



## Los organismos vivos como factores que contribuyen activamente al deterioro de nuestros monumentos

S. García Murillo  
A. Martín Pérez

*Dpto. de Química y Edafología.  
Facultad de Ciencias.  
Universidad de Navarra*

A pesar de que, como algún autor<sup>1</sup> señala, existen referencias de fenómenos de alteración de edificios provocados por organismos vivos, que datan de incluso 2500 años, la importancia que a estos fenómenos se les ha dado, en el campo de la conservación, no ha sido relevante si se compara con otras causas de alteración.

Es universalmente conocido que siempre existe algún tipo de organismo vivo capaz de crecer y desarrollarse sobre cualquier tipo de sustrato y en cualquier tipo de clima<sup>2</sup>. También es sabido que todo ser vivo en su metabolismo genera una serie de productos de deshecho o, simplemente cuando muere, deja sobre el lugar donde estaba restos orgánicos. Lo que no estaba tan claro, hasta ahora, o por lo menos no se le había concedido la importancia que merece, es que un número elevado de estos organismos, que crecen sobre

los monumentos de nuestro patrimonio artístico, son capaces de generar sustancias que tienen la facultad de alterar irreversiblemente el material pétreo con la consiguiente pérdida de sus propiedades, lo que con el tiempo puede provocar o, por lo menos, acelerar un proceso de ruina.

Una situación similar, aunque no exactamente la misma, se da en la formación de suelos<sup>3</sup>. Los procesos de formación de los mismos incluyen la participación de microorganismos en la alteración natural de las rocas, con liberación de compuestos minerales, que conducen a la formación de suelos fértiles. En el caso de los monumentos los organismos van a operar de la

misma forma, es decir, a través de los mismos mecanismos; la diferencia clara está en el resultado obtenido, mientras que en la formación del suelo esos procesos son algo deseable y beneficioso, en el desarrollo sobre monumentos supone una pérdida irreparable en el patrimonio artístico de la humanidad<sup>4,5</sup>.

El problema que el desarrollo de los organismos puede representar sobre los diferentes edificios varía de una construcción a otra en función de las distintas características que se dan en su entorno, como el clima propio de la zona, el tipo de piedra, la misma orientación del edificio, la mayor o menor contaminación atmosférica y toda una serie de peculiaridades presentes en esa obra. Por todo ello, al llevar a cabo un estudio de bioalteración se hace necesario tener en cuenta todas las posibles variables constituyentes de una situación ecológica concreta, que repercuten en el desarrollo de los organismos. Incluso, se debe tener en cuenta la posibilidad de que esos organismos presentes estén dando una protección al material pétreo frente a ataques de tipo físico y/o químico<sup>1,6</sup>; es decir, hay que ver que organismos, de todos los que proliferan en la superficie de estos edificios, son realmente responsables de un verdadero ataque biológico y cuales únicamente están presentes y no causan alteración considerable.

Frecuentemente, las alteraciones provocadas por los seres vivos pueden reconocerse claramente y adscribirse a la presencia de organismos vivos. En otros casos, sin embargo, no resulta fácil reconocer a simple vista la presencia de agentes biológicos como factores

alterantes y sólo a través de los resultados derivados de análisis pueden ponerse en evidencia.

La situación está alcanzando actualmente límites insospechados, derivados de la fuerte contaminación ambiental de los últimos años, de forma que, monumentos que durante siglos han conservado un buen aspecto, en las últimas décadas han evolucionado negativamente haciéndose necesario atajar el rápido proceso degradativo.

Bacterias, algas, actinomicetos, líquenes, musgos, hongos, plantas superiores y animales han sido reconocidos como organismos capaces de alterar el sustrato sobre el que se desarrollan.

### Microflora bacteriana

La hipótesis de que la microflora bacteriana, presente en los monumentos, contribuye a su bioalteración ha sido apuntada desde hace tiempo, y numerosas investigaciones como la del Palacio de Justicia en Milán<sup>7</sup> la Iglesia Monolítica de Aubeterre en Dronne<sup>8</sup> la Basílica de la Puerta Mayor en Roma<sup>9</sup>, la Portada de la Iglesia de Saint-Trophime en Arles<sup>10</sup>, o la Fuente del Tritón en Roma<sup>11</sup>, han mostrado una conexión entre la presencia de un elevado número de microorganismos y la existencia de áreas altamente alteradas. Como corroboración a esta hipótesis existen ensayos de bioalteración llevados a cabo en el laboratorio<sup>12, 13, 14</sup> que muestran que estos atacan el sustrato pétreo por medio de mecanismos químicos, y que los procesos de solubilización del sustrato siempre van acompañados de una acidificación del medio.

Entre los microorganismos de este tipo que se establecen sobre la superficie de los monumentos, y que indiscutiblemente toman parte en sus degradación, se encuentran bacterias quimiolitotróficas pertenecientes principalmente a las bacterias del ciclo del azufre y del nitrógeno<sup>15</sup>, y bacterias heterótrofas.

### Bacterias del ciclo del azufre

Dentro del ciclo del azufre, son las bacterias sulfurooxidantes pertenecientes al género *Thiobacillus* y las bacterias sulfuroreductoras del género *Desulfovibrio*, las que principalmente representan un posible problema en la conservación de ciertos monumentos, ya que la acción del ácido sulfúrico y del ácido sulfhídrico, producido por ellas, puede ejercer un efecto corrosivo sobre el sustrato.

El desarrollo y multiplicación de estas bacterias varía con la composición y estructura de los materiales pétreos empleados en la construcción de los monumentos y con las condiciones ambientales. Aunque



1. Nave lateral Sur del Templo de la Catedral de Pamplona. Las humedades provocadas por el mal estado de algunas estructuras, el desarrollo de plantas superiores... favorecen el crecimiento de numerosos organismos vivos (algas, líquenes, bacterias,...)

dentro de este grupo genérico, tanto el pH de crecimiento como los requerimientos nutricionales presentan un amplio intervalo o variabilidad, cada especie requiere, en sí misma, condiciones de crecimiento específicas<sup>16</sup>.

Dada la necesidad de un aporte de compuestos del azufre y su incapacidad para obtener energía a través de la oxidación del dióxido de azufre atmosférico, su presencia es prioritaria en la base de los muros<sup>17</sup>, donde hay un aporte directo desde el suelo, y bajo cornisas o en zonas húmedas<sup>18</sup>, donde el aporte de azufre es a través de colonizaciones biológicas previas.

