. Con este ensayo se buscó determinar la presencia de hongos acuáticos o esporas que pudieran dispersarse con la corriente de agua. También se desprendieron pequeños trozos de madera del puente, que luego se colocaron en cápsulas de Petri con medio nutritivo de agar- maltosa para identificar las especies de hongo que presumiblemente afectan al puente. Tanto las muestras de agua como las de agar se incubaron a temperatura ambiente para que los organismos que se desarrollaran lo hicieran en condiciones más semejantes a las reales.

## RESULTADOS

El puente de madera de Atalaya (Partido de Magdalena): Historia y descripción

Hacia 1876 había comenzado a construirse el camino Atalaya- Magdalena y en 1879 el poblado de Atalaya, con más de 4.000 habitantes, estaba en su apogeo. En 1889 se habilita el puente sobre el arroyo Atalaya al final del “Camino Blanco”, cuya construcción había sido previamente peticionada por el saladero Podestá a fin de unir ambos márgenes del Arroyo Buriñigo, y finalmente en 1893 se produce la llegada de un ramal del Ferrocarril del Sud.

La presencia de los saladeros en la zona de Atalaya se debe fundamentalmente a que en 1871 se desata en Buenos Aires una epidemia de fiebre amarilla.

A partir de la instalación de los saladeros, el pueblo adquiere rápidamente un crecimiento importante, construyéndose la Capilla de Santa Rosa de Lima, en el año 1889, que lleva dicho nombre por la esposa del dueño de uno de los saladeros, Santiago Rocca, quien la manda a construir.

Debe recordarse que luego de un relevamiento pueblo por pueblo de las necesidades de puentes, se determinó la construcción de los primeros 120 puentes de hierro con luces variables entre 10 y 270 metros (Plan del Gobernador E. Castro). Con la intervención del Ing. Luis A. Huergo, primer ingeniero egresado de la Universidad de Buenos

Aires, se adoptó un sistema flexible, con patente de “Kennard Brothers” de Gales, Inglaterra, que proveyó los componentes de hierro forjado para el armado, según los diversos requerimientos. El puente más importante fue el ubicado sobre el río Salado, en el paraje “La Postrera”, Partido de Chascomús, de 170 metros de luz, desarmado a principios del siglo XXI por necesidades vinculadas con la rectificación del cauce del río. También existían otros puentes, el ubicado sobre el arroyo de los Huesos, en el límite entre los Partidos de Azul y Rauch, en la antigua Ruta Provincial 226 y el puente “Las Tropas” sobre el río Luján.

Otros puentes construidos en la misma época han sufrido modificaciones a través del tiempo, como por ejemplo, el ubicado sobre el Arroyo El Pescado, en el límite en los Partidos de La Plata y Magdalena, en el cual la superestructura ha sido reemplazada por un entablonado, y el Puente ubicado sobre el Arroyo Buriñigo, en Atalaya que, a nuestro entender, también se trata de un Puente Huergo que ha sufrido varias modificaciones a lo largo de su vida en servicio.

En el puente ubicado sobre el Arroyo Atalaya se observa actualmente que la infraestructura está constituida por vigas metálicas abulonadas, tal vez originales, con

soportes de madera siendo la cruz de San Jorge también de madera. En la superestructura se observa un entablonado ubicado en diagonal al eje del puente con barandas de madera. Se observa también una capa de rodamiento ejecutada en hormigón de 10cm de espesor que según una inscripción realizada en uno de los bordes ha sido ejecutada en 1941. También se observa la ejecución de dos pilares de hormigón que sostienen uno de los extremos de las vigas laterales, uno de los cuales puede estar trabajando adecuadamente ya que existe contacto viga-pilar, mientras que el otro no presenta esta característica, por lo cual no existe transmisión de carga.

Los elementos metálicos se encuentran en muy buenas condiciones, no observándose procesos de corrosión, mientras que los elementos de madera se encuentran seriamente afectados, por lo cual el puente tiene actualmente reducida su capacidad de carga.

Resulta interesante planificar la puesta en valor del puente ya que se encuentra inserto en un área de turismo local, a la cual se incorpora la iglesia que está muy próxima al puente y el antiguo muelle que se encuentra restaurado y en uso. El ambiente en el cual está el puente puede definirse como correspondiente a la Selva Marginal del Río de La Plata, con vegetación propia de la misma.

### ESTADO ACTUAL

Está construido con estructura mixta de acero y madera de 36,5 m de long. x 6,3 metros de ancho, y columnas externas de 35 x 35 cm e internas de 25 x 25, separadas por aprox. 8,5 metros entre sí, salvando el arroyo de 18,40 m de ancho. Debido a las condiciones del ambiente, se vio afectado por pudriciones que llevaron a improvisar un refuerzo con postes de madera de madera a ambos lados de la columna para sostenerla. Existe un problema de seguridad vial, ya que el paso se limita a vehículos con peso menor a 2 toneladas, y aunque el tránsito es muy escaso, esto afecta a los habitantes del pueblo, porque el puente comunica con la escuela y la calle continúa con una ruta vecinal que pasa por la zona de granjas.

Como el puente está cerrado al tránsito pesado, los productores de la zona se ven perjudicados, porque no pueden llevar su producción en camiones por esta vía sino que deben desviarse varios kilómetros hasta llegar a la R.P. n° 11. Hay que señalar que las autoridades municipales ya están gestionando las obras necesarias.



Figura 1: Magdalena y Atalaya (tomada de Google Earth)



Figura 2: Atalaya (tomada de Google Earth)



Figura 3: Vista del puente



Figura 4: Detalle del puente (tomada de Google Earth)



Figura 5: Cartel indicador.

#### Análisis del agua

Las muestras de agua tienen pH = 8,14 (alcalinas), y la conductividad es de  $5790 \mu\text{S}/\text{cm}^3$

Tiene un contenido de sulfato de 120 mg/l y sólidos disueltos (calculados según la fórmula: valor de conductividad X 0.62) que llegan a 3589,8 mg/l.

De acuerdo a estos parámetros, el agua del arroyo no resulta agresiva para los materiales.

#### Agentes de deterioro hallados

En las muestras de agua incubadas no se observó crecimiento de hongos. En cambio, a partir de las muestras de madera incubadas en agar- maltosa se desarrollaron el moho *Trichoderma aff. harzianum*, especie degradadora de celulosa y micelio blanco (colonia algodonosa formada por filamentos del hongo). Al observar este micelio en microscopio óptico, se halló que las células



Figura 6: Estado de las columnas de madera.

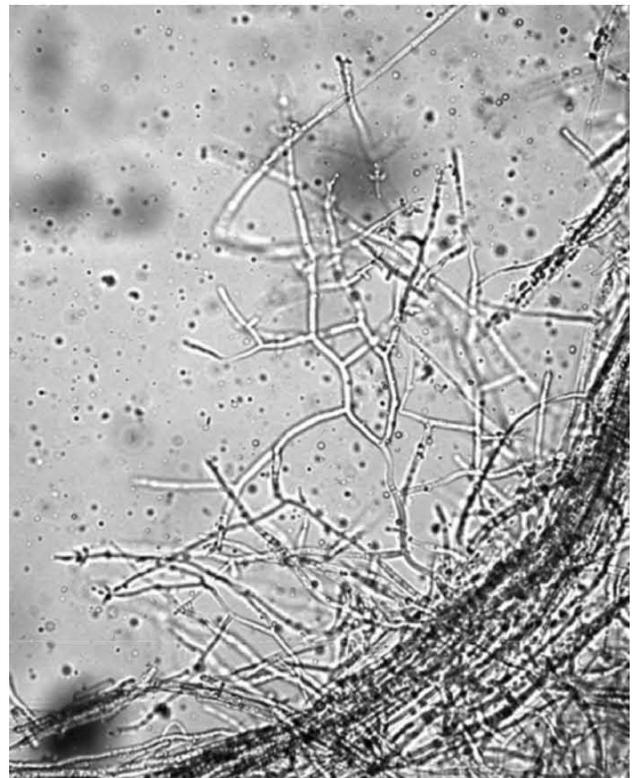


Figura 7: Hifas de *Trichoderma sp.*

que lo componen están conectadas por fíbulas, un canal lateral entre una célula y otra. Esto es una característica de algunos hongos del grupo de los *Basidiomycota*, aunque no se puede identificar la especie debido a que no formaron estructuras reproductivas (Cuerpos fructíferos), pero es muy posible que pertenezca al orden *Polyporales* o al orden *Ganodermatales* (comúnmente conocidos como hongos en repisa). Se trata de una especie celulolítica (que degrada celulosa), ya que provoca pudrición parda. Estos hongos muy posiblemente se desarrollaron a partir de esporas transportadas por el viento.

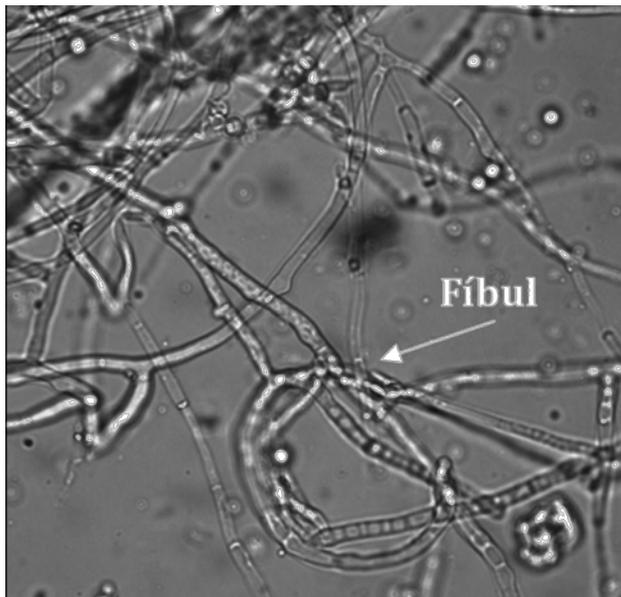


Figura 8: Hifa (filamento) con fíbula.

### Posibilidades de recuperación

Si se desea conservar el puente como muestra de la construcción característica de la zona, una posibilidad es desviar el tránsito a un nuevo puente y mantener el puente de madera para uso peatonal.

También existen técnicas de recuperación y refuerzo. Se descarta el reemplazo o refuerzo con madera por motivos de durabilidad, considerándose posible la recuperación con el uso de estructuras mixtas de hormigón y madera. El puente podría sostenerse bien con nuevos pilotes de hormigón armado [4].

### CONCLUSIONES

La madera es un material inadecuado para ser utilizado en construcciones en ambientes con agua y alta humedad, por ser muy susceptible al ataque de diversos organismos, especialmente hongos e insectos. En el caso de puente de Atalaya, se hallaron hongos degradadores de celulosa (*Trichoderma aff. harzianum* y *Basidiomycota indeterminado*) y se observa que las pudriciones fúngicas causan una situación de inseguridad y problemas de circulación vial pese al poco tránsito, con inconvenientes para los pobladores. Sin embargo, este problema puede subsanarse con técnicas de refuerzo y recuperación de la estructura.

### BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Rosato V.G. 2003 – Lichens found on “La Postrera” bridge across Salado River, Chascomús (Buenos Aires Province). En: M. Ribas-Silva (Ed.): *Microbial Impact on Building Materials. Proceedings of the International RILEM Conference:77-83* .Lisboa, Portugal, 8-9 de septiembre de 2003. ISBN: 2-912143-43-8.
- 2.- Rosato V. G., L.P. Traversa. 2004 - “Lichens on road bridges located in urban, rural and coastal environments of Buenos Aires”. Ponencia. Workshop. Moema Ribas Silva, Ed: *Proceedings II RILEM International Workshop on Microbial Impact on Buildings and Building Materials*, Vitória, Brasil, 7-9 de julio de 2004.
- 3.- Zanni, E. 2004- *Patología de la madera. Degradación y rehabilitación de estructuras de madera*.
- 4.- Francisco Arriaga Martitegui, Fernando Peraza Sánchez, Miguel Esteban Herrero, Ignacio Bobadilla, Francisco García Fernández, 2002 *Intervención en estructuras de madera*.



Figura 9: Gramíneas creciendo sobre los travesaños.



Figura 10: Diente de león.

# ESTUDIOS CON MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO ELECTRÓNICO DE LÍQUENES SOBRE MORTEROS Y ROCAS DE LA PROVINCIA DE BS AS

Rosato, Vilma Gabriela

## INTRODUCCIÓN

La microscopía óptica (MO) y la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) son métodos usuales para analizar el deterioro causado por diversos líquenes que crecen sobre rocas. Gehrman, Krumbein y Petersen [1] estudiaron diferentes especies y documentaron los patrones de biodeterioro sobre diferentes rocas (calcita, areniscas y cuarcitas): *Caloplaca heppiana*, *Acarospora fuscata*, *Candelariella vitellina*, *Lecanora grumosa*, *Rhizocarpon geographicum*, *Lecanora dispersa* y un líquen endolítico pirenocárpico.

Las cuatro primeras especies produjeron canales de perforación que indicaban la penetración de las hifas. En cambio, *Rhizocarpon geographicum* y *Lecanora dispersa* causaron principalmente marcas de desgaste sobre la superficie de la roca.

Modenesi y Lajolo [2] estudia la acción de *Aspicilia contorta* sobre mármol blanco de Carrara. Observaron que las hifas no penetran el cristal de calcita, pero crecen superficialmente alrededor de los mismos y penetran en el sustrato más adelante a través del desprendimiento de los gránulos.

Pallechi y Pinna [3] estudiaron líquenes que crecen sobre areniscas ("Pietra Serena") del sitio arqueológico de Fiesole, y usaron MEB para comprobar la profundidad de penetración de las hifas de diferentes especies. Señalaron que la penetración de las hifas causa la modificación de la estructura original de la roca. Esto puede verse en las fotomicrografías de MEB, pero no usaron macerados para observar cómo esos líquenes degradan la roca.

Salvadori y Lazzarini [4] también observaron bajo MEB varios líquenes sobre rocas de las ruinas de Aquileia, particularmente *Lecanora muralis*.

En cuanto a técnicas de preparación, resultan muy útiles los llamados macerados: el material se trata con peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) y se calienta suavemente para disolver la materia orgánica. Este tratamiento elimina el líquen y permite observar el daño causado a la roca.

Estas metodologías que se acaban de describir se aplicaron en el LEMIT a distintas especies de líquenes de la Provincia que crecen sobre sustratos cementíceos y rocas naturales.

a- Líquenes sobre morteros de cemento y hormigones

Se observaron muestras de *Flavoplaca austrocitrina*, *Lecanora dispersa*, *Staurothele frustulenta* y *Staurothele*

*monosporoides* halladas en distintas estructuras de hormigones de cemento Portland, como el dique de Tandil (Figura 1) y puentes en ambientes rurales [5,6,7,8]

Es necesario aclarar que, debido a la edad de estas estructuras (50 años o más), la matriz de cemento del hormigón se encuentra carbonatada, por lo que su pH, inferior a 9,5, permite el desarrollo de las especies citadas.

Se realizaron estudios sobre *Flavoplaca austrocitrina*, la especie más difundida, característica por su talo amarillo que se deshace en soredios (estructuras para la reproducción conjunta del líquen), capaces de colonizar diversos sustratos (Figuras 2 y 3) y se analizaron muestras de diversos lugares, urbanos, suburbanos y rurales [5,7]. También se observaron muestras de *Lecanora albescens* (Figura 4), otra especie frecuente, con talo poco desarrollado y apotecios (estructuras donde se generan las esporas) agrupados [7].



Figura 1: Dique de Tandil. Vista general

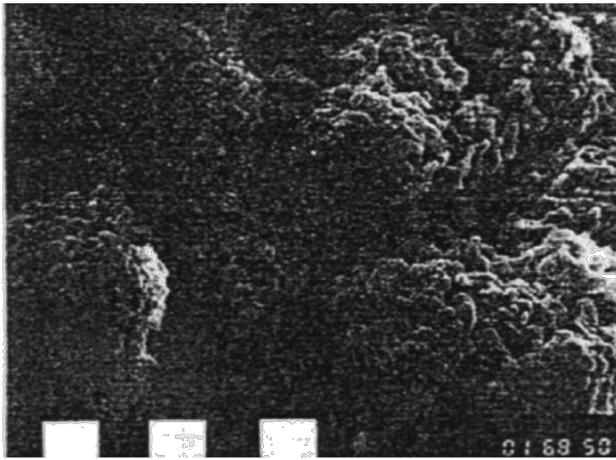


Figura 2: *Flavoplaca austroctrina*: fotomicrografía MEB de soledios.

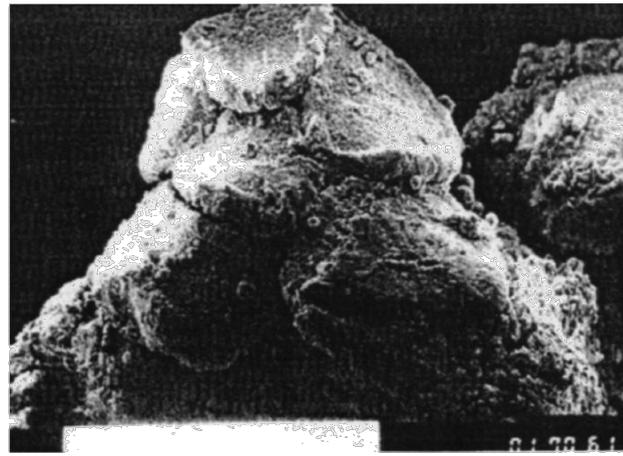


Figura 4: *Lecanora albescens*: detalle de un grupo de apotecios.

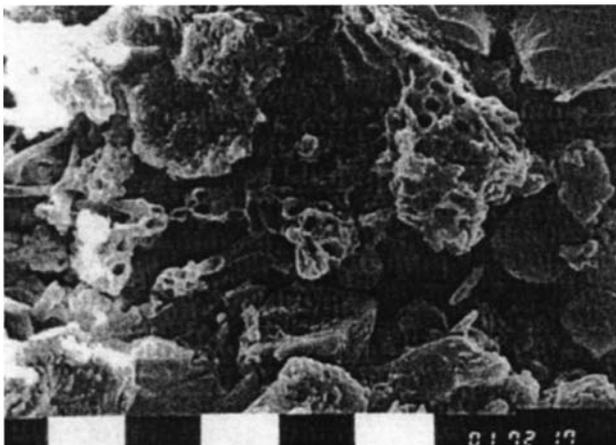


Figura 3: *F. austroctrina*. Detalle del hormigón atacado.

Los microanálisis EDE (Tabla 1) permiten comprobar que el contenido de Ca de los morteros afectados por *X. austroctrina* y *L. albescens* ha disminuido notablemente, aunque no tanto en el caso de la segunda especie [7].

Es interesante además comparar en la Tabla 2 la acción de *F. austroctrina* con *Caloplaca aurantia* [9] y *C. flavescens* [10], especies que deterioran rocas calcáreas y también causan disminución del contenido de Ca, aunque de menor importancia [5].

Otras especies estudiadas son *Staurothele frustulenta* y *Staurothele monosporoides* [6,8], que tienen talos crustosos pardo oscuros, casi negros, con esporas pardas muriformes contenidas en estructuras globosas llamadas peritecios. Parecen tener preferencias por hábitats con

Localidad	Obra	Muestra analizada	Elemento ('it>)								
			Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Ti
Tandil	Dique	<i>Austroctrina</i>	1.45	4.86	20,23	44.27	1.32	6.64	11,86	11.23	-
		Mortero	2.32	2,97	16,72	41.21	-	7,19	4,8	11.31	-
	Alcantarilla	Mortero	-	-	8,61	28.43	-	1.83	59.44	1.69	-
		Mortero colonizado	-	0.46	14.90	75,03	-	2.19	5.31	2.11	-
		<i>Austroctrina</i>	-	1.86	22.34	44.5	-	12,28	8.58	3.42	-
Saldungaray	Cementerio	<i>Austroctrina</i>	13.17	3,66	17.91	31.14	5,09	5.59	20.59	13.49	-
		Mortero colonizado	2.99	3.08	15.74	52,15	0.91	4.902	11.42	9.71	-
Coronel Pringles	Columna de alumbrado	Mortero Blanco	-	-	10,28	6.4	5.66	3.48	57.82	5,89	10.46
		<i>L. albescens</i>	-	1.47	29.55	43.04	-	3.94	10,19	11.69	23.04
La Plata	Fac. de Cs. Naturales	<i>Austroctrina</i>	3,06	5.78	28.09	34,07	2,04	12.81	11,32	12.83	-
		Mortero colonizado	3.96	2.41	15.03	54.47	-	3.94	10.19	11.69	-
	Seminario	<i>X. austroctrina</i>	-	3,18	24.16	39.91	-	8.43	7.67	14.09	-
		<i>L. albescens</i>	-	1,94	12,20	21.43	15,67	3,82	38,73	4,8	-
		Mortero	1.47	2.87	16.86	55.81	0,25	4.63	4,41	11.78	-

Tabla 1: Contenido de elementos de morteros cementicios no afectados y atacados por *F. austroctrina* y *L. albescens*

mayor humedad, ya que fueron halladas en el Dique de Tandil y el puente de la ruta 205, en Lobos, cerca del agua. Se distinguen por su apariencia, porque el talo de *S. frustulenta* es irregular, rugoso, mientras que es liso en *S. monosporoides*. También se diferencian por el tamaño de las esporas y su número: *S. frustulenta* tiene dos por cada asco en tanto *S. monosporoides* tiene sólo una.

Elemento (%weight)	<i>X.austroci trina</i>	Cemento Deteni orado	Hormigón	<i>Caloplacauna nina</i>	<i>Bioalcalarenite</i>
Mg	1,86	0,46	---	0,29	0,42
Al	22,35	14,90	8,61	0,52	0,38
Si	44,50	75,03	28,43	12,70	22,20
K	12,28	2,19	1,83	0,43	0,12
Ca	8,58	5 31	59,44	29,00	42,00
Fe	1,42	2,11	1,69	1,20	1,25

Tabla 2: Contenido de calcio de morteros y hormigón afectados por *F. austroci trina* comparados con otras especies similares de *Caloplaca*

En la Tabla 3 se comparan los valores de los microanálisis EDE de muestras de sustrato cementíceo y sustrato colonizado por *Staurothele frustulenta* y se los compara con los obtenidos para *Staurothele monosporoides*

Se aprecia que *Staurothele frustulenta* ocasiona una pérdida de calcio mayor que *S.monosporoides*, indicando una mayor actividad y agresividad con respecto al sustrato. Sin embargo, no afecta al sustrato tan profundamente como *Flavoplaca austroci trina*.

En las figuras 5 y 6 se observa el puente donde se halló el líquen y en las figuras 7 y 8 se aprecian las imágenes de MEB, donde pueden notarse las perforaciones que producen las hifas del líquen al penetrar en el sustrato. Las partículas del cemento hidratado desaparecieron y el líquen está sujeto al agregado fino.

Los macerados fueron útiles para comprobar que hay una alta densidad de canales de perforación dentro del material y que le dan una apariencia esponjosa (Figuras 3 y 4).

Las perforaciones tienen un diámetro de 2 a 2,5  $\mu$ m, lo cual incrementa la porosidad superficial del material, pero por otro lado, la interfase líquen-sustrato es pequeña, con un espesor de apenas 80  $\mu$ m. En consecuencia, el daño que esta especie puede provocar es limitado, a diferencia de lo que sucede con *Flavoplaca austroci trina*, capaz de penetrar hasta 1 a 1,5 mm.

Es necesario tener en cuenta que estas alteraciones no afectan al hormigón en profundidad y que, fundamentalmente, alteran la apariencia de la superficie.

Elementos	Muestra Analizada de Hormigón			
	Puente Lobos	Colonizado por <i>Staurothele frustulenta</i> (obs)	Dique de Tandil	Colonizado por <i>Monosporoides</i>
Al	3,22	12,38	5,9	14,26
Si	23,45	45,48	26,24	33,84
K	---	4,64	1,64	1,76
Ca	65,44	15,79	62,25	45,98
Fe	7,95	21,71	3,97	4,17

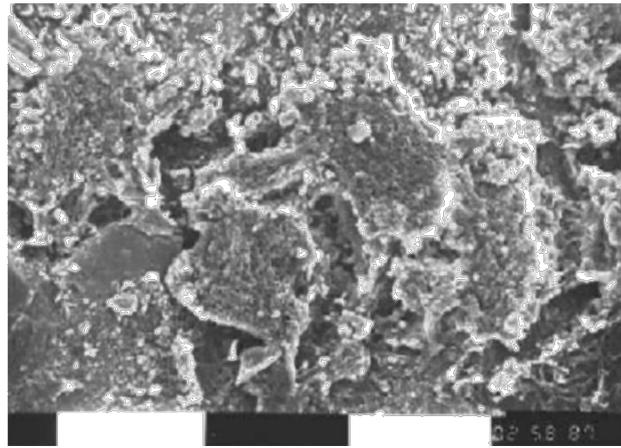
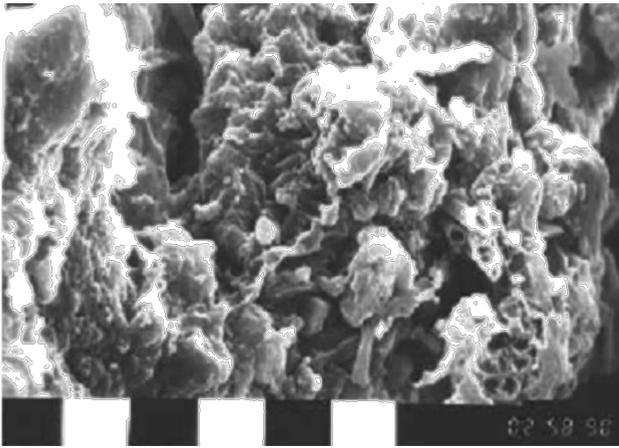
Tabla 3: Contenido de elementos medidos por EDE de hormigones afectados por *Staurothele frustulenta* y *S. monosporoides*



Figura 5: Puente sobre Ruta 205. Partido de Lobos.



Figura 6: Puente sobre Ruta 205. Partido de Lobos.



Figuras 7 y 8: Imágenes obtenidas con MEB, Mostrando el daño causado por el líquen *Staurothele frustulenta*

### Líquenes sobre granito rosado de Sierra Chica

Se halló a *Flavoplaca austrocitrina* y *Lecanora albescens* creciendo sobre granito rosa de Sierra Chica [11]. Esta roca tiene usos ornamentales para decorar fachadas y también para muebles de cocina y baño. La cantera está localizada en el pueblo de Sierra Chica, cercano a Olavarría, en el centro de la Provincia de Buenos Aires a una altitud de 200 m sobre el nivel del mar, con temperatura anual promedio de 14°C y precipitaciones de 994 mm por año.

La cantera, aún activa, se explota desde finales del siglo XIX, para obtener adoquines utilizados en rutas y puentes que ahora tienen un interés histórico. En general el color de las rocas varía en distintas tonalidades de rojo, desde rojo intenso a rosado. El tamaño de grano también varía, de pequeño a grande. Su densidad específica varía de 2,65 a 2,72 y su capacidad de absorción de agua (en 24 h) es 0,1 % del peso, que indica una porosidad muy baja. La resistencia a la compresión es 210 Mpa determinada en cubos de 10 cm.

La superficie aparece lisa, en contraste con la apariencia normal de la roca (Figuras 9 y 10), con marcas de desgaste causadas por los ácidos orgánicos liberados por el líquen.

Por otra parte, *Flavoplaca austrocitrina* penetra la roca, de modo que la muestra macerada tiene un estrato de aspecto esponjoso en la superficie (Figura 11). Hay una red muy densa de canales de perforación, de modo que

la alteración de la roca se produce principalmente por micropitting (Krumbein y Urzú 1991). La acción de esta especie es diferente a la de *Candellariella vitellina*, que penetra pero también afloja los cristales del sustrato, o la corrosión por perforaciones causada por los líquenes endolíticos estudiados por Krumbein, Gehrman y Petersen [1].

Como resultado, se observó que la roca atacada por *Lecanora albescens* tiene marcas superficiales dispuestas en forma de red que refleja la disposición de las hifas (filamentos fúngicos) (Figura 10).

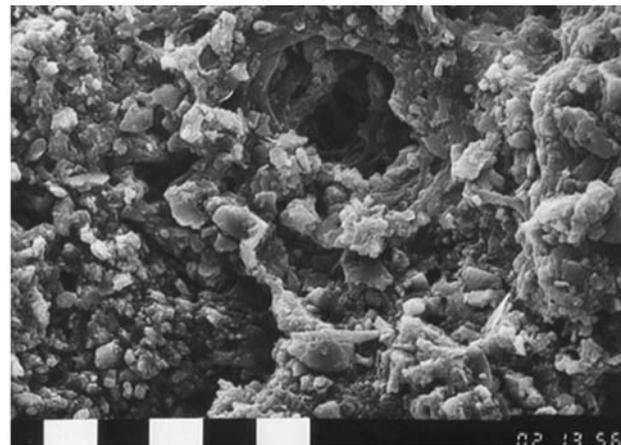


Figura 10: Granito atacado por *Lecanora albescens* (macerado) (MEB, X 1200).

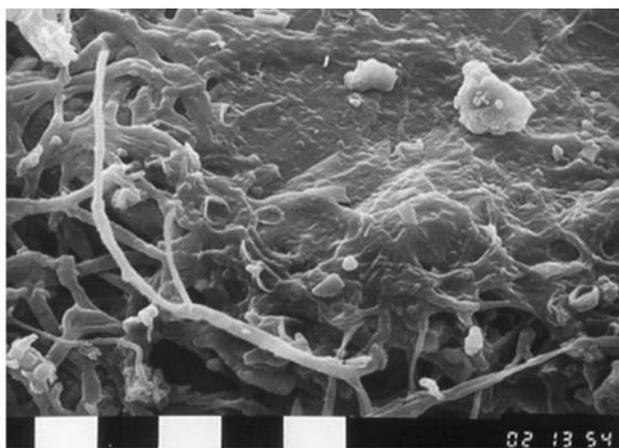


Figura 9: Granito no colonizado por líquenes. (MEB, x 1000).

