

Inventario de la vegetación y estudio de la interferencia biocida con los materiales pétreos del yacimiento del cerro de la plaza de armas de Puente Tablas (JAÉN)

Marta Sameño Puerto
Rosario Villegas Sánchez

Departamento de Análisis
Instituto Andaluz de
Patrimonio Histórico

Jorge García Rowe

Departamento de
Biología Vegetal y Ecología
Fac. de Farmacia, Universidad de Sevilla

Las rocas pueden sufrir procesos de alteración de tres tipos: físicos, químicos y biológicos. La alteración biológica se debe a la influencia ejercida por los vegetales, superiores e inferiores, y por los animales. La vegetación puede producir alteraciones por varias causas:

Musgos y líquenes: actúan como acumuladores de humedad. El sustrato permanece húmedo más tiempo y esto favorece su alteración. No obstante, los líquenes pueden ejercer un efecto protector contra agentes degradantes puesto que forman un revestimiento sobre la superficie de la piedra.



1.

Plantas superiores: sus raíces pueden provocar efectos mecánicos de disgregación de materiales, provocando desprendimientos periódicos. Sin embargo, la vegetación es beneficiosa en cuanto a que retarda la erosión, estabiliza la pendiente, etc.

Los lienzos de muralla y demás estructuras de habitación (fig. 1) sacadas a la luz por las excavaciones en el yacimiento arqueológico de Puente Tablas, sufren un fuerte problema de colonización de diversas especies, fundamentalmente de plantas superiores. Se ha llevado a cabo un análisis de la vegetación existente, determinando y describiendo cada especie, así como su correspondiente biotipo que indica de qué forma dicha especie altera el sustrato.

Generalmente, cuando se restaura un edificio o monumento de piedra, los principales objetivos incluyen tratamientos de limpieza, de ahí la importancia del estudio sobre tratamientos biocidas efectivos que limpien, inhiban y erradiquen crecimientos macro y microbiológicos en obras de arte pétreas.

La efectividad de los biocidas ha sido ampliamente estudiada, pero no así el efecto de estas sustancias sobre los componentes de la piedra. El objetivo de este estudio es verificar el efecto de los tratamientos biocidas sobre los materiales pétreos, utilizando diversos ensayos y métodos de aplicación de los productos (L. Schnabel, 1991).

Los productos biocidas, su concentración y el método de aplicación se han seleccionado para subrayar la posible interacción de los mismos con la superficie de la piedra. Las características de las piedras ensayadas se han determinado antes y después del tratamiento biocida. Se han usado las siguientes técnicas: medida de la absorción de agua por capilaridad y de la alteración cromática y observaciones con microscopio electrónico de barrido (M. P. Nugari, P. Pallechi y D. Pinna, 1993). Por último se han realizado ensayos de envejecimiento acelerado.

INVENTARIO DE LA VEGETACIÓN

Biotipos

Se distinguen distintos biotipos que afectan desigualmente a las estructuras emergentes (J. García Rowe y C. Sáiz-Jiménez, 1991).

Biotipos de líquenes y briofitos

Crustáceo. Talo fuertemente adherido al sustrato por toda su superficie, carece de córtex inferior y se fija a través de las hifas del hongo que penetran en el sustrato. El talo puede desarrollarse totalmente incrustado en rocas (endolítico) o bien sobre el sustrato (epilítico). Desde el punto de vista de la erosión química y mecánica son los talos que presentan un mayor efecto negativo.

Foliáceo. El talo presenta un córtex inferior bien definido y se adhiere al sustrato mediante ricinas producidas por el hongo del líquen. La erosión química es menos acusada, si bien la erosión mecánica producida por las ricinas puede ser mayor que en el caso anterior.

Escumuloso. Talo formado por escamas con los bordes laxamente adheridos al sustrato, a veces superpuestas. Algunos no tienen córtex inferior, otros sí.

Fruticuloso. Talo que tiene la forma de un pequeño arbusto erecto o pendiente y que se fija al sustrato por un punto (disco de fijación), por lo cual la erosión química es mucho menos acusada, pero la erosión mecánica es igual o superior que en el caso de los foliáceos. Las ramificaciones pueden ser cilíndricas o aplanadas (lacinias).

Folioso. Biotipo de briofitos que supone el mismo impacto que los talos foliáceos de los líquenes porque se adhieren al sustrato mediante rizoides.

Taloso. Biotipo de hepáticas. Similar en cuanto a impacto al caso anterior.