El tipo de alteración<sup>4</sup> a que normalmente dan lugar estas bacterias es la formación de una costra oscurecida, algunas veces negra, que se rompe y desprende fácilmente. Con el tiempo, esa costra se hace más dura y sólida ofreciendo un aspecto sano hasta que no se la daña mecánicamente. Bajo esa costra hay normalmente una capa de piedra pulverulenta sin cohesión. En un estado avanzado de deterioro, la costra se desprende de la superficie.

La actividad de estas bacterias ha sido puesta de manifiesto en las alteraciones presentes sobre diferentes tipos de sustratos pertenecientes a varios edificios en Roma y Tivoli<sup>16, 19</sup>, L'Alquila<sup>20</sup> y Aubeterre<sup>21</sup>.

### Bacterias del ciclo del nitrógeno

Son dentro de este grupo las bacterias nitrificantes, y más concretamente las especies *Nitrobacter* (nitrificante) y *Nitrosovibrio* (nitrosante), las que se muestran especialmente activas en los procesos de alteración de la piedra. Estas bacterias atacan la piedra utilizándola como fuente de carbono y produciendo ácidos nítrico y nitroso a partir de amoníaco, compuesto que se encuentra comúnmente en atmósferas contaminadas<sup>22, 23, 24</sup>.

Los resultados de los trabajos de investigación sobre diferentes monumentos en Alemania han evidenciado correlaciones entre el contenido en nitratos y la actividad de las bacterias nitrificantes, demostrando con ello la participación activa de estos organismos en los procesos de bioalteración<sup>25</sup>; actividad ésta que también ha sido demostrada mediante experiencias de laboratorio que simulan, hasta cierto punto, los procesos naturales<sup>22, 26</sup>.

Análisis estadísticos han demostrado también que los materiales con una componente carbonosa son buenos sustratos para las bacterias nitrificantes y que estos organismos prefieren sustratos con un tamaño de poro entre 1-10\_μm y pH alcalinos de 7,0 a 8,0<sup>27</sup>; algunas especies son capaces de soportar concentraciones salinas altas<sup>23</sup>. Se han encontrado especialmente activas en lugares con excrementos de aves.



2. Jarrones que adornan la fachada Oeste del Templo de la Catedral de Pamplona. Los líquenes, organismos capaces de desarrollarse sobre cualquier tipo de superficie, se muestran más activos en su desarrollo sobre superficies horizontales, y en exposiciones con grado de humedad más elevado.

Estas bacterias nitrificantes son organismos endolíticos cuyo porcentaje, respecto a la microflora total, aumenta al hacerlo la profundidad en el sustrato, si bien el número total de microorganismos decrece en el mismo sentido. Ese aumento de la flora nitrificante va acompañado de un aumento en el pH del sustrato<sup>22</sup>.

Aunque, como se ha dicho, el amoníaco puede derivar directamente de una atmósfera contaminada, también la ascensión capilar de aguas desde el suelo a los muros da lugar a un aporte importante, que estas bacterias aprovechan, creciendo así en los niveles inferiores de muros<sup>18</sup>.

Aunque con menor importancia, tanto en lo que se refiere a su presencia cuantitativa como a su actividad bioalterante, ciertas bacterias como *Azotobacter* y *Clostridium*, presentes sobre los materiales pétreos, son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, contribuyendo de esa forma a la formación de compuestos orgánicos nitrogenados que pueden ser utilizados en su metabolismo por organismos heterótrofos (hongos, líquenes). Estos compuestos son igualmente susceptibles de ser descompuestos por bacterias amonificantes, que los convierten en amoníaco, producto que como se ha visto puede ser oxidado a nitratos por las nitrificantes<sup>28</sup>.

### Bacterias heterótrofas

Según recogen algunos autores<sup>4</sup>, las bacterias heterótrofas más activas en la descomposición de la piedra son los bacilos gram negativos, no esporulados, debido a la considerable cantidad de ácido 2-oxoglucónico que producen, prefiriendo para su desarrollo sustratos de pH neutro.

Grandes poblaciones de este tipo de microorganismos han sido aisladas de la superficie pétreo de varios monumentos<sup>2, 14, 29, 30</sup> y, aunque ha existido controversia en cuanto a su participación en fenómenos de alteración<sup>31</sup>, su capacidad bioalterante ha sido probada bajo condiciones experimentales<sup>12, 32, 33, 34</sup>.

Bacterias quimiorganotróficas, extremadamente halotolerantes y moderadamente halófilas, han sido aisladas en microhabitats con alto contenido salino, como son las eflorescencias ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y las costras salinas ( $\text{CaSO}_4$ ), y su estudio en el laboratorio<sup>35</sup> indica que estos grupos de organismos pueden jugar un papel significativo en los procesos de bioalteración por la excreción



3. Nave lateral Norte del Templo de la Catedral de Pamplona. Las zonas de mayor humedad y menor insolación se prestan al desarrollo intenso de musgos y algas que pueden dar lugar, como en la fotografía, a depósitos superficiales y películas biológicas, respectivamente.

de grandes cantidades de ácidos orgánicos e inorgánicos, álcalis y/o por la formación de  $\text{CO}_2$  que ataca el carbonato<sup>36</sup>. Además, la producción de pigmentos, por su parte, da lugar a alteraciones cromáticas.

También se ha observado una fluctuación de los recuentos a lo largo del año<sup>32, 35</sup>, sugiriéndose que depende de la temperatura y de la presión osmótica. De hecho, se ha visto en el laboratorio como efectivamente la variación de la temperatura influye en su porcentaje de crecimiento, e incluso en su pigmentación<sup>37</sup>.

#### Actinomicetos

Entre estos microorganismos los más frecuentes son los streptomicetes, organismos capaces de utilizar nitratos y nitritos y de reducir sulfatos, y de atacar las piedras calizas y los minerales silíceos con sus productos metabólicos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y otros ácidos orgánicos más débiles)<sup>5</sup>.

Su aparición resulta especialmente importante en sustratos pétreos alterados, allí donde hay una elevada humedad.

El estudio de la bioalteración de la Basílica de San Clemente en Roma<sup>38</sup> ha mostrado en sus muros la presencia problemática de este tipo de organismos en asociación con algas. También la Basílica de la Puerta Mayor en Roma<sup>9</sup> muestra un problema de bioalteración ligado, entre otros organismos, a la presencia de actinomicetos.

#### Organismos botánicos

Distintos organismos pertenecientes al reino vegetal pueden desarrollarse sobre nuestros monumentos y actuar como agentes alterantes del material pétreo<sup>39</sup>. Los más representativos son algas, líquenes, musgos, hongos y plantas superiores.