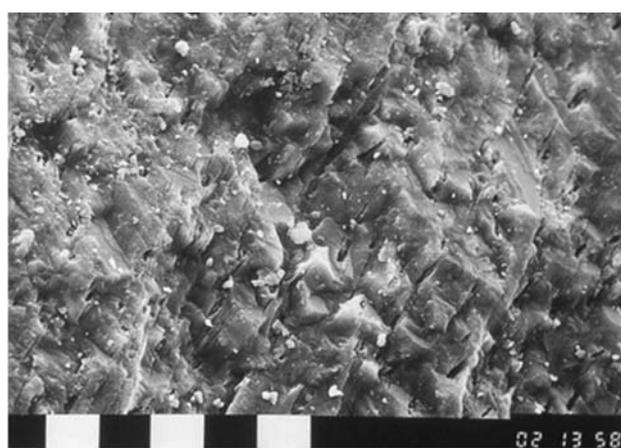


Figura 11: Granito atacado por *Flavoplaca austrocitrina*. (MEB, X 1200).

Lamentablemente, no es posible compararlo con las especies estudiadas por Pallecchi y Pinna [3] porque estos autores no usaron macerados.

### Líquenes sobre arenisca cuarcítica de Mar del Plata

Se halló a *Caloplaca felipponei* sobre este tipo de roca utilizada en el revestimiento de los balcones que dan a la costa marina en el edificio Normandie de la ciudad de Mar del Plata [12], actualmente demolido.

Esta especie crece formando colonias con talos areolados (es decir, que parece subdividido en pequeños sectores) de color rojo naranja brillante que contrastan con el color del sustrato, una roca muy dura y compacta con peso específico de 2,42 (valor característico de la cuarcita) y una porosidad muy baja, estimada en 4,15%.

Las observaciones con MEB confirmaron que las hifas de *C. felipponei* penetran el sustrato (Fig. 12). A pesar de la dureza de la cuarcita, el micobionte es capaz de formar canales de perforación (Figura 13). Los macerados permiten observar estos canales como perforaciones y huecos en la roca atacada (Fig. 14).

Al tomar medidas con la escala de las imágenes MEB, se halló que las hifas pueden penetrar hasta 70  $\mu\text{m}$  adhiriéndose al sustrato por la parte central de las aréolas, inmersa una cavidad de 80-85  $\mu\text{m}$  de profundidad (Figura 12) mientras los canales de perforación alcanzan diámetros entre 5,5 a 11  $\mu\text{m}$  (Figura 14).

Los microanálisis EDE revelaron que la roca está formada aproximadamente por 85-90% de Si. El resto es una pequeña cantidad de K, Al and Fe (Tabla 4).

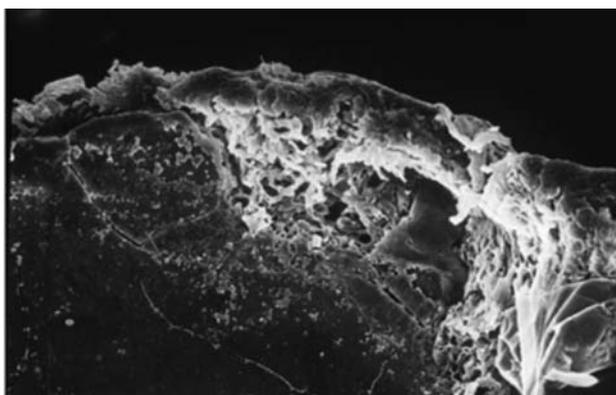


Figura 12: Fotomicrografía en MEB de una areola de *Caloplaca felipponei*.

Elementos	Muestra de Material		
	Arenisca colonizada por <i>C. felipponei</i>	Arenisca (Cemento silíceo)	Arenisca (clasto de cuarzo)
Al	9,43	19,06	1,78
Si	69,22	72,50	96,86
K	3,04	8,44	
Ca	5,69	-	1,36
Fe	12,11	-	-

Tabla 4: Composición Elemental de la arenisca de Mar del Plata (colonizada y no colonizada).

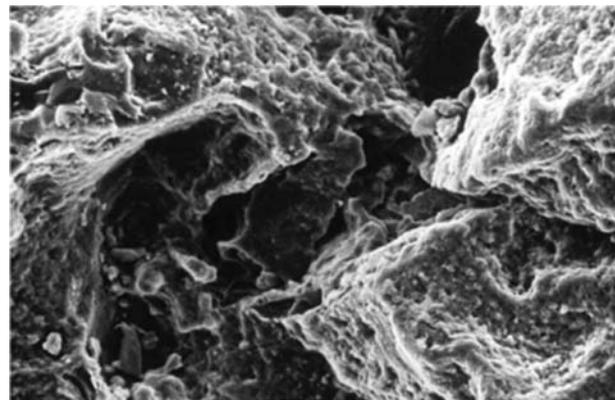


Figura 13: Arenisca no atacada por el líquen.

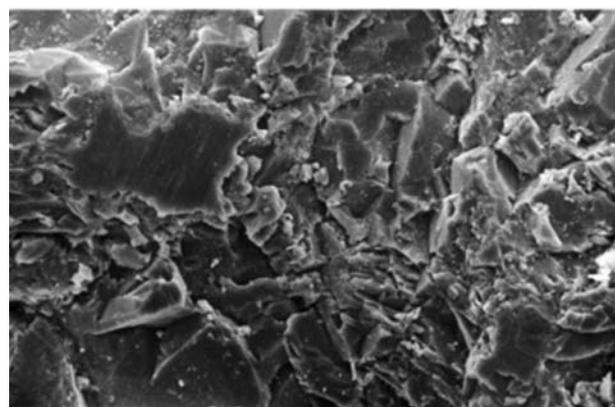


Figura 14: Muestra macerada de una roca atacada por *Caloplaca felipponei*. Notar las perforaciones. Escalas: 12= 100  $\mu\text{m}$ ; 13,14 = 10  $\mu\text{m}$ .

### Líquenes sobre rocas metamórficas del Cerro Calvario de Tandil y de Balcarce

Se analizaron cuatro especies que crecen en este sustrato: *Catillaria chalybaeoides*, *Carbonea montevidensis* y *Caloplaca cinnabarina* halladas en rocas del Cerro Calvario de Tandil y *Acarospora lorentzii*, recolectada de una roca de Balcarce [13, 14]. Tandil es una localidad ubicada en la zona serrana del centro de la Provincia y uno de sus atractivos es el Cerro Calvario donde hay grupos escultóricos que representan la Pasión, Muerte y Resurrección de Jesucristo y que se hallan colonizados por líquenes (Figura 15). Balcarce está ubicada hacia el sudeste, pero también en la zona del cordón serrano de Tandilia y allí hay canteras donde se explotan las rocas para uso ornamental.

*C. chalybaeoides* se reconoce por su talo crustoso pardo verdoso casi negro, areolado (dividido en pequeños sectores) y esporas incoloras bicelulares; *Carbonea montevidensis* tiene talo areolado gris oscuro, areolado, con apotecios (estructuras donde se generan las esporas) de color negro; *Acarospora lorentzii* tiene talo areolado, pardo, con apotecios inmersos en el centro de las areolas y *Caloplaca cinnabarina* es muy visible por su talo crustoso areolado de color anaranjado rojo, apotecios inmersos en las areolas y lóbulos más alargados hacia los bordes del talo.

Las rocas se identificaron mineralógicamente como migmatitas, con una densidad promedio de 2,7  $\text{kg/m}^3$ ;

el índice promedio de vacíos es 0.17 y la resistencia promedio 53,83 MPa. La roca de Balcarce está compuesta por cuarzo y plagioclasa mientras las rocas de Tandil contienen principalmente cuarzo y feldespato ferroaluminicos y las esculturas del Calvario se realizaron con arenisca cuarcítica de Barker, con peso específico de 2,2 y porosidad de 4,15% . En los estudios realizados con MEBA se observó que estas especies afectan sólo la parte más superficial de la roca (Figura 16), pero igualmente causan “micropitting” (perforaciones de 1 a 5 µm) debidas a la acción mecánica de las hifas al adquirir turgencia cuando absorben agua y luego disminuir de tamaño al desecarse (Figuras 17 y 18). En el caso de *Carbonea*, se notan irregularidades que se atribuyen a la acción de los ácidos orgánicos (Figura 19). En cuanto a *Catillaria chalybaeoides* se comprobó que produce sobre todo “micropitting” por la formación de canales de perforación y, en menor medida, marcas de desgaste. Sin embargo, el daño es muy superficial, afectando una interfase de entre 5 y 10µm (Figuras 20, 21 y 22) y no hay evidencia de alteración de la composición de la roca. (Tabla 5).



Figura 15: Escultura del Cerro Calvario: Jesús ante Pilatos. Detalle del sirviente que vierte agua en el lavamanos.

Elemento	Wto/o
Na <sub>2</sub> O	2.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.83
SiO <sub>2</sub>	70.85
1<20	1.53
Ca O	3.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.05
Total	100

Tabla 5: Contenido de elementos de la roca atacada por *C. chalybaeoides*

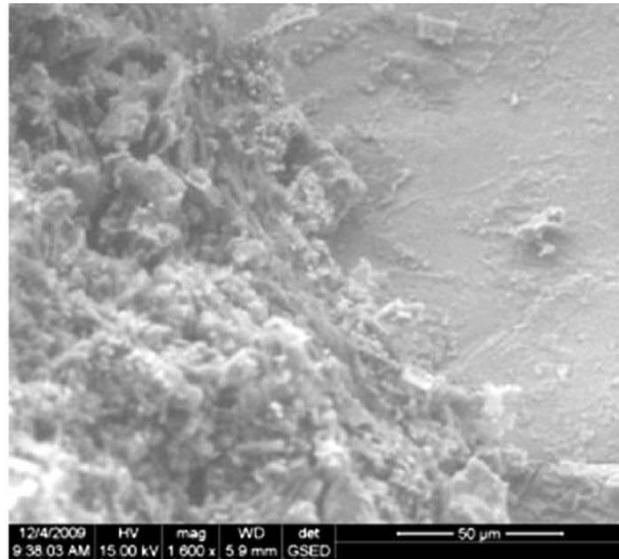


Figura 16: *Acarospora lorentzii*.

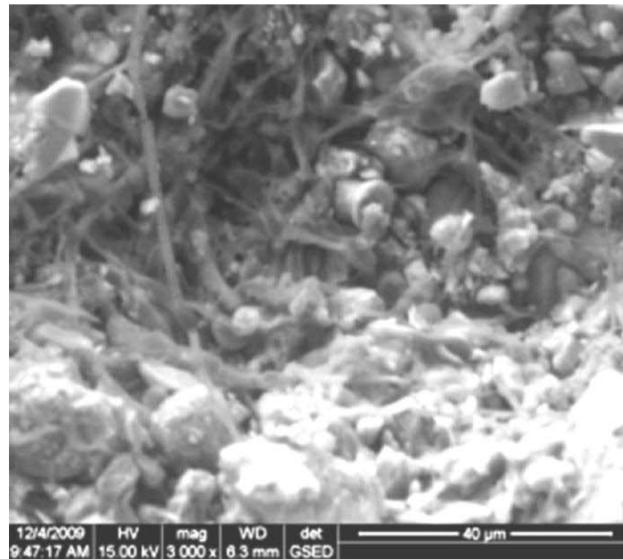


Figura 17: *Acarospora lorentzii*: se observan las hifas penetrando la roca.

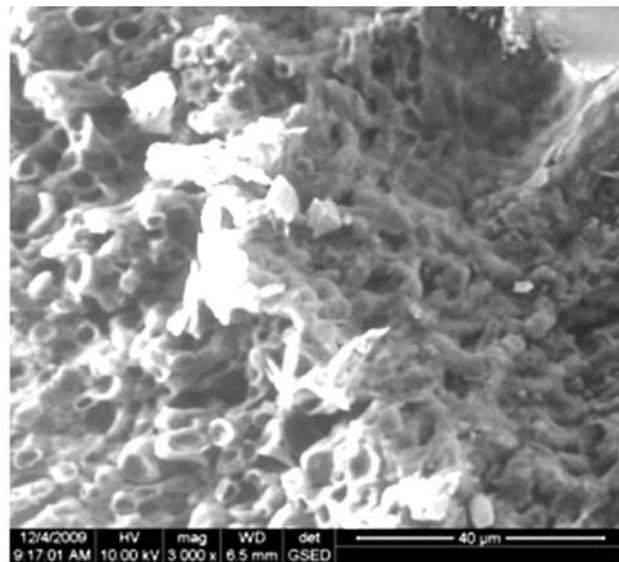


Figura 18: *Caloplaca cinnabarina*: hifas penetrando la roca.

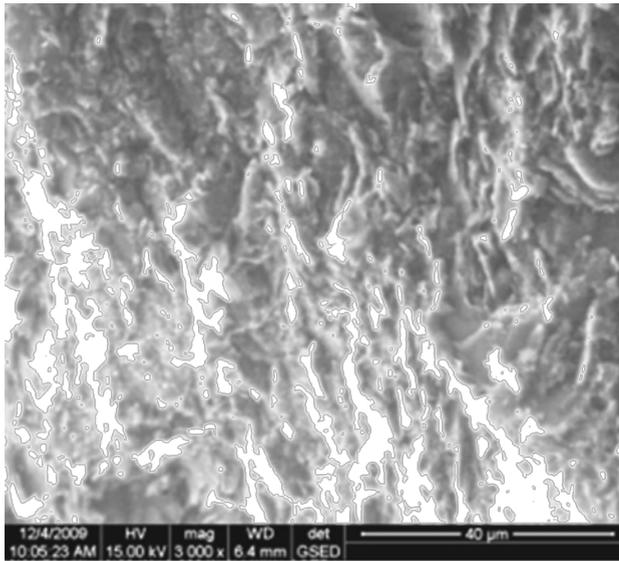


Figura 19: *Carbonea montevidensis*: superficie de la roca afectada.



Figura 20: *Catillaria chalybaeoides*. Fotomicrografía MEB

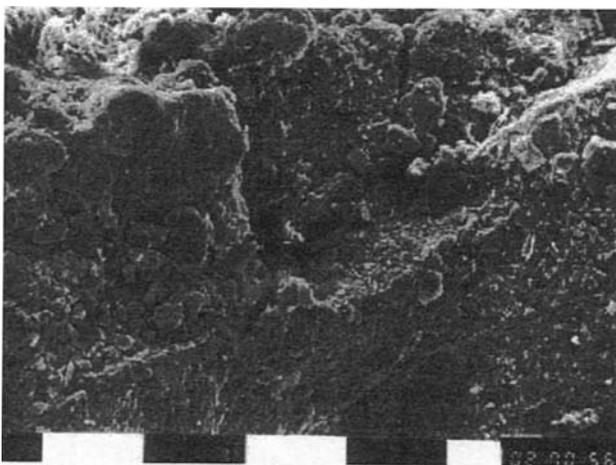


Figura 21: *Catillaria chalybaeoides*: interfase entre el líquen y la roca.

### Conclusiones

Las observaciones con MEB han permitido analizar que los líquenes atacan el granito y los morteros cementícos en diferentes modos.

*Flavoplaca austrocitrina*, tiene una acción bastante agresiva y negativa causada por penetración de hifas que

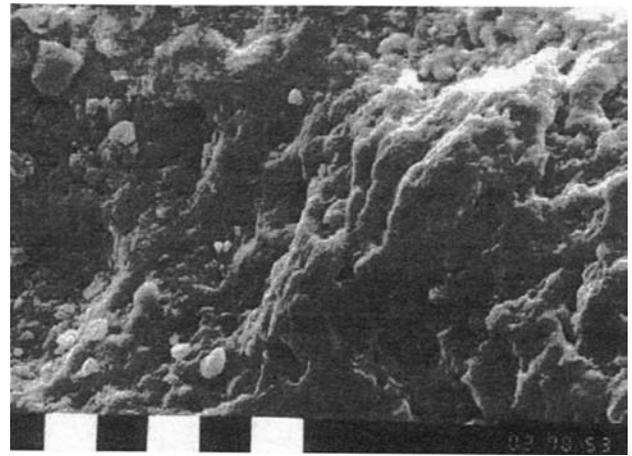


Figura 22: Aspecto de la roca atacada por *Catillaria chalybaeoides*. Notar las perforaciones y marcas.

forman canales de perforación (micropitting, es decir, perforaciones menores a 20μm de diámetro, [15]). Esta especie también causa un deterioro superficial importante de la matriz cementicia de morteros y hormigones por la penetración de hifas en el sustrato y producción de ácido oxálico. Esta red densa de perforaciones es similar a lo que Gehrman, Krumbein y Petersen [1] observaron en *Caloplaca heppiana*. También causa daño químico y ocasiona importantes pérdidas de calcio, mayores que las observadas en otras especies semejantes del género [9,10] y mayores también a la ocasionada por las especies de otros géneros mencionadas en este trabajo.

*Lecanora albescens* causa marcas de desgaste. Esto también se observó en hormigón donde se confirmó que esta especie produce ácido oxálico, coincidiendo con las observaciones de Gehrman, Krumbein y Petersen [1] para *Lecanora dispersa* o Salvadori y Lazzarini [4] para *Lecanora muralis*.

El líquen *Staurothele frustulenta* produce perforaciones en el sustrato con más densidad y una mayor pérdida de calcio del cemento hidratado que otra especie del mismo género, *Staurothele monosporoides*. Sin embargo, debido al pequeño espesor de la interfase líquen-sustrato los daños que ocasiona en el material son mucho menores que el que provoca *Flavoplaca austrocitrina*.

Cabe recordar que ambas especies de *Staurothele* forman colonias oscuras, de color pardo oscuro a negro que contrastan con la coloración del sustrato, de manera que, según los resultados hallados, produce un daño estético visual más notable que el deterioro que puede causar en el sustrato [6,8].

*Caloplaca felipponei* [12] genera escasos canales de perforación en la roca. Puesto que las areolas del talo están inmersas en el sustrato, afecta a la roca causando "mesopits", (agujeros con un diámetro de 0.1 up to 0.5 mm, visible al ojo desnudo-[15]) principalmente por acción mecánica. Esto es diferente de otras especies de *Caloplaca* estudiadas, concretamente *C. heppiana* [1] y *C. citrina* [11] que producen un gran número de canales de perforación. Al igual que lo observado en *Staurothele monosporoides* [8] y *Catillaria chalybaeoides* [13] la composición elemental de la cuarcita no parece estar modificada.

*Catillaria chalybaeoides*, *Carbonea montevidensis* y *Caloplaca cinnabarina* halladas en rocas del Cerro Calvario de Tandil y *Acarospora lorentzii*, recolectada de una roca de Balcarce, son especies de líquenes que originan canales de perforación [14], pero no lograr penetrar profundamente la roca, al contrario de lo observado en

*Flavoplaca austrocitrina* (Vondrak, Riha, Arup & Söchting) *Arup et al.*, especie que penetra hasta 1, 5 mm

en morteros de cemento [11]. En cambio los resultados concuerdan con lo observado en *Caloplaca felipponei* [12], que sólo penetra el sustrato hasta 100µm. Esto se debe a que las rocas tienen una mayor dureza y menor porosidad que el cemento, aunque hay que recordar que, como ya se mencionado, *C. felipponei* afecta a la arenisca principalmente por “mesopitting”, en tanto las otras especies provocan “micropitting” [15].

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Gehrman C., Krumbein W. E., Petersen, L., 1988 . Lichen weathering activities on mineral and rock surfaces, in: Nimis, P.L and Monte, M. (Eds.): Lichens and Monuments. Proceedings of the Syposium, Rome, 21-24 september 1988. *Studia Geobotanica*. 8: 33-46
- 2.- Modenesi P., Lajolo L., 1988. Microscopical investigation on a marble encrusting lichen, In: Nimis, P.L and Monte, M. (Eds.): Lichens and Monuments. Proceedings of the Syposium, Rome, 21-24 september 1988. *Studia Geobotanica*.
- 3.- Pallecchi, P., Pinna D., Azione della crescita sulla pietra nell' Area Archeologica di Fiesole, In: Nimis, P.L and Monte, M. (Eds.): Lichens and Monuments. Proceedings of the Syposium, Rome, 21-24 september 1988. *Studia Geobotanica*. 8 (1988) 113-124.
- 4.- Salvadori, O., Lazzarini L., 1991 Lichen deterioration on stones of Aquileian monuments (Italy), *Bot. Chron.* 10 (1991) p.p. 961-968.
- 5.- Rosato, V. G., Traversa, L.P. , Cabello, M.N., 2000 “ The action of the lichen *Caloplaca citrina* on concrete: a preliminar study “ , in: Vasco Fassina, (Ed.) *Proceedings of the 9th. Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Venice 19-24 June 2000, vol 1 ,200, p.p. 507- 511. Elsevier, Amsterdam
- 6.- Rosato, V.G. 2004 (a) “Acción del líquen *Staurothele frustulenta* Vainio sobre sustratos cementíceos”. *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, 11: 19-22
- 7.- Traversa, L.P., Iasi, R. , Zicarelli, S. y Rosato, V.G. 2000 Biodeterioro de morteros y hormigones por acción de los líquenes. *Hormigón* 35: 39-48.
- 8.- Traversa L.P., Rosato V.G., Zicarelli, S. 2001. The lichen *Staurothele monosporoides* and it's action on concrete and stone. En: *Actas de 4 LABS(Simposio Latinoamericano de Biodeterioro)* (en CD). Buenos Aires, abril de 2001.
- 9.- Gorgoni, C.; Lazzarini, L. & O. Salvadori 1992- Minerogeochemical transformations induced by lichens in the biocalcarene of the Selinuntine monuments. in: *Proceedings International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. (J. Delgado Rodrigues, F. Henriques & F. Telrno-Jeremías, eds.): 531-539. Lisbon, Portugal, LNEC.
- 10.- Favali M. A., Fossati F., Mioni A., Realini M. 1995- Biodeterioramento da licheni crostosi dei calcari selciferi lombardi. *Scienza e Beni Culturali XI. Atti del Convegno ressanone 1995*. Libreria Progett Editare, Padova. 201-208.
- 11.- Rosato, V. G., Traversa L.P. 2001-Microscopical observations on the “in situ” action of *Caloplaca citrina* and *Lecanora albescens* on pink granite. *Proceedings of 8th Euroseminar of Microscopy applied to Building Materials*. Atenas, 10-14 de Septiembre de 2001:381-384
- 12.- Rosato, V. G. 2007 - The lichen *Caloplaca felipponei* growing on quartz sandstone in 6Mar del Plata (Argentina): SEM observations.” *Lilloa* 44 (1-2): 69-73
- 13.- Rosato, V. G. 2004 (b)- Scanning Electron Microscope Observations on the lichen *Catillaria chalybaeoides* from Cerro Calvario, Tandil (Buenos Aires Province, Argentina En: *Proceedings of 10th. International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*: 253-258. Estocolmo, Suecia, 27 junio-2 de julio de 2004
- 14.-] Rosato, V.G. 2010- Observaciones con microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA) de rocas metamórficas de Tandil y Balcarce colonizadas por líquenes. *1ª reunión Materiales Tecnológicos en Argentina, Matte@r 2010*, San Nicolás, 12 a 14 de mayo de 2010.
- 15.- Krumbein , W.E., Urzi, C. (1991) Biologically induced decay phenomena 01 antique marbles - some general considerations. En : D. Decrouez, J. Chamay y F. Zezza (eds.), *2nd Intern. Symp. on the Conservation 01 Monuments in the Mediterranean Basin*. Geneve, 219-235.
- 16.- Rosato, V.G. 2002 – Hidrolavado de superficies colonizadas por líquenes en monumentos y edificios históricos. *Jornada: Técnicas de restauración y conservación del patrimonio*. La Plata, 6 de septiembre de 2002.

# LIQUENES CRECIENDO SOBRE PLACAS DE METAL

García A. Renato, Correa María V. y Rosato Vilma G.

## INTRODUCCIÓN

Los líquenes son capaces de colonizar un amplio rango de sustratos [1], sólo limitados por la textura y microtopografía de la superficie y por el éxito y la supervivencia de los propágulos [2, 4, 3, 5,6]. Esto les permite no solo crecer sobre superficies naturales (rocas, suelo, madera, corteza, hojas, huesos), sino también materiales industriales (plástico, pintura, cemento, cerámica, vidrio y metal).

En el caso de los líquenes creciendo sobre metal, las especies encontradas comúnmente creciendo sobre este material no muestran una preferencia por las rocas que contienen hierro. En general las especies observadas son saxícolas y también son conocidas por crecer en otros materiales creados por el hombre [7, 8, 9, 10]. Brightman y Seaward [7] realizaron una clasificación de tres tipos de sustrato: metal exfoliado, metal oxidado y metal pintado.

-Metal exfoliado: usualmente se origina de hierro forjado oxidado a tal grado que el metal se desarma en finas capas.

-Metal oxidado: a menudo está formado por acero, que ha adquirido una firme capa adherida de óxido. La superficie es continua aunque puede presentar algunas perforaciones. Las secciones de acero horizontales de los puentes y los soportes horizontales de las barandillas de la que la pintura original ha sido removida hace mucho tiempo pueden oxidarse de esta manera y a menudo presentan especies crustosas.

-Metal pintado: puede soportar líquenes cuando la pintura está lo suficientemente degradada. Los líquenes no crecen en trozos sueltos que se desprenden, pero si en pintura degradada con una textura similar al metal oxidado.

Este deterioro es causado en la interfaz entre el liquen y el sustrato, lugar donde se lleva a cabo una considerable actividad físico-química y presenta una complicada heterogeneidad en la cual intervienen minerales primarios y secundarios, ácidos orgánicos, y además están involucrados organismos variados incluyendo al micobionte y fotobionte del liquen, como así también hongos, algas y bacterias de vida libre [11, 12, 13, 14]. Este proceso es causado sobre cualquier tipo de superficie, natural o hecha por el hombre; en el caso del metal, pueden directamente afectar la pintura anti oxido, contribuyendo al proceso de oxidación. En nuestro caso,

los líquenes fueron encontrados sobre nueve placas de metal expuestas a condiciones ambientales y usadas para probar la protección de pinturas anti oxido, en la terraza del LEMIT.

El objetivo de este estudio es la identificación de los líquenes presentes en nueve placas de metal pintado, y la identificación de los posibles efectos de la instalación sobre este sustrato.

## Materiales y métodos

Las placas de metal fueron expuestas por 15 años a condiciones ambientales en la ciudad de La Plata (34°56'00"S 57°57'00"O) Argentina. El área está caracterizada por un clima templado, veranos cálidos (temperatura mínima alrededor de 21°C y máximas hasta 40°C), e inviernos moderadamente soleados (9,9°C de temperatura media) con lluvias concentradas en el otoño, alrededor de 1040 mm/año [15]. Los líquenes fueron observados bajo lupa estereoscópica, se realizaron cortes a mano alzada y aplastados que fueron observados bajo microscopio óptico de cámara clara. Se realizaron reacciones puntuales en talo y apotecios con K (KOH) y C (NaClO) además de reacción bajo luz ultravioleta. No se realizó cromatografía de capa delgada (TLC) por el escaso tamaño de los talos. Para la identificación de las especies de líquenes se consultaron los siguientes trabajos y claves:

De La Rosa et. al. [16], Elix [17], Sliwa [18], Mccune [19], and Nash et. al. [20]. Debido al escaso número de talos y sustratos no es posible realizar análisis estadísticos para analizar las preferencias de las ubicaciones de los líquenes. Todas las placas tienen un tamaño de 15,5 x 8 cm, y están hechas de metal usado comúnmente en la construcción, comercialmente conocido como acero 1015 (tabla 1). La composición exacta de la pintura anti-oxido no es conocida, pero con el microscopio electrónico de barrido (MEB) se pudo conocer los componentes principales (Figura 1). En todas las placas se realizó un estudio de IRS, donde se encontró una fuerte banda de 980 nm correspondiente a fosfatos básicos, un componente común de las pinturas antióxido. No quedaron registros de la composición exacta de la pintura, por esto fue caracterizada por un método semi-cuantitativo obtenido por EDAX espectrometría de dispersión de electrones (SDD Apollo 40). Por razones prácticas se decidió estudiar la interfaz sustrato-liquen más abundante mediante microscopio electrónico de barrido - MEB- (FEI Quanta 200).

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
98,88	0,12	0,22	0,77	0,02	0,006	0,04	0,04	0,01

Tabla 1. Composición química de las placas de meta.

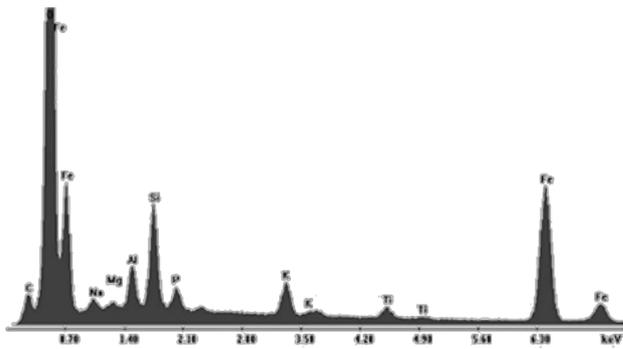


Figura 1: Composición elemental semi-cuantitativa de la pintura antióxido obtenida mediante EDAX.

El sustrato ocupado no es uniforme, es una combinación de metal oxidado y metal pintado [7]. La frecuencia, porcentaje ocupado de las placas y el tipo de sustrato sobre cual se encontró cada especie se listan en la tabla 2. Se encontraron seis especies:

*Caloplaca cinnabarina* (Ach.) Zahlbr. (Figura 2) Talo crustoso areolado naranja rojizo, areolas marginales algo elongadas. Apotecios de borde naranja rojizos con el disco algo más claro, epruinoso, inmerso o subsésil, de 0,4 mm de diámetro; esporas de 8.5- 11 x 4 µm, septo de 2-3 µm. Es frecuente encontrar esta especie creciendo sobre rocas acidas con una gran exposición al sol. Esta especie fue la más frecuente y ocupó la mayor parte de la superficie de las placas. Reacciones K+ purpura.

*Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr. (Figura 2) Talo poco visible, o endolítico. Apotecio abundantes, con el borde es de color amarillo y el disco es amarillo oscuro de 0.25-0.6 mm de diámetro, circular, disco plano hasta algo convexo, con el margen entero hasta interrumpido quedando solo algunos gránulos de este. Ascosporas 8-esporadas, ascosporas hialinas, simples o 1septadas, ±elipsoides, de 12-7x 4-5 µm. Generalmente se las encuentra en rocas cálcicas y ocasionalmente en madera y corteza, esta especie fue encontrada en los muros cercanos a las placas. Reacciones K-, C-.

