

CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDADES ALGALES EPILÍTICAS EN FUENTES MONUMENTALES Y SU APLICACIÓN A LA DIAGNOSIS DEL BIODETERIORO

Pedro M. Sánchez Castillo¹ y Fernando C. Bolívar²

1. Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071-Granada (Spain)

2. Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Granada, 18071-Granada (Spain).

Palabras clave: algas, fuentes, epilithon, biodeterioro

Key-words: algae, fountains, epilithon, biodeterioration

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF EPILITHIC ALGAL COMMUNITIES ON MONUMENTAL FOUNTAINS AND ITS APPLICATION TO THE DIAGNOSIS OF BIODETERIORATION

Microalgal communities growing on monumental fountains of the Alhambra (Granada, Spain) were studied for 3 years. These epilithic communities develop to visible formations which have been divided into four different categories: pustules, films, mats and stromatolithic crusts. Pustules are colonial nuclei that show the initial phases of colonization; *Chlorosarcinopsis minor* and *Pleurocapsa minor* communities proved to be the most widely distributed. Films are monostratified, laminated, usually monotypic formations; besides communities found in pustules, *Chlorogloea microcystoides* community is widespread in these formations. Mats are more complex formations where filamentous species comprise the base of the community. The two most common communities are of the *Chlorosarcinopsis minor* community and the *Pleurocapsa minor* community found in pustules. The former one is enriched with *Phormidium* species while the latter is enriched with other species of *Phormidium* and *Pleurastrum*. Two other communities are not clearly related with any other: the *Symploca muralis* community and the *Cladophora-Melosira* community. Stromatolithic crusts are phyco-crystalline formations which develop under one or more mineral layers. Two communities were recognizable: the *Chlorosarcinopsis* community and the *Poloidion* community usually enriched with aerobic species such as *Chlorogloea* and *Myxosarcina*.

INTRODUCCIÓN

Las formaciones algales que colonizan las fuentes monumentales juegan un papel importante en el biodeterioro de estos importantes elementos arquitectónicos. Estas comunidades no han sido especialmente estudiadas, ni desde un punto de vista científico ni estético. Diversos autores han abordado el estudio de las algas que colonizan las fuentes monumentales aportando meros catálogos (FOGED, 1976, 1983; SÁNCHEZ CASTILLO, 1981, 1983), otros han abordado el estudio de estas comunidades como consecuencia de intervenciones de restauración (DANIN & CANEVA, 1990, GIOCOBINI & GIULIANI, 1987; RICCI & PIETRINI, 1994) o han analizado sus tipos biológicos, así como la resistencia a los biocidas (BOLÍVAR & SÁNCHEZ CASTILLO 1995,

1996). Aunque de forma menos patente, también se desarrollan en otros bienes culturales donde el agua no constituye un elemento esencial, como es el caso del Partenón de Atenas (ANAGNOSTIDIS ET AL., 1983), de diversas fachadas de catedrales (HERNÁNDEZ MARINÉ ET AL., 1992; ORTEGA CALVO ET AL., 1991, 1993), entre otros, donde también pueden jugar un importante papel en su biodeterioro.

La gran variedad de ambientes acuáticos que se presentan en las fuentes monumentales ofrecen una buena oportunidad para estudiar la variabilidad morfológica y estructural de las comunidades algales. La diferenciación de sus distintos estadios de desarrollo, no sólo es importante desde una aproximación biológica, sino que puede dotar a los restauradores de una útil base descriptiva para una mejor conservación de estos sistemas histórico-artísticos

Este trabajo estudia la presencia de Iris algas en las fuentes monumentales de la Alhambra bajo dos aproximaciones muy diferentes. Por una parte trata de caracterizar las comunidades algales que se desarrollan en estos particulares ecosistemas y por otra pretende analizar la importancia de las comunidades algales en la diagnosis del biodeterioro. Con motivo de unir el tratamiento riguroso de las comunidades algales estudiadas junto al posible uso de las mismas por restauradores y otros profesionales de las bellas artes, hemos optado por sintetizar y resumir la amplia variabilidad observada en las comunidades algales, de modo que sin descender a la descripción de comunidades puntuales y/o temporales, tratamos de describir aquellas manifestaciones algales que presentan un aspecto macroscópico similar, y son por lo tanto fácilmente reconocibles, tanto por los estudiosos de las fuentes como por aquellos otros profesionales que se dedican al estudio de las algas en la línea que los autores han desarrollado en otros trabajos (BOLIVAK & SÁNCHEZ CASTILLO 1996, 1997). Esta aproximación también nos permite actuar en la línea sugerida por MARGALEF (1983) al abordar el estudio de las comunidades epilíticas: "*Puede ser conveniente adoptar el criterio de describir comunidades que, de algún modo, se puedan reconocer durante todo el año; y caracterizar sus aspectos estacionales por los grupos de especies de desarrollo más fugaz*", pero como este mismo autor señala "*muchas comunidades de perfiton son estrictamente de temporada*", por lo que es patente la dificultad que entraña un estudio completo de estas comunidades epilíticas.

La diferente morfología que las comunidades de algas ofrecen sobre las paredes de las fuentes son el resultado de las interacciones entre las especies que las forman y las condiciones ambientales en las que se desarrollan, al igual que ocurre en los medios naturales. Sin embargo, existe un factor que marca claras diferencias entre estas comunidades "urbanas" y las que se dan en los sistemas naturales, se trata de las intervenciones de limpieza o restauración, que eliminan en gran medida la parte visible de las mismas, produciéndose de forma forzada un nuevo proceso de colonización. Sólo en casos muy excepcionales encontraremos comunidades "estables" que nos permitan establecer la sucesión que se desarrolla en los distintos ambientes estudiados. Por lo tanto en este trabajo resaltaremos las diferentes etapas o estadios de desarrollo de las comunidades, utilizándolas como una herramienta de trabajo a través de la cual conseguir, por una parte aproximarnos al estudio estructural de las comunidades epilíticas y por otra analizar el papel de estas formaciones en el biodeterioro estético y/o funcional de las fuentes.

El escaso conocimiento de este tipo de comunidades, intermedias entre las algas edificas y las acuáticas, hace muy

difícil la comparación de nuestros resultados. Así, los términos "pústula" y "película" los hemos utilizado para describir los primeros estadios de desarrollo de las comunidades algales, aunque su utilización es poco frecuente, y restringida fundamentalmente a comunidades bacterianas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La toma de muestras se llevó a cabo en las fuentes de mayor interés artístico del conjunto monumental de los palacios nazaríes de la Alhambra: Patio de los Leones, Patio del Cuarto Dorado, Patio de los Arrayanes, Patio de Lindaraja, Sala de los Abencerrajes y Baño de Comares. Se realizó un muestreo extensivo desde junio de 1992 hasta marzo de 1994, iriustrando de forma detallada los diferentes ambientes de cada una de las fuentes. Se distinguieron ambientes aéreos (bien propios de salpicaduras o filtraciones a través de la piedra, bien en superficies de percolaciones). Entre los ambientes anfibios se consideraron la parte superior de las piletas, así como los rebosaderos donde el paso de agua es intermitente. Por último se diferenciaron los ambientes suinergidos del interior de las fuentes, por una parte se tomaron muestras de paredes interiores y de los fondos y por otra de los surtidores, donde la reofilia era marcada.