#### Líquenes

Los líquenes saxícolas, especies que crecen sobre piedra, pueden clasificarse<sup>39</sup> teniendo en cuenta el aspecto morfológico que ofrecen, en crustáceos, foliáceos, escuamulosos y fruticulosos. Los primeros crecen directamente sobre el sustrato al que se adhieren firmemente a través de sus hifas formando una masa compacta y adherida; pueden subdividirse en endolíticos (inmersos en el sustrato) y epilíticos (crecen sobre la superficie). Los líquenes foliáceos tienen talos ligeramente ondulados y alzados sobre el sustrato. Los líquenes escuamulosos aparecen como pequeñas escamas, sin raicillas, que se adhieren por los bordes. Los fruticulosos tienen formas arbóreas, ramificadas, es decir, con talos pedunculados poco adheridos al sustrato.

De estos tipos, y teniendo en cuenta lo que se ha dicho sobre su anclaje al sustrato, resulta evidente que los más dañinos son los crustáceos, los cuales, si las condiciones ambientales son favorables, adquieren extensiones notables. La Giralda de Sevilla<sup>40</sup> o los monumentos en Selinuntine<sup>41</sup> representan un ejemplo de este tipo, en el que su acción no se limita a un daño estético, sino que provocan una verdadera alteración sobre el sustrato.

También, aunque con menor intensidad, ciertos autores consideran que los líquenes foliáceos pueden resultar dañinos<sup>39</sup> si bien otros<sup>18</sup> consideran que su recubrimiento protege a la piedra de su alteración posterior. En este sentido, se han hecho experiencias<sup>42</sup> sobre láminas delgadas de piedra para medir la profundidad a que penetran los líquenes entre los cristales de granito, llegándose a la conclusión de que los líquenes foliáceos no penetran en su interior; mientras que la penetración de los líquenes crustáceos es importante, a menudo mayor de 10 mm. Incluso, se ha observado como sobre algunos materiales pueden llegar a profundidades de varios centímetros<sup>18</sup>, lo que origina, por vía mecánica o química, la decohesión de los granos de rocas calcáreas o de cristales de rocas cristalinas.

Los líquenes son organismos con una distribución ecológica muy amplia y su presencia es conocida sobre cualquier tipo de sustrato. La colonización por este tipo de organismos comienza a aparecer generalmente en tres o cuatro años, pudiendo, por ello, considerarse a estos organismos como recubrimientos normales de muros y tejados. La implantación de unas especies u otras está ligada a factores ecológicos, tales como el agua, el viento, la luz, la temperatura, el tipo de sustrato y el grado de contaminación ambiental.

Hay quién<sup>43</sup> ha tratado de establecer un cierto tipo de secuencia característica, en la que los líquenes crustáceos son los que actúan como pioneros, seguidos en su implantación por los líquenes foliáceos y por último los fruticulosos.

Se ha observado que sobre piedras calcáreas se desarrollan especies calcícolas y sobre piedra granítica lo hacen especies acidófilas<sup>18</sup>; que ciertas especies de líquenes se fijan mucho más rápidamente sobre sustratos que contienen nitritos, y que los sustratos porosos presentan un elevado número de líquenes endolíticos, mientras en los menos porosos prevalecen los epilíticos<sup>44</sup>.

Varios autores<sup>40, 43, 45</sup> coinciden en señalar que los excrementos de las aves, principalmente de palomas, favorecen el establecimiento de líquenes, debido al aporte extra de nitrógeno y fósforo. Son líquenes omnitocóprofilos. De la misma forma, en otras ocasiones, se ha especulado con la posibilidad de que exista una "simbiosis" entre líquenes y ciertas bacterias que en su metabolismo sean capaces de generar sustancias nitrogenadas y estimular el crecimiento de los líquenes<sup>28</sup>.

En cuanto a las condiciones ambientales, los líquenes son organismos que pueden desarrollarse sobre lugares expuestos directamente a la luz del sol, ya que, aunque en su constitución se incluye un componente algal, la presencia de los hongos supone una protección frente a la radiación ultravioleta. Son capaces de sobrevivir en ambientes poco aptos para el desarrollo de organismos vivos, superando con facilidad largos períodos de sequía o de frío intenso. Las características condiciones ambientales que envuelven a un monumento serán, por lo tanto, determinantes del desarrollo de unas u otras especies, como se comprueba en los estudios llevados a cabo en la Península Salentina en Puglia sobre las Iglesias de la Santa Cruz y Mayor en Lecce, la Iglesia de San Salvador en Sanarica, el convento de los Agustinos en Melpignano y el Muro de Gallipoli, que se corresponden con un ambiente urbano el primero, rural el segundo y tercero y marino el cuarto<sup>46</sup>.

También, en un ámbito más reducido como es la misma zona o el propio edificio, las condiciones ambientales varían favoreciendo el desarrollo de especies diferentes; estudios de este tipo son los realizados sobre Fossanova Abbey en la provincia Latina<sup>47</sup>.

Aunque los líquenes son, como se ha comentado, capaces de sobrevivir en ambientes poco aptos para el desarrollo de otros organismos, son, sin embargo, muy

sensibles a la contaminación atmosférica, que además de una influencia directa y determinante en el estado de conservación de los monumentos, proporciona a los organismos unas condiciones para su desarrollo diferentes, que dan lugar a modificaciones, tanto de tipo cuantitativo como cualitativo, en las poblaciones que están afectando directamente el estado de conservación de la piedra. Este tipo de influencia se ha puesto especialmente de manifiesto en las poblaciones líquénicas, cuyo estudio ha llevado a una serie de conclusiones:

- a. Los sustratos calcáreos son más favorables para la colonización por líquenes (también musgos), ya que su pH alto ejerce una acción tampón o neutralizante en la toxicidad del ambiente urbano, con lo que las especies que aparecen sobre sustratos ácidos son más sensibles al SO<sub>2</sub> que las que aparecen sobre sustratos básicos, manteniendo este tipo de sustratos (calizas, cementos, morteros) su flora durante más tiempo<sup>40</sup>.
- b. Las condiciones ambientales que normalmente reinan en las ciudades reducen la diversidad de especies, y el pequeño número de plantas inferiores presentes tienen una alta capacidad reproductiva<sup>40</sup>.
- c. Una escasa variedad de especies de líquenes es indicativo de un nivel moderado de contaminación o de una situación sinantrópica dominante, como puede ser la presencia en superficie de un depósito químicamente definido (por ejemplo, compuestos nitrogenados) que se superpone a los factores naturales, anulándolos<sup>46</sup>.
- d. Característicamente, unas pocas especies son toxitolerantes y participan de la ventaja de una reducida competencia de especies, y algunas veces incluso pueden ser estimuladas metabólicamente por ciertos contaminantes presentes en la atmósfera<sup>48</sup>.