Biotipos de plantas superiores

Terófito. Plantas que cumplen su ciclo vital completo en la estación favorable (anuales). No hay estructuras perdurables excepto las semillas. El grado de desarrollo alcanzado por los terófitos depende de la especie considerada.

Hemicriptófito. Plantas en las que la parte aérea muere cada año, quedando las yemas perdurantes a ras del suelo. No suelen alcanzar tallas tan altas como los terófitos, pero al ser perennes la erosión mecánica puede ser más grave para el sustrato.

Caméfito. Plantas leñosas de poco porte, con yemas perdurantes que no se elevan más de 20-25 cm del suelo.

Criptófito. Plantas cuyas partes perdurantes quedan bien protegidas bajo la superficie del sustrato, acomodándose en fisuras, grietas y superficies de escorrentía. Desde el punto de vista de la erosión mecánica son las que pueden provocar un mayor daño.

Fanerófito. Plantas leñosas arbóreas. Su grado de desarrollo se ve claramente condicionado por la accesibilidad y la riqueza del sustrato así como por la abundancia de agua. Desde el punto de vista mecánico son las más perjudiciales debido al tamaño y volumen que pueden alcanzar sus raíces.

Material y métodos

La información necesaria para la realización de este estudio se ha obtenido de las siguientes fuentes: el material bibliográfico utilizado y el material recolectado en las excursiones realizadas al yacimiento arqueológico.

El proceso seguido se estructura en 3 fases: recogida del material, determinación del mismo y elaboración de datos.

Las muestras tomadas para el estudio del biodeterioro, son las que aparecen sobre las estructuras excavadas o próximas a ellas.

Líquenes

La toma de muestra se ha realizado en aquellos puntos de la superficie de la piedra en los que las alteraciones eran más significativas y representativas. Se han registrado las características del área elegida, sustrato, orientación, etc.

Se han tomado muestras con distintas especies en zonas de distinta ecología (ver fig. 2). También se ha tomado 1 muestra de la piedra que presentaba pequeñas punteaduras quizás producidas por los talos de líquenes endolíticos (biopitting).

Para su determinación y descripción se ha consultado la clave de P. Ozenda y G. Clauzade (1970) y se han utilizado los siguientes reactivos, indicando en cada caso si la reacción es positiva y el color:

- K:** Solución concentrada de KOH en agua.
- Cl:** Hipoclorito sódico en solución acuosa comercial (lejía concentrada).
- I:** Solución de yodo en yoduro potásico.
- N:** Acido nítrico concentrado.

Briofitos

Se han tomado 4 muestras de musgos aún estériles. Sin embargo no se ha observado que estos organismos intervengan de forma significativa en los procesos de alteración biológica del yacimiento, por lo que no se procedió a su determinación.

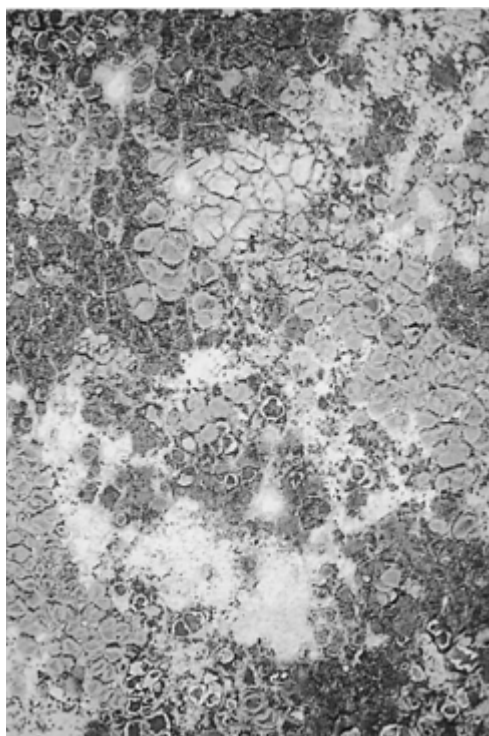
Plantas superiores

En el caso de Puente Tablas se trata de una vegetación típica de lugares secos e incluso semiáridos (fig. 3), que se encuentra en los afloramientos calizos y en algunas laderas y llanuras no aptas para el cultivo. También en los márgenes de caminos.

La toma de muestras se ha llevado a cabo en las visitas realizadas al yacimiento. Para su determinación y descripción se ha utilizado la clave de G. Bonnier y G. de Layens (1988) y la de B. Valdés, S. Talavera y E. Fernández-Galiano (eds.) (1987).



2.



3.

RESULTADOS

Líquenes

Se ha realizado un listado de las distintas especies.