El muestreo fue lo más detallado posible, de modo que se tomaron de forma independiente las distintas manifestaciones algales observadas en cada fuente, de manera que los resultados obtenidos mostraran las características propias de cada tipo de las comunidades algales. Cada uno de los muestreos constituyó un inventario donde se estudió su composición taxonómica y las abundancias poblacionales (marcadas con valores que oscilaron entre + y 5).

Las muestras se estudiaron en microscopio óptico y electrónico de barrido, llevando a cabo en este último una metalización con oro, o con carbono para microanálisis elemental. Cuando fue necesario se realizaron láminas delgadas para su observación al microscopio petrográfico con objeto de estudiar la disposición de la mineralización sobre las comunidades y/o células algales.

Parte de los inventarios obtenidos se sometieron a un análisis de agrupación (índice de Ochiai, DIXON *et al.*, 1990).

RESULTADOS

A. Especies

El estudio de las fuentes de la Alhambra ha revelado la existencia de 120 especies, de las cuales 39 son cianofíceas, 34 diatomeas y 45 algas verdes, siendo las primeras y las últimas

las que han destacado, tanto por su mayor frecuencia, como por formar parte de las comunidades más representativas de estos ambientes.

Para facilitar la catalogación de las especies, éstas se han agrupado por biotipos, distinguiendo un total de 5 biotipos algales: unicelular, agregados mucilaginosos, agregados compactantes, agrupaciones pseudoparenquimáticas y filamentos. Entre las especies de biotipo unicelular destacan las diatomeas, cuyas principales especies han sido: *Achnanthes lanceolata* (Bréb.) Grunow, *Amphora perpusilla* (Grunow) Grunow, *Cymbella affinis* Kütz., *C. helvetica* Kütz., *Diademsis sp.*, *Fragilaria pinnata* Ehr., *Navicula gracilis* Ehr., *N. menisculus* Shumann, *N. rhyncocephala* Kütz., *Nitzschia sp.*, *Rhopalodia gibba* (Rhr.) Muller. Entre las algas verdes solo merece ser destacada la presencia de *Chlorococcum sp.*, y *Scotelliopsis terrestris* (Reis.)Punkoch et Kalina

En el biotipo de agregados mucilaginosos se incluyen fundamentalmente especies de cianofíceas, entre las que destacan *Aphanothece saxicola* Nageli, *Gloeocapsa compacta* Kützing, *Chlorogloea microcystoides* Geitler y *Chroococidiopsis sp.* Similar aspecto a las especies comentadas presentan las poblaciones de una diatomea *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.)Dawson. Entre las algas verdes solo destaca *Palmella miniata* Leibl.

Los siguientes biotipos pueden tener especial importancia en el biodeterioro, bien por su capacidad de crecimiento endolítico, bien por desarrollarse en estrecho contacto con el sustrato, y/o con cierta capacidad de crecimiento endolítico. Se trata de los agregados compactantes y de las agrupaciones pseudoparenquimáticas. Entre las primeras se incluyen fundamentalmente algas verdes: *Chlorosarcinopsis minor* (Gerneck)Herndon, *Poloidion didymos* Pascher, *Scenedesmus eornis* (Ehr.)Chodat, *S. Smithii* Teil. y *Tetracystis sp.* Especial relevancia pueden tener en el biodeterioro aquellas especies cuyas células se unen íntimamente constituyendo filamentos, los cuales permanecen adheridos unos a otros, se trata de las agrupaciones pseudoparenquimáticas. Entre las mejor representadas destacamos: *Chamaesiphon polonicus* (Rost.) Hans., *C. polymorphus* Geitler, *C. incrustans* Grunow, *Pleurocapsa minor* (Hans.)Geitler, *P. fluviatilis* Lager., e *Hyella fontana* Huber et Jadin. Entre las algas verdes estuvieron mejor representadas *Apatococcus lobatus* Boye-Peterson, *Apatococcus sp.*, *Gongrosira sp.*, *Leptosira trombii* Tschermak-Woess, *Pleurastrum spl*, *Pleurastrum sp.2* y *Pseudopleurococcus sp.*

El último biotipo corresponde a las especies filamentosas. Las cianofíceas filamentosas más frecuentes presentan vainas patentes, tales son los casos de: *Calothrix elenkinii* Koss.,

Lyngbya martensiana Meneghini, *Phormidium favosum* (Bory) Gomont, *P. subfuscum* (Agardh) Kützing, *P. uncinatum* (Agardh) Gomont, (otras especies de este género con menor representación fueron *P. ambiguum* Gomont, *P. calidum* (K.B.H.) Gomont y *P. Retzii* (Agardh) Gomont), *Schizothrix Gomontii* Bosse, *S. tenuis* Woron., *Symploca elegans* Kützing y *S. muralis* Kützing. Las diatomeas capaces de constituir filamentos estuvieron representadas por *Diatoma vulgare* Bory, *Melosira varians* Agardh y *Navicula seminulum* Grunow var. *fragilarioides* Grunow. Entre las algas verdes destaca la presencia de *Cladophora glomerata* (L.) Kützing y varias especies de los géneros *Cylindrocapsa*, *Microspora*, *Oedogonium*, *Spirogyra*, *Stigeoclonium*, *Ulothrix* y *Zygnema*.

En la tabla 1 se han seleccionado aquellas especies que aparecieron con mayor frecuencia, resumiéndose en la misma los datos relativos a aquellos inventarios en los que dichas especies aparecieron con un índice de abundancia superior a 2.

TABLA 1. Especies más abundantes en las comunidades epilíticas estudiadas (ecología de las muestras donde aparecen, localización de las especies en las muestras, tipo de formaciones en las que participan, así como su fenología).
TABLE 1. Widespread species in studied epilithic communities (suple ecology, species location in the sample, formations where they growth, so as fenology).

| | Ecología | Localización | Formaciones | Fenología |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| <i>Chamaesiphon polonicus</i> | 6 anfibios 1 sumerg. | Superficie. | Todas | Invierno |
| <i>Chlorogloea microcystoides</i> | 2 aéreos 5 anfibios | Superficie | Películas Pústulas | Todo el año |
| <i>Pleurocapsa minor</i> | 3 anfibios 4 sumerg. | Superficie Media Inferior | Pústulas Películas Tapetes | Verano Otoño |
| <i>Phormidium favosum</i> | 2 anfibios 7 sumerg. | Superficie | Tapetes Costras | Verano Otoño |
| <i>Phormidium subfuscum</i> | 2 anfibios 4 sumerg. | Superficie | Tapetes Costras | Verano Otoño |
| <i>Symploca muralis</i> | 5 anfibios | Superficie Inferior | Tapetes Costras | Primavera Verano |
| <i>Symploca thermalis</i> | 1 aereo 1 anfibio 1 sumerg. | Superficie Medio | Tapetes Costras | Invierno |
| <i>Schizothrix sp.</i> | 4 anfibios | Superficie | Tapetes Costras | Otoño Invierno |
| <i>Chlorosarcinopsis minor</i> | 4 anfibios 7 sumerg. | Superficie Media Inferior | Tapetes Costras | Todo el año |
| <i>Pleurastrum sp.</i> | 1 aereo 2 anfibios 3 sumerg. | Superficie | Todas | Otoño Invierno |

B). Comunidades

En las fuentes estudiadas hemos podido diferenciar diversos tipos de formaciones algales macroscópicas, que agrupamos en 4 grandes categorías siguiendo la pauta de una clara diferenciación morfológica "in situ", tales formaciones algales (Fig. 1) variaron desde manifestaciones puntuales de muy distinto tamaño (desde apenas visibles hasta colonias circulares de 5 cm de diámetro) hasta estructuras laminadas con o sin carbonatación que hemos agrupado bajo los 4 tipos de formaciones algales que a continuación describimos.