*Rinodina peloleuca* (Nyl.) Müll. Arg Talo crustoso, rimoso- aerolado; protalo negro o ausente. Superficie superior color gris o blanco "sucio". Apotecio de 1.0-1.3 mm de ancho, comunes, lecanorinos, inmersos hasta adnatos, cercanos unos de otros. Margen talino entero, concoloro con el talo, persistente o poco notorio. Margen propio usualmente visible como una línea marron, disco marron oscuro a negro, plano a poco convexo, epruinoso. Asco 8-esporado, ascospora tipo *Physconia* 1- septadas, marrones, elipsoidales, 12-27 x 8-15 µm. Talo K-, C-, P-,

UV-; médula K+ roja violácea C-.

*Staurothele monosporoides* R. Sant. (Figura 2) Talo crustoso, márgenes lobados color pardo. Con peritecios inmersos, poro apical, himenio con algas ovoides entre las paráfisis; Ascosporas 1-esporadas, ascosporas pardo oscuro, elipsoides y muriformes. 30-50 x 15-25 µm. Es una especie saxícola, fue encontrada en los muros alrededor de las placas. Talo K-, C-,UV-; medula K-, C-.

*Buellia* sp. (Figura 2) Talo crustoso areolado grisáceo, algo pruinoso apotecio biatorino, sésil, de 0.30.3-0,5 mm diámetro, margen entero de color negro, disco chato negro, margen propio no aparente, ascosporas marrones 1-septadas elipsoidales, 18-27 x 8- µm. Talo K-, C-,UV-; apotecio K-, C-.

*Lecanora dispersa* (Pers.) Röhl. (Figura 2) Talo, inmerso y no aparente, mayoritariamente endolítico, o superficial

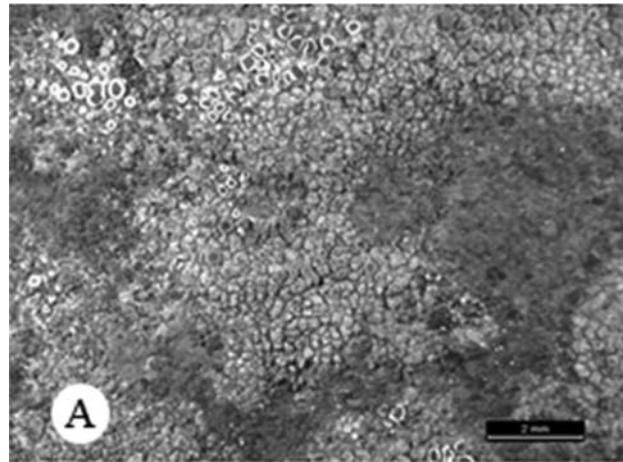


Figura 2: Líquenes sobre metal.

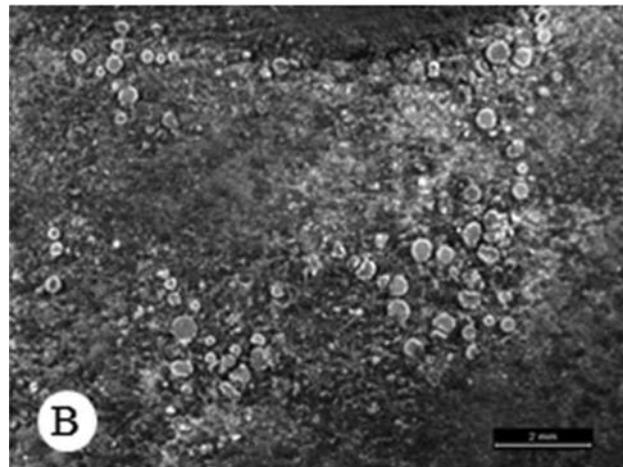


Figura 2: *C. cinnabarina* y *L. dispersa*

Especies	Frecuencia	% de superficie cubierta	Sustrato
<i>C. cinnabarina</i>	9	60	metal oxidado, metal pintado
<i>S. monosporoides</i>	9	10	metal oxidado, metal pintado
<i>C. aurella</i>	3	5	metal oxidado, metal pintado
<i>R. peloleuca</i>	3	5	metal oxidado, metal pintado
<i>L. dispersa</i>	2	5	metal oxidado, metal pintado
<i>Buellia</i> sp	1	5	metal pintado

Tabla 2. Frecuencia, porcentaje de la superficie que ocupa, tipo de sustrato de cada especie encontrada.

pero poco visible. Apotecio simple o apareciendo en grupos, sésiles algo constricto en la base, de 0.3-0.9 mm de diámetro, epruinoso, margen entero de color gris prominente o al nivel del disco; disco cóncavo hasta plano pardo claro. Ascospas clavados, 8-esporado; ascosporas hialinas, simples, elipsoides  $8,8-12 \times 4,5-6 \mu\text{m}$ . Especie saxícola, que también fue encontrada en los muros cercanos a las muestras. Apotecio K-, C-.

El área de contacto entre el talo de *C. cinnabarina* y la superficie fue observado con MEB: en esta área se encontraron fracturas en la pintura que rodeaba el talo., y además se pudieron observar pequeñas piezas angulares atrapadas entre el talo del líquen. El análisis de EDAX mostro que estas estructuras corresponden a pequeñas piezas de la pintura (Figura 3).

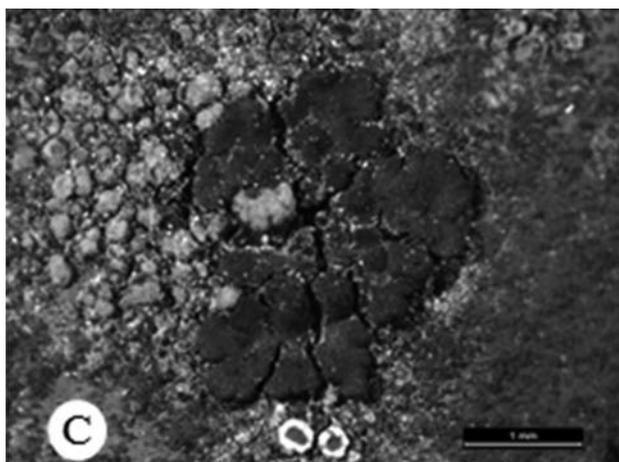


Figura 2: *C. aurella*

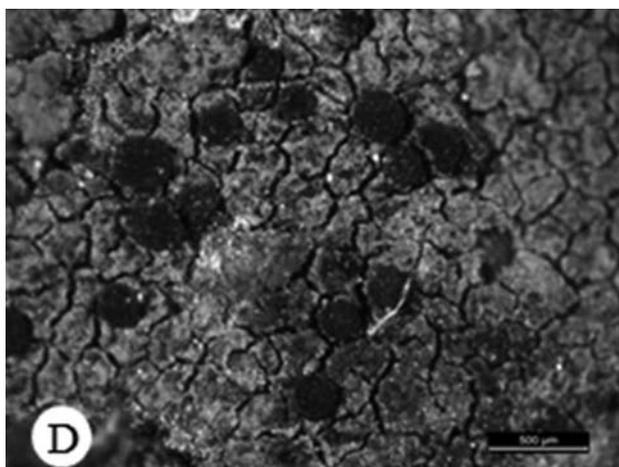


Figura 2: *S. monosporoides*

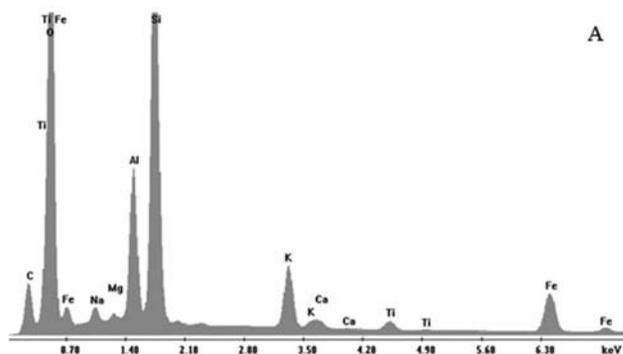


Figura 3: Analisis semicuantitativo obtenido por EDAX

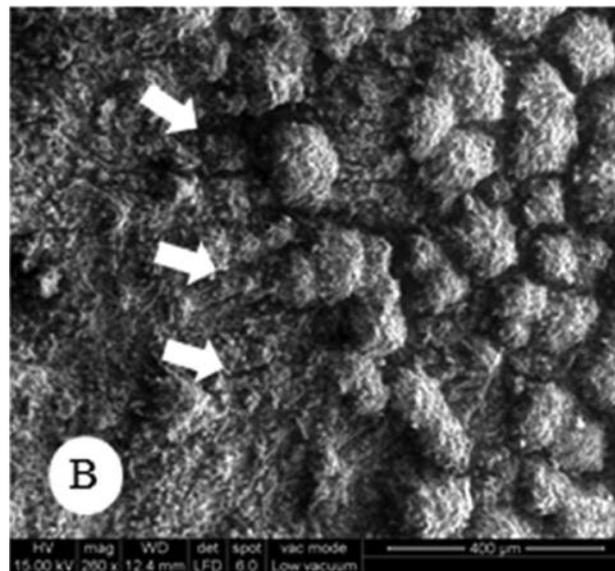


Figura 3: Capa de pintura fracturada alrededor del talo de *C. cinnabarina*

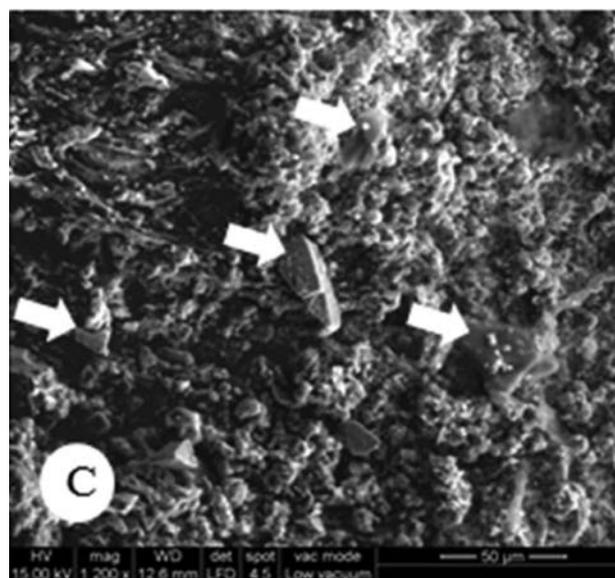


Figura 3: Piezas de pintura atrapadas por el talo de *C. cinnabarina*

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las placas de metal presentaron los tres tipos de sustratos según Brightman & Seaward [7], de estos sólo el metal pintado y el metal oxidados pudieron ser ocupados por los líquenes; posiblemente el metal exfoliado sea inestable para la colonización líquénica [1]. Sobre el metal oxidado y el pintado se encontraron las mismas especies y en algunos casos el talo se extendía de una superficie a la otra.

Esto lleva a pensar que para estas especies no existe una diferencia entre estos dos tipos de sustratos y su presencia solo está condicionada por la llegada del propágulo a la superficie. La excepción es *Buellia sp.*, que se encuentra mayoritariamente en el metal pintado, aunque no es claro si se trata de una preferencia ecológica o si es debido al azar. El metal con o sin pintura demostró ser una superficie apta para el crecimiento de líquenes saxícolas, como ya fue notado por otros autores [7,10, 9].

Como ya fue advertido por Brightman y Seaward [7]

las especies encontradas sobre metal no se encuentran creciendo sobre rocas que contienen metal, sino que se trata de especies cosmopolitas capaces de crecer sobre una variada cantidad de superficies. De todas las especies encontradas solo *C. cinnabarina* y *S. monosporoides* fueron capaces de crecer en todas las placas, pero solo *C. cinnabarina* cubría la mayoría de las superficies, sugiriendo que las características ecofisiológicas de la especie le permiten crecer más eficientemente que al resto de las especies. En contraste *S. monosporoides* presenta un pequeño talo que no cubre gran cantidad de la superficie; esta especie quizás presente un crecimiento más lento que *C. cinnabarina*. La mayoría del deterioro de la pintura fue causado por las condiciones ambientales. Sin embargo, el análisis con el MEB reveló la fractura de la pintura

alrededor del talo del líquen, que pudo ser causada por la expansión y contracción del talo [21, 22] y por compuestos químicos [11]. Esto posiblemente ocasiona la pérdida de protección y contribuye a la oxidación del metal. Las partículas de pintura se encontraban inmersas en el talo de *C. cinnabarina*, como ya se describió para líquenes saxícolas, donde las partículas de las rocas se encontraban integradas dentro del talo [23, 24, 25]. Podemos concluir que *C. cinnabarina* es capaz de deteriorar la superficie pintada, como así también incorporar pequeños fragmentos del material removido de este. En las restantes especies esto no pudo ser observado debido a su baja frecuencia y tamaño, aunque es posible que presenten estrategias similares.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Brodo, I.M. 1973. Substrate ecology. In: Ahmadjian, V., Hale, M.E. (eds.) *The Lichens*. Academic Press, New York, pp 401–441.
- 2.- Armstrong, R.A.1988. Substrate colonization, growth, and competition. In: Galun, M. (ed.) *CRC Handbook of Lichenology*. CRC Press, Boca Raton, pp. 3–16.
- 3.- Armstrong, R. 2002. The effect of rock surface aspect on growth, size structure and competition in the lichen *Rhizocarpon geographicum*. *Environ. Exp. Bot.* 48(2): 187–194.
- 4.- Ortega-Calvo, J. J., Ariño, X., HernandezMarine, M., & Saiz-Jimenez, C. 1995. Factors affecting the weathering and colonization of monuments by phototrophic microorganisms. *Sci. Total Environ.*167: 329–341.
- 5.- Lawrey, J. D. 1991. Biotic interactions in lichen community development: a review. *The Lichenologist*. 23(3): 205–214.
- 6.- Pentecost, A. 1980. Aspects of Competition in Saxicolous Lichen Communities. *The Lichenologist*. 12(01): 135–144.
- 7.- Brightman, F., Seaward, M.R.D. 1977. Lichens of man-made substrates. In: Seaward, M.R.D. (ed.) *Lichen Ecology*. Academic Press, London, pp 253-293.
- 8.- Richardson, D.H.S. 1978 Lichens on iron cannon balls. *The Lichenologist*. 10, 233–235.
- 9.- Ossowska, M. & Egrzyn, M. 2009. Lichens recorded on iron and glass in NE Poland. *Polish Botanical Journal*. 54(1): 123–124.
- 10.- Rosato, V.G. 2003. Lichens found on —La Postrera Bridge across Salado River, Chascomús (Buenos Aires Province). In: Ribas-Silva, M. (ed.) *Microbial Impact on Building Materials. Proceedings of the International RILEM Conference*, Lisboa, Portugal. pp 77–83.
- 11.- Jones, D. & Wilson, M.J. 1985. Chemical activity of lichens on mineral surfaces – a review. *Int. Biodeterior.* 21: 99–104.
- 12.- Wierzchos, J. & Ascaso, C. 1994. Application of backscattered electron imaging to the study of the lichen-rock interface. *J. Microsc.* 175: 54–59.
- 13.- Wierzchos, J. & Ascaso, C. 1996. Morphological and chemical features of bioweathered granitic biotite induced by lichen activity. *Clays Clay Miner.* 44: 652– 657.
- 14.- Chen, J., Blume, H.P., & Beyer, L. 2000. Weathering of rocks induced by lichen colonization — a review. *Catena*. 39(2):121– 146.
- 15.- Auge, M.P., González, N. & Nagy, M.I. 1995. *Manejo del agua subterránea en La Plata, Argentina*. Convenio Universidad de Buenos Aires-International Development Research Centre.
- 16.- De La Rosa, I. N., Messuti, M. I., & Śliwa, L. 2011. The *Lecanora dispersa* group (Lecanoraceae) in Argentina. *The Lichenologist*. 44(01): 101–114.

- 17.- Elix, J.A. 2011. *Rinodina*, Australian Physciaceae(LichenisedAscomycota). <http://www.anbg.gov.au/abrs/lichenlist/Rinodina.pdf>. a.pdf.
- 18.- Sliwa, L. (2007). A revision of the *Lecanora dispersa* complex in North America. *Polish Botanical Journal*. 52(1): 1–70.
- 19.- Mccune, B. 2011. Caloplaca in Pacific Northwest. <http://people.oregonstate.edu/~mccuneb/Caloplaca.pdf>
- 20.- Nash III, T.H., Ryan, B.D., Gries, C. & Bungartz, F. 2002. *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region, Vol I.*, Arizona State University, Tempe, Arizona. pp. 532
- 21.- Fry, E.J. 1924. A suggested explanation of the mechanical action of lythophytic lichens on rocks shale. *Ann. Bot.* 38: 175–196.
- 22.- Fry, E.J. 1927. The mechanical action of crustaceous lichens on substrata of shale, schist, gneiss, limestone and obsidian. *Ann. Bot.* 40: 437–460.
- 23.- Ascaso, A., Wierzos, J. & De Los Rios, A. 1995. Cytological investigations of lithobiotic microorganisms in granitic rocks. *Bot. Acta.* 108: 474– 481.
- 24.- Ariño, X., Ortega-Calvo, J.J., Gomez-Bolea, A. & SaizJimenez, C. 1995. Lichen colonization of the Roman pavement at Baelo Claudia Cadiz, Spain: Biodeterioration vs. bioprotection. *Sci. Total Environ.* 167: 353– 363.
- 25.- Prieto Lamas, B., Rivas Brae, M.T. & Silva Hermo, B.M. 1995. Colonization by lichens of granite churches in Galicia Northwest Spain. *Sci. Total Environ.* 167: 343– 351.



# ENSAYOS DE DOS SUSTANCIAS HIDRORREPELENTES EN LADRILLOS: DEMORAN EL CRECIMIENTO DE BIOFILMES? EL CASO DE LA CATEDRAL DE LA PLATA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Vilma G. Rosato , Rosana Lofeudo, Fabian Iloro, Renato García

## INTRODUCCIÓN

La Catedral de La Plata (Buenos Aires, Argentina), es un edificio neogótico con una superficie de 7000 m<sup>2</sup> construido con mampostería de ladrillo a la vista y mortero, que le dan una apariencia muy especial y característica. Se usó mortero de cemento blanco en los pináculos, arcos de apoyo de las bóvedas y ornamentos. Aunque está ubicado en el centro de la ciudad, en un área de tránsito denso, la Catedral está rodeada por un jardín que ayuda a mitigar los efectos de la contaminación aportada por los autos y la influencia de los contaminantes del complejo

Petroquímico en las afueras de la ciudad, y provee sombra y humedad.

El proyecto original fue diseñado por el Ing. P. Benoit, y el Arq. E. Meyer dibujó el plano definitivo, inspirado en las Catedrales de Colonia y Amiens (Figuras 1 y 2).

La construcción comenzó en 1884, con la bendición de la piedra fundacional. Luego de varios años de trabajo, la capilla “Nuestra Señora de los Dolores” se abrió en 1902, pero sólo comenzó a funcionar como Catedral en 1932. Luego se completó la cripta, diseñada por el Arq. C. Rivarola y los restos del fundador, Dardo Rocha y su esposa, fueron sepultados allí solemnemente en 1940. En 1941, los pisos se recubrieron con baldosas de granito, y en 1947 los vitraux franceses se colocaron en las ventanas. Luego, el edificio quedó inconcluso hasta que las torres y los detalles ornamentales se completaron en 1999. Mientras estos trabajos estaban en ejecución, el edificio se limpió y se utilizó una sustancia hidrófoba (Igolnikow, 2000).

Ahora, luego de 10 años, la Catedral está afectada por el crecimiento de líquenes, algas verdes, cianobacterias, musgos (Gómez de Saravia, Fontana y Guiamet, 2009), y planta superiores. Los líquenes como *Flavoplaca austrocitrina* crecen especialmente en los lugares húmedos mirando hacia el sur y sureste (Rosato, García & Barreto, 2008), por lo que se planifican nuevos trabajos de limpieza y protección.

Aunque las sustancias hidrófobas no tienen efecto biocida, bloquean la absorción de agua, por lo que hay muy poca agua disponible para los microorganismos. Así, en teoría, los hidrorrepelentes tendrían una doble acción protectora: prevenir el daño causado por el agua a los materiales y crean una barrera para los biofilmes, puesto que los

microorganismos encuentran difícil crecer en superficies con baja humedad.

Este trabajo tiene dos grandes finalidades: primero, encontrar un proceso de limpieza adecuado que sea efectivo contra los biofilmes sin dañar el material; y segundo, un tratamiento hidrorrepelente que demore el crecimiento de nuevos microorganismos tanto como sea posible.



Figura 1: Catedral de La Plata



Figura 2: Vista aérea (obtenida de Google Earth)

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Clima:

De acuerdo a los datos del Instituto de Geomorfología y Suelos de Universidad Nacional de La Plata, La Plata tiene un promedio anual de precipitaciones de 1040 mm (obtenidos de datos de 100 años). El mes más lluvioso es marzo, con un promedio de 111 mm y el menos lluvioso es junio, con un promedio de 63 mm. La distribución estacional de la lluvia es bastante regular, aunque hay una disminución en invierno (Tabla 1).

Con respecto a los últimos 10 años, las precipitaciones totales pasaron de 1496 mm en 2001 a 711,15 mm en 2008. (Figura 3 – los datos de 2010 son las precipitaciones acumuladas hasta Julio).

La temperatura media anual es 16.2 °C. Enero es el mes más caluroso con 28 °C de promedio y Julio es el más frío, con una temperatura media de 9.9 °C. Las temperaturas extremas fueron 43 °C y -5 °C.

Verano (Diciembre, Enero, Febrero)	289 mm	27%
Otoño (Marzo Abril, Marzo)	289 mm	27%
Invierno (Junio, Julio, Agosto)	196 mm	18,8%
Primavera (Septiembre, Octubre, Noviembre)	266 mm	25, 6%

Tabla 1- Distribución de las lluvias durante el año

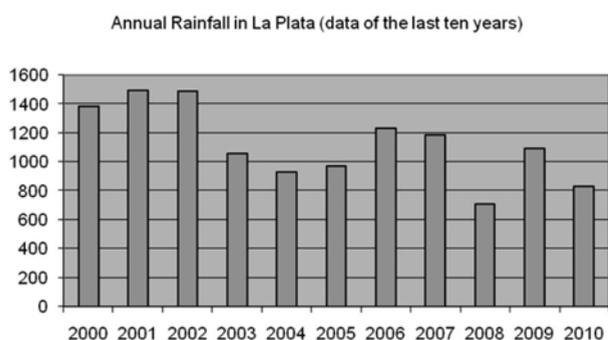


Figura 3: Precipitaciones durante los últimos 10 años (2010 sólo hasta julio).

La intensidad anual promedio del viento es de 12 km/h, con predominio de vientos del E, y luego del NE and SO. Las mayores intensidades se observan durante octubre, diciembre y enero, con promedios de 7 a 15 km/h. Es importante notar que los vientos del NE y NO trasportan contaminantes del complejo petroquímico en las localidades vecinas de Berisso y Ensenada.

La humedad relativa promedio es de 77%, variando entre 85% en junio y 70% en enero.

### Materiales:

Las muestras de ladrillos se obtuvieron de la pared con un taladro con punta de diamante enfriado con agua. Las muestras eran de 7.5 cm de diámetro y 25.0 cm de profundidad.

Los materiales se estudiaron para determinar su composición, absorción y retención de agua.

La humedad natural del material a diferentes profundidades medidas secando las muestras en la estufa a 100 °C y midiendo la diferencia de peso.

Para medir la absorción de agua, las muestras se dejaron en estufa a 100 °C hasta que alcanzaron peso constante, se sumergieron en agua durante 24 h y luego se pesaron nuevamente después de secar cuidadosamente la superficie. La diferencia entre peso húmedo y seco se calcula como porcentaje del peso inicial.

Para medir la tasa de retención de humedad, las muestras de ladrillo se sumergieron y se dejó que absorbieran agua hasta peso constante y expuestas a dos ambientes diferentes, uno con  $60 \pm 3$  % de humedad relativa y  $22 \text{ °C} \pm 2$  de temperatura (ambiente seco) y el otro con  $95 \pm 3$  humedad relativa (ambiente húmedo) y una temperatura dentro del rango indicado más arriba.

La composición de los materiales se analizó por XRD (Difracción de Rayos X) con un Goniómetro Philips 3020 con un controlador PW 3710, usando radiación de  $\text{Cu-K}\alpha$ , filtro Ni y 40 kV-20 ma. Se observaron pequeñas muestras bajo MEB (Microscopio Electrónico de Barrido) y se realizaron análisis EDE (Espectroscopía de dispersión de electrones).

### Pruebas de hidrorrepelentes:

Para verificar la acción de los hidrorrepelentes, se limpiaron superficies colonizadas de morteros de cemento y ladrillo con diferentes métodos: hidrolavado; hipoclorito de sodio; peróxido de hidrógeno; detergente de pH neutro; pasta limpiadora (“papeta”) AB 57 con cloruro de benzalconio como biocida. Luego de eso, las superficies se enjuagaron con abundante agua para retirar los restos de las sustancias usadas. Las pruebas se realizaron sobre la pared de mampostería junto a la puerta de la Capilla sobre la Avenida 53 y las secciones se identificaron como sigue:

- 601: hidrolavado
- 602: hidrolavado más hidrorrepelente 1
- 603: hidrolavado más hidrorrepelente 2
- 701: lavado con hipoclorito de sodio 50%

702: lavado con hipoclorito de sodio 50% e hidrorrepelente 1  
 703: lavado con hipoclorito de sodio 50% e hidrorrepelente 2  
 801: lavado con detergente neutro y rociado con hipoclorito de sodio 50% antes del enjuague  
 802: lavado con detergente neutro y rociado con hipoclorito de sodio 50% antes del enjuague, e hidrorrepelente 1  
 803: lavado con detergente neutro y rociado con hipoclorito de sodio 50% antes del enjuague, e hidrorrepelente 2

Las superficies limpias se dejaron secar tres días y divididas en tres: una parte se dejó sin tratar, y las otras dos se impregnaron con dos hidrorrepelentes diferentes disponibles en el comercio (uno es un silano y el otro una mezcla de alcoxisiloxano, como se ve en la Tabla 2)

Además, dos ladrillos antiguos se limpiaron y se impregnaron con los hidrorrepelentes a probar, finalmente llevados al ábside (la parte más húmeda y sombría) y expuestos en el techo a 22 m de altura

Estos ladrillos se observaron periódicamente para observar si había biofilmes creciendo en la superficie.

Se realizaron muestreos cuantitativos antes y después de la limpieza para poder comprobar la eficacia de los biocidas,

y luego controlados nuevamente después de uno y tres meses, para observar nuevos crecimientos. Para identificar los organismos, las superficies afectadas se rasparon suavemente con un bisturí, y la muestra se colectó en cápsulas de Petri estériles. Las muestras luego se observaron bajo microscopio y los organismos se identificaron con la ayuda de la bibliografía correspondiente.

Para medir la cantidad de UFC (Unidades Formadoras de Colonia), se usó una modificación del método del número más probable (Figura 4): un cuadrado de 10 x 10 cm se raspó cuidadosamente, quitando el biofilme que se recolectó en cápsulas de Petri estériles. Entonces, las muestras se etiquetaron inmediatamente y llevadas al laboratorio.

Las muestras se colocaron en recipientes estériles y suspendidas en 100 ml de solución fisiológica. El medio de agar-nutriente derretido se volcó en tres cápsulas de Petri estériles y se dejó enfriar. Antes de que el agar se gelificara, se volcó 1 ml de la suspensión en cada cápsula de Petri. Los cultivos se incubaron a 35 °C y las colonias resultantes se observaron y contaron a las 24 y 48 horas. En este caso, no se usaron nuevas diluciones, porque las pruebas preliminares mostraron que el número de colonias era adecuado y el número de UFC se podía estimar directamente usando la suspensión original.

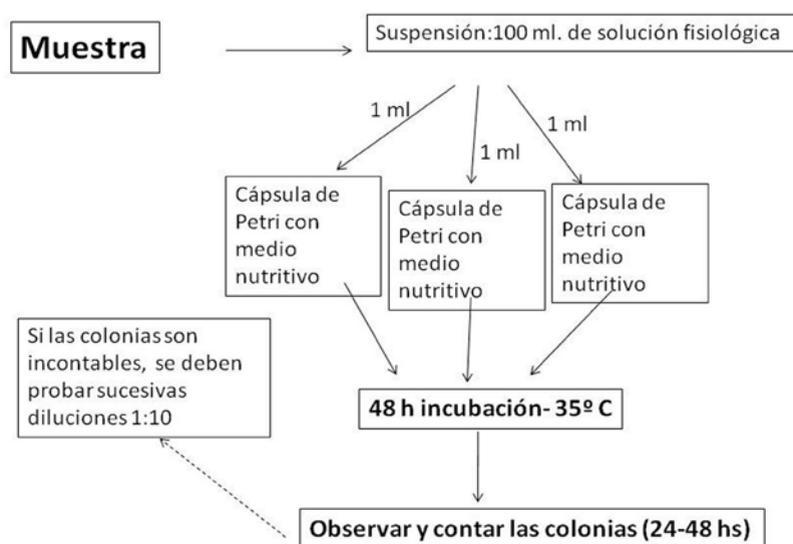


Figura 4: Esquema del ensayo cuantitativo.

Producto	1	2
Descripción	Protección hidrorrepelente para muros externos con base de solvente	Hidrorrepelente superficial con base de solvente
Datos Técnicos	Base química: siloxanos en solventes orgánico	Base química: silanos y siloxanos en base solvente
	Densidad (A 20°): 0,8 KG/LT	Densidad: 0,8 KG/LT
	Tiempo de secado: 1 H AT 20°C - 65% RH	Tiempo de secado: -
	Ph: 5/6	Ph: 7/8
Aplicaciones	Impregnante líquido hidroepelelente que penetra superficies porosas por capilaridad a través de los poros, produciendo una efectiva y duradera repellence del agua de lluvia.	Hidrorrepelente superficial que actúa evitando la penetración de materiales porosos, no fisurados, permitiendo que las superficies respiren libremente

Tabla 2: Comparación de los dos productos hidrorrepelentes

## RESULTADOS

El valor promedio de absorción obtenido de tres ensayos fue 15.6%; la densidad en estado saturado con superficie seca es 1.7. La porosidad del material tiene un promedio de 23.6%, determinado como el cociente del volumen de agua absorbida luego de 24 hs y el volumen de la muestra.