ESPECIE	BIOTIPO	ESPECIE	BIOTIPO
<i>Acarospora cervina</i> (Pers.) Massal	Escuamuloso	<i>Candelariella xanthostigma</i> (Pers.) Lett.	Crustáceo
<i>Acarospora laqueata</i> Stizenb.	Escuamuloso	<i>Collema tenax</i> (Sw.) Ach	Foliáceo
<i>Aspicilia hoffmanii</i> (Ach.) Flag.	Crustáceo	<i>Lecania erysibe</i> (Ach.) Mudd.	Crustáceo
<i>Aspicilia radiosa</i> H. Magn.	Crustáceo	<i>Lecanora muralis</i> (Schreb.) Rabenh var. <i>versicolor</i> (Pers.) Tuck.	Crustáceo
<i>Caloplaca erythrocarpa</i> (Pers.) Zw.	Crustáceo	<i>Lecanora prominens</i> Clauz. et Vězda.	Crustáceo
<i>Caloplaca</i> sp1	Crustáceo	<i>Poeltinula aff. cerebrina</i> (DC.) Hafellner	Crustáceo
<i>Caloplaca</i> sp2	Crustáceo	<i>Rinodina calcarea</i> (Hepp.) Arn.	Crustáceo
<i>Caloplaca teicholyta</i> (Ach.) Steiner	Crustáceo	<i>Verrucaria</i> sp.	Crustáceo
<i>C. velana</i> (Massal) Du Rietz. var. <i>dolomiticola</i> (Hue) Zahlbr.	Crustáceo		
<i>Caloplaca vitellinula</i> (Nyl.) Oliv.	Crustáceo		

Plantas superiores

Se ha realizado un listado de las distintas especies.

ESPECIE	LOCALIZACIÓN	BIOTIPO	ESPECIE	LOCALIZACIÓN	BIOTIPO
<i>Aegilops ovata</i> L.	M.	Terófito	<i>Chamaemelum nobile</i> (L.) All.	C.	Hemicriptófito
<i>Allium pallens</i> L.	M.	Criptófito	<i>Cichorium intybus</i> L.	M.	Hemicriptófito
<i>Althaea longiflora</i> Boiss & Reuter	M.	Terófito	<i>Cleonia lusitanica</i> L.	M.	Terófito
<i>Alyssum simplex</i> (L.) Rudolphi	M./C	Terófito	<i>Convolvulus althaeoides</i> L.	C	Hemicriptófito
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	C.	Terófito	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	C.	Hemicriptófito
<i>Anchusa azurea</i>	C.	Hemicriptófito	<i>Crepis vesicaria</i> L.	C.	Terófito
<i>Anchusa undulata</i> subsp. <i>granatensis</i> (Boiss.) Valdés	C.	Hemicriptófito	<i>Dactylis glomerata</i> L.	M./C.	Hemicriptófito
<i>Anthemis arvensis</i> L.	M./C.	Terófito	<i>Daucus carota</i> L. subsp. <i>carota</i>	M.	Hemicriptófito
<i>Artemisia barrelieri</i> Besser	C	Caméfito	<i>Diptlotaxis virgata</i> (Cav.) DC.	M./C.	Terófito
<i>Asparagus albus</i> L.	M.	Caméfito	<i>Ecballium elaterium</i> L.	C.	Hemicriptófito
<i>Asphodelus fistulosus</i> L.	C.	Hemicriptófito	<i>Echinops strigosus</i> L.	M.	Hemicriptófito
<i>Asteriscus spinosus</i> L.	C.	Terófito	<i>Echium creticum</i> L.	C.	Hemicriptófito
<i>Astragalus hamosus</i> L.	C.	Terófito	<i>Erodium ciconium</i> (L.) L'Hér.	M./C.	Hemicriptófito
<i>Attractylis cancellata</i> L.	M.	Terófito	<i>Erodium malacoides</i> (L.) L'Hér.	C.	Terófito
<i>Avena barbata</i> Pott & Link subsp. <i>barbata</i>	C.	Terófito	<i>Eruca sativa</i> Miller subsp. <i>longirostris</i> (Uechtr.) Jahandiez & Maire	M.	Terófito
<i>Avena sativa</i> L.	M.	Terófito	<i>Eryngium campestris</i> L.	C.	Hemicriptófito
<i>Ballota hirsuta</i> Bentham	C.	Hemicriptófito	<i>Euphorbia serrata</i> L.	M.	Hemicriptófito
<i>Bellardia trixago</i> (L.) All.	M.	Terófito	<i>Evax pigmaea</i> L.	M.	Terófito
<i>Bombycilaena discolor</i> (Pers.) Lainz	M.	Terófito	<i>Filago lutescens</i> Jordan	C.	Terófito
<i>Brachypodium distachyon</i> (L.) Beauv.	M.	Terófito	<i>Foeniculum vulgare</i> Miller subsp. <i>piperitum</i> (Ucria) Sweet	C.	Hemicriptófito
<i>Bromus matritensis</i> L.	C.	Terófito	<i>Fumaria faurei</i> (Pugsley) Lidén	C.	Terófito
<i>Bromus rubens</i> L.	M./C.	Terófito	<i>Galium aparine</i> L.	C.	Terófito
<i>Bupleurum semicompositum</i> L.	M.	Terófito	<i>Galium parissense</i> L.	C.	Terófito
<i>Cachrys sicula</i> L.	M.	Hemicriptófito	<i>Galium verrucosum</i> Hudson	C.	Terófito
<i>Caléndula arvensis</i> L.	C.	Terófito	<i>Glacium corniculatum</i> (L.) J.H.Rudolph	C.	Hemicriptófito
<i>Capparis ovata</i> Desf.	C.	Caméfito	<i>Hedysarum glomeratum</i> F. G. Dietrich	M.	Terófito
<i>Carduus bourgeanus</i> Boiss. & Reuter	C.	Hemicriptófito	<i>Hordeum murinum</i> subsp. <i>leporinum</i> (Link) Arcangeli	C.	Terófito
<i>Catanche lutea</i> L.	M./C.	Terófito	<i>Lamarckia aurea</i> (L.) Moench.	C.	Terófito
<i>Centaurea mellitensis</i> L.	M./C.	Terófito			