Diversos autores han señalado que los recientes cambios ambientales han conducido a un aumento de especies de líquenes con comportamiento agresivo sobre el sustrato, lo que explicaría por qué, además de los conocidos problemas que resultan de la contaminación atmosférica, los monumentos que han permanecido inalterados durante siglos aparecen ahora vulnerables al ataque de los líquenes y en unas condiciones de conservación precarias<sup>49</sup>.

Se ha acuñado el término de especies paleófilas<sup>46</sup> para aquellas especies que florecen en hábitats urbanos de una forma particularmente intensa. Estas especies son capaces de soportar niveles discretos de contaminación y hábitats hasta cierto punto "incómodos", extendiéndose por sustratos que han sido dejados libres por otros líquenes menos competitivos en tales condiciones.

Un caso claro, en el que el aumento de diferentes contaminantes ha tenido como consecuencia una variación rápida de las condiciones ecológicas, provocando la regresión de unas especies líquénicas y la proliferación súbita de otras mejor adaptadas a las nuevas condicio-

nes, es la Basílica de Notre-Dame de L'Épine<sup>50, 51, 52</sup>, donde se ha dado una rápida proliferación de especies nitrófilas sobre casi todo el batimento y las especies antiguas no nitrófilas han desaparecido o han quedado confinadas a lugares protegidos del viento y del agua. El origen de todo ello parece ser el aumento significativo, en los últimos años, en el uso de abonos líquidos fácilmente dispersables.

La acción bioalterante de los líquenes sobre el sustrato se lleva a cabo a través de diferentes mecanismos<sup>40, 49, 53</sup>: producción de una variada colección de ácidos liquénicos, que atacan el sustrato solubilizándolo; secreción de

A pesar de la demostrada capacidad de los líquenes para alterar el sustrato sobre el que crecen, no siempre su presencia es indicativa de que realmente se esté dando un proceso importante de bioalteración. En algunas ocasiones, se ha señalado que el daño producido por los líquenes es exclusivamente de tipo estético, perturbando el aspecto de la obra e impidiendo su correcta apreciación. En otras ocasiones se ha apuntado que, dado el conjunto de características que confluyen, lo que la presencia de estos organismos supone es una barrera protectora para la piedra evitando que ésta sea erosionada o atacada por el ambiente, o por otro tipo de organismos, es decir, su presencia sería beneficiosa para el buen estado de conservación de la piedra<sup>47, 50, 54</sup>.



4. Figuras que coronan la arquería del Claustro de la Catedral de Pamplona.

La asidua presencia de aves sobre los monumentos conduce a la formación de biodepositos de guano, cuyo carácter ácido provoca fenómenos de biocorrosión del sustrato.

5. Fachada Sur del Templo de la Catedral de Pamplona.

Las superficies horizontales de contrafuertes, arbotantes y cañerías son lugares donde está especialmente favorecida la retención de material particulado y la alteración de morteros por parte de los agentes atmosféricos, lo que brinda una oportunidad adecuada al desarrollo de plantas superiores; organismos que afectan de forma importante al desarrollo de conservación de la Obra.



ácidos orgánicos simples (oxálico, cítrico, glucónico...) capaces de complejar cationes metálicos; aumento en el grado de condensación y retención de agua en la superficie pétreo; los cambios de volumen en sus hifas, entre los periodos secos y húmedos, lo que supone para la piedra un mecanismo de alteración mecánica; el mucus producido por el micobionte, en estado seco, que puede producir altas fuerzas de adhesión<sup>54</sup>, además de que muchas de estas sustancias mucilaginosas son agresivas y activas en superficie; el propio crecimiento de la masa liquénica, en contacto íntimo con el sustrato, supone un mecanismo de bioalteración; por último, la producción de pigmentos, que conlleva una variación cromática del sustrato<sup>55</sup> y el depósito producido por su desarrollo, suponen mecanismos estéticos de bioalteración. Por tanto, se puede concluir que estos organismos pueden provocar bioalteración tanto a través de procesos físicos, químicos como estéticos, llevando en el primer caso a una disrupción y fracturación del sustrato, en el segundo a una desestabilización química del sustrato y en el tercero a una apariencia desagradable del mismo.

**Algas**

El tipo de algas que se desarrollan sobre los sustratos pétreos de monumentos suele ser algas microscópicas, unicelulares, aisladas o reunidas en filamentos o masas más o menos grandes, pertenecientes principalmente a las cianobacterias o algas azules, y a las algas verdes o clorofíceas.

La clasificación que aquí se hace de las algas obedece a la necesidad de distinguir aquellas que realmente están provocando un daño sobre el sustrato; se distinguen, por ello, algas recubrientes, corrosivas y perforantes<sup>56, 57</sup>. Esta clasificación puede ser correlacionada con la que otros autores<sup>5</sup> hacen de las algas en epilíticas, chasmolíticas y endolíticas, respectivamente.

Las algas recubrientes crecen principalmente sobre material deteriorado, alterado de alguna manera por los factores ambientales, y, como su nombre indica, recubren el sustrato, tanto por su mera presencia como por la del polvo y suciedad que son capaces de retener. Las algas corrosivas, cuyo establecimiento viene favorecido por el agua de lluvia retenida en las irregularidades del sustrato, son capaces de excretar metabolitos ácidos con los que atacan el sustrato; el daño que son capaces de provocar es mayor que el de las recubrientes. Las algas perforantes, ejercen una acción más dañina mediante mecanismos físicos, además de reacciones químicas; penetran activamente en el sustrato formando microcavidades.

La cantidad de algas presentes y su distribución está sujeta a la influencia de factores pedo-climatológicos<sup>58</sup>.

Como el crecimiento de las algas depende de la disponibilidad de calcio y magnesio, muestran especial preferencia por las rocas calcáreas<sup>39</sup>, como el mármol del Foro de Trajano, Foro Romano o de la Pirámide de Caestius<sup>59</sup>.

Muchas algas muestran una marcada sensibilidad al pH del sustrato. Así, las rocas silíceas ácidas (granitos, gneis...) están colonizadas por algas silicotrófilas, principalmente algas verdes, y las rocas alcalinas (calizas, mármoles...) están colonizadas por algas calcitrófilas, principalmente algas azules<sup>4</sup>.

Normalmente, las algas se encuentran en orientaciones hacia el norte o sobre zonas no expuestas a la luz directa, porque, aunque necesitan la luz para la fotosíntesis, son altamente sensibles a la radiación ultravioleta. Además, se desarrollan preferentemente sobre zonas de humedad acumulada<sup>39</sup>. Los lugares de mayor humedad y menor temperatura favorecen el crecimiento de algas verdes frente a las cianobacterias.