La humedad natural del ladrillo se midió a diferentes profundidades medidas por la pérdida de peso a 100 °C y los resultados comprobaron que la sección con contacto al exterior tenía menos humedad que la parte interior .

En cuanto a la capacidad de retención de agua del ladrillo, la Figura 5 indica los porcentajes de humedad retenidas por las muestras con respecto al tiempo y las condiciones ambientales. Como se puede observar, hay una gran influencia de la humedad relativa ambiente en la retención de agua en el material, creando un sustrato adecuado para la colonización de los microorganismos.

Los análisis de DRX (Difracción de Rayos X) indican principalmente la presencia de cuarzo, y feldspatos sódicos y/o calcosódicos (Figura 7). También hay una escasa cantidad de óxidos de hierro (hematita) y probable contenido de calcita y feldespato potásico en bajas proporciones, al igual que una muy baja cantidad de materiales arcillosos.

Las observaciones con MEB (Figura 7) y microanálisis EDE (Figura 8) confirman los resultados obtenidos por DRX.

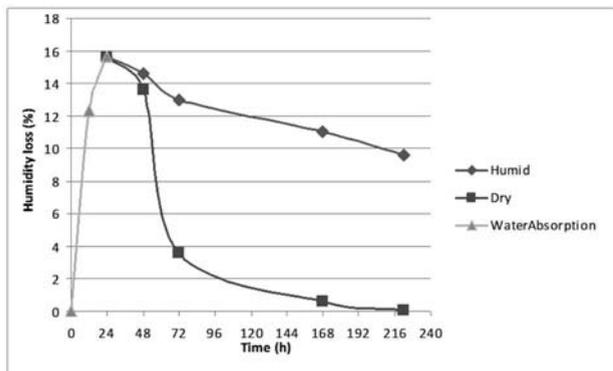


Figura 5: Pérdida de agua de los ladrillos en diferentes ambientes de humedad relativa.

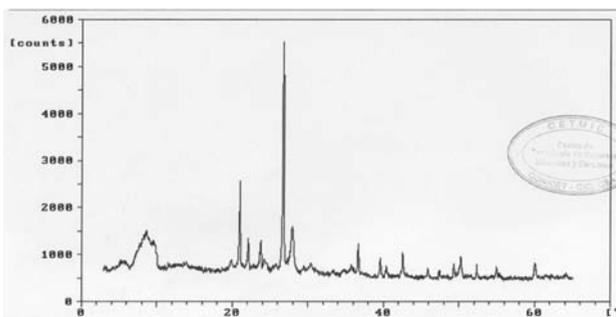


Figura 6: Difractograma de la muestra de ladrillo.

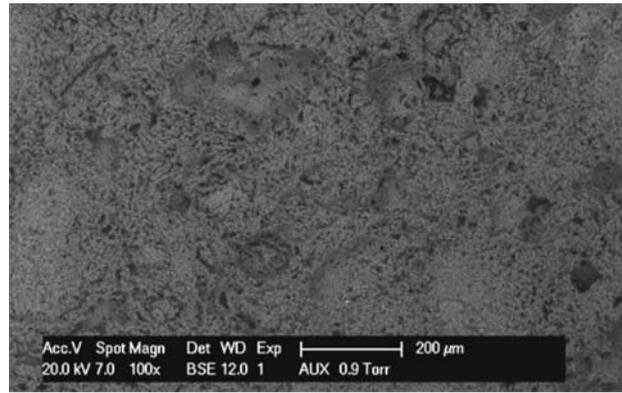


Figura 7: Imagen obtenida con MEB.

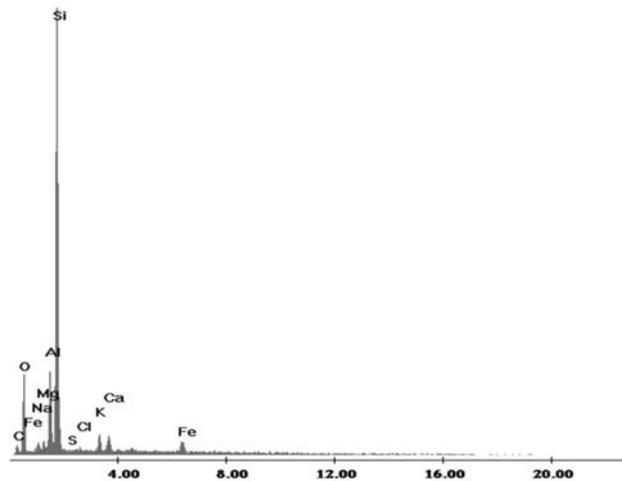


Figura 8: Espectrograma EDS de la muestra de ladrillo.

### Estudio Microbiológico

Los resultados de las muestras cuantitativas se muestran en las Tablas 3 a 6. Al comparar la tabla 3 con la tabla 4, es evidente que todos los métodos de limpieza fueron eficientes para limitar o eliminar los microorganismos. Sin embargo, luego de tres meses los microorganismos aparentemente empiezan a crecer en las secciones 701 y 801.

Cuando se miran los resultados de las superficies tratadas con hidrorrepelentes, no se hallan UFC o hay conteos muy bajos, y no se observan diferencias o tendencias en el efecto de ambos hidrorrepelentes, excepto en la sección 703 donde los microorganismos parecen volver a crecer.

En cuanto al hidrolavado, había colonias creciendo en el sector 601, pero esa tendencia no continuó en los siguientes controles.

Los ladrillos expuestos en el techo del ábside no tienen signos de nueva colonización en el corto plazo.

Tratamiento	24 h			48 h		
	1	2	3	1	2	3
601	7	6	17	11	9	23
701	4	5	3	7	8	5
801	7	3	5	9	13	5

Tabla 3: Condición Pretratamiento (los números representan la cantidad de UFCs)

Tratamiento	24 h			48 h		
	1	2	3	1	2	3
601	0	3	0	5	3	0
701	0	0	0	0	0	0
801	0	5	1	1	0	8

Tabla 4: Control Postratamiento (los números representan la cantidad de UFCs)

Tratamiento	24 h			48 h		
	1	2	3	1	2	3
601	0	0	0	1	0	0
602	1	0	0	1	2	1
603	1	0	0	1	0	0
701	0	0	0	0	0	0
702	0	0	0	0	3	0
703	0	0	0	0	0	0
801	0	0	0	1	0	0
802	1	0	0	1	0	0

Tabla 5: Control después de 1 mes (los números representan la cantidad de UFCs)

## CONCLUSIONES

Los ensayos físicos mostraron que los ladrillos de la Catedral de La Plata son muy porosos, y retienen agua por un tiempo bastante prolongado (una semana hasta 10 días) en condiciones de humedad. Esta situación es adecuada para el crecimiento de microorganismos, aunque en este caso, los conteos microbiológicos originales eran bajos. Es importante notar que, de acuerdo a los resultados de los ensayos de humedad natural a diferentes profundidades, el ingreso de agua es principalmente por absorción capilar del agua del suelo.

Los métodos de limpieza redujeron el número de

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- García, G. R. 2002- Preservación de materiales en la Catedral de La Plata. Intervención en: mampostería de ladrillos, componentes ornamentales y elementos metálicos. En: *1a Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio*, LEMIT, La Plata 2002 (CD)
- 2.- Gómez de Saravia S. G., Fontana J.M., Guiamet P.S., 2009. Caracterización de biofilms algales provenientes de la Catedral de La Plata. En: *Reunión Interdisciplinaria de La Provincia sobre biofilms*.(CD)
- 3.- IGOLNIKOW R. 2000. Aspectos estructurales de la Catedral de La Plata y de su completamiento. Hormigón 35, Buenos Aires, 2000, pp. 23-38
- 4.- La Catedral de La Plata. *El mayor templo neogótico del siglo XX*. MZ Ediciones y Fundación Catedral- Buenos Aires, Argentina, 2000
- 5.- Rosato Vilma G., García Renato, Viera Barreto Jessica Análisis de cobertura de Caloplaca austrocitrina en las paredes de la Catedral de la Inmaculada Concepción de La Plata 1er. *Congreso Iberoamericano de Conservación del Patrimonio*. La Plata, 10 y 11 de setiembre de 2009. (CD)

Tratamiento	24 h			48 h		
	1	2	3	1	2	3
601	0	0	0	0	0	0
602	0	0	0	0	0	0
603	0	0	0	0	0	0
701	1	0	0	1	1	0
702	0	0	0	0	0	0
703	3	1	2	3	1	2
801	1	0	0	3	2	1
802	0	0	0	1	0	0
803	0	0	0	1	0	0

Tabla 6: Control después de 3 meses (los números representan la cantidad de UFCs)

microorganismos o, directamente, los eliminaron. La excepción fue la limpieza con detergente neutro: al comienzo, casi no había crecimiento de nuevos microorganismos, porque el sector se roció con hipoclorito de sodio antes del enjuague final con agua, pero luego de tres meses se detectan colonias en el sector no tratado. Esto es porque el hipoclorito de sodio no tiene efecto residual. En contraste, los sectores tratados con hidrorrepelentes aún están limpios.

Esto también ocurre en el sector 701, solo lavado con hipoclorito de sodio: luego de tres meses, hay crecimiento de microorganismos aunque en números muy bajos. Es notable que el sector 703, tratado con el hidrorrepelente 2, también muestre la presencia de nuevas colonias.

Las inspecciones visuales de seguimiento y el muestreo cuantitativo de microorganismos en las paredes limpias y los ladrillos expuestos en el techo del ábside mostraron que en corto plazo (1- 3 meses) que casi no hay crecimiento en las superficies tratadas, mientras que las superficies sin tratar tenían conteos microbianos bajos, y no se observaban diferencias entre la acción de los hidrorrepelentes.



# LIMPIEZA DE SUPERFICIES: EMPLEO DE DISTINTAS TÉCNICAS SOBRE MATERIALES CEMENTÍCEOS, TEJAS CERÁMICAS, MÁRMOLES Y ROCAS ORNAMENTALES

Vilma G. Rosato , Rosana Lofeudo, Fabian Iloro

## INTRODUCCIÓN

En los trabajos de recuperación y puesta en valor de edificios históricos o monumentos pertenecientes al patrimonio cultural de una nación o región, la limpieza de las superficies cobra un interés particular, porque es una operación delicada e irreversible que no da la posibilidad de corregir errores. Dado que puede dañar irreparablemente las superficies, se debe afrontar con todas las precauciones indispensables [1] (Lorenzi y Tabasso, 1986):

- El proceso de limpieza debe ser controlable en cada fase, graduable y selectivo (se debe poder eliminar exactamente lo que se desea, es decir, los diferentes tipos de suciedad).
- No debe originar sustancias agresivas para la durabilidad y conservación de las superficies (por ej, sales solubles o expansivas).
- No debe producir modificaciones, microfracturas o fuertes abrasiones sobre la superficie limpia, lo que puede acelerar el deterioro por aumento de la porosidad superficial. Debe recordarse que todos los procesos físico-químicos de alteración de los materiales se encuentran directamente vinculados a la porosidad, en particular con la porosidad abierta o interactuante con el medio externo.

En todos los casos, la limpieza, al igual que las demás tareas de restauración y conservación es tarea propia de personal especializado, que conozca los límites y posibilidades del método empleado, porque el éxito de una limpieza depende tal vez más de los conocimientos del operador que de la tecnología a emplear, la cual sin embargo debe ser adecuadamente elegida.

En la limpieza de superficies se distinguen los siguientes métodos [1]: Agua a baja presión, arenado controlado, limpieza química con empleo de agentes no agresivos, limpieza manual con pequeñas herramientas, agua atomizada, ultrasonido, aeroabrasivos de microarenados, hidrogeles, arcillas especiales (fango de sepiolita) y laser. En la última década comenzó a utilizarse el crioreinado, una técnica habitualmente empleada en la limpieza industrial, que utiliza pellets de CO<sub>2</sub> congelados para impactar la superficie, de modo que la suciedad se desprende por el choque térmico y el efecto suavemente abrasivo del impacto.

Algunos de estos métodos, como el uso de ultrasonido o laser o la limpieza manual usando solventes y pequeñas

herramientas de metal o plástico, sólo se emplean en forma restringida en monumentos históricos y obras de arte valiosas y de pequeño tamaño, ya que por el tiempo que se emplea y el costo de mano de obra, resulta prohibitivo aplicarlo en las superficies de un edificio.

Existen otros métodos, pero están totalmente desaconsejados por el impacto que provocan en las superficies tratadas, como por ejemplo: limpieza con agua a alta presión, limpieza con vapor saturado, arenado no controlado, limpieza mecánica, limpieza con ácidos, álcalis y detergentes varios y limpieza mediante llama. Por los daños que ocasionan, estos métodos se prohibieron y dejaron de utilizar hace tiempo.

En el LEMIT se realizaron ensayos de distintos métodos de limpieza, empleando hidrolavado y limpieza con hipoclorito de sodio [2] ; se probó la limpieza manual de tejas cerámicas [3] y, en conjunto con el ICIS de Padua, se realizó crioreinado en muestras de morteros, tejas cerámicas y elementos de roca ornamental [4]). Además, se utilizó limpieza química con biocidas (papeta AB con cloruro de benzalconio ajustado al 1%) para la limpieza de una lápida de mármol de una tumba de 1903 [5].

## 1. - Pruebas de Hidrolavado y limpieza de morteros colonizados por líquenes utilizando biocidas

El hidrolavado es el método más empleado en Argentina aunque los restauradores, en particular los europeos, lo desaconsejan por el daño mecánico que causa el impacto del chorro de agua al provocar desgaste y desprendimiento del material, más aún si se trata de edificios o monumentos antiguos con superficies muy alteradas. Actualmente, se ha modificado la técnica para evitar dichos inconvenientes, con aparatos que usan presión variable y boquillas y generan un chorro helicoidal que impacta tangencialmente sin dañar la superficie, tal como se ha aplicado recientemente en los muros de la Basílica de San Francisco en Asís, Italia.

Cuando la superficie se encuentra colonizada por líquenes (organismos originados en la simbiosis de un hongo y un alga), en muchos casos el hidrolavado no resulta suficiente. Eso se debe a que muchas especies, como *Flavoplaca austroclitina*, la más común y difundida en la Provincia de Buenos Aires, Argentina, tienen elementos de reproducción vegetativa conjunta del hongo y del alga llamados soredios. Dichos soredios, formados por

un pequeño acúmulo de hifas (filamentos del hongo) y células del alga, se dispersan en el ambiente por acción del viento y del agua, haciendo más simple y rápido el establecimiento de nuevas colonias. En consecuencia, al aplicar el hidrolavado se elimina el líquen, pero se diseminan los soredios que volverán a colonizar esa superficie rápidamente, y otras ubicadas en las proximidades.

En estos casos, la forma de eliminar el líquen es mediante la acción de biocidas, pero antes de llegar a esa decisión hay diversos factores que evaluar:

- Se debe considerar si la presencia de estos organismos no está actuando como protección contra los agentes contaminantes de la atmósfera nocivos para los materiales constitutivos del sustrato o bien si la eliminación de los líquenes dará la posibilidad a otros microorganismos, como por ejemplo bacterias, de colonizar la superficie expuesta y más porosa dejada por el líquen [6] (Lallement y Deruelle, 1978).
- El biocida a utilizar debe cumplir ciertos requisitos: no sólo debe ser efectivo y tener acción selectiva contra los microorganismos (líquenes, en nuestro caso), sino que además no debe afectar al material, tanto en forma directa o dejando depósitos sobre el mismo [7,8] (May et al., 1993; Richardson, 1973).

Según la bibliografía disponible [9, 10,11] (ver listas de Piervittori et al. 1994, 1996, 1998), en Europa para eliminar la colonización líquénica se emplea con frecuencia el hipoclorito de litio, aunque de acuerdo a nuestras experiencias el hipoclorito de sodio (lavandina común) puede ser igualmente efectivo.

También es importante señalar que la limpieza debe eliminar en lo posible toda la materia orgánica, pues la presencia de residuos orgánicos facilitará la colonización de otros microorganismos. Por eso se planificaron distintos ensayos:

- Se hicieron observaciones sobre edificios limpios y verificando en qué momento reaparecen los líquenes.
- Se ensayaron muestras con y sin limpieza, realizando ensayos para medir materia orgánica remanente.
- Se efectuaron pruebas de hidrolavado a distintas presiones de muestras con y sin líquenes, que luego se observaron visualmente bajo microscopio estereoscópico utilizando además secciones delgadas que se investigaron utilizando el microscopio óptico.

a) Observaciones “in situ” de edificios y monumentos: Se evalúa la eficacia de la limpieza efectuada tomando en cuenta las fechas de lavado y de observación de la aparición de líquenes (Tabla 1). En el caso del Municipio de Coronel Pringles no se conoce la fecha exacta. Las localidades

citadas se ubican en el centro y sur de la Provincia, con un clima definido por 14°C de temperatura promedio anual y 950-1000 mm. promedio de precipitaciones anuales.

En cuanto a los materiales, en algunos casos son revoques cementicios y en otros, areniscas y mármol de Carrara. En el caso del Palacio Municipal de Coronel Pringles se empleó cemento blanco, cuyo peso específico es de 2,27 y valores de porosidad altos (30,3 %). En el Observatorio de La Plata se ha observado una recolonización incipiente en 6 meses, sobre mármol de Carrara.

En cambio, al realizar pruebas de laboratorio utilizando cepillado con hipoclorito de sodio y con peróxido de hidrógeno, se comprobó que en dos años de exposición a la intemperie, los trozos de material lavados permanecían sin signos de recolonización.

b) Ensayo de materia orgánica remanente: se adaptó el ensayo con NaOH de la norma IRAM 1512, aplicándolo a tejas de 100 años colonizadas por líquenes. La muestra sin lavar pesaba 75,6 gr. y luego del lavado con cepillo suave e hipoclorito de sodio su peso era de 74,6 gr., por lo que había un gramo de líquenes, humus y suciedad. El ensayo con Na OH, al valorarse la concentración con los patrones colorimétricos, dio como resultado que las muestras sin lavar tenían más de 500 ppm. de materia orgánica, y las muestras lavadas tenían entre 100 y 150 ppm.



Figura 1: Monumento a la Madre, Olavarría, luego de la limpieza.

Localidad	Monumento	Material	Fecha de limpieza	Presencia de líquenes
Cnel Pringles	Palacio Municipal	Cementiceo	Circa/1996	Noviembre/1999
Olavarría	Palacio Municipal	Cementiceo	Marzo?/2000	Octubre/2001
	Monumento a la Madre	Arenisca	Marzo?/2000 (Figura 1)	Octubre/2001 (Figura 2)
La Plata	Observatorio	Carrara	Agosto/2001	Noviembre/2001

Tabla 1: Monumentos observados y fecha de aparición de líquenes luego de la limpieza.



Figura 2: Monumento al año de la limpieza: se observan las manchas amarillas de las colonias de líquenes.

c) Comparación de métodos de limpieza: se observó que en una probeta de hormigón nueva, el lavado a 100 bar no provocaba efectos a simple vista. En cambio, en una muestra colonizada por *Flavoplaca autrocitrina* lavada a 80 bar se apreciaban algunas pequeñas estrías donde había impactado el chorro de agua. También se notó que el agregado fino se desprendía con facilidad con el roce de la mano, pues la acción liquénica ha solubilizado los fragmentos cementantes.

En la sección fina de la muestra colonizada e hidrolavada se nota la presencia de irregularidades en la superficie, debido a que las partículas de agregado fino quedan expuestas, sin material cementíceo que las rodee (Figura 3). Por el contrario, en la muestra no colonizada e hidrolavada a 100 bar, la superficie se mantiene compacta, ya que los agregados están englobados en material cementíceo (Figura 4), logrando un material uniforme

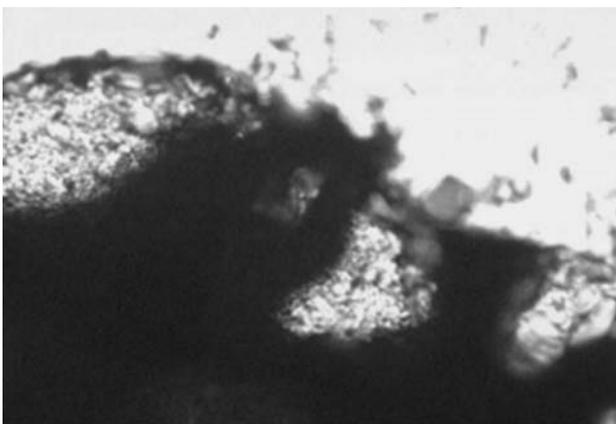


Figura 3: Material colonizado hidrolavado a 80 bar.

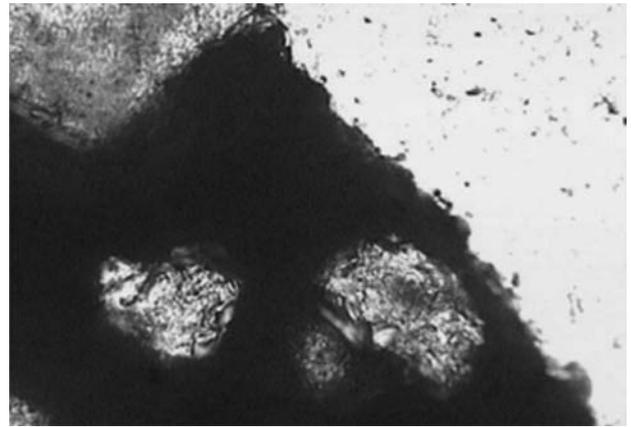


Figura 4: Material no colonizado, hidrolavado a 100 bar.

## 2.- Limpieza de tejas

Las tejas colonizadas pertenecían a las cubiertas de la Iglesia San José Obrero y a viviendas familiares (Figuras 5 y 6), ubicadas en un Barrio Obrero de la ciudad de Berisso construido durante la década del 40.

La inspección visual indica que la cubierta de la Iglesia San José Obrero posee entre el 60 y 70 % de su superficie colonizada por *Xanthoparmelia microspora*, que llega a formar talos de hasta 70 mm de diámetro. Esto se observa también en viviendas familiares que aún conservan el techo original (Figuras 7 y 8). Al crecer los talos unos próximos a otros, sus bordes se superponen formando así una cobertura continua del tejado.



Figura 5: Vista de la Iglesia San José Obrero.



Figura 6: Detalle de la cubierta de la Iglesia: se observa una intensa contaminación biológica.



Figura 7: Vista de vivienda familiar del Barrio Obrero.



Figura 8: Detalle de la cubierta de una vivienda familiar. Se observa un manto biogénico en casi toda la totalidad del techo.

Se determinaron las características de las tejas: largo (l), espesor (e), ancho y las flechas, que corresponden a la longitud entre la parte superior del arco y una superficie nivelada. También se determinaron la absorción de agua a 24 hs (Abs.) y la densidad saturada superficie seca (Dsss) y se realizó la determinación de pH sobre la superficie de las tejas colonizadas y no colonizadas. En la Tabla 2 se resumen los resultados obtenidos.

Mediante el ensayo de Difracción por RX, sobre las muestras de tejas, previamente molidas y sobre el polvo total pasante por el tamiz #100, se determinó cualitativamente la composición de las tejas colonizadas y no colonizadas, para verificar si existían similitudes de los materiales componentes. Los resultados permiten establecer que las muestras son similares, presentando como componente mayoritario cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), feldespato sódico-cálcico (Na, Ca) ( $\text{Al, Si}$ )  $2\text{Si}_2\text{O}_8$  y óxido de hierro (hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y como componente minoritario material argilo-micáceo (arcilla).

Estado	Abs. (%)	Dsss	pH	Dimensiones (mm)					
				l	e	Ancho		Flecha	
						May.	Men.	May.	Men.
Sin colonizar	14.6	2.1	7.0	42.2	10	163	122	62	36
Colonizado			5.0						

Tabla 2. Características físico-químicas y dimensionales de las tejas en estudio.

En cuanto a los líquenes presentes se identificaron como *Xanthoparmelia microspora* (Müll. Arg.) Hale, especie de aspecto folioso, semejante a una hoja con lóbulos redondeados de 5 a 8 mm de ancho y en su cara inferior posee ricines, estructuras que pueden introducirse en el sustrato para fijar el talo o cuerpo del líquen. Esto se confirmó al realizar un corte delgado sobre una sección de la teja colonizada y observar al microscopio el contacto de los ricines con la superficie del sustrato (Figura 9).



Figura 9: Imagen al Microscopio. Se observa la fijación del líquen sobre la superficie de la teja.

Además posee soledios, elementos reproductivos conjuntos del alga y el hongo, que se dispersan con facilidad por acción del viento y/o el agua.

Para probar las técnicas de limpieza, se seleccionaron aquellas técnicas más efectivas para la eliminación del líquen y menos dañosas para el material a limpiar. Respecto a la presión de trabajo seleccionada para el hidrolavado, luego de probar distintas presiones y observar si producían alteraciones sobre la superficie, surgió que la presión de 100 bares resulta la más conveniente. A continuación se describen las técnicas empleadas:

Técnica 1: Raspado con espátula y cepillado manual con agua. Se eliminó el líquen de la teja colonizada (Figura 10), utilizando una espátula y luego se lavó en forma manual mediante cepillado. Al microscopio se observó que las hifas y los filamentos del líquen quedan adheridos en la teja provocando una leve alteración, que origina una superficie algo más rugosa comparativamente con las áreas no colonizadas. Además, se observan manchas oscuras remanentes dispersas por toda la superficie (Figura 11).

Técnica 2: Hidrolavado a presión de trabajo de 100 bares. Posteriormente al retiro del líquen con espátula, se realizó un hidrolavado a una presión de 100 bares observándose que la teja soporta este tratamiento sin alteraciones. Sin embargo, en el sector que estaba colonizado persisten manchas y/o depósitos de suciedad que no alcanzan a ser eliminados por el hidrolavado a la presión de trabajo empleada (Figura 12).



Figura 10: Se observa un trozo de teja colonizada.

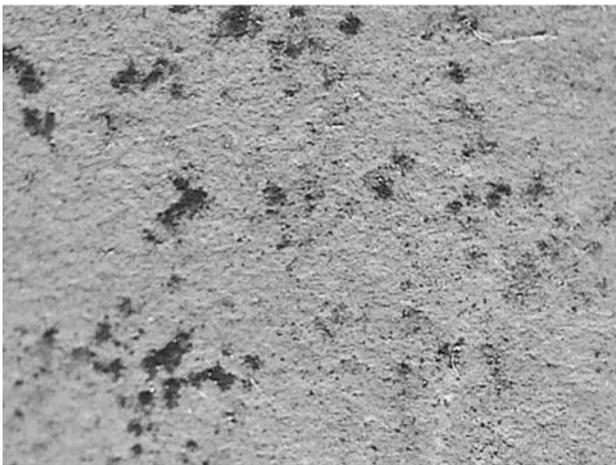


Figura 11: Trozo de teja luego del proceso de limpieza (espatulado y cepillado)



Figura 12: Se observan manchas oscuras sobre tejas colonizadas luego del proceso de hidrolavado.

Técnica 3: Hidrolavado a presión de trabajo de 100 bares y cepillado manual con agua con un 10 % de Hipoclorito de Sodio. La teja en estudio, luego de quitar el liquen con espátula, se hidrolavó a una presión de trabajo 100 bares y posteriormente se lavo en forma manual con cepillo con una solución de agua con 10 % de Hipoclorito de Sodio, observándose una disminución sensible de las manchas remanentes del tratamiento del hidrolavado (Figura 13).

En resumen, la técnica de limpieza y cepillado manual es

la menos dañina, aunque se aprecian restos de suciedad. En cuanto al hidrolavado, se halló que la teja es capaz de soportarlo sin mayores daños, pero que se obtiene el mejor resultado complementando este tratamiento con un lavado con hipoclorito de sodio y posterior enjuague con abundante agua.

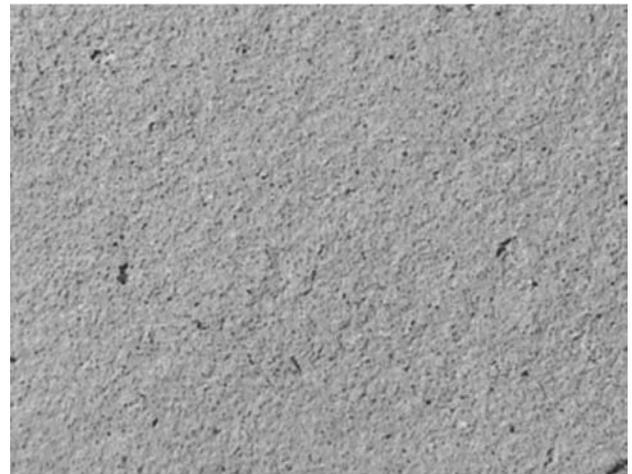


Figura 13: Se visualiza una disminución considerable de las manchas remanentes al emplear la Técnica 3.

### 3.- Crioreinado

En el marco de un proyecto de colaboración LEMIT-ICIS se realizaron pruebas preliminares para eliminar la colonización biológica sobre piedra de Istria y baldosas de traquita de Venecia y sobre tejas cerámicas colonizadas por líquenes, obtenidas en edificios históricos de las localidades de Magdalena y Berisso (Provincia de Buenos Aires): una teja plana de 120 años, correspondiente a un viejo casco de estancia y una teja redondeada de 60 años de una iglesia correspondiente a un emprendimiento social de fines de la década del 40, respectivamente.

Se efectuaron pruebas de limpieza sobre estos materiales ajustando la presión del chorro entre 1,5 a 3 bars y la distancia para obtener un buen balance entre la eficiencia de limpieza y efectos poco invasivos (ver Figuras 14, 15 y 16).

En algunas experiencias se observó cómo se puede lograr la eliminación de las capas sucesivas de pintura existente sobre morteros (ver fotografía 17), ajustando el grado de limpieza a los requerimientos.



Figura 14: Equipo de crioreinado. Se observa el tanque de reserva de CO<sub>2</sub> congelado y granulado.