PÚSTULAS

Se incluyen bajo esta denominación a los núcleos poblacionales que representan estadios iniciales de colonización. Estas formaciones iniciales presentan morfología semiesférica y a menudo se agrupan dando lugar a otras de mayor tamaño y aspecto verrucoso, como en las formaciones gelatinosas verdes de *Palmella miniata*. La mayoría son pequeñas y muy oscuras como las de *Chamaesiphon polonicus* o *Pleurocapsa minor*, pero también las hay de gran tamaño, como las grandes pústulas globosas de *Gomphonema olivaceum* que pueden alcanzar hasta 3 cm de diámetro.

Caracterización macroscópica. La coloración de las pústulas oscila del verde apagado al negro. Normalmente las pústulas están constituidas por uno o varios biotipos algales (desde las agrupaciones laxas de naturaleza mucilaginosas hasta las más compactas de estructura pseudoparenquimática). El tipo de fuente, la cantidad de superficie rezuminante, la forma de desagüe, etc., condiciona en buena medida el tipo de formaciones presentes (Fig. 1. I.A). Los agregados gelatinosos sólo están bien representados en la Fuente de los Leones, con abundantes puntos de infiltración de agua, donde estos organismos viven preferentemente. Las pústulas constituidas por especies de naturaleza pseudoparenquimática están mejor representadas en la Fuente del Cuarto Dorado que en el resto de las fuentes, probablemente por la mayor presencia de agua en la misma, así como por la forma en la que rebosa.

Comunidades. La comunidad más ampliamente distribuida es la de *Chlorosarcinopsis minor*, tanto en ambientes aerófilo-anfibios como en sumergidos. En los primeros se asocia con especies de biotipo filamentoso, fundamentalmente con *Phormidium favosum* y/o *Symploca termalis*, si bien pueden estar presentes otras especies del mismo biotipo (*Pleurastrum* sp. y *Schizothrix tenuis* entre otras). En ambientes sumergido-reófilos esta comunidad muestra una composición específica diferente, destacando la presencia de especies tales como *Symploca muralis* y *Chamaesiphon incrustans*. La coinunidad

de *Pleurocapsa minor* también se encuentra bien representada en los anfibios estudiados, donde participan especies tanto de biotipo filamentoso (*Pleurastrum* sp.) como pseudoparenquimático (*Chamaesiphon polonicus*). Esta agrupación de especies se desarrolla básicamente en ambientes acuáticos, tanto sumergidos como reófilos.

Las coinidades de *Apatococcus* y *Poloidion* están menos extendidas que las anteriores, presentándose la primera tanto en ambientes sumergidos como aerófilos y estando acompañada en los primeros por *Symploca muralis*. *Poloidion* suele ir asociado a *Chamaesiphon polonicus*, taxon que suele acompañar a todas las comunidades descritas.

Ecología. Este tipo de formaciones algales se pueden considerar como un estadio pionero de colonización, apareciendo en todos los ambientes estudiados, si bien son más abundantes en aquellas situaciones de inestabilidad hídrica, tales como estaciones aerófilas y anfibias, siendo especialmente abundantes tras los periodos de desecación y/o limpieza.

Las especies de talo gelatinoso son más frecuentes en los ambientes rezumantes, mientras que las compactas y pseudoparenquimáticas aparecen tanto en estos como en aquellos otros ambientes sumergidos sometidos a periodos intermitentes de desecación o limpieza. Se han encontrado representantes de las mismas a lo largo de todo el año, no mostrando distribución estacional claramente definida. Se aprecia una tendencia hacia una mayor complejidad del biotipo según se incrementa la estabilidad hídrica. Por concreción puntual de salpicaduras de agua, se originan pústulas nodulosas, constituida fundamentalmente por *Chlorogloea microcystoides*, *Poloidion didymos* y *Gongrosira* sp.

Se debe destacar que las comunidades que constituyen las pústulas son de carácter pionero y representan, por tanto, los primeros estadios de colonización. En aquellos lugares donde esta comunidad se desarrolla en condiciones favorables pasará rápidamente a constituir una formación de mayor madurez (película, tapete, o costra), por lo cual su presencia constante en un determinado lugar, nos indica que se trata de una zona de condiciones adversas. Por ello, es lógico que aparezcan en las superficies más frecuentemente tratadas con biocidas y medios mecánicos, y en las áreas menos ligadas a la presencia continuada de agua que son más difícilmente colonizables por las microalgas, en cambio no aparecen en los muros estudiados, ni en la pila del Baño de Comares, donde las condiciones de estabilidad y carencia de tratamiento las hace propicias para comunidades más complejas.

Análisis de agrupación. La fuerte afinidad florística de los inventarios procedentes de Abencerrajes y Lindaraja hace que