Leontodon longirostis (Finch & P.D. Sell) Talavera	M.	Terófito	Platycapnos spicata (L.) Bernh.	C.	Terófito
Lepidium subulatum L.	C.	Caméfito	Rapistrum rugosum (L.) All. subsp. lineanum	M.	Terófito
Linaria latifolia Desf.	C.	Terófito	Reseda lanceolata Lag.	C.	Terófito
Linum strictum L.	C.	Terófito	Reseda phyteuma L.	C.	Terófito
Linum tenue Desf.	M.	Terófito	Retama sphaerocarpa (L.) Boiss.	C.	Caméfito
Lygeum spartum L.	M.	Hemicriptófito	Rubia peregrina L.	C.	Hemicriptófito
Marrubium vulgare L.	C.	Hemicriptófito	Salvia argentea L.	M.	Hemicriptófito
Medicago minima (L.) Bartal	M./C.	Terófito	Salvia verbenaca L.	M.	Hemicriptófito
Medicago polymorpha L.	C.	Terófito	Scabiosa stelata L.	M.	Terófito
Moricandia arvensis L.	M.	Hemicriptófito	Scorzonera laciniata L.	C.	Hemicriptófito
Muscari comosum (L.) Miller	M./C.	Criptófito	Silene colorata Poir.	C.	Terófito
Nigella papillosa G. López	M.	Terófito	Silene inflata (Salisb.) Sm.	M.	Hemicriptófito
Ononis natrix L.	M./C.	Hemicriptófito	Silene nocturna L.	C.	Terófito
Ononis viscosa L.	M.	Terófito	Silene rubella L. subsp. bergiana (Lindman) Malagarriga	C.	Terófito
Onopordum nervosum Boiss.	C.	Hemicriptófito	Sonchus asper (L.) Hill	C.	Terófito
Onosma tricosperma Lag.	M.	Hemicriptófito	Sonchus tenerrimus L.	C.	Hemicriptófito
Ornithogalum narbonense L.	M.	Criptófito	Stipa capensis Thumb.	C.	Terófito
Papaver hybridum L.	C.	Terófito	Stipa parviflora Desf.	M.	Hemicriptófito
Papaver rhoeas L.	C.	Terófito	Thapsia villosa L.	C.	Hemicriptófito
Parentucellia viscosa (L.) Caruel	M.	Terófito	Thymus zygis Loeff. & L. subsp. gracilis (Boiss.) R. Morales	M.	Caméfito
Piptalerum miliaceum (L.) Cosson	C.	Hemicriptófito	Tragopogon porrifolius L.	C.	Hemicriptófito
Plantago afra L.	C.	Terófito	Trifolium stellatum L.	M.	Terófito
Plantago albicans L.	M./C.	Hemicriptófito	Trigonella mospeliaca L.	C.	Terófito
Plantago bellardii All.	C.	Terófito			
Plantago lagopus L.	M./C.	Hemicriptófito			
Plantago lanceolata L.	C.	Hemicriptófito			

C.: Zona de casas y sus alrededores. M.: Zona de muralla y sus alrededores.