Figura 15: Detalle de CO<sub>2</sub> congelado y granulado en el tanque de reserva y gránulos de CO<sub>2</sub> congelado.



Figura 16: Pistola de aire comprimido lanzando un chorro de CO<sub>2</sub> congelado y granulado.



Figura 17: Muestra de mortero. Evaluación de capas de pintura con criorearenado.

Otras pruebas llevadas a cabo en Venecia sirvieron para observar la remoción de algas de canales y del asfalto utilizado para impermeabilizar los cimientos.

Los efectos de la limpieza y los cambios morfológicos inducidos en los diferentes sustratos evaluados se investigaron por microscopía óptica y electrónica de barrido (MEB). En el caso de las tejas en estudio, las muestras se obtuvieron antes y después de la limpieza realizada por criorearenado. Se prepararon secciones lúcidas, que se cubrieron con oro y se observaron bajo MEB para examinar la superficie detectando cualquier daño posible causado por la técnica de limpieza.

Al realizar las pruebas con la técnicas de criorearenado se notó por observación directa que la teja más antigua se pudo limpiar con buenos resultados y sin daño evidente, mientras la teja más reciente perdió material (Figuras 18, 19, 20 y 21).

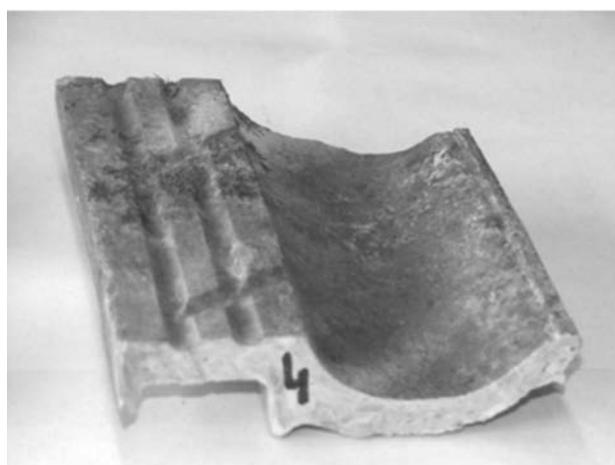


Figura 18: Teja de 120 años antes del criorearenado.

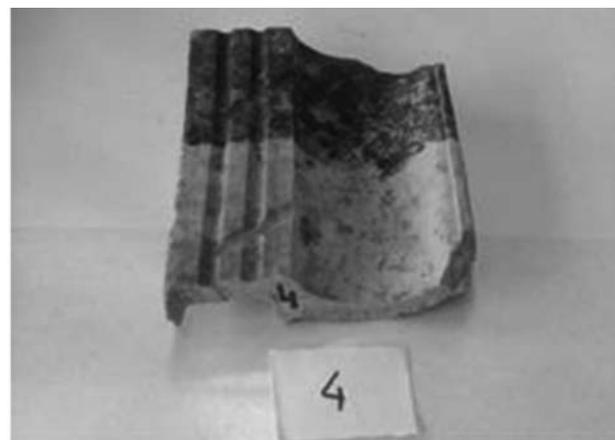


Figura 19: Teja de 120 años luego del criorearenado a 3.5bar.



Figura 20: Teja de 60 años antes del criorearenado

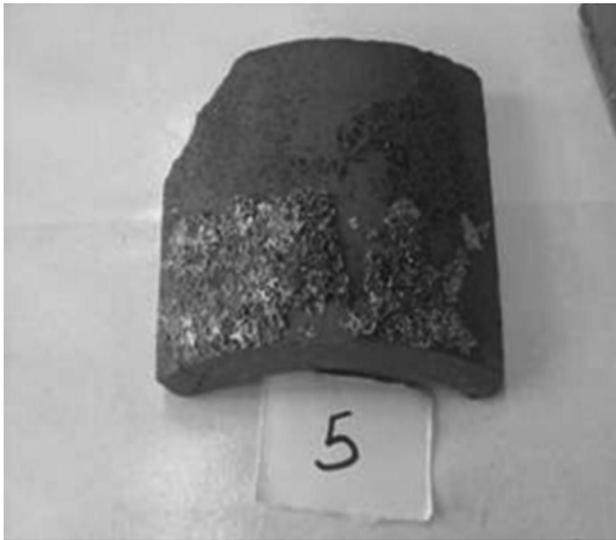


Figura 21: Teja de 60 años luego del crioreinado a 2.5 bar. Se observa la pérdida de material superficial.

Las observaciones con MEB pusieron en claro que la teja más antigua tiene una textura homogénea, con pequeños poros, mientras la teja de 60 años tiene una estructura laminar, paralela a la superficie, que origina consecuentemente una delaminación luego de la limpieza, casi con seguridad por efecto del impacto. (Figuras 22 y 23).

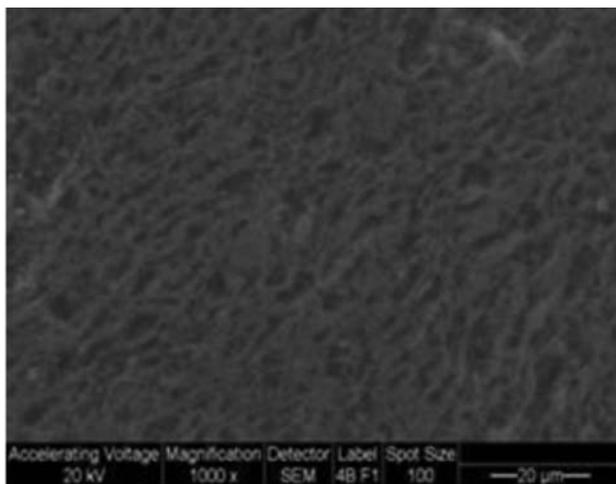


Figura 22: Fotomicrografía MEB de la teja de 120 años.

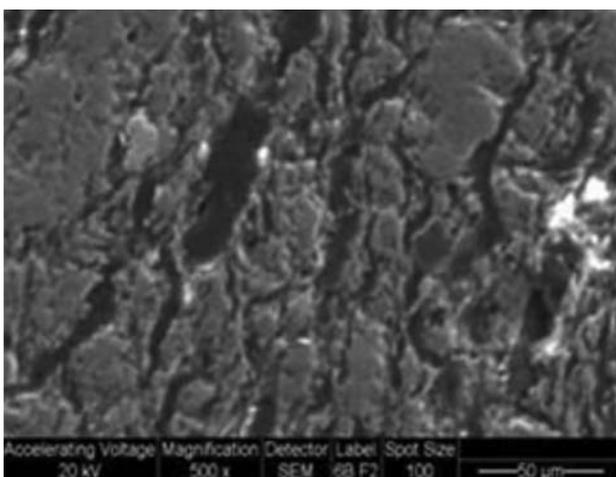


Figura 23: Fotomicrografía MEB de la teja de 60 años.

El crioreinado a 1,5 bar pudo eliminar, de acuerdo a experiencias realizadas, eflorescencias blancas originadas por lixiviación de sales existentes en la matriz cerámica de una teja de 60 años sin originar un daño notable (Figuras 24 y 25).

En otras experiencias ejecutadas en una rejilla de roca calcárea no se pudo limpiar totalmente aunque los musgos que crecían sobre ella se eliminaron fácilmente. Las secciones delgadas muestran que las algas son endolíticas, inmersas en el sustrato, por lo que en este caso el crioreinado no fue efectivo (Figuras 26, 27 y 28).

Respecto a un ornamento ejecutado en arenisca con la existencia de una costra negra muy fuertemente adherida, la experiencia de limpieza originó la pérdida significativa de material cuando se procedió a su limpieza a una presión de 3,5 bar (ver Figuras 29, 30 y 31).



Figura 24: Teja de 60 años antes del crioreinado.



Figura 25: Teja de 60 años luego del crioreinado a 1.5 bar.

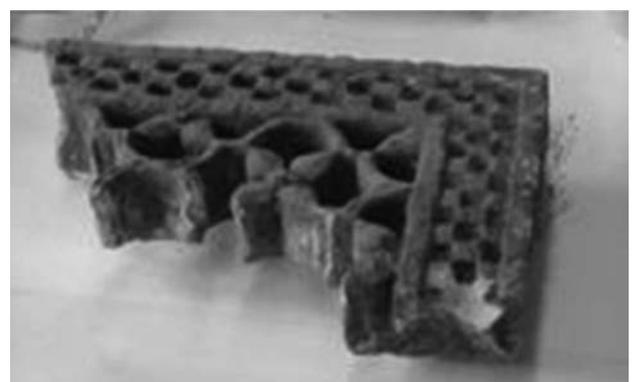


Figura 26: Rejilla de roca calcárea antes de la limpieza.



Figura 27: Rejilla de roca calcárea luego del crioarenado a 3.5 bar. La limpieza no resulta satisfactoria.

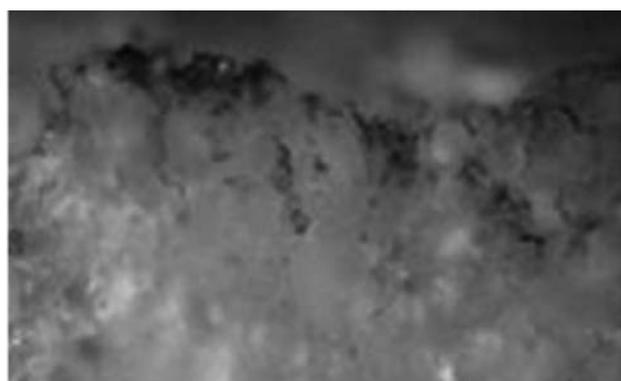


Figura 28: Fotomicrografía de una sección delgada de la piedra luego de la limpieza. Se observan las algas que crecen entre los cristales de cuarzo de la roca.



Figura 29: Ornamento de arenisca con costra negra.



Figura 30: Ornamento de arenisca luego del crioarenado a 3.5 bar.



Figura 31: Fotomicrografía de una sección delgada del ornamento de arenisca luego de la limpieza.

#### 4.- Pruebas de limpieza química con Papeta AB 57 ajustada con Cloruro de Benzalconio (biocida)

En la Necrópolis de la Ciudad de La Plata, se hallan diversos monumentos compuestos por tallas directas o placas en rocas marmóreas. A través del tiempo los materiales sufren deterioros físico-químicos y/o estructurales debido a su contacto con el medio ambiente, contaminación y la acción biológica. Se seleccionaron algunas tumbas que presentan características particulares en lo que respecta a su antigüedad como así también a la historia involucrada. Se eligió para la evaluación e intervención los erigidos en memoria de los marineros norteamericanos fallecidos en Puerto La Plata en los años 1900 y 1903.

Los estudios petrográficos confirmaron que se trata de un mármol calcítico, mientras la patología más notable y más extendida es una pátina negra. Se procedió al raspado de la superficie con un bisturí para luego determinar su composición en el laboratorio. Bajo el microscopio óptico se observó que se compone enteramente de algas microscópicas unicelulares: *Clorococcales*, pertenecientes al grupo de las *Clorophyta* (algas verdes) (Figura 32) [12], y otras como *Microcystis sp.* y *Chroococcus sp.* [13], ambas del grupo de las cianobacterias (algas verde-azuladas).

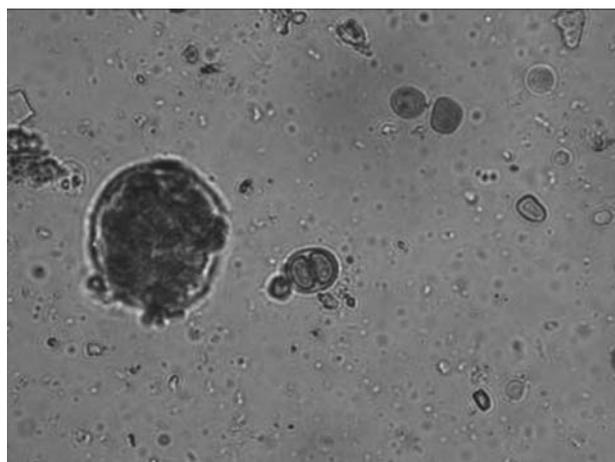


Figura 32: *Microcystis sp* y *Chroococcus sp.* (x 500).

Además de la patina negra, aunque no tan extendida, se pueden notar otros organismos como líquenes y plantas vasculares. Los mismos fueron retirados con bisturí y manualmente para su posterior determinación.

Dentro de los líquenes observados se hallaron *Flavoplaca austroclitrina*, *Xanthoria parietina*, *Caloplaca holocarpa*, *Staurothele monosporoides* y *Lecanora sp* [13]. En cuanto a las plantas vasculares se identificaron: *Tillandsia aeranthos* (clavel del aire) y *Pteris longifolia* (helecho) (Figura 33) [14].



Figura 33: Helecho y Clavel del aire.

Luego de realizar raspados sectorizados de los Monumentos 1 y 2 (de 10x10 cm) (Figuras 34, 35 y 36), fueron cultivadas las muestras constatándose la presencia de mohos, determinándose bajo éste procedimiento el crecimiento de las colonias que afectan a los monumentos, expresado en Tabla 3. Se concluye de este ensayo que el número hallado es comparativamente bajo en relación de los demás organismos.

Promedio de número de colonias desarrolladas luego de 48 horas		
Muestra	Monumento 1	Monumento 2
Nº de Colonias	1,33 x 100 cm <sup>2</sup>	0 x 100 cm <sup>2</sup>

Tabla 3 Cultivos de mohos

Como parte de los estudios y ensayos físicos, se limpiaron las muestras de mármol desprendidas de los Monumentos 1 y 2, y se determinó la absorción en inmersión de agua durante 24 hs (Abs). También se calculó la porosidad como la relación entre el volumen de la muestra y el volumen de agua absorbida.

Posteriormente, para verificar la eficacia de las técnicas de protección contra la humedad, se aplicó un producto hidro-repelente a un grupo y cera micro-cristalina (muy difundida en la conservación de bienes culturales) a otro. Luego se determinó la absorción y la porosidad a fin de corroborar la disminución de la absorción de agua del material, parámetro vinculado con el desarrollo de microorganismos. En la Tabla 4 se informan los resultados promedios del pre y post tratamiento.

En el siguiente gráfico (Tabla 4) se indican los valores, en los cuales se puede observar que los dos productos

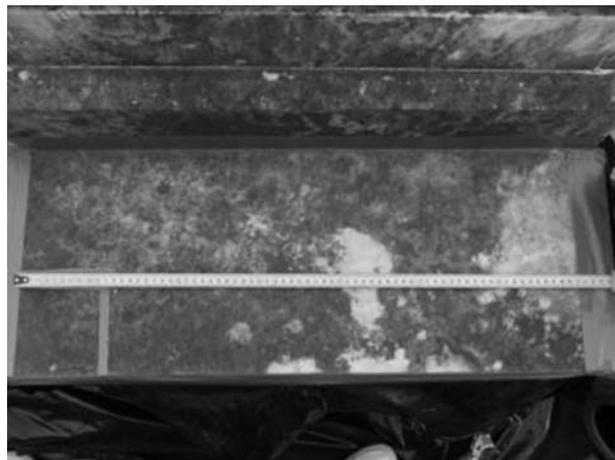


Figura 34: Delimitación del área de trabajo en Monumento 1



Figura 35: Raspado de la superficie para su posterior análisis en laboratorio.

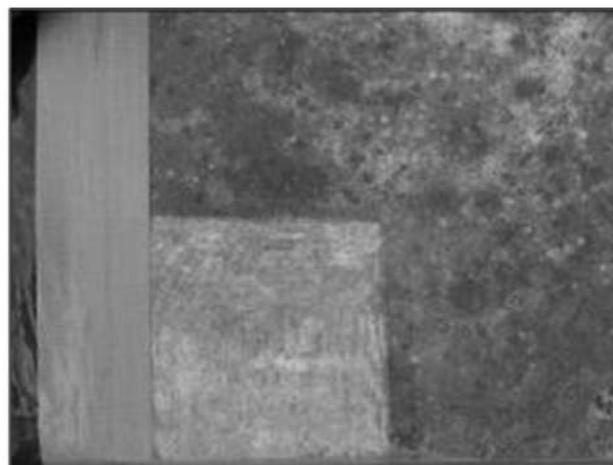


Figura 36: Raspado de la superficie para su posterior análisis en laboratorio.

empleados disminuyen la absorción de agua del mármol en el orden de 45 % aproximadamente, siendo la del hidro-repelente algo mayor. Si bien el comportamiento del hidro-repelente y la cera son similares, cabe señalar que el primero no posee propiedades de reversibilidad, como se requiere en los procedimientos de restauración.

Las pruebas de limpieza in situ, consistieron en retirar la patina biológica en un cuadrante de 70 x 25 cm del lateral izquierdo del Monumento 1, ensayando con metodologías poco invasivas y agresivas al soporte (Figura 37) [15].

Parámetro	Sin Tratamiento	Con Tratamiento	
		Cera	Hidrorepelente
Abs (%)	0.44	0.25	0.22
P (%)	1.05	0.65	0.59

Tabla 4: Absorción de agua y porosidad pre y post tratamiento.

A continuación se inició un cepillado en seco (Figura 20) para retirar la suciedad superficial. Luego de rociar con un tensoactivo de pH neutro diluido al 10 % en agua destilada, se trabajó nuevamente con cepillo en movimientos circulares (Figura 38) y enjuagando con abundante agua para retirar los desprendimientos y los residuos del tensoactivo.

Se aplicaron compresas con dos formulaciones distintas (Figura 39), expresadas en la Tabla 5.

La primera, muy conocida en la limpieza de suciedades variadas y costras negras, es la Papeta AB 57 (desarrollada por el I.C.R de Roma) [16], en tanto la segunda, fue ajustada y probada en el laboratorio, con una modificación para la eliminación de agentes biológicos y de acción residual. A esta segunda formulación se le suprimió el tensoactivo para incorporarle una sal de amonio cuaternario (Cloruro de Benzalconio) muy difundida en la práctica de obras en Italia y otros países. Esta sustancia posee la cualidad de ser bactericida, alguicida, fungicida y liquenicida [17].



Figura 37: Cepillado a seco de la superficie.



Figura 38: Aplicación de tensoactivo.

Papeta AB57 (I.C.R. Roma)	Papeta AB57 (ajustada en laboratorio)
H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
Bicarbonato de amonio	Bicarbonato de amonio
Bicarbonato de sodio	Bicarbonato de sodio
Sal bisódica EDTA	Sal bisódica EDTA
Tensoactivo	Cloruro de belzanconio
Carboximetilcelulosa	Carboximetilcelulosa

Tabla 5: Formulaciones



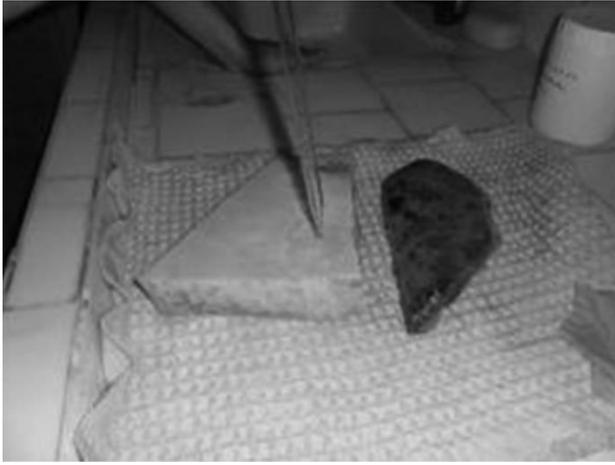
Figura 39: Aplicación de Papetas y compresas de las superficies.

En las pruebas de laboratorio se observó que, ante la aplicación de la formulación ajustada, aparecían máculas de coloración anaranjada sobre el material cubierto por la patina biológica negra (Figura 40). Tras el análisis pertinente, y consultando la bibliografía [17], se concluyó que esta reacción se debe a lisis en las células de las algas ocasionada por el biocida que trae como consecuencia una liberación de los pigmentos carotenoides que contienen y son causantes de esa coloración (Figura 41).

Para comprobar que la coloración no era dependiente sólo de la Papeta, sino que dependía de la combinación de ésta con las algas se realizaron pruebas sobre un material equivalente que no presentaba ningún biofilme, en este caso no se produjo ningún cambio de color. El uso de una correcta concentración es fundamental para el éxito del tratamiento. Los resultados insatisfactorios son más atribuibles al uso incorrecto del biocida (concentración, tiempo de aplicación) que a su eficacia.

Es importante aclarar que estas máculas rápidamente pueden eliminarse con cepillado manual y agua, teniendo en cuenta que no se debe exponer la formulación más de 20 minutos sobre la superficie a tratar.

En las pruebas de limpieza del Monumento 1 se tuvieron recaudos del tiempo de exposición de la compresa con biocida, la cual fue retirada en los tiempos correspondientes sin que quedaran huellas de coloración por reacción química (Figura 42). Otra etapa de cepillado y agua liberó el resto del biofilm presente en la piedra (Figura 43) observándose algunos poros profundos en la superficie y opacidad (Figura 44).



Figuras 40 y 41: Aplicación de biocida en rocas sin y con biofilm y su posterior reacción.



Figuras 42 y 43: Vista posterior a los enjuagues de las Papetas.



Figura 44: Superficie rugosa del mármol con oquedades.

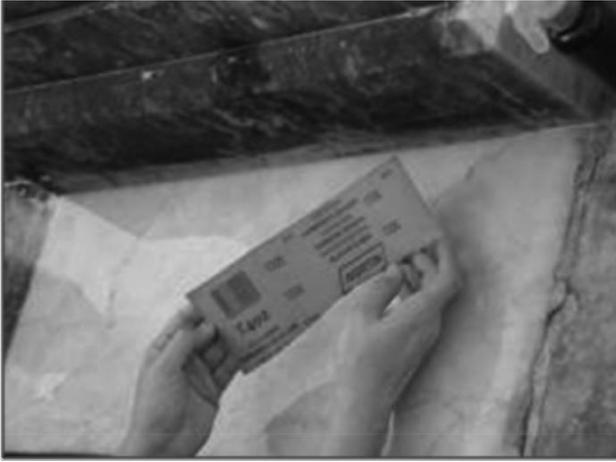
La superficie, ya liberada de la pátina biológica, fue sellada mediante el uso de abrasivos de fina granulometría a muñeca, como pómez en polvo y dolomita (Figura 45).

Luego se suavizó el sector con lijas de sílice al agua de grano 1000, 1200, 1500 y 2000 (Figuras 46 y 47).

También fueron eliminadas las plantas vasculares mediante el uso de biocidas selectivos, ya probados por el laboratorio en otras oportunidades [15].



Figura 45: Bruñido con abrasivos a muñeca.



Figuras 46 y 47: Suavizado de la superficie mediante lijas de grano 1000-2000.

### Prueba de limpieza y Puesta en Valor

Luego de comprobar que los microorganismos fueron completamente eliminados, se procedió a la prueba de limpieza y posterior puesta en valor del Monumento 2 en su totalidad, aplicando las técnicas antes expuestas (Figuras 48 y 49).



Figura 48: Monumento 2.



Figura 49: Desincrustación con bisturí.

Tras la corroboración de los buenos resultados obtenidos se practicó mediante las mismas técnicas la puesta en valor, incorporando tras el bruñido finas capas de cera

microcristalina a pincel y muñeca hasta lograr una película impermeabilizando la superficie (Figuras 50 y 51).

Para concluir se colocó grava en el predio y una placa informativa con la fecha de la intervención (Figura 52).



Figuras 50 y 51: Aplicación de cera micro-cristalina y lustre.



Figura 52: Final de obra.

## CONCLUSIONES

En los edificios y monumentos limpiados mediante hidrolavado se observó que son colonizados rápidamente por los líquenes. En el caso del Observatorio de La Plata se constató que en el mármol de Carrara ya hay recolonización incipiente a los seis meses, por lo que la duración de limpieza es corta. Esta situación debe estar vinculada estrechamente con la presencia residual de líquenes, que vuelven a recolonizar rápidamente la superficie.

Aunque el hidrolavado es bien tolerado por materiales cementíceos sin colonizar, provoca abrasión, pérdida de material y aumento de la rugosidad superficial en aquellos colonizados por líquenes, coadyuvando a la acción de los mismos y resulta una técnica de limpieza inadecuada para materiales cementíceos colonizados por líquenes porque causa desgaste superficial y no es durable.

Una alternativa menos dañosa es la limpieza con cepillo e hipoclorito de sodio, pero se observó que al aplicarlo en algunos materiales, como por ejemplo materiales cerámicos (tejas antiguas) queda materia orgánica residual, lo cual indica una fuerte posibilidad de que vuelvan a desarrollarse colonias de líquenes u otros organismos.

En lo que respecta a las tejas cerámicas de la Iglesia San José Obrero y del Barrio Obrero de Berisso colonizadas por *Xanthoparmelia microspora* (Müll. Arg.) Hale, las experiencias realizadas indican que para eliminar los líquenes la técnica más efectiva de limpieza consiste en desprenderlos manualmente, mediante espátulas, y luego

realizar un hidrolavado a una presión no superior a 100 bares, complementada con un cepillado manual con una solución de agua con un 10% de Hipoclorito de Sodio. La utilización del Hipoclorito de Sodio en el lavado final, además de favorecer la limpieza, evita una recolonización líquénica por su efecto biocida. El hidrolavado sin la utilización de Hipoclorito de Sodio, no resulta del todo conveniente considerando las características de esta especie de líquen cuyos sorodios se desprenden con facilidad con el agua, por lo cual pueden volver a recolonizar otros sectores próximos al sometido al proceso de limpieza.

La eficiencia de la limpieza mediante crioarenado depende fundamentalmente de la dureza y microestructura del material del sustrato, por lo que la presión y la distancia para realizar la limpieza deben ser cuidadosamente ajustadas. También resulta difícil eliminar crecimientos biológicos cuando están firmemente adheridos al sustrato o inmersos en él, por lo cual para que la limpieza sea efectiva y duradera en el tiempo debe combinarse con un biocida para ser realmente efectiva.

Hay que destacar que esta técnica permite un control muy ajustado del grado de limpieza que se desea efectuar.

En cuanto a la limpieza química de superficies de mármol, Las tumbas estudiadas se hallaban deterioradas por la acción de los agentes meteorológicos, la colonización de microorganismos (cianobacterias, algas Chlorococcales y líquenes) que forma una pátina negra antiestética y el crecimiento de plantas (helechos y claveles del aire).

Al tratarse de monumentos exentos, de superficies verticales, muy iluminados y ventilados, no se dan las condiciones favorables para el crecimiento de los hongos, tal como se comprobaba en los ensayos de laboratorio.

Estas pátinas biológicas se observan en otros monumentos cercanos, y desdibujan los relieves y contornos, impidiendo la lectura de material y forma. A esto se suma no sólo la falta de mantenimiento, sino también las prácticas inadecuadas, como el uso indiscriminado de cloro por parte de los eventuales cuidadores del lugar. Para evitar este tipo de situaciones la Municipalidad en convenio con la Facultad de Ciencias Naturales de la U.N.L.P. dicta cursos especiales de capacitación a sus empleados.

Sin embargo, y al igual que los demás casos y métodos estudiados, se observa que empleando prácticas habituales en restauración y normativas vigentes, con la correspondiente comprobación en laboratorio y la participación del equipo multidisciplinario, se logró la limpieza de los materiales y la puesta en valor de un monumento respetando los principios de mínima intervención y reversibilidad.

## Agradecimientos

A la Agencia nacional de Ciencia Y Tecnología (Argentina) y al Ministerio de Relaciones Exteriores de Italia, por aprobar y financiar el proyecto de intercambio.

Al Dr. Umberto Casellato, Dra. Mónica Favaro y demás personal del ICIS (Instituto de Química de las Superficies,) Padua (Italia) .

Al personal de la Sección Geología del LEMIT por la ayuda prestada en la preparación de los cortes finos.

Destacamos asimismo la colaboración de las autoridades y personal del Cementerio, al Archivo de la Armada de los Estados Unidos, a la Hemeroteca de la U.N.L.P., y en especial de las áreas intervinientes del LEMIT: Petrografía y Mineralogía, y Química.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Lazzarini, L. y Tabasso, M. L. 1986- *Il restauro della pietra*. CEDAM, Padova.
- 2.-Rosato, V.G. 2002 – Hidrolavado de superficies colonizadas por líquenes en monumentos y edificios históricos. *Jornada: Técnicas de restauración y conservación del patrimonio*. La Plata, 6 de septiembre de 2002. (Editado en CD).
- 3.- Rosato V.G., Zicarelli S.S., Iloro F. 2007-Tejas cerámicas colonizadas por líquenes, sus características y técnicas de eliminación de la biocolonización. *VI Jornadas de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio*, LEMIT. La Plata, 20 de septiembre de 2007 (En CD)
- 4.- Casellato, U.; Favaro, M., Rosato, V.G., Zicarelli, S. S. (2007)- Crioarenado: una nueva opción para la limpieza de edificios patrimoniales. *VI Jornadas de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio*, LEMIT. La Plata, 20 de septiembre de 2007 (EN CD)
- 5.- Lofeudo R., Rosato, V.G. y Sempé, M.C., 2012- Análisis y puesta en valor de monumentos funerarios marmóreos de inicios de siglo XX en la Ciudad de La Plata, Argentina. *VIII CINPAR 2012 (Congreso Internacional de Patologías y Restauración de Estructuras)*, La Plata, 4 al 6 de junio de 2012.
- 6.- Lallement, R. & S. Deruelle 1978- Présence de lichens sur les monuments en pierre: nuisance ou protection?. *Colloque International UNESCO: Alteration et protection des monuments en pierre*. Paris, 5-9 juin 1978:1-6
- 7.- May, E.; Lewis, F. J; Pereira, S.; Tayler, S.;Seaward, M.R.D. y Allsopp, D. 1993- Microbial deterioration of building stone- a review. *Biodeterioration Abstracts* 7(2)
- 8.- Richardson, B. A.- Control of biological growths. *Stone Industries* 8: 22-26
- 9.- Piervittori, R.; Salvadori, O. & Isocrono, D. (1998) Literature on lichens and biodeterioration of stonework III. *Lichenologist* 30 (3):263-277.
- 10.- Piervittori, R.; Salvadori, O. & Laccisaglia, A. (1994) Literature on lichens and biodeterioration of stonework I. *Lichenologist* 26 (2):263-277 .
- 11.- Piervittori, R.; Salvadori, O. & Laccisaglia, A.(1996) Literature on lichens and biodeterioration of stonework II. *Lichenologist* 28 (5):263-277.
- 12.- C. C. Gaylarde.O papel das cianobactérias na deterioração de prédios de patrimônio cultural, en: *Biodeterioro de Monumentos históricos de Iberoamérica, 1º Reunión internacional de la Red Temática XV-E. Sevilla España*. Editor Héctor A. Videla (2000)
- 13.- V. Rosato. Diversity and distribution of lichens growing on cement -materials in the Buenos Aires Province. En: *Darwiniana* 44 (2006)
- 14.- A.L. Cabrera y E. Zardini. *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires*. Editorial ACME. Buenos Aires (1978)
- 15.- C. Feiffer. *La Conservazione delle superfici intonacate. Il metodo e le tecniche*. Skira Editore, Milano (2000)
- 16.- L Rico y C. Martínez. *Diccionario Técnico de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Ediciones Akal, Madrid (2003)
- 17.- G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvadori. *La biologia vegetale per i beni culturali. Vol I. Biodeterioramento e conservazine*. Nardine Editore. Firenze. (2005)

# TÉCNICAS PROPUESTAS PARA EL CONTROL DE LA VEGETACIÓN INVASIVA EN EL CONVENTO DE SAN FRANCISCO EN LA PLATA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Vilma G. Rosato , Rosana Lofeudo

## INTRODUCCIÓN

La orden de los Frailes Menores Franciscanos fue la primera en establecerse en Buenos Aires hacia 1583, iniciando en las provincias de La Pampa y Buenos Aires tareas de evangelización y erección de templos. Es así que en 1884, a dos años de la naciente ciudad de La Plata, realizaron gestiones para que el gobernador Dardo Rocha cediera una manzana de terreno a los fines de construir un complejo conformado por una iglesia, un convento y una escuela [1] (Figura 1). Tras la presentación y aprobación de los planos confeccionados por el arquitecto francés León Meusnier se inician las obras en etapas y con modificaciones dados los problemas presupuestarios por la magnitud del complejo que, a fuerza de donaciones y los fondos obtenidos por la Orden, contando con mano de obra local y con los mismos frailes destinados a la propagación de educación religiosa y escolar en la ciudad, se completa el proyecto [2]. El templo fue reconstruido a raíz de un incendio hacia 1902 y modificado por el

Ingeniero Botillana y el arquitecto Ciocchini, entre otros [3] (Figura 2).