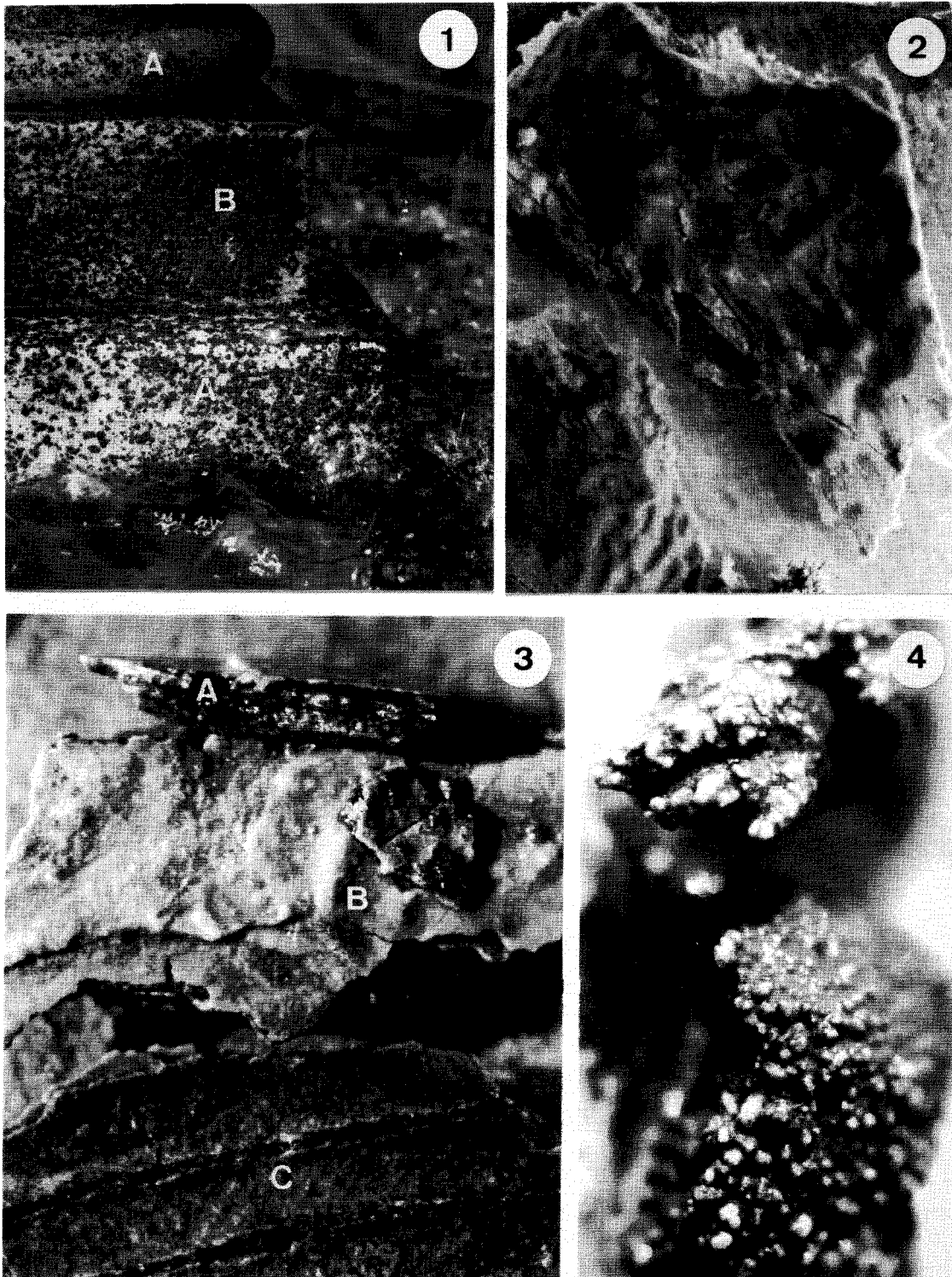


FIGURA 1. Aspecto macroscópico de de las distintas formaciones algales descritas. IA: pústula?, IB: película, 2: tapetes, 3: costra plana, 4: costra nodulosa
 FIGURE 1. Macroscopic view of the different algal formations. IA: pustules, IB: film, 2: mats, 3: smooth crust, 4: nodular crust.

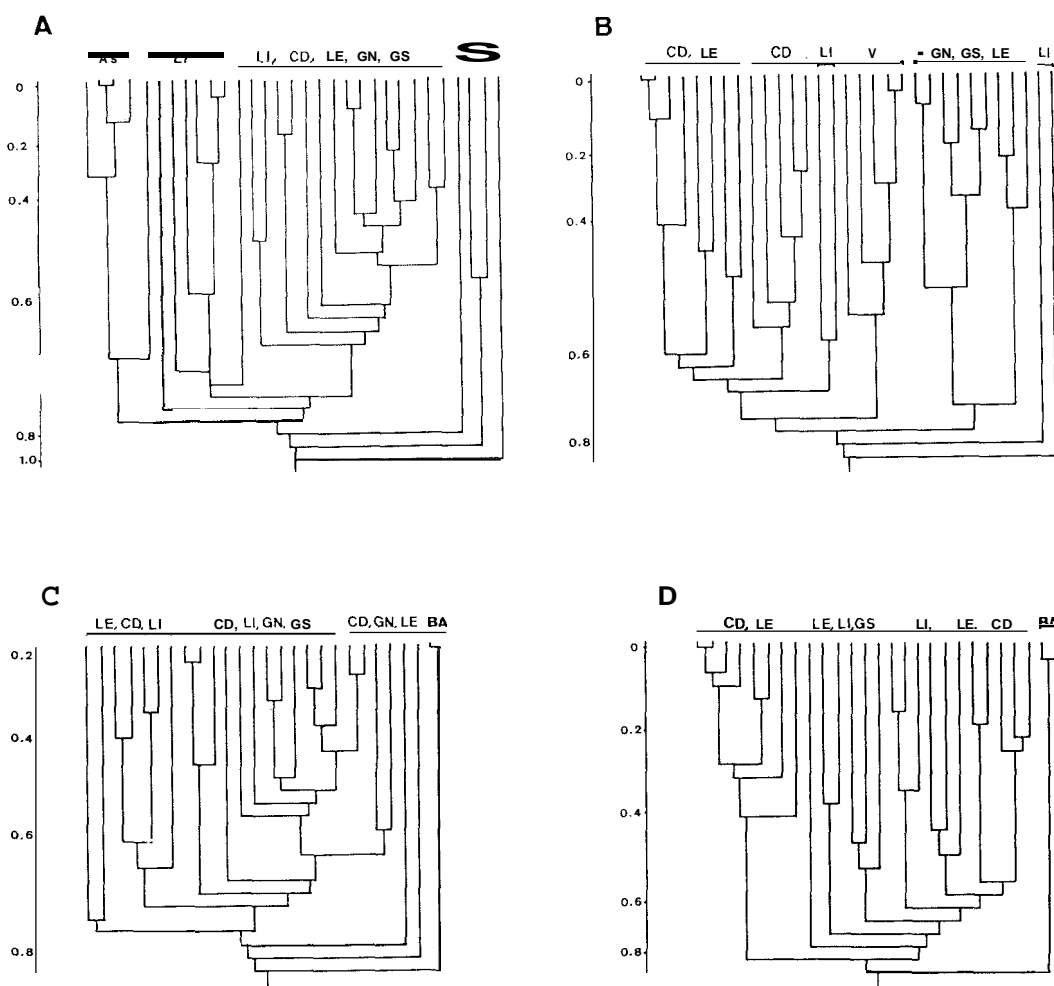


FIGURA 2. Análisis de agrupación de las 4 formaciones algales diferenciadas. A: pústulas, B: películas, C: tapetes, D: costras. (AB: Abencerrajes, BA: Baños de Comares, CD: Cuarto Dorado, GN: Guitarra Norte, GS: Guitarra Sur, LE: Leones, LI: Lindaraja)
 FIGURE 2. Cluster analysis of 4 algal formations distinguished. A: pustules, B: films, C: mats, D: crusts. (AB: Abencerrajes, BA: Baños de Comares, CD: Cuarto Dorado, GN: Guitarra Norte, GS: Guitarra Sur, LE: Leones, LI: Lindaraja)

ambos constituyan los dos primeros grupos en diferenciarse (Fig.2.A). Los inventarios de Abencerrajes, localizados en un ambiente muy umbrófilo constituyen la comunidad de *Poloidion didymos*, mientras que en Lindaraja se desarrolla la comunidad de *Apatococcus lobatus*.

En el tercer grupo se unen la mayoría de los inventarios aéreos y anfibios de las fuentes del Cuarto Dorado, Leones y Guitarra Norte, mostrando una gran variabilidad estacional. Este conjunto de inventarios constituyen las comunidades de *Chlorosarcinopsis minor* y *Pleurocapsa minor*, la asociación de este conjunto de inventarios indica que ambas comunidades

pueden representar distintos estadios de una comunidad más amplia. Por último, se define un cuarto grupo, donde se agrupan, con índices superiores a 0.8, inventarios de estas mismas fuentes pero con escasa similitud florística.