También la contaminación atmosférica muestra su influencia sobre este tipo de organismos, de forma tal que, por ejemplo en el estudio de Ortega-Calvo<sup>60</sup>, no lograron aislar cianobacterias con heterocistos capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, probablemente debido a la abundante presencia de nitrógeno combinado en la atmósfera.

Según se trate de ambientes con elevado número de contaminantes (ciudades, zonas industriales) o ambientes poco contaminados (ambiente rural), parece existir una evolución diferente en el proceso de recubrimiento de los muros<sup>61</sup>.

Las algas producen y segregan una gran variedad de productos metabólicos, entre los que predominan los ácidos orgánicos, incluyendo ácido láctico, oxálico, succínico, acético, glicólico y pirúvico, que disuelven directamente los compuestos de la piedra o incrementan su solubilidad<sup>4</sup>.

Por otra parte, las algas son capaces, mediante contracciones y dilataciones sucesivas, de provocar alteraciones de origen mecánico<sup>18</sup>. Así, Ortega-Calvo<sup>60</sup>, para quién el mecanismo químico anteriormente citado no resulta relevante, demuestra la presencia sobre distintos monumentos (catedrales de Sevilla, Salamanca, Toledo, Lund, Mechelen y Bruselas; basílica Tongeren; Iglesias St. Truiden, Readskelde y Ghent) de una amplia variedad de especies, la mayoría de las cuales presentan una vaina con gran capacidad para retener agua, lo que juega un importante papel en el proceso de bioalteración invocado<sup>18</sup>. También el mucus producido por las algas, en su estado seco, puede producir altas fuerzas de adhesión<sup>44, 54</sup>.

La propia película algal que recubre el sustrato, que ya de por sí causa un efecto estético, ligado tanto a su presencia como a la transferencia de pigmentos<sup>55, 62</sup>, favorece la formación de depósitos superficiales de partículas de polvo, residuos, esporas y otras sustancias<sup>57, 61</sup> y el crecimiento de otros organismos, tales como hongos y bacterias con alto potencial destructivo<sup>18, 60</sup>.

Cabe también mencionar que, cuando las algas llevan a cabo sus procesos de fotosíntesis sobre medios porosos cargados de bicarbonato cálcico, utilizan el CO<sub>2</sub> disuelto, pudiendo precipitar carbonato cálcico<sup>18</sup>.

### Musgos

Dada su estructura, los musgos necesitan para crecer un estrato disgregado, aunque sea fino, sobre el que anclar sus primitivas raíces, es decir, no son capaces de

desarrollarse directamente sobre el sustrato pétreo, sino que necesitan de un depósito previo de materia. También necesitan unas condiciones ambientales que contemplen la presencia constante de agua y una protección de la luz solar<sup>39</sup>.

Se ha señalado que este tipo de organismos crece de forma preferencial sobre morteros, provocando pronunciados efectos desintegrantes, debido a la penetración de los rizoides<sup>43</sup>. Este sustrato resulta muy apropiado para ellos, ya que se trata de un material poroso y permeable que facilita el transporte de agua y sales en solución y que posee una superficie irregular que hace posible la captura de partículas del aire, polvo, materia orgánica y esporas<sup>63</sup>.

Puesto que los musgos no tienen usualmente órganos para la absorción de elementos minerales del suelo y el contacto entre la planta y su sustrato está escasamente desarrollado, las sales minerales y los aerosoles, suministrados por la lluvia y la deposición seca de partículas, son las principales fuentes de elementos nutritivos. De ahí la sensibilidad de la mayoría de ellos a los contaminantes atmosféricos, tales como el dióxido de azufre, ozono, fluoruros e incluso metales pesados, que ocasionan su casi completa desaparición de los núcleos urbanos e industriales<sup>64</sup> y que hacen que sientan preferencia por sustratos cálcicos, que como ya ha sido comentado, son capaces de neutralizar, en cierta medida, la acidez que de ellos deriva<sup>40</sup>.

La acción bioalterante llevada a cabo por los musgos es tanto a través de mecanismos físicos como químicos, aunque la acción mecánica que ejercen es muy pequeña. La acción química se desarrolla a través de los mismo mecanismos que en plantas superiores, observándose que las plantas no evolucionadas filogenéticamente tienen una capacidad más alta para extraer cationes, debido a la mayor acidez de sus raíces<sup>5</sup>.

A pesar de lo arriba expuesto, muchos autores consideran que el principal daño que producen es de naturaleza estética<sup>39</sup>, y que uno de los peligros que representan es que su presencia origina un enriquecimiento en materia orgánica e inorgánica que abre el camino a la invasión por plantas vasculares mucho más destructivas<sup>63</sup>.

Los estudios que contemplan el desarrollo de los musgos sobre edificios con interés histórico-artístico son escasos. Destacan los de la Giralda de Sevilla<sup>40</sup> y la Catedral de Sevilla<sup>64</sup>, que evidencian la participación de los musgos en los procesos de bioalteración; y los de los mosaicos romanos de Itálica, donde su presencia supuso un grave problema para la conservación de los mismos, y en los que su eliminación mediante el empleo de brochas, resultó ser un método inadecuado dado que los musgos son capaces de reproducirse a partir de fragmentos de la planta original<sup>63</sup>.

### Plantas superiores

También aquí, se pretende hacer una diferenciación entre los diferentes tipos de plantas que crecen sobre

los muros, atendiendo exclusivamente a la mayor o menor alteración que son capaces de provocar. Por ello, se pueden distinguir entre especies estacionales o perennes con crecimiento continuo, en las que la expansión progresiva de sus tallos provoca presiones cada vez mayores, y especies herbáceas, arbustivas o arbóreas, en las que el grado de alteración mecánica aumenta en el mismo orden<sup>39</sup>.

Este tipo de organismos representa un grave problema, principalmente, en la conservación de áreas arqueológicas, puesto que son lugares donde su crecimiento está especialmente favorecido<sup>65</sup>; sin embargo, su presencia sobre cualquier tipo de monumento supone un peligro para su conservación.

El deterioro del sustrato causado por este tipo de organismos es mecánico y químico, aunque no debe olvidarse la alteración de parámetros climáticos, la obstrucción física o visual y la presencia antiestética que suponen<sup>66</sup>.