Discusión

Actualmente los líquenes no juegan un papel importante en el deterioro de las estructuras presentes en el yacimiento, esto es debido a que éstas han sido descubiertas no hace mucho tiempo; no obstante se ha procedido a su determinación con objeto de conocer las distintas especies existentes, ya que los líquenes son los organismos que inician la sucesión biológica, seguidos por los briofitos y las plantas superiores.

De los biotipos presentes el más abundante es el crustáceo, se observa algún escuamuloso y algún foliáceo.

En cuanto a las plantas superiores, se trata de una vegetación típica de lugares secos e incluso semiáridos que se encuentra frecuentemente en los márgenes de los caminos. Se han observado matorrales de distintas especies adaptadas a la sericidad: presencia de pelos en el envés de la hoja, hojas con bordes revolutos, etc. El objetivo de estas adaptaciones es evitar la pérdida de agua por transpiración.

Las familias que más abundan son las compuestas, las gramíneas y las papilionáceas. También existen algunas labiadas. Por otro lado, se ha visto que el porcentaje de las distintas familias es muy similar en las 2 localidades de muestreo.

Con respecto a los biotipos presentes, el más abundante es el terófito seguido por el hemicriptófito. También se han inventariado, en menor porcentaje, muchos caméfitos (arbustos) y algunos criptófitos (plantas bulbosas). Así pues, esto nos da una idea del tipo de alteración producida.

Conclusiones

El análisis y determinación de la flora y la vegetación que crece en el yacimiento debe ser considerado como una contribución importante e imprescindible al estudio de tratamientos biocidas para la conservación. Estos análisis son útiles para el control de la vegetación ruderal y el biodeterioro. El estudio de los distintos biotipos que predominan en el yacimiento han ayudado a la posterior elección de los biocidas que se van a emplear para su control.

INTERFERENCIA DE LOS BIOCIDAS CON LOS MATERIALES PÉTREOS

Materiales

Litotipos

Se ha usado el tipo de piedra característico del yacimiento, una caliza micrítica (caliza roja), que presenta un cierto porcentaje de hierro en su compo-

sición, y una caliza dolomítica (caliza gris). Se han utilizado probetas de 2x2x5 cm.

Productos herbicidas

Los herbicidas utilizados han sido (C. de Liñán Vicente, 1993):

- 1) PARACUAT, 20%, p/v. LS. Referido como producto A.
- 2) GLIFOSATO, 18 % + MCPA, sal isopropilamina, 18%, p/v. LS. Referido como producto B.
- 3) TRIBENURON, 25 % + TIFENSULFORON, 50%. GR. Referido como producto C.

Se han disuelto en agua destilada a unas concentraciones que pueden reproducir el efecto de tratamientos repetidos (tratamientos estacionales). Los dos primeros se han usado al 2,5% y el último al 1%.

Aplicación de los herbicidas

Los herbicidas se han aplicado de distinta forma según el ensayo al que se fueran a someter las probetas. Antes de aplicar los productos, se han lavado las muestras con agua destilada y se han secado a 60°C (ICR-CNR, 1985).

Impregnación por capilaridad. Las probetas se colocan sobre papel de filtro impregnado en los productos durante 24 horas. Las muestras así tratadas se usan para determinar la alteración cromática y la absorción de agua por capilaridad.

Impregnación por inmersión de las muestras durante 48 horas. Dichas muestras se han utilizado para la observación al SEM de las posibles alteraciones producidas.

Métodos de análisis y ensayos

Absorción de agua por capilaridad

El ensayo de capilaridad se realiza sobre probetas previamente lavadas con agua destilada y secadas en estufa. Las probetas se colocan sobre una capa de papel de filtro que se mantiene saturado de agua durante todo el ensayo, cuidando de que el agua no toque las caras laterales de la probeta, de forma que penetre en ella sólo por la cara inferior (ICR-CNR, 1985). Las medidas se han realizado con 3 muestras de cada tipo de caliza, con cada uno de los 3 herbicidas, antes y después de la impregnación.