PELÍCULAS

Son finas láminas, generalmente uniestratificadas y bastante homogéneas correspondientes a un mayor desarrollo de las pústulas, sin suponer un incremento ni en la complejidad de especies ni en los biotipos representados.

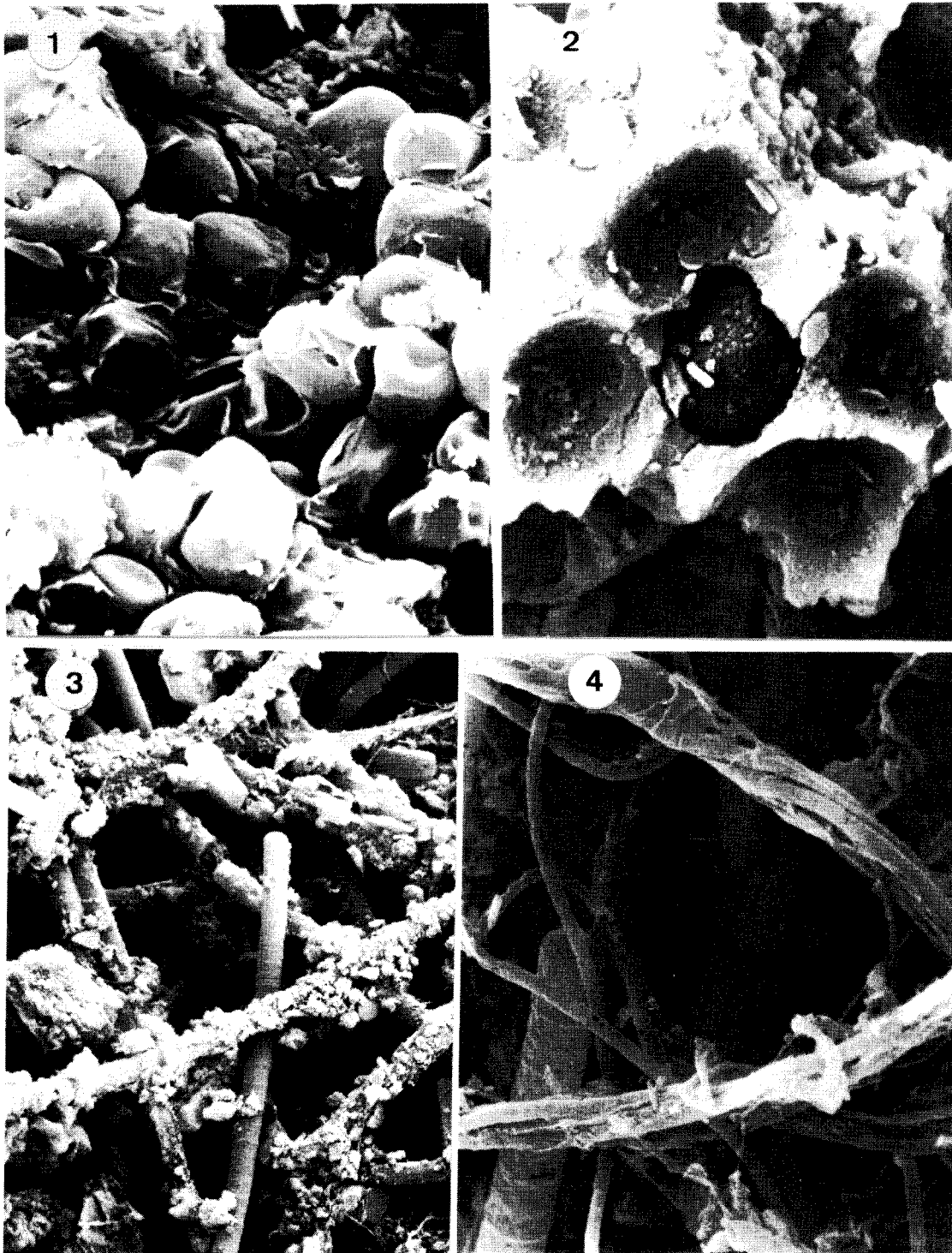


FIGURA 3. Aspecto microscópico (MEB) de algunas de las especies más representativas. 1: *Chlorosarcinopsis minor*, 2: Mineralización alrededor de *Tetracystis sp.*, 3: Filamentos con precipitaciones minerales de *Phormidium ambiguum*, 4: Filamentos de *Schizothrix sp.*
FIGURE 3. SEM micrographs of some representative species. 1: *Chlorosarcinopsis minor*, 2: Mineralization around of *Tetracystis sp.*, 3: *Phormidium ambiguum* filaments with mineral precipitations, 4: *Schizothrix sp.* filaments.

Caracterización macroscópica. Son formaciones laminares, generalmente de escaso grosor, en las que suelen participar numerosas especies, por lo general de diferente biotipo. Pueden tener su origen a partir del crecimiento de una pústula inicial o de la fusión de varias de ellas. A lo largo de su desarrollo y dependiendo de las condiciones ambientales, pueden convertirse en comunidades más complejas (tapetes por complicación estructural y taxonómica, o acaban transformándose en costras mediante procesos de mineralización). Los biotipos que aparecen son los mismos que en las pústulas. La dominancia de filamentos se detecta fácilmente por el aspecto fibroso de estas formaciones. Cuando por el contrario, estos son escasos es fácil extraer láminas relativamente extensas, lo que no ocurre cuando están constituidas por pústulas (Fig. 1.1.B).

Mientras que en primavera y verano predominan las películas verdes, algunas se vuelven más azuladas en otoño, e incluso purpúreas, pardas y rojas en invierno. Esto es debido a fenómenos de cromatización de vainas en *Chamaesiphon* y al enquistamiento de algas verdes que acumulan carotenos.

Comunidades. En líneas generales su composición taxonómica es muy similar a la de las comunidades que constituyen las pústulas, *Chamaesiphon polonicus* sigue siendo la especie más ampliamente distribuida en el conjunto de las películas estudiadas. Suele aparecer en todas las comunidades de *Pleurocapsa minor*, definiendo una comunidad de ecología variable, tanto reófila como anfibia, bien representada en los surtidores de las fuentes guitarra, de escasa presión que en ocasiones vierten en piletas que desaguan continuamente sin presentar lámina de agua constante. Estas peculiares características nos permite comprender la ecología reófila-anfibia descrita para estas comunidades. Cuando esta comunidad se desarrolla en ambientes aéreos-anfibios, *Pleurocapsa minor* es sustituida por *Chamaesiphon incrustans* y *Pleurastrum sp.*

En mucha menor proporción, *C. polonicus* también se encuentra presente en las comunidades de *Chlorogloea* que constituyen las películas que se desarrollan en ambientes de interfase (aerófilos-anfibios-sumergidos). En los ambientes más aerófilos, *C. polonicus* es sustituido por especies como las de *Myxosarcina* y *Cylindrocapsa*. También en ambientes aéreos aparece otra comunidad, de fuerte heterogeneidad florística, caracterizada por la presencia de *Apatococcus* y la ausencia de *C. polonicus*.