Mecánicamente hay que considerar la presión ejercida por el crecimiento de las raíces, tanto apicales como radiales<sup>6, 67, 68</sup> que se traduce en la fracturación del material sometido. Químicamente, hay que destacar: el intercambio iónico en las puntas de las raíces y la acción complejante y ácida de los exudados, que redundan en una disgregación del sustrato<sup>5</sup>.

Las plantas superiores, además, llevan a cabo indirectamente importantes fenómenos de bioalteración. Su presencia induce modificaciones climáticas importantes en los sustratos adyacentes (reducción de la insolación y del viento, aumento en la retención de agua y partículas) que repercuten negativamente en el estado de conservación, tanto por sí mismas, como porque favorecen la implantación y desarrollo de otros organismos vivos.

### Hongos

Los hongos son también organismos capaces de llevar a cabo una acción dañina sobre el sustrato, como evidencia, por ejemplo, el estudio físico-químico, petrográfico y biológico del basalto de los monumentos de Randazzo en la región del Etna, en Sicilia<sup>69</sup>.

Se trata de organismos aislados especialmente en áreas tropicales<sup>5</sup>, con altos índices de humedad relativa<sup>70</sup>.

En cuanto al tipo de sustratos, parece ser que las rocas ígneas básicas son más susceptibles al ataque fúngico<sup>5</sup>, comprobándose experimentalmente que los excrementos de paloma estimulan el desarrollo de ciertos hongos, con también un significativo aumento de los procesos de alteración a los que dan lugar<sup>4, 45</sup>. No obstante, otro tipo de sustratos se muestran también aptos para su desarrollo; así, hay especies que se muestran activas sobre sustratos salinos, como las eflorescencias de las pinturas murales estudiadas en Santa María de la Rábida en Huelva<sup>48</sup>, donde se ha comprobado una variación estacional de estos organismos.

Los hongos producen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ <sup>5</sup> y numerosos ácidos orgánicos<sup>4, 71</sup>, capaces estos últimos de formar complejos con cationes metálicos del sustrato. De esta forma disuelven piedras calizas, minerales silíceos, minerales de hierro y magnesio y distintos fosfatos. Obviamente, su acción va acompañada de un incremento en la acidez del medio<sup>72, 73</sup>.

Mecánicamente, al igual que los líquenes, los cambios de volumen, la retención de agua, el propio crecimiento y la penetración de sus hifas provocan disgregaciones en el sustrato<sup>40, 49, 53, 54, 74</sup>.

Krumbein<sup>55</sup> y Bassi<sup>62</sup> demostraron que son capaces de provocar alteraciones cromáticas en la superficie pétreo donde se desarrollan, bien a través de la excreción de productos metabólicos, la precipitación de óxidos de manganeso o hierro, o la producción de gran cantidad de clamidosporas.

### Animales

En las áreas urbanas, son principalmente las palomas las que toman parte en procesos de bioalteración; en las áreas costeras y fluviales, las gaviotas; en los entornos subterráneos, como cuevas, los murciélagos; en los lugares arqueológicos se tendrá que tener en cuenta la fauna que pasta y en los monumentos históricos sumergidos, el papel de moluscos y poliquetos.

La acción destructiva directa es tanto mecánica como química. La acción mecánica ejercida por rozamiento, picoteo, etc es especialmente dañina sobre aquellos sustratos de escasa adhesión. La acción química la causan los excrementos ricos en nitrógeno orgánico y fosfatos, en forma principalmente de ácido úrico, fosfórico y nítrico.

La acción destructiva indirecta es llevada a cabo por la contribución de sustancias orgánicas que sirven como sustancias nutritivas a la microflora heterótrofa (bacterias, hongos). La flora autótrofa, también, puede verse favorecida por la presencia de estas sustancias.

Debe tenerse en cuenta a su vez la actuación de estos organismos como vectores en la propagación de otras especies, cuyas estructuras reproductoras pueden quedar adheridas a sus pelos o patas y de esta forma ser transportadas sobre el sustrato pétreo; o como controles de las poblaciones de otros seres vivos de los que se alimentan<sup>48</sup>.

Por último, debe considerarse la actividad del hombre, quién además de ser responsable directamente del alto grado de contaminación atmosférica actual, su mera presencia, incluso en actitud respetuosa con las obras, puede provocar su deterioro, lo que como en el caso de las cuevas de Lascaux o la cueva de Altamira llevó a su cierre al público. Sobran los comentarios sobre las acciones vandálicas que es capaz de realizar en la paz y en la guerra.