Microscopio electrónico de barrido

La microscopía electrónica de barrido es muy valiosa para el estudio de diversos mecanismos responsables de la alteración de la piedra:

- la formación y crecimiento de cristales en la superficie tras el tratamiento biocida,
- la corrosión, lavado o disolución de constituyentes minerales como consecuencia de las soluciones ácidas,
- el crecimiento sobre la piedra de organismos tales como bacterias, algas, hongos y líquenes, con las correspondientes consecuencias físicas y químicas.

La principal ventaja de este método se basa en la posibilidad de realizar microanálisis, en una zona o punto previamente seleccionados, mediante un detector de espectrometría de energía dispersada (ICR-CNR, 1981).

Color

El posible cambio de color que se produce en las probetas tras el tratamiento biocida es cuantificado mediante el "Munsell soil color charts". La medida del color se ha realizado en las muestras tratadas por capilaridad con los herbicidas.

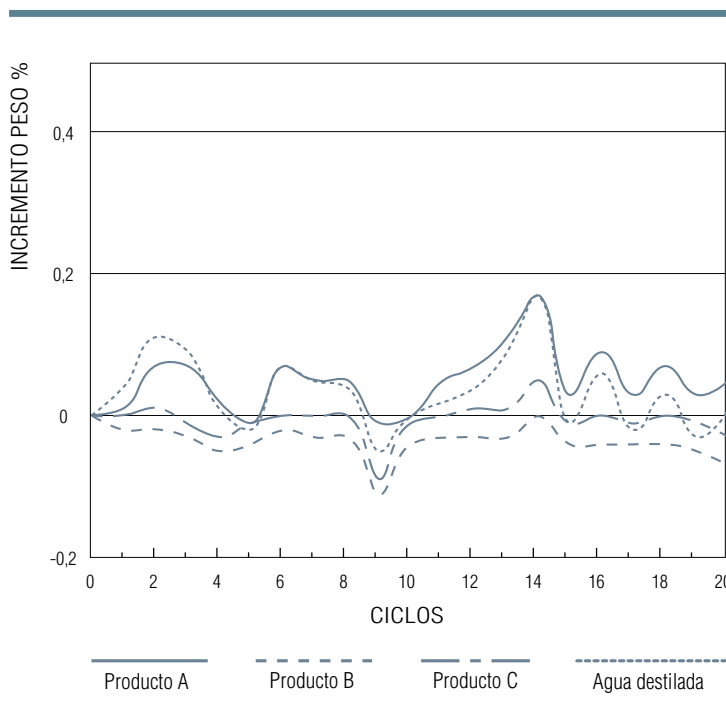
Ensayo de alteración acelerada

El ensayos de envejecimiento acelerado ha consistido en:

- pesada inicial del material,
- inmersión en las 3 soluciones de los distintos biocidas y en la solución testigo (agua destilada) durante 3 h,
- secado en estufa a 60°C durante 20 h,
- estabilización a temperatura ambiente durante 1h,
- pesada del material.

Este ciclo se repite 20 veces (RILEM-VIa, VIb, V-2, V-3; DIN 52104, 52111, 52250; ASTM C-67, C-88, C-218, C-290, C-291; UNE 7-062, 7-136, 7-192, 22-174, 22-184, 22-193). Se han realizado observaciones al microscopio electrónico de barrido a la mitad (10º ciclo) y al final (20º ciclo) del ensayo.

Gráfica 1. Caliza gris. Alteración acelerada



Resultados y discusión

Absorción de agua por capilaridad

Los resultados aparecen en la tabla 1. Se ha observado que la absorción de agua después del tratamiento biocida en ambos tipos de caliza disminuye apreciablemente en todos los casos, salvo en el producto A. Esta variación de absorción de agua puede ser debida a cambios producidos en la microporosidad de la superficie.

muy evidente de la piedra tras la impregnación por inmersión. La caliza gris presenta en su superficie, tras el tratamiento con el producto B, unos cristales de aproximadamente 400 µm; mientras que los cristales que presenta la caliza roja son más pequeños y menos numerosos, lo cual puede ser debido a la presencia de óxido de hierro en la piedra (fig. 5 y 6). Un microanálisis de estos cristales muestra un pico de calcio y otro menor de fósforo, lo que indica una posible reacción del herbicida con la piedra.