La comunidad de *Chlorosarcinopsis minor* (Fig.3.1) es menos frecuente en las películas que en las pústulas, desarrollándose solo en localidades reófilas-sumergidas, apareciendo *Tetracystis sp.* en situaciones de menor aporte

hídrico, formándose matrices carbonatadas de estructura alveolar a su alrededor (Fig.3.2)

Se pueden diferenciar dos grandes grupos de películas, las más frecuentes son aquellas cuya composición taxonómica corresponde a la de las pústulas, formaciones que se han podido originar a partir de la fusión o crecimiento de pústulas. La rugosidad que caracteriza a algunas de estas comunidades, posiblemente como consecuencia de la fusión de pústulas, nos puede dar una idea del efecto distensivo que pueden ejercer estas comunidades, en el caso de infiltrarse dentro del sistema poroso del mármol o en grietas de fácil exfoliación.

El resto de las películas presentan una base claramente pseudoparenquimática o compactante, pudiendo estar presentes especies de biotipo mucilaginoso o filamentosos. Posiblemente estas películas se originen tras los tratamientos de limpieza que eliminan la parte superficial de las comunidades de mayor complejidad, tales como los tapetes y las costras, los cuales al reanudar el crecimiento desarrollan estas películas más complejas.

Las películas constituidas por la comunidad de *Chlorogloea* presenta consistencia mucilaginoso debido al biotipo gelatinosos de esta y otras especies que la acompañan, tales como *Myxosarcina sp.* y *Aphanothece saxicola*, las cuales se compactan en su parte basal por la presencia de especies de biotipo pseudoparenquimático y compactante. Se localizan principalmente en ambientes anfibios, como la garganta, pecho y patas de los leones. Un caso interesante es el de las fuentes guitarra del patio de los Arrayanes. La mayor diferencia entre ambas se detecta observando los biotipos filamentosos que intervienen en sus comunidades. En la fuente norte (orientación sur) los filamentosos con vaina son abundantes (*Phormidium favosum* y dos especies de *Schizothrix*) mientras que en la fuente sur (de orientación norte y sin radiación solar directa), éstos apenas están representados, presentando ambas ambientes anfibios; la escasez de agua en la GS es suplida por la orientación norte que hace que el substrato permanezca húmedo más tiempo. La coloración sufre una clara variación a lo largo del año.

Las películas se sitúan en casi todas las superficies ya sean aéreas, anfibias o sumergidas, aunque predominan estas dos últimas.

Análisis de agrupación. El primer grupo engloba a todos los inventarios de CD y a la mayoría de los Leones (Fig.2.B). La ecología dominante en estos inventarios es aérea-anfibia, presentando especies capaces de soportar los cambios de vida aéreo-sumergida bajo distintos estadios. El primer subgrupo de inventarios se unen con un índice de 0.6, englobando las muestras de la fuente de los Leones y algunas del Cuarto

Dorado, donde se desarrolla la comunidad de *Chlorogloea*, siendo la presencia de las especies de los géneros *Chamaesiphon*, *Myxosarcina* o *Aphanothece* la que marca la mayor o menor presencia de agua. El otro subgrupo de inventarios son los de la fuente del Cuarto Dorado donde se desarrolla la comunidad de *Chlorosarcinopsis*, propia de situaciones sumergidas-reófilas. La comunidad de *Apurococcus*, presente en Lindaraja muestra menor afinidad con los anteriores, uniéndose a un nivel de 0.7.

La comunidad de *Pleurocapsa* presenta dos variantes. Una distribuida en varias fuentes (Lindaraja, Leones, y Guitarra norte) en localidades de naturaleza aéreas o sumergidas de influencia anfibia, donde suele aparecer *Chlorogloea*, que podemos considerar de tránsito con la comunidad de *Chlorogloe*. La otra variante es mucho más homogénea en cuanto a localidades, ya que comprende fundamentalmente inventarios de las fuentes de Guitarra Norte y Guitarra Sur, tanto aéreas como sumergidas, presentando como táxones más estables a *Pleurocapsa minor* y *Chamaesiphon polonicus*.

TAPETES

Son formaciones algales de considerable grosor que se caracterizan por presentar especies de biotipo filamentosas, o en su defecto una base estructural filamentosas de naturaleza fúngica o líquénica (como ocurre en los muros del Patio de Lindaraja). Esta base filamentosas favorece el desprendimiento de los estadios de mayor desarrollo.

Caracterización macroscópica. Estas formaciones algales, de coloración normalmente verde azulada a negruzca, suelen acumular gran cantidad de materia orgánica. Hemos observado que estas formaciones pueden llegar a presentar hasta 15 capas algales independientes distinguibles a la lupa binocular (de igual o distinto biotipo), e incluso presentar zonación de diferente biotipología dentro de una misma capa, aunque lo más normal es que sean bi- o tri-estratificadas (Fig. 1.2).

Comunidades. La presencia de una amplia representación de biotipos en el conjunto de los tapetes estudiados, y especialmente los filamentosos, demuestra que se trata de comunidades de gran madurez. En los estratos superiores predominan las cianobacterias filamentosas y las diatomeas, mientras que en los inferiores suelen aparecer algas verdes cocoides y cianobacterias pseudoparenquimáticas en estrecha relación con la piedra.

Los tapetes de carácter aerófilo se desarrollan preferentemente durante primavera y verano y están forrados por la comunidad de *Symploca muralis*, cuando se presenta en biotopos sumergidos muestra una importante presencia de diatomeas. Otro tipo de

tapetes, de carácter aerófilo-sumergido, son los constituidos por la comunidad de *Phormidium*, éstos pueden estar formados, bien por *P. favosum*, bien por *P. uncinatum*, junto a estas especies suelen aparecer *Chlorosarcinopsis minor* y en menor proporción *Chamaesiphon polonicus*.

En ambientes sumergidos, y fundamentalmente reófilos, se diferencian dos tipos de comunidades, una de ellas aparece durante el verano y se caracteriza por la presencia de *Pleurocapsa minor*, apareciendo también *Pleurastrum sp.*, *Phormidium favosum* y *Chamaesiphon polonicus*. En los ambientes de mayor reofilia (surtidores) suelen estar presentes *Cladophora glomerata* y *Stigeoclonium sp.*, destacando *Fragilaria vaucheriae* entre los epífitos. El otro tipo de comunidades que aparecen en tapetes sumergidos se caracterizan por la presencia de *Cladophora glomerata* y *Melosira varians*, donde suelen vivir epífitas diferentes especies de los géneros *Navicula* y *Nitzschia*.

Dependiendo del biotipo filamentosas dominante, podemos diferenciar dos grandes grupos. Los tapetes donde predominan los filamentosos con vaina presentan un aspecto típicamente mucoso. Los biotopos más frecuentes donde aparecen este tipo de tapetes son el anfibio vertical (que suele presentar menos de cuatro capas) y el sumergido de naturaleza reófila. La ecología más frecuente de los tapetes fibrosos, donde predominan especies de biotipo filamentosos sin vaina, es la sumergida horizontal. En los ambientes rezumantes puede aparecer un alga verde con una gran capacidad de desarticulación y enquistamiento: *Cylindrocapsa sp.*

Tapetes mucosos de *Phormidium ambiguum* con *Diademesis sp.* o *Apatococcus lobatus* aparecen en situaciones muy umbrías (Baño de Comares). Las vainas de los filamentosos adhieren gran cantidad de partículas minerales fácilmente detectables con microscopía de barrido (Fig. 3.3).