## NOTAS

1. Krumbein, W.E.: Biotransformations in monuments - A socio-biological study. *Durability Build. Mater.*, 5(3-4), 359-382 (1988)
2. Eckhardt, F.E.W.: Solubilization, transport, and deposition of mineral cations by microorganisms-efficient rock weathering agents. *Chemistry of Weathering* 149, 161-173 (1985)
3. Krumbein, W.E.: Biotransfer of mineral by microbes and microbial mats. *Biomining in Lower Plants and Animals*, 55-72 (1986)
4. Strzelczyk, A.B.; Alicja, B.: Stone. *Economic Microbiology*, Vol. 6, 61-80 (1981)
5. Caneva, G.; Salvadori, O.: Biodeterioration of stone. *The Deterioration and Conservation of Stone Restoration*, 182-234 (1988)
6. Krumbein, W.E.: Concrete and stone. *Microbial interactions with mineral materials*. *Biodeterioration* 7, 78-100 (1988)
7. Sorlini, C.; Allievi, L.; Sacchi, M.; Ferrari, A.: Microorganisms present in deteriorated materials of the "Palazzo della Regione" in Milan. *International Biodeterioration Bulletin* 18(4), 105-110 (1982).
8. Jaton, C.: Alterations microbiologiques de l'Eglise Monolithe D'Aubeterre Sur Dronne. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, Tomo IX, 3, 471-477 (1972)
9. Agarossi, G.; Ferrari, R.; Del Monte, M.: Microbial biodeterioration in the Hypogea: the subterranean neo-pythagorean Basilica of Porta Maggiore in Roma. *Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Vol. 2, 597-605 (1985)
10. Jaton, C.; Oriol, G.; Brunnet, A.: La conservation du Portail de l'Eglise Saint-Trophine a Arles. *Etude microbiologique*. *Biocorrosion*, 73-76 (1990)
11. Barcellona-Vero, L.; Tabasso Laurenzi, M.: La fontana del Tritone di L. Bernini a Roma: Un esempio di alterazione legato a fattori chimici, biologici e ambientali. *Deterioration and Preservation of Stone*, *Proceeding of the 3rd International Congress*, 511-516 (1982)
12. Lewis, F.J.; May, E.; Greenwood, R.: A laboratory method for assessing the potential of bacteria to cause decay of building stone. *Proceeding of the 6th International Symposium on Deterioration and Conservation of Stone*, Vol. supplement, 48-58 (1988)
13. Lewis, F.J.; May, E.; Daley, B.; Bravery, A.F.: The role of heterotrophic bacteria in the decay of sandstone from ancient monuments. *The Biodeterioration of Constructional Materials*, n° 3, 45-53 (1987)
14. May, E.; Lewis, F.J.: Strategies and techniques for the study of bacterial populations on decaying stonework. *Proceeding of the 6th International Symposium on Deterioration and Conservation of Stone*, Supplement vol., 59-70 (1988)
15. Bock, E.; Sand, W.: Applied electron microscopy on the biogenic destruction of concrete and blocks - use of the transmission electron microscope for identification of mineral acid producing bacteria. *Proceeding of the 8th International Conference on Cement Microscopy*, 285-302 (1986)
16. Barcellona-Vero, L.; Monte Sila, M.: Mise en evidence de l'activite des thiobacillus dans les alterations des pierres a Rome: Identification de certaines souches. *Atti dell'UNESCO RILEM International Symposium Deterioration and Protection of Stone Monuments*, Paris, 1-13 (1978)
17. Jaton, C.; Oriol, G.: Colonisation des pierres (Saint-Vaast et Tuffeau) par des microorganismes dans les zones de remontee d'eau par capillarite. *Methodes d'estimation de l'action de produits biocides*. *Lithoclastia*, 13-18 (1976)
18. Jaton, C.: Biologie-ecologie. *Traitement des materiaux pierreux*. *2emes rencontres Internationales pour la protection du Patrimoine Culturel*, 201-214 (1986)
19. Barcellona-Vero, L.; Monte Sila, M.: Alterazione dei monumenti esposti all'aperto: incidenza dei solfo batteri in relazione alla natura del substrato e alle condizioni ambientali. *Conservazioni dei Monumenti*, atti del XXIX Congresso Nazionale ATI, Firenze, 125-128 (1974)
20. Barcellona-Vero, L.; Monte Sila, M.; Silveri, A.: Influenza dell'azione dei solfo batteri nei processi di alterazione di materiali lapidei. *Problemi di Conservazione*, Bologna, 439-451 (1973)
21. Beaucourt de, F.; Pauly, J.P.; Jaton, C.: L'Eglise Monolithe D'Aubeterre-Sur-Drome. *La maladie de la Pierre*, 48-65 (1972)
22. Bock, E.; Sand, W.; Meincke, M.; Wolters, B.; Ahlers, B.; Meyer, C.; Sameluck, F.: Biologically induced corrosion of natural stones-strong contamination of monuments with nitrifying organisms. *Sel. Pap. Int. Biodeterior. Symp.* 7th, 436-440 (1988)
23. Meincke, M.; Ahlers, B.; Kranske-Kupsch, T.; Krieg, E.; Meyer, C.; Sameluck, F.; Sand, W.; Wolters, B.; Bock, E.: Isolation and characterization of endolithic nitrifiers. *Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 15-23 (1988)
24. Meincke, M.; Krieg, E.; Bock, E.: Nitrosovibrio spp., the dominant ammonia-oxidizing bacteria in building sandstone. *Appl. Environ. Microbiol.*, 55(8), 2108-2110 (1989)
25. Wolters, B.; Sand, W.; Ahlers, F.; Sameluck, A.; Meincke, M.; Meyer, C.; Krause-Kupsch, T.; Bock, E.: Nitrification the main source for nitrate deposition in building stones. *Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 25-31 (1988)
26. Phol, M.; Bock, E.: Bacterial corrosion of stone.
27. Wilinzig, M.; Fahrng, N.; Bock, E.: Biologically influenced corrosion of stone by nitrifying bacteria. *7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 459-468 (1992)
28. Oriol, G.; Brunnet, A.: Les lichens: Impact sur les materiaux pierreux et recherche d'une therapie. *Section Francaise de l'Institut International de Conservation*, 119-133 (1988)
29. Lewis, F.; May, F.; Bravery, A.F.: Isolation and enumeration of autotrophic and heterotrophic bacteria from decayed stone. *Proceeding of the Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone Vol.2*, 633-642 (1985)
30. Eckhardt, F.E.W.: Influence of culture media employed in studying microbial weathering of building stones and monuments by heterotrophic bacteria and fungi. *Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 71-81 (1989)
31. Hueck Van der Plas, E.H.: The microbiological deterioration of porous building materials. *International Biodeterioration Bulletin* 4(1), 11-28 (1968)
32. Tayler, S.; May, E.: The seasonality of heterotrophic bacteria on sandstones of ancient monuments. *International Biodeterioration* 28, 49-64 (1991)
33. Lewis, F.; May, F.; Bravery, A.F.: Metabolic activities of bacteria isolated from building stone and their relationship to stone decay. *Sel. Pap. Int. Biodeterior. Symp.* 7th, 107-112 (1987)
34. Tiano, P.; Vindigni, A.: Calcite solubilizing microorganisms in marble. *Proceeding of the 4th Int. Cong. Deterioration and Preservation of Stone Objects*, Louisville, 344 (1982)
35. Schostak, V.; Krumbein, W.E.: Occurrence of extremely halotolerant and moderate halophilic bacteria on salt impaired wall-paintings. *7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 551-560 (1992)
36. Bruni, V.: Presenza di batteri solubilizzanti i carbonati su monumenti marmorei calcarei. *Atti del III Congresso Internazionale sul Deterioramento e Conservazione della Pietra*, Venezia, 301-304 (1979)