Tabla 1. Absorción de agua por capilaridad (mg/cm²)

	CALIZA ROJA				CALIZA GRIS			
	30 min	60 min	3 h	24 h	30 min	60 min	3 h	24 h
A	38	47	58	84	26	26	26	36
A*	33,2	42	61,6	79,2	15,2	16,4	26,4	37,2
B	36	45	57	80	25	25	26	35
B*	7,2	8	29,6	68	10,4	8	10,8	5,2
C	37	47	57	80	24	25	26	36
C*	25,2	32,4	38,4	48,4	10	9,6	14,4	19,6

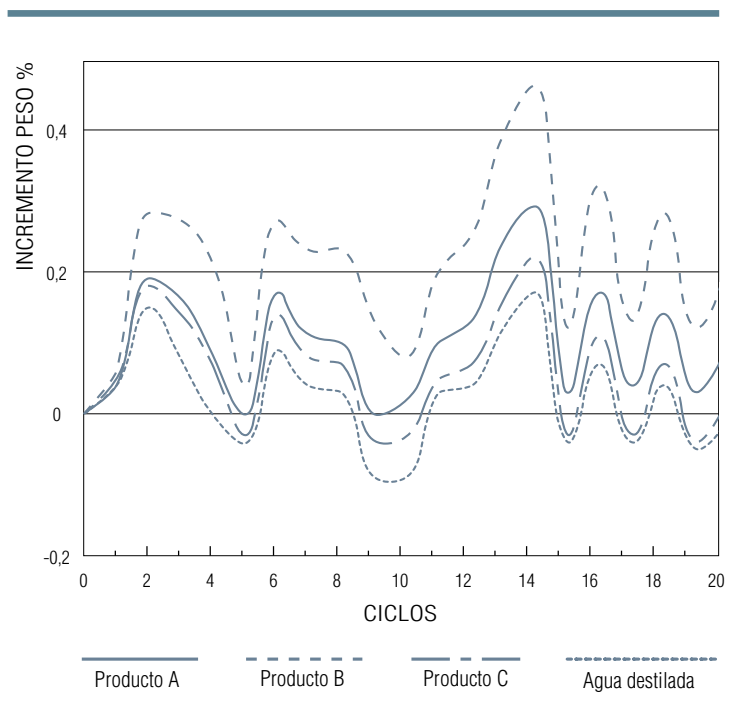
A,B,C = Antes del tratamiento. A*,B*,C* = Después del tratamiento con los distintos productos.

En ambos tipos de piedra el tratamiento con el producto B disminuye considerablemente la absorción, si bien en la caliza rojiza esta disminución es muy grande al inicio del ensayo y algo menor al final. Este resultado puede estar relacionado con la alta viscosidad del producto u otras características químicas. Con el producto C, la disminución inicial es menor, pero al final del ensayo la reducción es mayor que en el caso anterior (para la caliza roja). Las muestras tratadas con el producto A no muestran variaciones significativas.

Tabla 2. Variación cromática

	CALIZA ROJA	CALIZA GRIS
Producto A	10 YR 6/4	5 Y 6/2
Producto B	10 YR 6/4	2,5 YR 7/0
Producto C	10 YR 6/4	2,5 YR 6/2
Blanco	10 YR 6/4	2,5 YR 6/2

Gráfica 2. Caliza rojiza Alteración acelerada



Alteración cromática

La alteración cromática se muestra en la tabla 2. Para cuantificar el posible cambio de color producido en las distintas muestras de piedra se ha utilizado el "Munsell soil color charts". El tratamiento herbicida causa variaciones cromáticas, con respecto al color obtenido con agua destilada, en la caliza gris, sin embargo no se ha observado variación en la caliza roja (fig. 4).

La alteración es evidente en la caliza gris tratada con el producto A y el B. Con el producto A la piedra muestra un evidente color verdoso (el mismo que el del herbicida). En contraste, el tratamiento con el producto B causa una coloración blanquecina (gris más claro). Sin embargo, ambas alteraciones no aparecen cuando el contacto piedra-biocida es menos intenso, por ejemplo por pulverización.

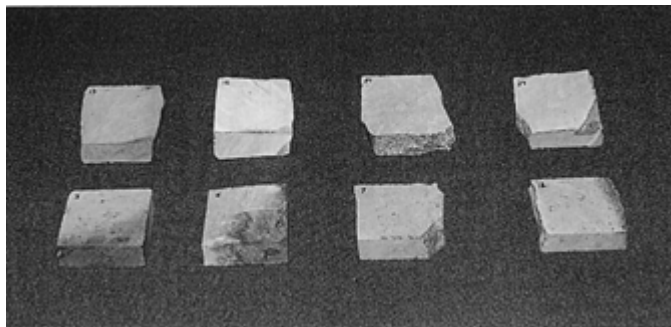
Observación al SEM

Las observaciones realizadas con el microscopio electrónico de barrido, no han mostrado una alteración

Ensayo de alteración acelerada

Los resultados se muestran en las gráficas 1 y 2. Se han observado resultados diferentes en los 2 tipos de caliza que se han utilizado.