La presencia de especies filamentosas de algas verdes está asociada a los ambientes con mayor presencia de agua, en estos casos son especialmente significativas las especies de los géneros *Cladophora*, *Gongrosira*, *Pleurastrum*, *Pseudopleurococcus* y *Stigeoclonium*, en estas ocasiones suele aparecer también una diatomea filamentosas: *Melosira sp.* Estos tapetes en los que predominan filamentosos de algas verdes y diatomeas suelen presentar aspecto fibroso que en ocasiones puede reconocer a simple vista. En ocasiones estas comunidades pueden terminar formando ovas o marañas flotantes (plocon), su típico color verde se vuelve parduzco en determinadas épocas del año y suelen sustituir a los tapetes cuando se les permite el crecimiento y las condiciones son favorables. A menudo se encuentran creciendo sobre estratos minerales que cubren una o más capas algales endolíticas, como ocurre con los tapetes

mucosos y algunas películas y pústulas. Especialmente interesantes resultan los tapetes de determinadas algas verdes, como *Leptosira trombii* que aparecen en simbiosis con filamentos fúngicos en situaciones de escaso aporte hídrico.

Análisis de agrupación. El primer grupo (Fig.2.C) une a inventarios fundamentalmente sumergidos de la fuente de los Leones, junto a otros del Cuarto Dorado y Lindaraja, los cuales se caracterizan por presentar la comunidad de *Phormidium favosum*. Su asociación con otros inventarios de caracteres aerófilos, donde se presenta *Chlorogloea microcistoides*, apunta la poca estabilidad hídrica de estos inventarios.

El siguiente grupo engloba inventarios de carácter sumergido-reófilo que se desarrollan en la mayoría de las fuentes durante los meses de verano, caracterizados por la presencia de la comunidad de *Pleurocapsa minor*. El carácter sumergido de estos inventarios se pone de manifiesto por la presencia de otros donde están presentes especies de *Cladophora* y *Melosira*, así como de otras diatomeas propias de estos ambientes. Con un menor grado de significación se asocian a éstos, otros inventarios de naturaleza aérea-anfibia donde se desarrollan especies de *Schizothrix*, *Phormidium* y *Chamaesiphon*.

COSTRAS ESTROMATOLÍTICAS

Son formaciones organo-sedimentarias, carácter propio de las estructuras estromatolíticas (GOLUBIC, 1990) caracterizadas por su naturaleza fico-cristalina, que suelen presentar de 1 a 9 capas de distinta o similar composición algal, alternadas con otras tantas capas minerales.

Caracterización macroscópica. Estas costras, formadas por agregación y cristalización de partículas minerales, pueden presentar un aspecto superficial muy diverso (Figs.1.3 y 1.4). Las hay que pasan desapercibidas, confundiendo con el material original, y también muy conspicuas, detectándose muy fácilmente por alterar completamente la textura y coloración del mármol. Están constituidas básicamente por algas verdes con capacidad para formar agrupaciones compactantes, quedando así parte de la población protegida de los tratamientos biocidas.

Comunidades. En el conjunto de las costras estudiadas se diferencian dos tipos de comunidades. La más ampliamente representada es la caracterizada por la presencia de *Chlorosarcinopsis minor*, este taxon destaca por ser la especie más frecuente en el interior de las costras planas, mostrando una amplia variabilidad ecológica y estacional. En aquellos ambientes aerófilo-anfibios, esta comunidad se encuentra enriquecida por especies de biotipo filamentosos de los géneros

Schizothrix (Fig. 3.4) y *Symploca*, mientras que en los biotopos sumergidos-reófilos se enriquece en especies de *Tetracystis* y *Scenedesmus*. La otra comunidad formadora de costras se desarrolla en ambientes fundamentalmente aéreos y se caracteriza por la presencia de *Poloidion didymus* en la fuente de Lindaraja y por especies típicamente aerófilas tales como las de *Chlorogloea* y *Myxosarcina*.

Ambas comunidades son fácilmente diferenciables por su diferente morfología, así es posible diferenciar:

Costras planas: estructuras ficocristalinas, formadas por compactación de partículas minerales precipitadas en biotopos sumergidos (Fig.1.3). Destaca la presencia de *C. minor*, en ocasiones acompañada por especies de *Scenedesmus* y cianofíceas filamentosas (*Schizothrix* y *Symploca*). El aspecto macroscópico de estas comunidades puede presentar dos morfologías claramente diferenciadas. Pueden aparecer en forma de placas (cuando estas formaciones son planas y relativamente extensas, en la superficie horizontal de las fuentes guitarra o bien adaptadas al relieve, como en los biotopos verticales sumergidos de las caras verticales interiores de la taza de los Leones y del Cuarto Dorado). En biotopos de cierta reofilia (GN y GS) las podemos encontrar en forma de cordones, cuando estas placas se vuelven semicilíndricas al coincidir con un plano vertical del substrato, situaciones que se dan en los límites del fondo del disco y la gárgola.

Costras nodulosas: poseen un relieve más o menos acusado por agregación irregular de partículas (Fig.1.4). Se producen tanto en biotopos aéreos con salpicaduras de agua, como en biotopos anfibios con percolación, e incluso en algunos biotopos sumergidos verticales (Baño de Comares). En este caso es *Poloidion didymos* la especie de mayor frecuencia, en ocasiones acompañada y/o sustituida por especies de *Scenedesmus*, *Chlorosarcinopsis* y *Apatococcus*. Las cianofíceas mucilaginosas y compactantes pueden jugar un papel importante en determinadas situaciones.

Estas comunidades incrustantes aparecen, prácticamente, en todas las obras estudiadas. Las costras planas son estructuras típicas de los biotopos sumergidos. Forman placas cuando aparecen en la superficie horizontal de las guitarras o en las verticales interiores de las pilas o tazas, y cordones cuando éstas se sitúan en la confluencia de los planos vertical y horizontal del substrato en biotopos de cierta reofilia.

Las costras nodulosa se desarrollan tanto en biotopos aéreos con salpicaduras de agua, como en biotopos anfibios con filtraciones e incluso en algunos biotopos sumergidos verticales (Baño de Comares). Este último caso, donde las comunidades aparecen en un ambiente típicamente umbrófilo, presentan una composición específica particular, siendo las

algas verde azuladas las que dominan la composición específica; las especies más características son: *Phormidium ambiguum*, *Chroococcidiopsis* sp. y *Diademsis* sp (Fig. 3.3).