37. Warscheid, T.; Petersen, K.; Krumbein, W.E.: Physiological characterization of chemoorganotrophic bacteria isolated from sandstone. Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 26-32 (1988)
38. Agarossi, G.; Ferrari, R.; Del Monte, M.: La Basilica di St. Clemente: Studi sul biodeterioramento. Scientific Methodologies Applied to Works of Art, 52-56 (1984)
39. Tiano, P.: Problemi biologici nella conservazione del materiale lapideo esposto. La Prefabbricazione anno 22, Num.4, 261-272 (1986)
40. Saiz-Jimenez, C.: Weathering of building materials of the Giralda (Sevilla, Spain) by lichens. ICOM Committee for Conservation, Ottawa, 10/4, 1-9 (1981)
41. Gorgoni, C.; Lazzarini, L.; Salvadori, O.: Minerogeochemical transformations induced by lichens in the biocalcarene of the selenuntine monuments. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 531-539 (1992)
42. Jaton, C.; Oriol, G.; Brunnet, A.: Actions des vegetaux sur les materiaux pierreux. Veme. Congress International sur l'alteration e la conservation de la Pierre, Vol.2, 577-586 (1985)
43. García-Rowe, J.; Saiz-Jimenez, C.: Lichens and bryophytes as agents of deterioration of building material in spanish Cathedrals. Internatinal Biodeterioration, 151-163 (1991)
44. Ciarallo, A.; Festa, L.; Piccioli, C.; Raniello, M.: Microflora action in the decay of stone monuments. Vth Internatinal Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, Vol.2, 607-615 (1985)
45. Bassi, M.; Chiatante, D.: The role of pigeon excrement in stone biodeterioration. Int. Biodetn. Bull., 12(3), 73-79 (1976)
46. Seaward, M.R.D.; Gisella, C.; Giacobini, G.: Biodeterioramento da licheni in Puglia. Atti 1° Simposio Internazionale, Bari, 243-245 (1989)
47. Giacobini, C.; Nugari, M.P.; Micheli, M.P.; Mazzone, B.; Seaward, M.R.D.: Lichenology and the conservation of ancient monuments: An interdisciplinary study. Biodeterioration 6: papers presented the 6th International Biodeterioration Symposium, 386-392 (1986)
48. Saiz-Jimenez, C.; Samson, R.A.: Microorganisms and environmental pollution as deteriorating agents of the frescoes of the Monastery of "Santa María de la Rábida", Hueva, Spain. 6th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation, 1-14 (1981)
49. Seaward, M.R.D.; Giacobini, G.: Lichen induced biodeterioration of italian monuments, frescoes and other archeological minerals. Studia Geobotanica 8, 3-11 (1988)
50. Lallemand, R.; Deruelle, S.: Presence des lichens sur les monuments en pierre: nuisance ou protection?. Colloque International Alteration et Protection des Monuments en Pierre, Paris, 6 (1978)
51. Deruelle, S.; Lallemand, R.; Roux, C.: La vegetation lichenique de la Basilique Notre-Dame de L'Epine. Documents Phytosoc. 4, 217-234 (1979)
52. Deruelle, S.: Effects de la pollution atmospherique sur la vegetation lichenique des monuments historiques. Studia Geobotanica 8, 23-31 (1988)
53. Seaward, M.R.D.; Giacobini, C.; Giuliani, M.R.; Roccardi, A.: The role of lichens in the biodeterioration of ancient monuments with particular reference to Central Italy. International Biodeterioration 25, 1-3, 49-55 (1989)
54. Gehmann, C.K.; Petersen, K.; Krumbein, W.E.: Silicole and calcicole lichens on Jewish tombstones: Interactions with the environment and biocorrosion. Vth Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 33-38 (1989)
55. Krumbein, W.E.: Colour changes of building stone and their direct and indirect biological causes. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 443-452 (1992)
56. Giacobini, C.; Pietrini, A.M.; Ricci, S.; Roccardi, A.: Problemi di biodeterioramento dei materiali lapidei. Materiali lapidei, 53-64 (1987)
57. Giaccone, G.; Veloccia Rinaldi, M.L.; Giacobini, C.: Forme biologiche delle alghe esistenti sulle sculture all'aperto. Metodi di Rilevamento DIMOS, 245-256 (1979)
58. Florenzano, G.; Balloni, W.; Matarassi, R.: Premieres recherches microbiologiques sur les algues du sol. Ann. Inst. Pasteur 105, 195-201 (1963)
59. Caneva, G.; Nugari, M.P.; Ricci, S.; Salvadori, O.: Pitting of marble Roman Monuments and the related microflora. 7th Interantional Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 521-530 (1992)
60. Ortega-Calvo, J.J.; Hernandez Marine, M.; Saiz-Jimenez, C.: Experimental strategies for investigating algal deterioration of stone. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 541-549 (1992)
61. Grossin, F.; Dupuy, P.: Method simpliffee de determination des constituants des salissures. Colloque International Alteration et Protection des Monuments en Pierre, Paris, 4-44 (1978)
62. Bassi, M.; Barbieri, N.; Bonocchi, R.: St. Christopher Church in Milan. Biological investigations. Arte Lombarda 68/69, 8-12 (1984)
63. Gil, J.A.; Saiz-Jimenez, C.: Biodeterioration of Roman Mosaics by bryophytes. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 511-519 (1992)
64. Casas Sicart, C.; Saiz-Jimenez, C.: Los briofitos de la Catedral de Sevilla. Collectanea Botanica, Vol.13(1), 163-175 (1982)
65. Bettini, C.; Villa, A.: Il problema della vegetazione infestante nelle aree archeologiche. The Conservation of Stone I, 191-204 (1975)
66. Allsopp, D.; Drayton, I.D.R.: The higher plants as deteriogens. Proceedings of third International Biodegradation Symposium, Kingstone, Rhode Island, U.S.A., 357-364 (1975)
67. Tiano, P.: Biological deterioration of exposed works of art made of stone. Biodeterioration of Constructional Materials, 37-44 (1987)
68. Tiano, P.; Caneva, G.: Procedures for the elimination of vegetal biodeteriogens from stone monuments. Preprints of the 8th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation, Sydney, Vol.III, 1201-1205 (1987)
69. Lanza, S.; Sergi, S.; Stagno, F.; Triscari, M.; Grasso, S.; Gugliandolo, C.; Maugeri, T.; Ciliberto, E.; Fragala, I.; Torrì, A.: Microbial attack on basalts from the Etna Region: A SIMS and IR study. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 471-480 (1992)
70. Lim, G.; Tan, T.K.; Toh, A.: The fungal problem in buildings in the humid tropics. Internatinal Biodeterioration 25, 1-3, 27-37 (1989)
71. Kuroczkin, J.; Bode, K.; Petersen, K.; Krumbein, W.E.: Some physiological characteristics of fungi isolated from sandstone. Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 21-25 (1989)
72. Eckhardt, F.E.W.: Mechanisms of the microbial degradation of minerals in sandstone monuments, medieval frescoes and plaster. Actes Cong. Int. Alteration Conservation Pierre, 5th, Lausanne 25, 643-652 (1985)
73. Petersen, K.; Kuroczkin, J.; Strzelczyk, A.B.; Krumbein, W.E.: Distribution and effects of fungi on and in sandstone. Biodeterioration 7, 123-128 (1988)
74. Salvadori, O.; Zitelli, A.: Monohydrate and dihydrate calcium oxalate in living lichen incrustations biodeteriorating marble columns of the Basilica of Santa Maria Assunta on the Island of Torcello (Venice). Proceeding of International Symposium The Conservation of Stone II, Bologna, 379-390 (1981)