Esta reseña cuenta de un complejo edilicio de valor patrimonial, relacionado con el período fundacional de la ciudad de La Plata, declarado por ley 8.571 como Monumento Histórico Provincial en 1975 por haberse celebrado allí el matrimonio del entonces Coronel Juan Domingo Perón con María Eva Duarte el 10 de diciembre de 1945, asentado en el libro de actas de la parroquia.

Por estos motivos resulta de interés la evaluación de las patologías presentes, entre las cuales tomamos en especial consideración a la vegetación invasiva del patio conventual, que no ha sufrido desde su construcción mayores modificaciones, como así también el teatro, que cumplió funciones de capilla en los períodos de reconstrucción y remodelación.

La investigación llevada a cabo incluye ensayo de materiales realizados en los laboratorios del LEMIT (estudios petrográficos de los revoques y juntas por ataque ácido de la muestra realizado en el área de Geología; determinación de porcentajes de absorción de agua en ladrillos y agregados, efectuado en el área de Hormigones), la identificación de las especies, observación en microscopio y cultivos de mohos obtenidos a partir de muestras y ensayos para la eliminación de la vegetación invasiva.

Las tareas de campo generan pequeñas intervenciones

como la reposición de ladrillos en el muro más afectado, y la participación de la comunidad de la iglesia para la limpieza y desmalezamiento del patio. También se seleccionaron otros elementos de la parroquia (columna del pórtico de ingreso y cornisas de las oficinas)



Figura 1: Vista aérea del complejo edilicio tomado de Google Earth.



Figura 2: Fachada de la iglesia.

### Relevamiento de patologías de la clausura conventual y metodología de trabajo

A 29 metros de distancia de la línea municipal de calle 12 y a 24 metros de calle 68 se erigen las celdas del convento que hasta hace unos años fueron habitadas por los frailes franciscanos (Figura 3). Hoy solamente habita el sitio un cura párroco salesiano a cargo de la Iglesia San Francisco. Las restantes celdas están desocupadas o temporalmente utilizadas como depósitos.

Se trata de una construcción de mampostería de ladrillos cerámicos comunes, asentados con mezclas de cal con agregados silíceos, conchilla y clastos de ladrillo. El techo es de chapa de zinc sobre tirantería de madera y cielorraso de yeso aplicado.



Figura 3: Celda del convento.

El contrafrente, cuya galería mira hacia calle 13, se conecta con el área de jardín de infantes del colegio y tiene su muro revocado y pintado con amplios ventanales (Figura 4). El frente, que contiene las ventanas de las celdas, se encuentra originalmente sin revestir y mira hacia un amplio jardín y las galerías de la parroquia (Figuras 5 y 6).

El esquema constructivo de las celdas se fue repitiendo con las ampliaciones, pero no se concluyeron los revestimientos previstos (Figura 7). Al quedar el muro desnudo, con el paso del tiempo, los morteros de juntas se socavaron. Luego, una serie de malas intervenciones, como instalaciones de agua y gas destinadas a dotar de baño y calefacción a cada celda, dejaron oquedades óptimas para el asentamiento de vegetación invasiva (Figura 8).

Se realizó la inspección visual, el relevamiento fotográfico y técnico basado en propias experiencias y bibliografías específicas [4-10]. Luego, se extrajeron muestras de las distintas costras observadas mediante raspado de la superficie con bisturíes estériles y se recolectaron en cápsulas de Petri estériles, que se utilizaron para la observación e identificación de algas, cianobacterias y líquenes, realizada mediante observación microscópica y la ayuda de la bibliografía correspondiente [11-18].

Además, se colocaron pequeños trozos de estas muestras en cápsulas de Petri estériles con medio de agar papa glucosado y se incubaron 5 días hasta el desarrollo de las colonias que luego se observaron bajo microscopio y se identificaron utilizando bibliografía [19].



Figura 4: Galerías del contrafrente del convento.



Figuras 5 y 6: Vistas del frente del patio conventual

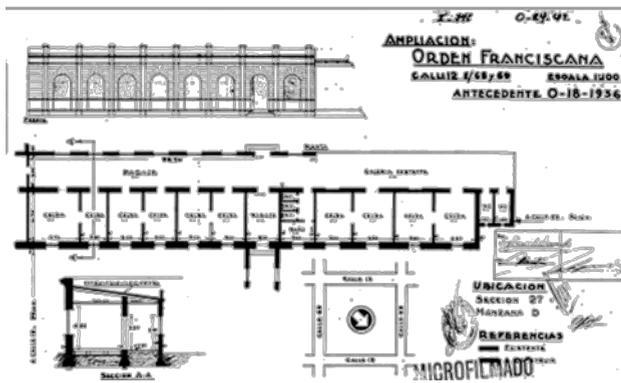


Figura 7: Plano de ampliación del convento.

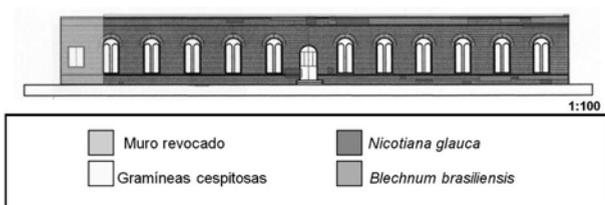


Figura 8: Zonificación de especies existentes.

En el relevamiento se pudo zonificar estas especies y realizar una evaluación para las pruebas de eliminación y extracción, con la utilización de agroquímicos con diversidad de sistemas de aplicación. Así, se hizo un seguimiento del comportamiento de los biocidas y su efectividad.

Se definen con claridad dos zonas de asentamiento de *Nicotiana glauca* (Figuras 9 y 10) y *Blechnum brasiliensis* (Figura 11): cornisas y zonas bajas, con asentamiento radicular entre las juntas de ladrillos, ya erosionadas por la desintegración progresiva de sus elementos constitutivos y en el estancamiento de agua de las canaletas de desagüe en las galerías. También se desarrollan en la canaleta practicada para colocar los caños de agua y gas.

Las variedades de gramíneas cespitosas (Figura 12) ocupan las zonas fisuradas a lo largo de toda la carga del techo. Los sectores más húmedos y sombríos se ven afectados por musgos y líquenes (Figura 13).

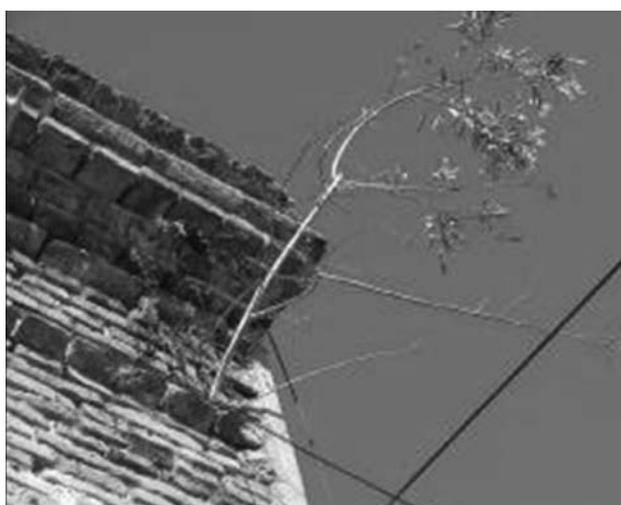


Figura 9: *Nicotiana glauca*.



Figura 10: *Blechnum brasiliensis*.



Figura 11: *Nicotiana glauca*.



Figura 12: *Gramíneas cespitosas*.



Figura 13: Musgos y líquenes.

El desarrollo importante de los helechos *Blechnum brasiliensis* en la base de los muros, en las cornisas y desagües, causa inconvenientes, porque estas plantas tienen rizomas gruesos, que penetran en el muro y generan grietas. Se han observado otras plantas, como verbena violácea, compuestas (cardos), pero sobre todo hay gramíneas cespitosas que generan fisuras por la presión de sus raíces difusas.

*Nicotiana glauca*, vulgarmente conocida como Palán-palán, es un arbusto muy invasivo, que produce flores amarillas en forma de túbulos, hojas de gran tamaño y ramas de hasta 1,60 metros de longitud (Figuras 14 y 15) que atraen a mariposas y picaflones. Al tiempo de producir la polinización, libera gran cantidad de pequeñas semillas que se diseminan por acción del viento.

Como otra característica, tiene raíces que se ramifican y expanden, ejerciendo presión sobre los materiales y generando grietas y fisuras importantes, que además de permitir la filtración y el ingreso de agua de lluvia, pueden llevar al colapso de las cornisas y muros.



Figuras 14 y 15: Flores y hojas de *Palán-palán*.

En los muros de la parroquia y de la iglesia que dan al claustro, se observan distintos biofilmes: una costra negra, sobre la cual crecen líquenes blancos (*Lecanora muralis*). También se hallaron algas verdes (*Chlorophyta*), unicelulares, del orden *Chlorococcales*, cuya identificación a nivel de especies es sumamente dificultosa y una especie filamentosa, con plástidos anulares, del género *Ulothrix*.

Al aislar cultivos de mohos de estas costras se hallaron diversas especies: *Sordaria sp.*, *Aspergillus niger*,

*Trichoderma sp* [6]. Estas especies son saprófitos que comúnmente viven en el suelo y que muy probablemente se desarrollan en este lugar a expensas de la materia orgánica acumulada por otros organismos fotófitos (algas y cianobacterias).

De todos modos, también pueden contribuir al deterioro de los muros ya que estas especies, en particular *Aspergillus niger*, producen ácidos orgánicos como ácido oxálico y ácido cítrico, que reaccionan con los materiales de la superficie alterando su estructura.

También se observó que el parral, que tiene la misma antigüedad que el convento, se halla sostenido por una pérgola improvisada, que se apoya en los huecos entre ladrillos. Al haberse perdido piezas de apoyo, quedan oquedades donde se posan las palomas, agravando el deterioro.

La falta de mantenimiento también permitió el ingreso de avispas en los respiraderos, obstruyéndolos y provocando humedades, además del riesgo que significa tener los nidos de estos insectos en un edificio habitado.

### Intervenciones realizadas

Luego del relevamiento se iniciaron las tareas de desmalezamiento y limpieza de las zonas a intervenir con el apoyo del grupo Scout Nuestra Señora de Luján concurrente a la parroquia. Cabe destacar que la contribución de los niños estuvo enlazada con un programa de extensión sobre "Recuperación de Nuestro Patrimonio", a cargo del equipo interviniente del LEMIT. El trabajo de campo en conjunto fue fructífero ya que varios de los participantes demostraron interés en conocer los roles que desempeña un equipo "multidisciplinario" a la hora de trabajar en Patrimonio (Figuras 16 y 17).



Figuras 16 y 17: Patrullas del Grupo Scout compuesta por niños de 6 a 15 años en tareas de limpieza y desmalezamiento.

Se seleccionaron dos ejemplares de *Nicotiana glauca* en la zona baja: la primera, enraizada entre las juntas ocupando el lateral izquierdo de la puerta de acceso al convento (Figura 18); y la segunda, ocupando el espacio por detrás de las cañerías de agua y gas (Figura 19).

Ambas fueron tratadas con distintos herbicidas: la primera con N-fosfometil-glicina (de marca comercial Glifoglex, de Gleba agroquímicos), biocida descrito en el cuadro 1; y la segunda con Picloram y Triclopyr

(de marca comercial Togar BT, de agroquímicos Dow AgroSciences), descrito en el cuadro 2.

A los fines de evitar residuos en las superficies murarias, se decidió un sistema de aplicación, sin disolución, que solo involucrara a *Nicotiana glauca*: inyección y pincelado de las ramas principales y tocones, ya que los productos penetran por los vasos conductores de la savia, llevándolo a toda la planta.



Figuras 18 y 19: *Nicotiana glauca* en el portal de acceso y detrás de cañerías

El glifosato (N-fosfometil-glicina) es un fuerte inhibidor competitivo de la enzima 5- Enolpiruvilsikimato -3-fosfato sintasa (EPSPS). Se ha demostrado, por medio de diferentes análisis, que el glifosato no presenta efectos nocivos sobre la fauna (mamíferos, aves), microfauna (artrópodos), ni sobre la salud humana ni tiene efectos inaceptables para el ambiente, cuando es empleado correctamente para los fines previstos. Según la Resolución 350/99 del SENASA, el principio activo glifosato está dentro del grupo de activos de improbable riesgo agudo, en su uso normal. Tanto el glifosato como los herbicidas formulados a partir de ese principio activo están clasificados en la Categoría de Menor Riesgo Toxicológico (Clase IV), es decir, productos que normalmente no ofrecen peligro, adoptado por este organismo, en consonancia con organismos internacionales que lo han evaluado. [20]

Cuadro 1: Acerca del glifosato

Togar\* BT (Picloram y Triclopyr) es un arbusticida específico para combatir malezas semi-leñosas, leñosas y palmas en pasturas naturales e implantadas. Su uso está recomendado específicamente para el control de renovales, fachinales, y malezas leñosas de gran porte. Sus principios activos son Picloram y Triclopyr. Este producto está recomendado específicamente para complementar el control mecánico de especies leñosas inhibiendo definitivamente el rebrote, asegurando de esta manera una solución definitiva. [21]

Cuadro 2: Acerca del Picloram-Triclopyr

Se procedió al corte y perforación de las ramas principales al sesgo de la primera *Nicotiana glauca* (Figuras 20 y 21). Luego se aplicó un herbicida total (glifosato al 100%) por medio de inyecciones hasta la saturación, taponando posteriormente con compresas embebidas en el mismo herbicida y protegidas con látex (Figuras 22 y 23).

Corroborando periódicamente los resultados, se observó que el tocón iniciaba un proceso de deshidratación, no obstante las raíces principales aún activas generaron nuevos vástagos, colapsando el revoque aledaño (Figuras 24 y 25).



Figuras 20 y 21: Corte de las ramas principales y trabajo de perforación.



Figuras 22 y 23: Inyección del herbicida y taponamiento.



Figuras 24 y 25: Lateral del muro colapsado.

Con nuevas inoculaciones, y luego de otros 30 días, se observó que la planta estaba definitivamente seca, como así también los vástagos del enraizamiento (Figuras 26 y 27). En este estado ya era posible su extracción manual (Figura 28), para proceder a la limpieza de la zona (Figura 29) y la consolidación, con agua de cal apagada (Figuras 30), de los morteros de juntas.

Para la posterior reposición de las piezas cerámicas se utilizó un mortero de características similares al original que, de acuerdo a los estudios realizados en el LEMIT, está compuesto por 1 parte de cal, 3 partes de arena silíceo-feldespática y ½ parte de polvo de ladrillo obtenido de piezas cerámicas de la época (Figuras 31 y 32).



Figuras 26 y 27: Tocón seco.



Figura 28: Tocón seco.

Figura 29: Limpieza.



Figura 30: Consolidación.

Figura 31: Reposición de ladrillos.



Figura 32: Reposición de ladrillos.

En el segundo caso seleccionado, Se aplicó picloram y triclopyr al 100% de dos maneras: por pincelado, haciendo un corte longitudinal del tronco y pincelando el biocida a lo largo del mismo (Figuras 33 y 34), tal como se recomienda en el instructivo, más compresa (Figuras 35 y 36).



Figura 33: Corte longitudinal del tronco.



Figura 34: Pincelado con herbicida.



Figuras 35 y 36: Compresas.

Es necesario aclarar que en ningún caso se utilizó como médium los que habitualmente se recomiendan, como “Gasoil” o “aceite agrícola”, que evitan la evaporación del principio activo, porque en nuestro caso la oleosidad de estos productos podía manchar irreversiblemente el muro. Se observó que el pincelado resultaba de efecto lento, por ese motivo se acudió a inyectar el biocida, tal como el procedimiento del glifosato, que ocasionó la muerte del arbusto en dos semanas, y se pudo retirar manualmente con facilidad. En este caso, en lugar de deshidratarse, produjo el ablandamiento de los tejidos (Figura 37).

Aunque el glifosato demoró más en causar el mismo efecto, se debe tener en cuenta que la primera era de mayor porte y estaba más arraigada.

Para la eliminación del helecho *Blechnum brasiliensis* y las gramíneas cespitosas, se realizaron dos pruebas utilizando cloro al 80% por aspersión en la zona baja del muro conventual y en los desagües de la terraza del pabellón parroquial, que tuvo acción letal inmediata y permitió su remoción manual al día siguiente (Figuras 38 y 39). Para evitar los efectos nocivos (irritación de los tejidos en contacto) que ocasiona esta sustancia a alta concentración, es necesario utilizar los elementos de seguridad como guantes y máscara facial combinada con la protección respiratoria.

Para la limpieza de la basa de una columna externa de la Iglesia se utilizaron sistemas de remoción mecánica con cepillo seco y bisturí. Luego, remoción química no agresiva.



Figura 37: Pincelado con herbicida.



Figura 38: Fumigación con cloro.



Figura 39: Helechos marchitos.

Se seleccionó este elemento arquitectónico porque, a diferencia de los muros del convento, está recubierto por mortero símil piedra que fue posteriormente pintado (Figura 40). Se observó como patología la presencia de una costra verde formada por un alga *Chlorophyta*.

Por remoción mecánica, a filo de bisturí y cepillos, se eliminaron las costras superficiales y las capas pictóricas que cubren el revestimiento. Luego con agua de cloro al 10 %, neutralizando con agua destilada se procedió a la remoción por cepillado suave (Figuras 41 y 42). Nuevamente a punta de bisturí se continuó con la limpieza de la superficie en húmedo obteniendo mejores resultados enjuagando con agua destilada (Figuras 43 a 45).



Figura 41: Limpieza mecánica.



Figura 40: Base de la columna.



Figura 42: Limpieza química.



Figuras 43 y 44: Limpieza mecánica en superficie húmeda y enjuague.



Figura 45: Remoción de capa pictórica.

En la etapa que prosigue se deberán tomar muestras de la zona ya tratada para observar microscópicamente si permanecen microorganismos no observables a simple vista.

### Planificación de próximas intervenciones

Todas estas pruebas que determinaron una modalidad de trabajo para la eliminación de vegetación invasiva servirán como base para el tratamiento ante la puesta en valor del teatro parroquial (Figuras 46 y 47). Los materiales y estructuras de este sitio están gravemente afectados por el desarrollo de *Nicotiana glauca*, que arraigó en las cornisas de la esquina exterior y penetró en los muros causando su colapso (Figuras 48 y 49). Debido a esto, y sumado a la presencia de helechos que obstruyen los desagües, se produce el ingreso directo de agua de lluvia, lo que provocó la pudrición de la tirantería del techo y del revestimiento interno (Figura 50).



Figura 46: Acceso al teatro.



Figura 47: Vista del interior del teatro.



Figura 48: Esquina colapsada.



Figura 49: *Nicotiana glauca*.



Figura 50: Interior del teatro inundado por la lluvia.

## CONCLUSIONES

De los estudios realizados surgen algunas recomendaciones para eliminar correctamente la vegetación invasiva de *Nicotiana glauca*, ya que existe la tendencia a podar o traccionar, lo que ocasiona mayores daños. En el caso de la poda, la planta rebrota con más vigor, expandiendo más sus ramas y raíces. Además, las malas maniobras de extracción colapsan los materiales, provocando caídas de mampostería.

La utilización de biocidas, entonces, resulta una alternativa para la eliminación, pero requiere cuidados especiales de seguridad e higiene, tal como uso de guantes y barbijo, pero brinda resultados satisfactorios.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Fr. A. S. C. Córdoba: *La Orden Franciscana en las Repúblicas del Plata (síntesis histórica 1536-1934)*. Licencias de la Orden y Curia Eclesiástica, Buenos Aires, 1934.
- 2.- Libro de Memorias del Convento de Nuestro Señor San Francisco de La Plata. Capítulo intermedio de la Provincia Franciscana del 14 de Julio de 1889. Cedido por gentileza del Prof. Eduardo Bierzychudek.
- 3.- P. E. Borrazás, D. B. Maggi: *Templos y arquitectura del Arzobispado de La Plata*. Edición Universidad Católica de La Plata. La Plata, 2009.
- 4.- G. Caneva, Nugari, Salvadori: *La biología vegetal per i beni culturali – I*. Nardini Editore, Firenze, Italy, 2005.
- 5.- G. Caneva, Nugari, Salvadori: *La biología vegetal per i beni culturali – II*. Nardini Editore, Firenze, Italy, 2005.
- 6.- C. Feiffe: *La conservazione delle superfici intonacate. Il metodo e le tecniche*. Editore Skyra. Milano, Italy, 2000.
- 7.- M. Mauro, A. Moles. *La chimica nel restauro*. Nardini .Editore. Firenze, Italy, 1999.
- 8.- F. S. Mayer: *Manual de ornamentación. Versión de la 11ª edición alemana, quinta edición ampliada*. Ediciones Gustavo Gilli. Barcelona, 1982.
- 9.- F. Monk: *Patología de la piedra y los materiales de la construcción*. Ediciones CEPREERA. Buenos Aires, 1996.
- 10.- E. Zanni: *Patología de la construcción y restauro de obras de arquitectura*. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina, 2008.
- 11.- M. T. Adler: *La familia Parmeliaceae (Líquenes, Ascomycotina) en la Provincia de Buenos Aires: estudio taxonómico y florístico*. Tesis, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires, 1988.

Se comprobó que el método más efectivo de aplicación, es la inyección y el uso de compresas protegidas con plástico impermeable.

En el caso de los helechos y las gramíneas, el rociado con cloro tuvo efecto inmediato.

Para la remoción de biofilms es necesario recurrir a un análisis previo por parte de personal calificado para proceder a su eliminación y limpieza.

Se sugiere especificar, en los casos de invasión vegetal en muros históricos, un plan de intervención para la puesta en valor y el mantenimiento posterior.

- 12.- M. T. Adler: Clave de los géneros y las especies de Parmeliaceae (Lichenes, Ascomycotina) de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 28: 11-17, 1992.
- 13.- J.A. von Arx: *The genera of fungi sporulating in pure culture. 3rd edn.* Cramer, Vaduz (Lichtenstein), 1980.
- 14.- P. Bourrelly: *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. I. Les algues vertes.* Boubée & Cie. Paris. V. 1: 572 pp., 1972.
- 15.- H. S. Osorio: Apuntes de liquenología y clave para los géneros de líquenes de los alrededores de Buenos Aires. *Sociedad Argentina de Botánica, Notas Botánicas* 1, 1977.
- 16.- N. C. Scutari: Estudios sobre Pyxinaceae foliosas (Lecanorales, Ascomycotina) de la Argentina IV: Clave de los géneros y las especies de la Provincia de Buenos Aires. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 28: 169-173, 1992.
- 17.- N. C. Scutari: Los macrolíquenes de Buenos Aires, I: *Dirinaria, Heterodermia e Hyperphyscia* (Physciaceae, Ascomycotina). *Darwiniana* 33: 149-176, 1955.
- 18.- N. C. Scutari: Los macrolíquenes de Buenos Aires, II: *Phaeophyscia, Physcia y Pyxine* (Physciaceae, Ascomycotina). *Darwiniana* 33: 211-231, 1995.
- 19.- A. L. Cabrera & E. M. Zardini: *Manual de la Flora de los alrededores de la Provincia de Buenos Aires.* ACME. Buenos Aires, 1978.
- 20.- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes de Argentina ([www.casafe.org](http://www.casafe.org)): *Acerca del glifosato.*
- 21.- Dow AgroSciences ([www.dowagro.com](http://www.dowagro.com)): *Acerca del Togar BT.*

**Agradecimientos:**

- Parroquia San Francisco de Asís: Padre Andrés Magliano
- Tercera Orden Seglar Franciscana de la ciudad de La Plata: Sr. Jorge Taranza
- Archivo Histórico de la Provincia Franciscana, ciudad de Buenos Aires: Sr. Eduardo Bierzychudek
- Dirección Provincial de Cultos
- Personal del Área de Geología y Hormigones del LEMIT
- Archivo de Obras Particulares de la Municipalidad de La Plata
- Biblioteca Pública de la Universidad Nacional de La Plata
- Secretaría de Patrimonio, Dirección de Cultura de la ciudad de La Plata
- Ing. Químico Gonzalo Gallo
- Arq. Roberto Delage

# PROTECCIÓN DE LA MADERA CONTRA AGENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

Alfieri, Paula Vanesa y Correa, María Verónica

## IMPORTANCIA DE LA PRESERVACIÓN DE LA MADERA

Se entiende como preservación de maderas al conjunto de técnicas que aplican sustancias protectoras para evitar que las mismas sean afectadas por agentes destructores. La principal ventaja de utilizar estas técnicas incluye el aprovechamiento de especies maderas de menor valor ecológico y económico, por su baja durabilidad natural permitiendo preservar aquellas especies más valiosas (nativas) [1-3].

Una de las características más importantes al utilizar un material, cualquiera sea su fin, es su durabilidad. La durabilidad es la propiedad de permanencia de la estabilidad física y química o de sus características originales frente a la acción de distintos agentes degradantes, a lo largo del tiempo [4-6]. A diferencia de otros materiales, en donde la durabilidad es una propiedad bien definida, la madera presenta diversas durabilidades según las diferentes especies arbóreas.

La durabilidad de las maderas depende de distintos factores tales como: (i) las características de la albura (parte rica en azúcares y almidones) que la harán más o menos susceptible al ataque de agentes bióticos; (ii) las características del duramen (donde se encuentran las sustancias antisépticas y/o extractivos, presencia de tñides (latifoliadas) y obstrucción de punteaduras por desplazamiento de toros (coníferas) los cuales son preservantes naturales de la madera (su presencia y/o concentración depende de las de las presiones ambientales); (iii) las características anatómicas de la madera, como ser presencia de vasos grandes (ataque de líctidos), o la proporción de tejido parenquimático (de reserva); (iv) la biología de los organismos xilófagos en el hábitat donde se desarrollo la madera; (v) la ecología del ambiente de desarrollo, como ser agua disponible, accesibilidad a la luz solar, densidad de siembra, condiciones climáticas del lugar y (vi) el manejo de las maderas en su procesamiento [7-12].

Una forma de clasificar las maderas según la durabilidad es la siguiente [13, 14]:

- Clase 1: Muy durables (más de 30 años) por ejemplo: Ciprés del sur, Mora colorada, Quebracho colorado, Quina colorada.
- Clase 2: Durables (10 a 30 años) por ejemplo: Algarrobo, Lapacho, Roble
- Clase 3: Poco durables (5 a 10 años) por ejemplo: Cedro, Eucalipto saligna/grandis, Nogal criollo, Paraíso,

Pehuén (Pino de Neuquén), Pino chileno, Pino del cerro, Pino resinoso nacional (P. ellioti y P. taeda), Pino spruce, Quebracho blanco, Roble del país.

- Clase 4: Muy poco durables (menos de 5 años): Álamo, Araucaria, Kiri, Pino Brasil o Paraná o Misionero o Ponderosa, Sauce.

Observando la clasificación presentada es lógico pensar que las maderas elegidas como materiales son aquellas de las primeras clases, donde la durabilidad es alta, pero estas especies nativas tienen crecimiento lento y por lo tanto su re-plantación no es posible. Esto establece la necesidad de obtener un equilibrio entre el cuidado del medio ambiente y la producción/comercialización de productos de alta calidad y durabilidad, principal demanda que posee cualquier material en cualquier industria. Una manera de obtener este equilibrio es mediante la aplicación de tratamientos protectores.

## AGENTES QUE DEGRADAN LA MADERA

Ante la necesidad de protección de la madera, es importante conocer contra qué agentes se la está protegiendo. Este conocimiento brinda las herramientas necesarias para generar un perfil de degradación o posible degradación, permitiendo así escoger el tratamiento correcto.

La madera puede deteriorarse por acción de (i) agentes bióticos: acción de micro y macroorganismos heterótrofos; o (ii) agentes abióticos como agentes atmosféricos, humedad y temperatura propias del ambiente, agentes mecánicos y químicos, etc.