Tras finalizar el ensayo, en la caliza roja se ha producido una ganancia de peso del 0,13% para el producto A, 0,26% para el producto B y 0,04% para el producto C. En el caso del agua destilada no se produce ganancia (0,01%) ni pérdida de peso.



4.

En la caliza gris se ha observado sin embargo una pérdida de peso del 0,07% para el producto B, 0,03% para el producto C y una ganancia del 0,05% para el producto A. Para el agua destilada se mantiene el mismo peso (ganancia del 0,01%).

Nuevamente se ha observado al microscopio electrónico de barrido la caliza gris tratada con el producto B, detectándose la presencia de cristales semejantes a los que aparecen tras la impregnación por inmersión, aunque de menor tamaño. Esto puede explicarse por el hecho de que, en el segundo ensayo se ha provocado la cristalización y solubilización sucesivas repetidas veces, de forma que los cristales formados son más pequeños (fig. 4). Los resultados de un microanálisis de estos cristales coinciden con los anteriores.

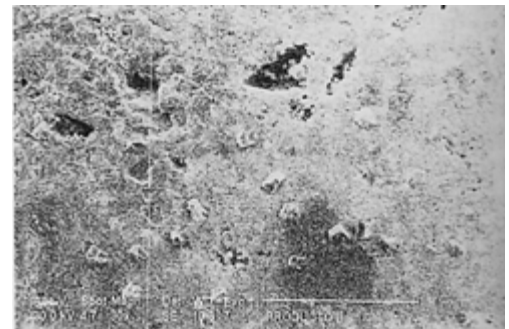
En resumen, la variación de peso de las probetas con cada uno de los tratamientos es muy baja, y la alteración microscópica también es poco significativa, por lo que puede considerarse que dichos tratamientos ejercen un efecto prácticamente inapreciable.

6.



Conclusiones

No se observa ningún cambio significativo de color del material empleado con ninguno de los productos ensayados en el período de reacción estudiado, excepto en el caso del producto A, que causa una ligera coloración verdosa en la caliza gris por lo que no se aconseja su uso en zonas próximas a las estructuras emergentes.



5.

Las propiedades físicas de las calizas no varían significativamente después del contacto con los herbicidas; por observación al SEM se aprecian en la superficie de la piedra, en el caso del producto B, cristales producidos posiblemente por reacción del mismo, aunque dicha reacción es muy superficial.

Bibliografía

- ASTM C-67, C-88, C-218, C-290, C-291.
- BONNIER, G. & G. DE LAYENS (1988). Claves para la determinación de plantas vasculares. Ediciones Omega.
- DE LIÑÁN VICENTE, C. (1993). Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales. Ediciones agrotécnicas.
- DIN 52104, 52111, 52250.
- GARCÍA ROWE, J. & C. SÁIZ JIMÉNEZ (1991). Lichens and bryophytes as agents of deterioration of building materials in Spanish Cathedrals. *International Biodeterioration: Vol. 28, 151-163. Biodeterioration of Cultural Property* (Ed. Robert J. Koestler). Elsevier, London and New York.
- ICR-CNR (1985). Assorbimento d'acqua per capillarità. Coefficiente di assorbimento capillare. Normal 11/85.
- ICR-CNR (1981). Esame delle caratteristiche morfologiche al microscopio elettronico a scansione (SEM). Normal 8/81.
- MUNSELL COLOR CO. INC. (1975). "Munsell soil color charts". Maryland, USA.
- NUGARI, M.P., P. PALLECHI & D. PINNA (1993). Metodological evaluation of biocidal interference with stone materials- Preliminary laboratory tests. *Conservation of stone and other materials: Vol. 1, 205-212.* (M.J.Thiel). Rilem, London.
- OZENDA, P. & G. CLAUZADE (1970). Les lichens. Étude biologique et flore illustrée.
- RILEM-V1a, V1b, V-2, V-3.
- SCHNABEL, L. (1991). The treatment of biological growths on stone: A conservator's viewpoint. *International Biodeterioration: Vol. 28, 125-131. Biodeterioration of Cultural Property* (Ed. Robert J. Koestler). Elsevier, London and New York.
- UNE 7-062, 7-136, 7-192, 22-174, 22-184, 22-193.
- VALDÉS, B., S. TALAVERA & E. FERNANDEZ-GALIANO (eds.) (1987). Flora vascular de Andalucía occidental. Ketres.