### Agentes bióticos

La madera, por su composición química, es muy susceptible a la acción de agentes bióticos. El biodeterioro de la madera es un fenómeno complejo que implica alteraciones de las propiedades físico-químicas y mecánicas de la misma por acción de organismos biológicos. A ello hay que añadir las modificaciones del aspecto estético que se producen en los objetos afectados [15]. El ataque biológico ocurre en diferentes partes de la madera, dependiendo del tipo de organismo agresor y de sus características metabólicas. La intensidad de las alteraciones, se produce en función de los componentes orgánicos disponibles según el tipo de sustrato y de las condiciones ambientales. Los organismos son capaces de deteriorar la madera pueden ser micro o macroorganismos, Figura 1.

- Microorganismos. Existe una diversidad de Los microorganismos celulolíticos, entre ellos bacterias y hongos aeróbicos o anaeróbicos que utilizan los componentes de la madera (celulosa, hemicelulosa y lignina) como fuente de carbono. Esta gran variedad metabólica hace que sea muy difícil controlar su ataque o crecimiento sobre cualquier sustrato ya que tienen la capacidad de adecuar su metabolismo a las condiciones del medio, aún cuando éstas sean extremas. Los productos que excretan son los que producen diferentes patologías a las maderas; entre ellos, se reconocen enzimas (tales como la celulasa, proteasas) y subproductos metabólicos (ácidos orgánicos como el oxálico, fumárico, acético, láctico, glucónico, glucurónico, etc.), los cuales se depositan sobre la superficie del sustrato, modificando sus propiedades químicas ocasionando cambios físico-mecánicos deteriorantes y cambios fisicoquímicos degradantes, Figura 1 [16,17].

Los hongos son organismos eucariotas complejos que para desarrollarse necesitan que la humedad del sustrato se encuentre entre el 30 y 50%; una temperatura entre los 20 y los 30 °C y pequeñas cantidades de oxígeno [18,19]. Ingresan a través de heridas como desgarros de corteza por la poda, taladra el tronco, etc. que exponen la albura y el duramen. La invasión fúngica y la descomposición de la madera tiene lugar en la mayoría de las ocasiones en las fibras de madera estructural e inerte.

Los hongos xilófagos (descomponedores de madera) crecen como hifas microscópicas entre las células; en el lumen, o centro de las células leñosas; así como también dentro de las paredes celulares. A través de éstas liberan enzimas que catalizan reacciones que convierten sustancias complejas (constituyente de la madera) en sustancias más simples, lo cual implica pérdida de propiedades del sustrato (deterioro) [20-23]. Algunos ejemplos de estos organismos se muestran en la Figura 2.

Por su parte, las bacterias son organismos procariotas, unicelulares que generalmente se desarrollan a pH entre 7 y 8 y temperaturas entre 25 y 38 °C. Éstas segregan pectinasas que disuelven las membranas de las punteaduras del parénquima. Su degradación es inferior a la de hongos salvo en ataques intensos donde destruyen también las punteaduras areoladas, aumentando considerablemente la permeabilidad de la madera y facilitando el ataque posterior de otros organismos. Biotecnológicamente, esto último está siendo utilizado para mejorar la penetrabilidad de algunas maderas y así posibilitar su impregnación con sustancias protectoras [24-28].

Macroorganismos. Los más frecuentes son los insectos mientras que los moluscos, roedores, aves y crustáceos son menos frecuentes. Los insectos xilófagos que atacan la madera son las termitas pertenecientes al orden, Isóptera y los coleópteros del orden Coleóptera [29-35], Figura 3.

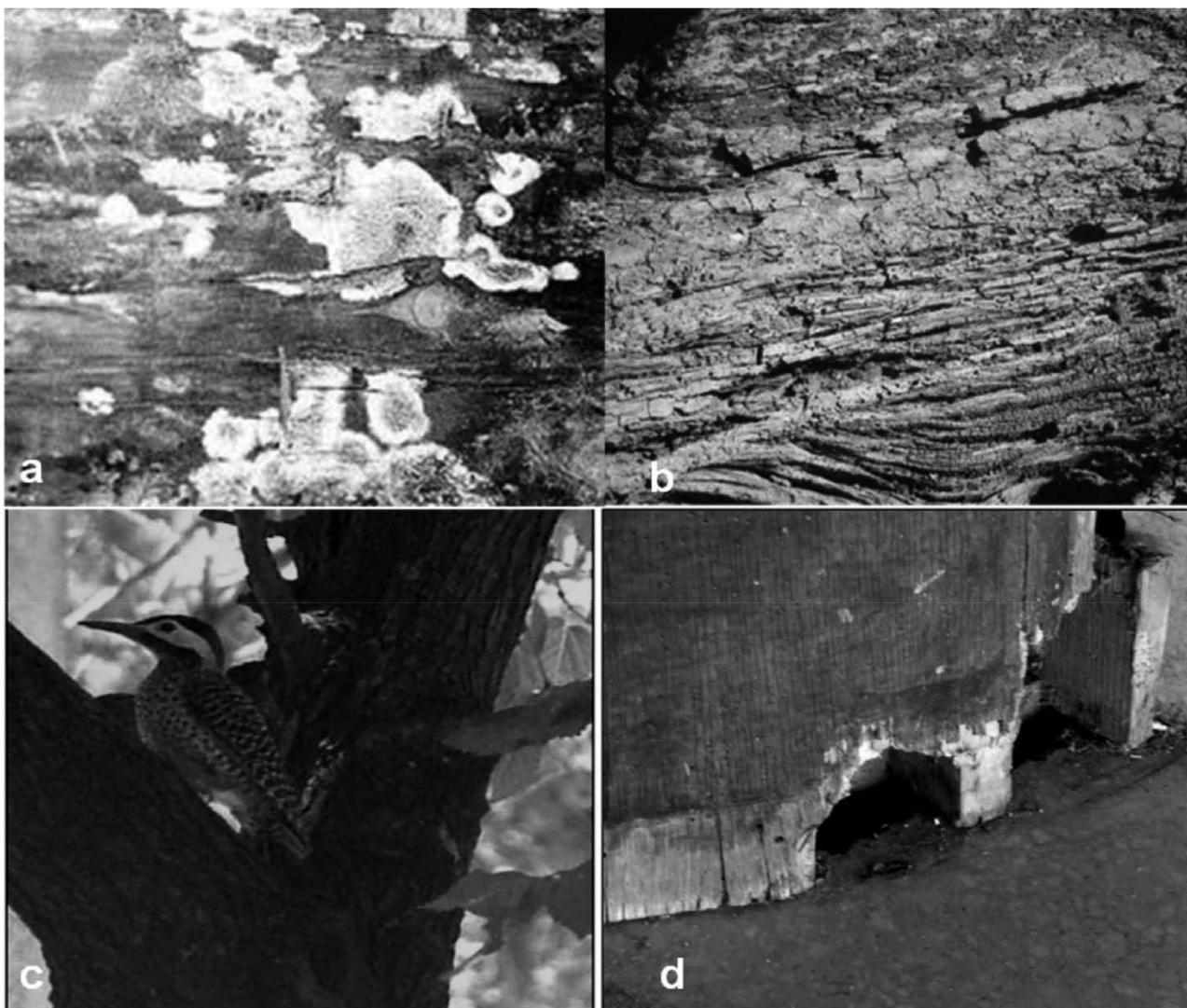


Figura 1: Aspecto de madera degradada por micro y macroorganismos: a) Hongos xilófagos; b) Bacterias; c) Aves (pájaro carpintero) y d) Roedores

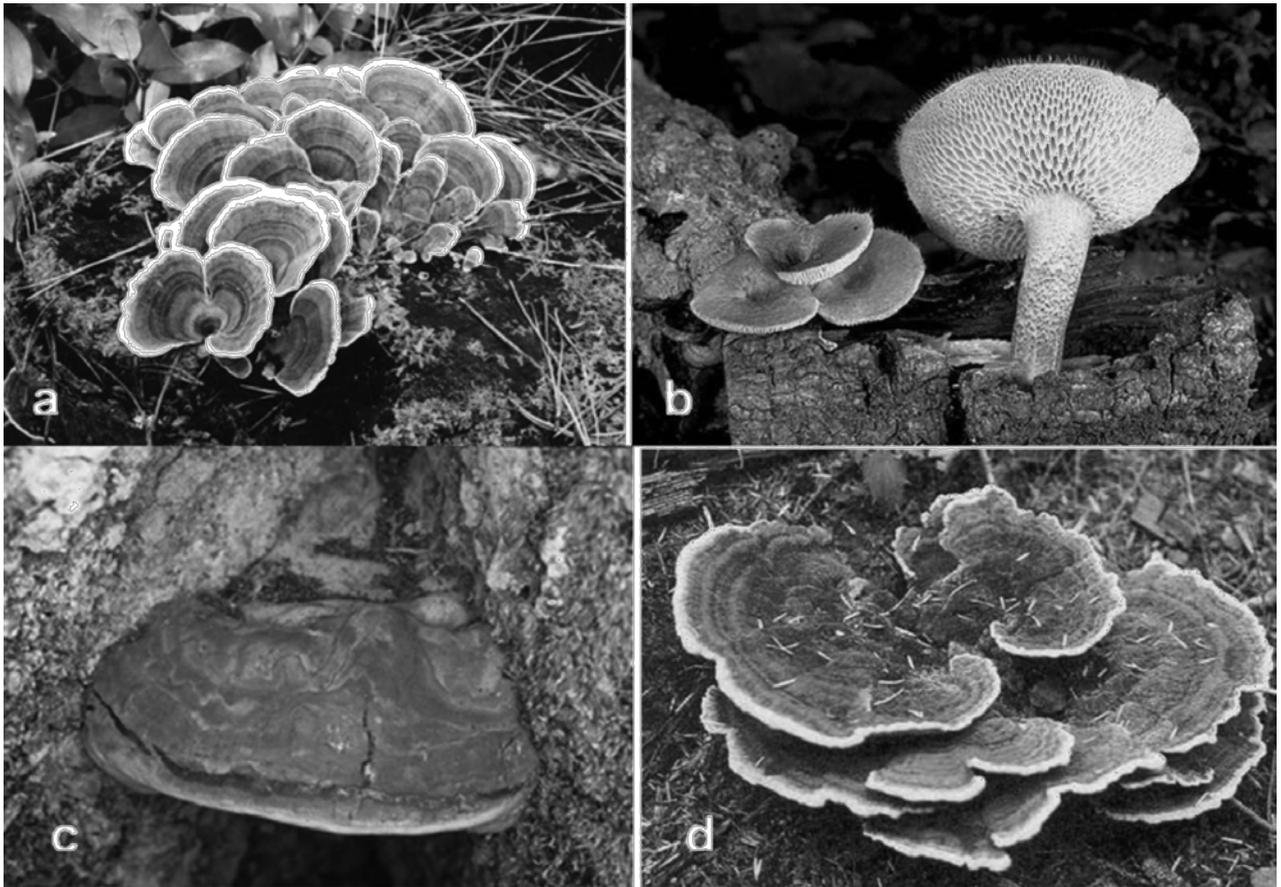


Figura 2. Algunos ejemplares de hongos xilófagos en su ámbito natural: tronco de árboles: a) *Trametes versicolor*, b) *Polyporus arcularius*, c) *Ganoderma pfeifferi* y d) *Phaeolus schweinitzii*

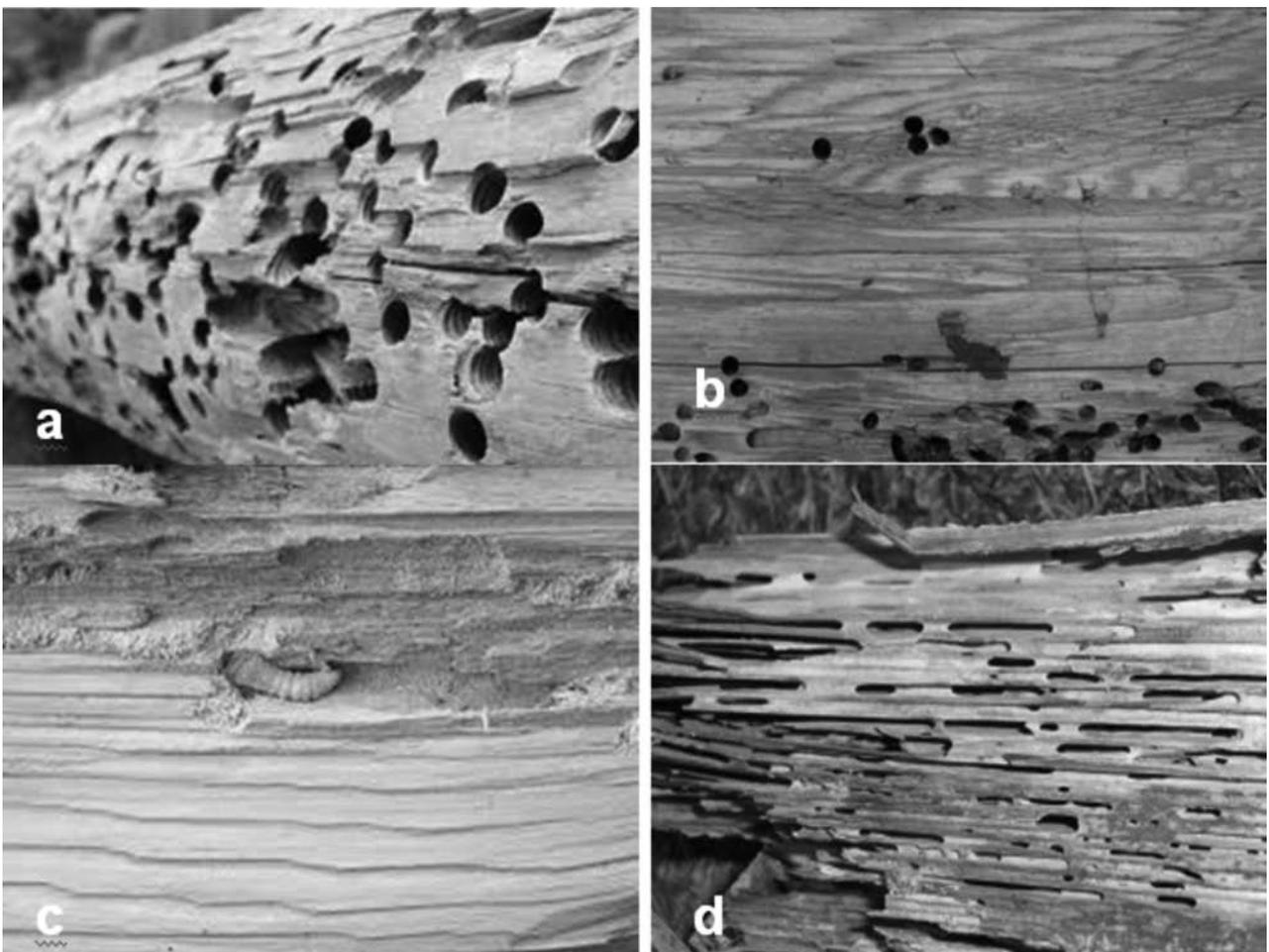


Figura 3. Aspecto de madera luego de ser atacada por insectos xilófagos: a) carcomas (*Anobiidae*), b) polillas (*Lyctidae*), c) larva de taladro (*Cerambycidae*) y d) termita (*Rhinotermitida*)

Aquéllos pertenecientes al orden coleóptero son los que provocan los mayores daños. Dentro de estos se encuentran los (i) Carcomas (Anobiidae) pequeños (3 a 5 mm) que encuentran en grietas y fisuras húmedas; atacan madera trabajada (muebles, vigas, suelos, etc.); (ii) Lícidos o polillas (Lyctidae) estos atacan madera blanda y con un grado de humedad alto (10%-30%), muy similar a carcomas; (iii) Escolitidos (Curculionidae) son de tamaños muy variables según la especie y atacan cualquier madera verde, con más del 20% de humedad. Hay grupos que se alimentan de la madera y otros que se alimentan de hongos que cultivan en las galerías; (iv) Taladro (Cerambycidae) sus larvas xilófagas que atacan albura o duramen de conífera y latifoliadas prefieren maderas verdes o recién taladas; (v) Escarabajo (Bostrichidae) ataque es similar al de los carcomas.

Dentro del orden isóptero se encuentran las termitas, insectos que viven en grandes colonias; hay grupos que atacan maderas secas, otros que atacan maderas húmedas. Hacen muy pocos orificios de salida y solo cuando el ataque ya está tan avanzado que es imposible detenerlo. Muy pocas maderas en el mundo son resistentes a las termitas; se consideran como tales a las que tiene aceites esenciales y sílice en abundancia.

En cuanto a moluscos y crustáceos estos son amenaza solo en caso de maderas sumergidas en agua de mar. Los más importantes son los géneros *Teredo*, *Bankia* y *Martesia*. Cavan galerías de más de 1 metro de longitud. Tienen un crecimiento rápido y dejan en las galerías una capa fina de una sustancia calcárea. Los crustáceos son más pequeños que los anteriores. Uno de los géneros más importante es *Limnoria*, que ha sido encontrado en todos los mares del mundo [36].

Por otra parte, dentro del grupo de macroorganismos se encuentran las aves y roedores. En nuestro país, es importante el ataque de pájaros carpinteros en el norte, Figura 1c. Producen orificios de 10 cm de diámetro y de profundidad, según la especie, afectando seriamente la resistencia físico-mecánica de la madera.

Se los encuentra en postes de líneas aéreas, preferentemente de palmeras. Atacan árboles y madera seca por igual ya que su fuente de alimento son los insectos que se encuentran sobre o dentro de la madera. Los orificios más grandes los hacen para nidificar [37]. En cuanto a los roedores, fundamentalmente producen orificios en las maderas para generar cuevas donde se aparean y tienen sus crías (Figura 1d) generando problemas fisicomecánicos y deterioro estético de la estructura.

### Agentes abióticos

**Humedad.** Como es conocido, la pared celular de la madera se compone principalmente de polímeros con grupos hidroxilos y otros grupos que contienen oxígeno que atraen moléculas de agua a través de enlaces puentes de hidrógeno, Figura 4. Esto significa que son responsables de la absorción de humedad en la madera. La cantidad de hinchazón que se produce en la madera debida expansión higroscópica es dependiente de la densidad de la madera [38-40].

Además, la madera también almacena agua fuera de las fibras que no contribuye al hinchamiento (no influye en la estabilidad dimensional); ésta se denomina agua libre y se encuentra en las estructuras celulares vacías o espacios intersticiales esta es la que aporta un hábitat propicio para microorganismos y una madera húmeda para ataque

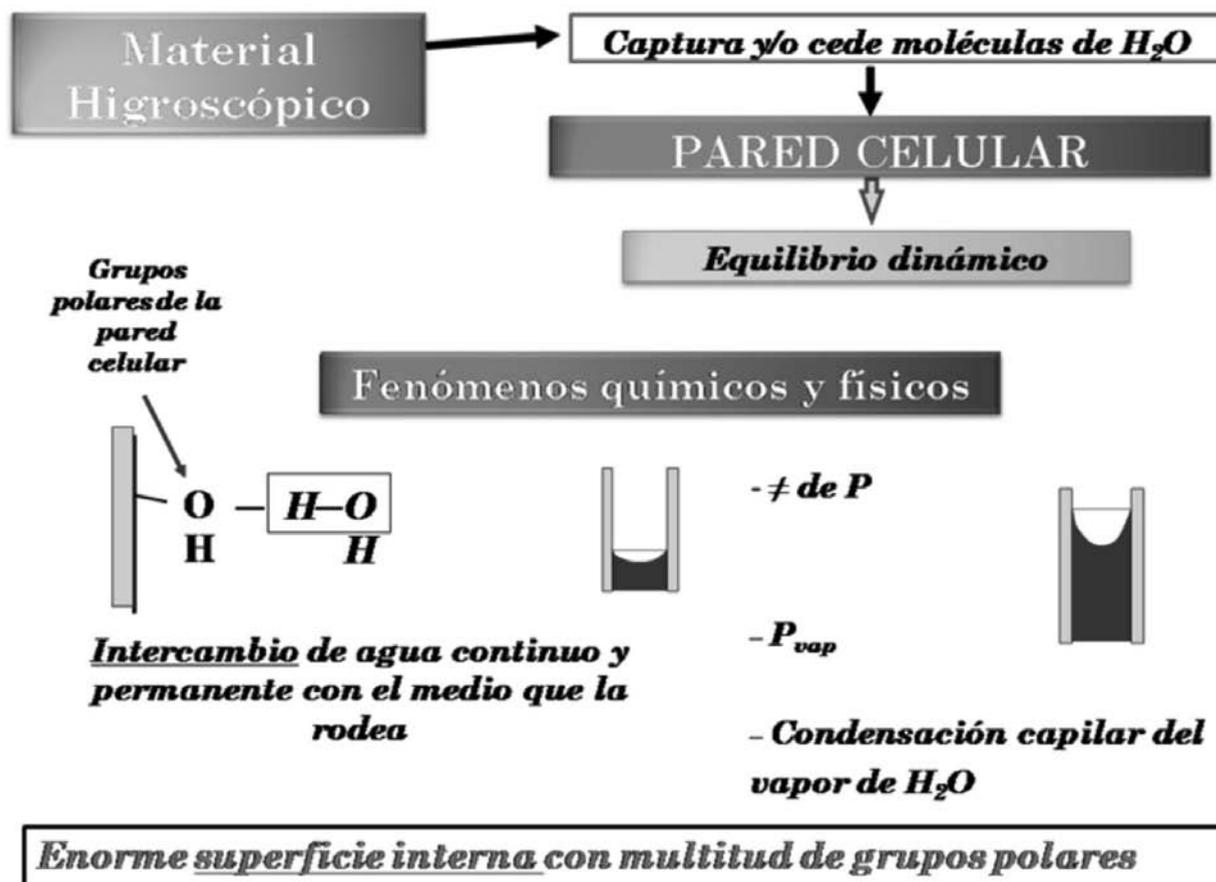


Figura 4. Esquema de los fenómenos físico-químicos que hacen que la madera sea un material higroscópico

de insectos como así también genera una madera menos inflamable [40].

Acción climática y desgaste mecánico. Las fluctuaciones de temperatura y de humedad, causan la contracción y el hinchamiento de las capas superficiales, formando pequeñas grietas y desfibramientos de la madera. Con el paso del tiempo la madera se desfibra, produciéndose en sus caras hendiduras y fisuras que se convierten en grietas o rajaduras, Figura 5.

El clima influye en la durabilidad de las maderas no tratadas; el tiempo húmedo y cálido favorece la pudrición de la madera expuesta a la intemperie en mayor medida que el tiempo seco y frío. La madera, además, por acción del oxígeno del aire, sufre oxidación, favorecida ésta por la radiación solar ultravioleta, que separa las macromoléculas en la superficie de la madera. De esta manera, las moléculas simples son fácilmente atacadas.

Por otro lado, toda pieza de madera que está expuesta a condiciones de movimiento, sufre un deterioro por desgaste, producto del roce. Este es provocado por el polvo y la arena arrastrados por el viento, el granizo, etc. El efecto de fricción que rompe las fibras disminuyendo sus propiedades fisicomecánicas; una forma de atenuar ese desgaste es utilizando productos oleosolubles [41-44].

Radiación solar. Cuando la madera se expone a la luz solar cambia de color. En un primer momento si es



Figura 5. Aspecto de madera degradada por exposición a agentes atmosféricos. Izquierda: agrietado y cuarteado por desgaste producto de roce (por ejemplo viento). D

clara se oscurece y si es oscura se aclara; luego, todas las maderas se tornan grises produciéndose además una fotodegradación física y química de las células superficiales de la madera, Figura 5. Los aspectos más importantes de la degradación química son la formación de dióxido de carbono, hidrógeno, agua, metanol, formaldehído y ácidos orgánicos; la reducción de la cantidad de lignina y aumento de la acidez; la generación de radicales libres en la madera; la oxidación por acción de la fracción UV de la luz solar en presencia de oxígeno, y la producción de un efecto post-radiación que se comprueba por la disminución de radicales libres y por la formación de productos volátiles [141-44].

### Preservantes

Los preservantes son productos que se emplean para tratar la madera con el fin de otorgarle protección. Un buen preservante debe reunir ciertas características tales como: ser tóxico sólo para los agentes degradantes, no ser corrosivo para los metales, no ser combustible, tener buena penetración, ser químicamente estable, no descomponerse con el tiempo, no ser soluble en agua y tener buena permanencia. Ningún producto disponible en el mercado reúne todos los requisitos deseables; por ello es que hoy en día, la elección del mismo dependerá de los objetivos que se persigan y del tipo de servicio que prestará la madera. Es por esto que actualmente el objetivo fundamental en estudios de preservación de madera es preservantes que reúnan adecuadamente todos estos requisitos y además que proteja simultáneamente la degradación biótica y abiótica [45-47].

Los productos químicos actualmente disponibles para proteger a la madera se diferencian en primera instancia por su método de aplicación, estos pueden ser [48]: (i) por impregnación, existen varios métodos que tienen en común es el uso de autoclave, donde es posible generar vacío y/o presión para facilitar el ingreso del impregnante (ii) por inmersión, existen varios métodos donde se incluye el baño de tablas de maderas en las soluciones impregnantes a temperatura ambiente y sin agitación, el cual consta simplemente en introducir madera en un recipiente de volumen adecuado y reposar hasta que la madera este hundida; o el uso del sistema desarrollado para poder trabajar a una cierta temperatura con agitación y durante un tiempo determinado y (iii) por aplicación superficial estas son las pinturas y recubrimientos aplicados por pulverización o pincelado, Figura 6.

A continuación se detalla una revisión de los preservantes más utilizados y disponibles en el mercado clasificado según contra que agente se desee proteger con el fin de conservar la madera:

### Preservantes contra agentes bióticos

Los preservantes empleados contra agentes bióticos son aplicados mediante impregnación o inmersión. No existen recubrimientos que sean específicos para esta función [49-55].

Creosota. Según la norma IRAM 9512 la define como "Producto que consiste en una mezcla de compuestos destilados del alquitrán de hulla (un tipo de carbón

mineral), libre de cualquier mezcla de aceite de petróleo o de aceites no derivados del alquitrán”. Es la fracción que destila entre 250- 300 °C, de consistencia viscosa, de color negro y de olor a fenol. Su composición química es compleja constituida por la mezcla de hidrocarburos aromáticos (80-90%) tales como benceno, xileno, antraceno, etc.; una fracción ácida (5%) compuesta por fenoles, cresoles, naftoles, etc. y una fracción básica (5%) compuesta por piridinas, quinolinas y acridinas. Este es insoluble en agua, de alta permanencia, no es corrosiva para los metales pero es irritante para la piel, tiene olor desagradable, a temperaturas altas, puede sufrir fuertes exudaciones (se ha comprobado en durmientes tratados que en 10 años perdió 50% de exudados) y una vez aplicado en la madera, esta no puede ser pintada ni barnizada. Eventualmente es biodegradable y altamente efectiva contra hongos insectos y perforadores marinos. Se utilizó por mucho tiempo como preservante para postes y durmientes ya que reduce la corrosión y desgaste mecánico de las maderas.

Tras quedar probado su potencial cancerígeno, la Unión Europea prohibió la comercialización y uso de la creosota como conservante de la madera, pero en algunos lugares del mundo aún sigue en vigencia como en Argentina, según el S.E.N.A.S.A., a pesar de contener elementos altamente cancerígenos, en condiciones normales de uso es levemente tóxica.

Naftenatos. Son sustancias provenientes de la combinación de ácidos nafténicos; obtenidos como subproductos en la refinación de petróleo y sales de elementos metálicos, como el cobre y el zinc; son compuestos cerosos o gomosos no cristalinos y solubles en aceite. El naftenato de cobre es el más generalizado en la preservación de maderas, este es de color verde oscuro y olor desagradable, de gran toxicidad para micro y macroorganismos por lo que es muy efectivo como fungicida, insecticida y contra perforadores marinos. Es insoluble en agua, presenta buena estabilidad química, no irrita la piel, no es fitotóxico pero su aplicación tiñe la madera, aunque en algunos casos puede pintarse. También en vigencia como en Argentina aprobada su comercialización por el S.E.N.A.S.A.

Óxido de tributilestaño. Es un producto de alto poder fungicida e insecticida porque se fija en la madera debido a su afinidad natural por los materiales celulósicos, por ello que controla muy bien a los hongos causantes de la pudrición parda en la madera; pero no se fija en la lignina por lo que no es efectivo contra la pudrición blanca. Presenta la característica de no ser fácilmente lixiviable (en maderas en contacto con el suelo, se producen lixiviación si el pH es ácido), irritante para la piel, buena permanencia, buena estabilidad química, buena penetración, es incoloro e insoluble en agua y es soluble en la mayoría de los solventes orgánicos. Se utiliza en forma de gas-oil al 0,5% (0.5% de óxido de tributilestaño



Figura 6. Diferentes métodos de aplicación de los tratamientos preservantes para maderas: a) impregnación, la foto muestra el autoclave en donde se introducen las maderas a tratar; b) inmersión, se observa dispositivo donde las maderas son sometidas a agitación, inmersas en la solución tratante; c) cámara de pintado por pulverización, utilizado generalmente para líneas de fabricación de piezas de madera y d) pintado con pincel, método comúnmente empleado para la aplicación de pinturas protectoras.

equivalen a 5% PCF). Utilizado actualmente en Argentina como plaguicida (listado del S.E.N.A.S.A.).

Quinolinolato (VIII) de cobre. Se disuelve en solventes ligeros, además de la protección contra hongos tiene buena fijación en la madera, y se recomienda su utilización en madera que tiene contacto con productos alimenticios, no es irritable a la piel. Utilizado actualmente en Argentina como plaguicida (listado del S.E.N.A.S.A.)

Sales simples. En líneas generales, las sales simples no son muy aconsejables para tratamientos de mucha exigencia en servicio. Por ello las que se utilizan actualmente son sales complejas que generalmente poseen un producto fijador (ácido crómico; cromatos, bicromatos) que la haga menos lixiviables, un producto anticorrosivo (sales de cromo), un producto fungicida (SO<sub>4</sub>Cu, FNa, ClZn, etc.) y un producto insecticida (ácido bórico, arseniato de sodio, etc.) Algunas sales simples muy utilizadas son: Sulfato de cobre en soluciones del 3 al 5%, Cloruro de Zinc en soluciones del 2 al 5%; Fluoruro de sodio en soluciones de 1,5% al 4%; Pentaclorofenato de sodio en soluciones al 2%.

Sales de boro. Los compuestos de boro no tiñen a la madera, son tóxicos para los insectos y hongos; estos productos fueron utilizados inicialmente como retardantes de llama, pero luego se pudo evidenciar que tenían acción efectiva contra los degradadores de madera. Así, la madera tratada con componentes de boro se utiliza en lugares secos y en interiores para evitar que el producto químico no se lixivie por la humedad. Actualmente se ha normalizado su uso en muebles y viviendas en concentraciones 2% al 3% en solución.

Soluciones salinas complejas. Las sales preservantes tienen en su composición un elemento fungicida, como el cobre; un biocida de amplio espectro, como el arsénico o el boro y un fijador como el cromo. Las principales características de estas sales son su alta resistencia a la lixiviación, especialmente en maderas de coníferas, y una buena fijación de los principios activos. Generalmente estos compuestos son muy tóxicos y a lo largo del tiempo pierden su resistencia al lixiviado por lo que son perjudiciales para el medio ambiente. En Argentina actualmente se utiliza como preservante. Hay muchas de estas soluciones, entre las principales sales múltiples utilizadas se encuentran:

- ACA (Arsénico - Cobre - Amoniaco). Está formada por cobre en forma de óxido cúprico y arsénico en forma de óxido arsénico disueltos en amoníaco, a las dos o tres semanas de tratada la madera, se evapora el amoníaco que solubiliza a la materia activa en agua y los precipitados de cobre y arsénico, que se fijan definitivamente en la madera.

Su composición es muy tóxica y emana tóxicos a la atmósfera pese a tener buena respuesta como preservante no es utilizado por la elevada polución que genera.

- CCA (Cobre – Cromo – Arsénico). Es el más usado a escala mundial, debido a su gran capacidad de fijación en la madera, a la facilidad de aplicación y a su efectividad. La durabilidad de la madera tratada con CCA supera los 20 años, dependiendo de su uso y de la cantidad de preservante impregnada. El cobre impide el ataque de hongos y bacterias; el cromo es el elemento responsable

de la fijación definitiva del preservante en la madera, y el arsénico protege la madera de los insectos. En este momento se trata de uno de los preservantes de mayor difusión en nuestro país. Además de la toxicidad de sus componentes tiene como desventaja que la madera a tratar debe tener una humedad cercana al punto de saturación de las fibras (más o menos 30%) y una vez tratada, debe secarse durante 2 a 4 meses.

- CCB (Cobre - Cromo - Boro). Las tres sales se encuentran en forma de óxido. Combinan la acción fungicida del cobre con el boro, biocida de amplio espectro, y con el poder de fijación del cromo para evitar la lixiviación. Las maderas tratadas con esta adquieren una coloración verdosa; puede ser pintada, de fácil manipulación, no despiden olores ni vapores irritantes, y utilizadas para la construcción rural.

La fijación de estas sales en la madera es muy lenta y se recomienda dejar secar por lo menos de 6 a 8 semanas antes de usar. Se conocen en Argentina como TanalithCB y se utilizan en solución al 5%.

### **Preservantes contra agentes abióticos**

- Repelencia al agua

Los tratamientos para reducir la tendencia de la madera a tomar humedad ambiental y los cambios dimensiones de la misma se pueden dividir en dos categorías: repelentes al agua y estabilizadores dimensionales. La eficacia de tratamiento de repelencia al agua se puede definir como la capacidad de un tratamiento para prevenir o controlar la velocidad de absorción de agua líquida. Se utiliza en general para lograr este efecto la inmersión en cera o aceite de siliconas. Mientras que la eficacia de tratamiento de estabilización dimensional puede se define como su capacidad para reducir o prevenir la hinchazón y contracción de la madera resultante de la absorción de humedad. El incremento en la estabilidad dimensional se logra, fundamentalmente, porque la sustancia química incorporada ocupa los poros de la madera, produciendo un agrandamiento (bulking) permanente de las dimensiones de la pieza.

Hasta el presente, los repelentes de agua comercialmente aplicados a la madera han sido casi exclusivamente basados en ceras de parafina. Estas sustancias se aplican, generalmente por inmersión o impregnación, como soluciones en un disolvente orgánico. Este tipo de formulaciones contiene además de la sustancia hidrofóbica, fungicidas, resinas, y a veces hasta insecticidas; la resina actúa como un agente de unión entre la sustancia hidrofóbica y los espacios interfibrilares en la superficie de la pared celular [56, 57].

Una combinación de resina y cera de parafina da una mejor formulación ya que aúna las propiedades de impermeabilización de los componentes utilizados solos y además, puede aplicarse como una pintura. La desventaja de este tipo de tratamiento es la poca estabilidad en la madera ya que se demostró que con el simple hecho de exponer maderas tratadas a vapores de solventes orgánicos se observan exudaciones.

A pesar de estas limitaciones varios investigadores han demostrado que el tratamiento de la madera con agua,

tales repelentes permiten un control significativo de la absorción de agua para un período de tiempo razonable pero luego esta propiedad se pierde. Esta pérdida está asociada a la no-unión o unión débil o entre la pared celular y el hidrófugo como así también a la degradación de la superficie de madera. Una forma de superar este efecto puede ser para unir el hidrófobo químicamente sobre la pared celular. Una serie de reacciones son conocidas permitiendo la unión de sustancias orgánicas a la madera; entre los reactivos que permiten este tipo de reacciones se encuentran los epóxidos e isocianatos los cuales son particularmente interesantes ya que no conducen a la generación de subproductos no deseados subproductos o una seria degradación de la madera tratada. El tratamiento de la madera con reactivos hidrófobos que contiene uno u otro de estos grupos funcionales pueden conducir a productos químicos repelentes al agua. Tales técnicas se han aplicado con éxito durante un período de tiempo considerable en la industria textil [58-63].

#### - Acción climática y radiación UV

Para maderas expuestas a intemperie la protección contra estos agentes debe ser mediante la aplicación de tratamientos superficiales: pinturas y recubrimientos.

Los más conocidos y disponibles en el mercado son los barnices y lasures. Los barnices son recubrimientos no pigmentados que permiten proteger la madera sin perder la estética y vetas que la madera presentan naturalmente pero resaltando su acabado. Pero al ser transparentes son sensibles a la foto-oxidación por la luz ultravioleta. Es por ello, que la protección contra los efectos de la luz ultravioleta están alcanzados con el agregado de absorbentes UV, antioxidantes y HALS (Hindered Amine Light Stabilizers) a estas formulaciones tradicionales denominándose lasures. El pigmentado entonces inhibe la degradación del recubrimiento debido a que poseen radicales que absorben la radiación UV evitando el inicio de las reacciones de foto-oxidación.

Estos lasures están constituidos por resinas alquídicas modificadas al aceite o uretanadas. Los disolventes empleados son hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Se emplean disolventes orgánicos, para evitar goteos y otros inconvenientes. Es posible encontrar como ligantes soluciones de resinas alquídicas, largas en aceite o ácidos grasos secantes. Los pigmentos utilizados en la actualidad son los óxidos de hierro transparentes. En las fichas técnicas de los recubrimientos protectores se promueve su acción protectora frente a decoloración por radiación UV, su acción hidrorrepelente, reduciendo el paso de vapor de agua entre el interior y exterior de la madera.

Todos los recubrimientos deben trabajar a poro abierto y no formar película sobre la madera, permite que ésta respire. Se señala que las propiedades de los productos se mantienen hasta por 6 años

#### **Las últimas tendencias en protección de maderas**

La tendencia de los últimos años fue reducir o eliminar, por razones ambientales y de salud humana, el uso de arsénico, cromo, cobre, entre otros componentes usuales en la formulación de biocidas para protección de maderas, como así también el uso de solventes y aditivos

contaminantes en el campo de la tecnología de pinturas, es por ello que el cambio del fundamento de protección fue rotundo y generó nuevas tecnologías preservantes.

#### **Modificación térmica o el tratamiento por calor**

Este tratamiento radica en el uso de temperatura para alterar las propiedades de la madera. La madera se somete a temperaturas superiores a 150 °C, generalmente entre 180 y 260 °C, lo que provoca diversas reacciones en los polímeros constitutivos de la madera, tales como separación hidrolítica de polisacáridos, oxidaciones y reducciones, además de variadas condensaciones [69-71].

El calentamiento ocurre dentro de un proceso que tiene como variable la duración de los ciclos, la humedad de la madera y la atmósfera del ambiente de reacción. Se busca reducir el contenido de oxígeno para evitar oxidaciones degradativas. La modificación térmica mejora la estabilidad dimensional, la resistencia al ataque de microorganismos y también reduce la higroscopicidad. Como contrapartida, la modificación térmica reduce la tenacidad de impacto y la resistencia a la abrasión. La madera modificada térmicamente presenta un oscurecimiento del color y un olor característico, típico del calentamiento de azúcares [69-71]. Actualmente, en Finlandia, Alemania, Holanda, Francia y en Estados Unidos hay firmas que producen madera térmicamente modificada para el circuito comercial.

#### **Modificación química**

La modificación química implica la reacción de un reactivo químico con los principales polímeros constituyentes de la madera, resultando en la relación de un enlace covalente entre ambos. Comprende la impregnación de la madera con la sustancia química reactiva y el curado para permitir la reacción entre la sustancia química y la madera.

El incremento en la estabilidad dimensional se logra, fundamentalmente, porque la sustancia química incorporada ocupa los poros de la madera, consecuentemente tienen menos espacios vacíos por donde el agua puede llegar a las fibras, lo que hace que mantengan sus dimensiones en ambientes de humedad variable. La resistencia a agentes microbiológicos, ampliamente documentada, no está aún satisfactoriamente explicada desde el punto de vista científico-técnico, ya que la modificación química se hace necesariamente con productos químicos no biocidas y por lo tanto la madera modificada no es tóxica para los agentes biológicos. También se obtienen mejorías sensibles en la resistencia a la degradación por agentes meteorológicos, tales como radiación solar, precipitaciones y cambios de temperatura. La modificación de la madera también origina cambios en las propiedades mecánicas. En algunos procesos se observa un deterioro en la tenacidad de impacto.

Los tratamientos más adoptados por la industria al presente son el de acetilación, DMDHEU y el tratamiento de la melamina (furfurilación) mientras que los demás que se detallan están en proceso de estudio y desarrollo:

**Esterificación o Acetilación.** Es la modificación química con anhídridos acéticos. La madera acetilada presenta un incremento en la densidad y sensibles mejorías en la

estabilidad dimensional, debido al agrandamiento de la pared celular producido por la reacción. La resistencia al ataque de xilófagos que se obtienen es similar a la que se observa en madera tratada con químicos preservantes. Una desventaja de este proceso es la obtención de ácido acético como subproducto de la reacción, lo que deja al producto con un característico olor a vinagre. También debe tenerse en cuenta que el anhídrido acético es corrosivo, por lo que la planta de tratamiento debe considerar esa propiedad en el diseño. Desde 2003 a la actualidad se produce en los Países Bajos madera acetilada con fines comerciales [72-74].

Resina de DMDHEU. El dimetildihidroxi-etileno urea (DMDHEU) es una sustancia soluble en agua que al polimerizarse se transforma en una resina. Esta tecnología ha sido transferida desde la industria textil a la de madera; a temperaturas superiores a 100° C y en presencia de un catalizador metálico, los grupos N-metilol, presentes en la molécula DMDHEU, reaccionan con los polímeros de la pared celular mientras que a su vez, también dentro de la pared celular, el monómero de DMDHEU se polimeriza, que debido a su tamaño molecular permanece retenida. Es posible realizar este proceso sin provocar alteraciones perceptibles en el color y en el olor de la madera. La modificación de la madera con DMDHEU permite reducir la contracción e hinchazón en hasta un 70% y aumentar notoriamente la resistencia frente a agentes bióticos. En Alemania se comercializa madera modificada con DMDHEU y se producen muebles y otros productos con partes y piezas de tableros contrachapados o microlaminado con chapas impregnadas utilizando este proceso [76].

Alcohol furfurílico. Este proceso implica la impregnación de madera con alcohol furfurílico y la posterior reacción con un catalizador (anhídridos cíclicos de ácidos carbónicos) a temperaturas superiores a 100° C, permitiendo la polimerización del alcohol furfurílico dentro de la pared celular y en pequeñas cantidades en el lumen celular. Además, la furfurilación confiere a la madera un color oscuro que permite asociarla con las maderas tropicales, lo que a su vez puede ser una ventaja para la comercialización de algunos productos. La madera furfurilada, debido al agrandamiento permanente de la pared celular y a los enlaces entre el polímero y la pared celular, es dimensionalmente más estable que la madera sin tratar. Se observa mayor resistencia al ataque de hongos, siendo más efectivo el tratamiento contra hongos de pudrición blanca que de pudrición parda. La madera furfurilada presenta el detrimento de algunas propiedades mecánicas tales como el módulo de ruptura, la resistencia a la abrasión y la tenacidad. Actualmente en Noruega se produce madera furfurilada de pino y latifoliadas con destino comercial [77-79].

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Tinto, C. (1997) *Tecnología de las Maderas Argentinas y del Mundo Agro Vet.*, 565 pp.
- 2.- Conafor (Comisión Nacional Forestal Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología) (2010) *Manual para la protección contra el deterioro de la madera*, 87 pp.

Siloxanos. Desde que los compuestos orgánicos de silicio tales como silanos y siloxanos se han utilizado como consolidantes y repelentes de agua en la construcción (por ejemplo ladrillos, hormigón, yeso, etc.), éstas están siendo estudiadas en la protección de la madera. Una amplia variedad de estos compuestos se han descrito para la aplicación en madera: el uso de alcóxidos; silanos aplicados en combinación con alcóxidos como el tratamiento con trimetoxisilano de vinilo y [γ (metacriloxi) propil] trimetoxisilano (PTMS) o con tetraetoxisilano (TEOS), trietoxisilano de metilo (MTES) y trietoxisilano propilo (PTEO) como silano monomérico o como sol pre-hidrolizado [80-84]. Éstos, también conocidos como alcóxidos, han tenido un gran auge en los últimos años, junto con el método de polimerización que estos presentan: el proceso sol-gel.

Nanopreservantes. Esta nueva disciplina tiene infinidad de usos y aplicaciones en una amplia variedad de disciplinas; se pueden mencionar el campo de las pinturas y recubrimientos protectores así como también soluciones impregnantes para la preservación y protección del deterioro de materiales. En este campo el fin fundamental es el diseño de sistemas de protección para mejorar la resistencia y durabilidad de partes y componentes elaborados con sustratos diversos contra la degradación química y/o biológica [85, 86].

Por ello, la tendencia actual para la protección de materiales es el uso de nanocompuestos ya que además de tener propiedades excelentes como biocidas, anticorrosivos e ignífugos según el caso, permiten generar sistemas amigables con el medio ambiente (no se necesitan altas concentraciones y pueden ser dispersados en soluciones acuosas) [87].

En la actualidad todos los desarrollos de tratamientos para la preservación de la madera se basan en compuestos nanométricos, ya que permiten una buena impregnación, no se necesitan grandes cantidades de esto para que sea efectivo, tiene propiedades exaltadas con respecto a su estado natural, los resultados son poco comparables a los tradicionales y en su mayoría se tiene la posibilidad de no utilizar solventes para su dispersión evitando la polución ambiental durante su empleo [88].

Como se evidencia, existe una gran variedad de tratamientos protectores y un importante desarrollo tecnológico en mejorar y crear nuevos. Esto está basado en que la madera es un material que se utiliza desde hace siglos debido a su gran versatilidad: pese al avance en la ciencia de los materiales, la madera sigue siendo uno de los pocos materiales que permite el desarrollo de construcciones sustentables dado por su capacidad de captar y reservar dióxido de carbono como así también la menor demanda energética de construcción respecto a otros materiales.

- 3.- Ulrika Råberg et al. (2005) Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe an overview (2005) *Journal of Wood Science* 51(5) 429-440
4. South African Wood Preservers Association and Timber Preservers Association of Australia (2014) *Understanding timber preservation*, <http://www.sawpa.org.za/>
5. Calderón, A. D. *Preservación de Maderas*, Cátedra Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, 33 pp.
6. Brischke, C. et al. (2014) Wood natural durability testing under laboratory conditions: results from a round-robin test *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, (1): 129-133
7. Rafael Capuz Lladro (2005) *Materiales orgánicos: maderas*, Ed. Univ. Politéc. Valencia, 279 pp.
8. Scheffer, T.C.; Morrell, Jeffrey J. (1998) *Natural durability of wood : a worldwide checklist of species* Forest Research Laboratory, Oregon State University. Research Contribution 22, 58p.
9. Taylor, A. M (2002) Heartwood Formation and Natural Durability-A Review *Society of Wood Science & Technology*, 34 (4) 587-611
10. Shmulsky, R. and Jones, P.D (2011) *Forest Products and Wood Science*, John Wiley & Sons, 532 pp.
11. U.S. Department of Agriculture (2013) *The Encyclopedia of Wood*, Skyhorse Publishing, Inc., 496 pp.
12. INTI, Madera y muebles (2002) *Clasificación de las maderas por su durabilidad natural*, <http://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/durabilidad.pdf>
13. Norma IRAM 9.600 (1998) *Preservación de maderas. Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave*, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 23 pp.
14. R. N. Valentín y R. García Ortega, “El biodeterioro en el museo” Conservación del patrimonio artístico. Pilar Sedano Espín (ed.), (1999), 164 (645) 85-107
15. Allsopp, D., Seal, K.J., Gaylarde, C.C. (2004) *Introduction to Biodeterioration*, Cambridge University Press, 237 pp.
16. Brock, T. D. (2009). *Biología de los Microorganismos*, 12º Edición, Addison-Wesley, 1296 pp.
17. Webster, J. and Weber, R. (2007) *Introduction to Fungi*, Cambridge University Press, 841 pp.
18. Luley, C.J. (2005) *Wood Decay Fungi Common to Urban Trees in Northeast and Central United States* 60 pp.
19. Schwarze, F.W (2007) Wood decay under the microscope, *Fungal Biology Reviews* 21,133-170
20. Stokland, J.N., Siitonen, J., Jonson, B.G. (2012) *Biodiversity in Dead Wood* Cambridge University Press.
21. Zabel, R.A. (2012) CHAPTER 8: Chemical Changes in Wood Caused by Decay Fungi, *Wood Microbiology, Decay and Its Prevention*, 195–224
22. Taylor, T. N (2015) Chapter 9: *Basidiomycota Fossil Fungi*, Academic Press, 173–199
23. Zuo, J et al. (2014) Diversity of macro-detritivores in dead wood is influenced by tree species, decay stage and environment, *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 288–297
24. Béguin, P.; Aubert, J. P. Cellulases, J. Lederberg (ed.) (2000). *Encyclopedia of microbiology*, Academic Press, San Diego, California, USA, pp. 744-758
25. Nilsson,T., Björdal, C. (2008) Culturing wood-degrading erosion bacteria, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 61 (1), 3-10.
26. Daniel, G., Nilsson, T. (1998) Developments in the study of soft rot and bacterial decay, A. Bruce, J.W. Palfreyman (Eds.), *Forest Products Biotechnology*, Taylor & Francis, London, 37-62
27. Schmidt, O., Moreth, U., Schmitt, U. (1995) Wood degradation by a bacterial pure culture, *Material und Organismen*, 20, 289–293
28. Liotta, G. (2000) *Los insectos y sus daños en la madera: problemas de restauración*, Ed. NEREA, 144 pp.

29. Majeed, M.Z. et al. (2012) Xylophagous termites: A potential sink for atmospheric nitrous oxide, *European Journal of Soil Biology*, Volume 53, 121–125
30. Zanni, E (2008) *Patología de la madera*, Editorial Brujas, 241 pp.
31. Pauchet, Y (2014) Identification and characterization of plant cell wall degrading enzymes from three glycoside hydrolase families in the cerambycid beetle *Apriona japónica*, *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 49, 1–13.
32. Allison, D., Borden, J.H., Seybold, S.J (2004) A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera) *Chemoecology*, 14 . 123–150
33. Louis, M., Grégoire, J.C, Péliisson, P.F (2014) Exploiting fugitive resources: How long-lived is “fugitive”? Fallen trees are a long-lasting reward for *Ips typographus* (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae), *Forest Ecology and Management*, 331, 129–134.
34. Ebeling, W. (2002) *Wood-Destroying Insects and Fungi*, Chapter 5, Ed. Entomology UC Riverside, University of California, Division of Agricultural Sciences, 128 – 216.
35. Cragg, S.M., Pitman, A.J., Henderson, S.M. (1999) Developments in the understanding of the biology of marine wood boring crustaceans and in methods of controlling them, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 43, (4), 197–205.
36. Zurita, G.A., Zuleta, G.A (2009) Bird use of logging gaps in a subtropical mountain forest: The influence of habitat structure and resource abundance in the Yungas of Argentina, *Forest Ecology and Management*, 257 (1), 271–279.
37. Oliver, M.K and Martinez, A. J (2014) How resident microbes modulate ecologically-important traits of insects, *Current Opinion in Insect Science*, 4, 1–7.
38. Rowell, R. M. and Banks, W.B. (1985) *Water repellency and dimensional stability of wood*. Gen. Tech. Rep. FPL-50. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 24 pp.
39. Peralta, P.N. (2001) Wood: Diffusion and Permeability, **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**, 9622–9626.
40. Vololonirina, O., Coutand, M., Perrin, B. (2014) Characterization of hygrothermal properties of wood-based products – Impact of moisture content and temperature *Construction and Building Materials*, 63, 223–233.
41. Vignote Peña, S. And Martínez Rojas, I. (2006) *Tecnología de la madera*, Mundi-Prensa Libros, 678 pp.
42. Zabel, R.A. (2012) CHAPTER 2 – Wood Deterioration Agents, *Wood Microbiology, Decay and Its Prevention*, 21-51.
43. Rowell, R.M. (2005) Chemical modification of wood. In *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite*; Rowell, R.M. (ed.), Taylor and Francis, CRC Press, 420 pp.
44. Encinas, O (2004) *Conservación de maderas*, Universidad de Los Andes, 22 pp.
45. Canadian Wood Council (1995) *Wood Reference Handbook*. Canadian Wood Council, Ottawa, Ontario. 561p.
46. Majada, J., et al. (2013) Innovación de procesos y productos en el sector de la madera” In: *6º Congreso Forestal Español* 10 al 14 de junio de 2013, Palacio de Congresos y Exposiciones Europa de Vitoria-Gasteiz
47. Militz, H. (2002) Treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art. En: *Proceedings of Conference on “Enhancing the durability of lumber and engineered wood products”* February 11-13, 2002, Kissimmee, Orlando. Forest Products Society, Madison, US.
48. Novoa Robles, L.A. (2006) *Manual de buenas prácticas de manufactura para la preservación de madera aserrada; acorde a los estándares expresados en las propuestas de normas*. Dirección nacional de desarrollo de comercio exterior vice ministerio de comercio exterior Lima-Perú, 41 pp.
49. Bases de datos del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (S.E.N.A.S.A), Ministerio de agricultura, ganadería y pesca, Argentina.
50. Apiolaza, L.A. (2000) *Multiple trait improvement of radiata pine*, Massey University, Palmerston North, 143 pp.

51. Cartwright, K. St. G. and Findlay, W.P.K. (1950) *Decay of timber and its prevention*. Chemical Publishing Co. New York. USA. 294 p.
52. Wood Protection Council (1993) *Wood Protection Guidelines, Protecting wood from decay fungi and termites. Understanding Biodeterioration of Wood in Structures*. Wood Protection Council, National, Institute of Building Sciences. 53 pp.
53. Cassens, D. L., Feist, W.C., Jonson, B.R., DeGroot, R.C. (1995) *Selection and use of preservative-treated wood*. Forest Products Society. Madison, Wisconsin. USA. 104 p.
54. Zabel, R.A. and Morrell, J.J. (1992) *Wood Microbiology: Decay and its Prevention*. Academic Press. San Diego, California, USA. 476 p
55. Green, J. (1996) Mechanisms flame retardancy and smoke suppression, a review, *Journal of Fire Sciences*, 14, 426-442.
56. Yuan, Zhu, Wang, Wang, Jinzhen, Cao (2014) Improvement of hydrophobicity and dimensional stability of thermally modified southern pinewood pretreated with oleic acid. *BioResources*, 9(2), 2431-2445.
57. Wang, X., Chai, Y., Liu, J. (2013) Formation of highly hydrophobic wood surfaces using silica nanoparticles modified with long-chain alkylsilane. *Holzforschung*, 394(1), 97-112.
58. Yanjun, Xie, et al. (2013) Effects of hydrophobation treatments of wood particles with an amino alkylsiloxane oligomer on properties of the ensuing polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 44, 32-39.
59. Tshabalala, M.A., Kingshott, P., VanLandingham, M.R., Plackett, D. (2003) Surface chemistry and moisture sorption properties of wood coated with multifunctional alkoxysilanes by sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*, 88(12), 2828-2841
60. Sèbe, G., Brook, M.A. (2001) Hydrophobization of wood surfaces: Covalent grafting of silicone polymers. *Wood Science and Technology*, 35 (3), 269-282.
61. Petric, M.P., Knehtl, B., et al. (2007) Wettability of waterborne coatings on chemically and thermally modified pinewood. *J. Coat. Technol. Res.*, 4, 203-206.
62. Taghiyari H.R. (2011) Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated *Populus nigra*, *Wood Sci Technol*, 45 (2), 399-404
63. Militz, H. (2002) "Heat Treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art". In: *Proceedings of Conference on "Enhancing the durability of lumber and engineered wood products"* Kissimmee, Orlando. Forest Products Society, Madison, US.
64. Dieguez, M.J.:(1997) Acabado de la madera. Duración al exterior y temperatura de transición vítrea. *AITIM*: 186, 60-64
65. Garay, R.(2007) Impregnantes tipo lasur para la protección de la madera y tableros. Abril 2007. *Agro-Ciencia*: 23(1), 25-36.
66. Schaler, C. and. Roget D.(2008) Protección de la Madera frente al sol. Empleo optimizado de absorbentes y desgaste del sustrato. *Revista Protecma N° 39*: 16-21.
67. Williams, R.S.; Knaebe, M.T. Sotos, P.G. and Feist W.C. (2001); Erosion rates of wood during natural weathering. Part I Effects of grain angle and surface texture. *USDA.Wood Fiber Sci., Forest Products Laboratory*, 33(1), 31-42.
68. Rose Marie Garay (2009) Effects of Superficial Protectors on the Properties of Wooden Boards after a Year of Exposure to the Environment *Información Tecnológica Vol. 20 (4)*: 123-130
69. Petric, M.P., Knehtl, B., et al., 2007. Wettability of waterborne coatings on chemically and thermally modified pinewood. *J. Coat. Technol. Res.*, 4, 203-206.
70. Höglinger, O., Rätzsch, M. Bucka, H., Schmidt, H., Tanczos, I., Stallinger, S. (2004) *Method for the production of acetylated wood*, patent AT 1783/2002, WO 2004/048417 A1.
71. Tanczos, I., Putz, R., Brüstle, B. (2006) A new technology for acylation of wood low wet wood products and their characterization, *9th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, Viena*.

72. Chang, H.T. y Chang, S.T. (2001) Comparisons of the photostability of esterified wood, *Polym. Degr. Stab.*, 71, 261–266
73. Dieste, A., Krause, A., Bollmus, S., Militz, H. (2009) Gluing ability of plywood produced with DMDHEU-modified veneers of *Fagus sp.*, *Betula sp.*, and *Picea sp.* *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29 (2), 206–209.
74. Ryu, J.Y., Takahashi, I.M. (1992) *Biological resistance of furfuryl-alcohol treated wood*, International Research Group on Wood Protection. IRG/WP/3703-92
76. Goldstein, I.S. (1955) The impregnation of wood to impart resistance to alkali and acid, *Forest Products Journal*, 5 (4), pp. 265–267
77. Dunlop, A.P., Peters, F.N. (1942) The nature of furfuryl alcohol, *Industrial and Engineering Chemistry*, 34 (7), 814–817.
78. Mai, C., Militz, H., (2004). Modification of wood with silicon compounds. Inorganic silicon compounds and sol-gel systems: A review. *Wood Science and Technology*, 37 (5), 339-348.
79. Mai, C., Militz, H., 2004. Modification of wood with silicon compounds. Treatment systems based on organic silicon compounds - A review . *Wood Science and Technology*, 37 (5), 453-461.
80. Mai, C., Donath, S., Weigenand, O., Militz, H., 2005. Aspects of wood modification with silicon compounds: material properties and process development, *Proceedings of the Second European Conference on Wood Modification*, H. Militz, C. Hill (Eds.), Göttingen, 222–231.
81. Tshabalala, M.A., Kingshott, P., VanLandingham, M.R., Plackett, D. (2003) Surface chemistry and moisture sorption properties of wood coated with multifunctional alkoxy silanes by sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*, 88 (12), 2828-2841.
82. Dimitirev, Ivanova, Y., Iordanova, R. (2008) History of Sol-Gel Science and Technology (review), *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 43 (2), 71-97.
83. Baer, D., Burrows, P. y El-Azab, A. (2003) Enhancing coating functionality using nanoscience and nanotechnology, *Progress in Organic Coatings*, 47, 342-350.
84. TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Association Industry) (2005), Nanotechnology for the forest products industry: vision and technology roadmap, Report of the Nanotechnology for the Forest Products Industry Workshop”; TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, 102 pp.
85. Gómez Villalba, L.S, López Arce, P., Fort, R. y Álvarez de Buergo, M. (2010) La aportación de la nanociencia a la conservación de bienes del patrimonio cultural, *Patrimonio Cultural de España*, 4, 43 –56.
86. Dastjerdi, R., Montazer, M. (2010) A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties”; *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 79 5–18.
87. Ghonche Rassam, et al. “Mechanical performance and dimensional stability of nano-silver impregnated densified spruce wood”; *European Journal of Wood and Wood Products* (2012), 70 (5) 595-600.
88. Rassam G, Taghiyari H.R., Jamnani B., Khaje M.A. (2010) Effect of Nano-Silver treatment on densified wood properties. Part one: swelling, recovery set, bending strength, *Biarritz, International Research Group of Wood Protection, Doc. No.: IRG/WP 10-40533.*