Análisis de agrupación. Todos los inventarios de la fuente del Cuarto Dorado y parte de la de Los Leones se agrupan a una distancia de 0.4, estando unidos todos ellos por su localización sumergida (Fig.2.D). Se caracterizan por su pobreza florística, estando presentes, además de *Chlorosarcinopsis* minor, solo una especie mas en la mayoría de los mismos. El resto de los inventarios analizados son mayoritariamente aéreos o anfibios. El primero de estos grupos (Leones, Lindaraja y Guitarra Sur) engloban muestras recolectadas durante el otoño que se caracterizan por presentar *Apatococcus* y *Myxosarcina*, además de la ausencia de *Chlorosarcinopsis* minor. El mayor grupo de inventarios (Lindaraja, Leones y Cuarto Dorado), de aparición preferentemente invernal y de ecología aérea, se caracteriza por la presencia de *Chlorosarcinopsis* minor, presentando otras especies generalmente resistentes a la desecación tales como *Symploca elegans*, *Schizothrix*, *Poloidion*, etc.

Los inventarios procedentes del pilar de los Baños de Comares, se aíslan del resto ya que muestran una composición florística claramente diferenciada, caracterizada por la presencia de *Chlorococcum* y *Diademsis*.

La estacionalidad de las formaciones se encuentra fuertemente condicionada por los tratamientos de limpieza, como se puede observar en la figura 4. En la misma llama la atención el escaso desarrollo del conjunto de las comunidades durante primavera, y también durante el verano en los casos de costras y pústulas. Como hemos indicado en numerosas ocasiones, los procesos de limpieza se centran en este período, cesando o disminuyendo su intensidad en otoño e invierno, por lo que aparentemente la mayoría de las formaciones adquieren su mayor desarrollo durante esta época.

DISCUSIÓN

A. Distribución de las comunidades

Las comunidades algales que se desarrollan sobre la superficie pétreo de las fuentes son, en muchos aspectos, comparables a otras comunidades epilíticas que crecen en ecosistemas naturales, tanto en ambientes rezumantes como en ríos. Quizás sean las comunidades que forman las pústulas y las películas las más difícilmente comparables con aquellas que se encuentran en los sistemas naturales, ya que su desarrollo es más rápido y su estructura más frágil, de forma que las interacciones con otros organismos pueden destruirlas fácilmente. El rasgo más destacable de las pústulas es su

naturaleza efímera, por lo que difícilmente son observadas en ambientes naturales. Entre las estudiadas en estos sistemas destacan las constituidas por algas verde azuladas (*Chamaesiphon*, *Pleurocapsa*, y *Chlorogloea* fundamentalmente), las dos primeras especies son frecuentes en arroyos sobre la superficie de las piedras (BACKHAUS, 1973; KANN, 1948; KAWECKA, 1980 etc.), si bien *Chamaesiphon polonicus* suele aparecer con cierta frecuencia sobre superficies rezumantes o en paredes verticales interiores, donde el nivel de agua es variable. Menos referencias aparecen sobre las pústulas de algas verdes, caracterizadas por la presencia de especies de *Chlorosarcinopsis* y *Tetracystis*, cuyas poblaciones generalmente colonizan suelos (FRIEDMANN ET AL., 1967; METTING, 1981) que al igual que en los casos anteriores pueden ir acompañadas de algunas especies de naturaleza filamentosa. Las pústulas de diatomeas son escasas y solo merece la pena resaltar el caso de *Gomphonema olivaceum*, que llegan a formar pústulas de hasta 3 cm de diámetro, de nuevo esta situación suele darse en aguas de arroyos al principio de primavera (MARGALEF, 1983), si bien en nuestro caso su presencia se prolongó hasta principios de otoño.

Las películas, como una fase más extensa del desarrollo de las pústulas, presentan en general una composición taxonómica similar a éstas, si bien muestran una mayor complejidad estructural. En ambos casos el análisis de la variación estacional revela que durante primavera y verano son más abundantes las especies de naturaleza mucilaginoso y compactante, mientras que en otoño e invierno aumenta la proporción de especies filamentosas. Esta observación se debe analizar en el inarco del presente trabajo, donde la limpieza de las fuentes es mucho más intensa durante primavera y verano, cuando el crecimiento algal es mayor (Fig.4), mientras que durante el resto del año los períodos de limpieza se espacian considerablemente, permitiendo un mayor crecimiento de éstas especies (BOLIVAR Y SÁNCHEZ CASTILLO, 1996). Las películas de *Chlorogloea* que se desarrollan en los ambientes anfibios de las fuentes estudiadas son comparables a ciertas comunidades epilíticas que se desarrollan en litorales lacustres descritas por KANN (1959). Ambas situaciones tienen en común el carácter fluctuante de la capa de agua que las cubre. Además de esta especie, ambas comunidades comparten la presencia de especies de los géneros *Pleurocapsa* y *Chamaesiphon*.

Los tapetes que se desarrollan en las fuentes son comunidades de mayor complejidad, comparables a otras descritas para lagos, arroyos y ríos. La inestabilidad hídrica característica de los sistemas estudiados, donde se alternan períodos de sequía con otros de aguas estancadas, con o sin

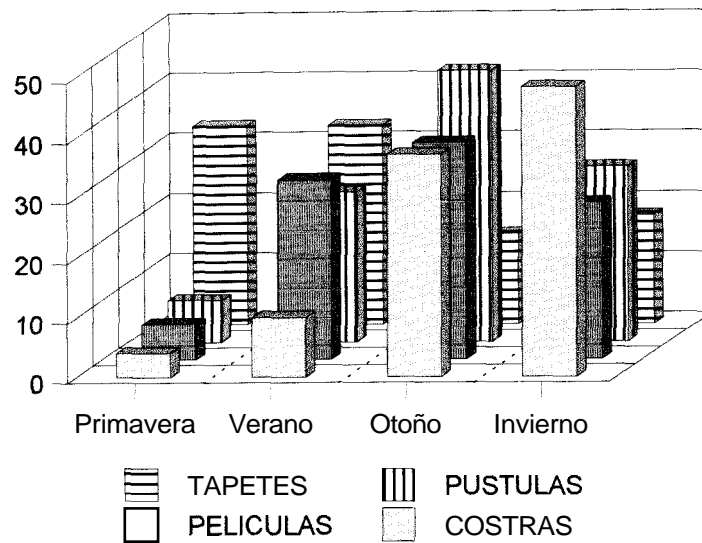


FIGURA 4. Variación estacional de las formaciones algales estudiadas.
 FIGURE 4. Seasonal changes in the algal formations distinguished

escorrentía manifiesta (muy variable en los distintos modelos de fuentes) hace que las comunidades estudiadas tengan puntos en común tanto con aquellas propias de ríos como de lagos. Si esta situación es general para el conjunto de las comunidades estudiadas, se hace especialmente patente en el caso de los tapetes. La importancia de las vainas en la compactación y constitución de estas comunidades se pone de manifiesto en la figura 3.4.

Entre los constituyentes de las comunidades tapizantes son muy abundantes las especies del género *Phormidium*, las cuales aparecen tanto en ríos como en lagos. WESTLAKE ET AL. (1972) describe una comunidad tapizante de nódulos silíceos, que se desarrolla durante el verano, constituida por *Phormidium incrustatum*/*Homeothrix crustacea* con *Pleurocapsa* y *Chanzaesiphon*, composición muy similar a la comunidad encontrada en los tapetes sumergidos-reófilos encontrados durante el verano en las fuentes, constituida por *Phormidium favosum*, *Pleurocapsa minor*, *Chamaesiphon polonicus* y *Pleurastrum sp.* Ambas comunidades son similares a las incrustantes definidas por Fritsch (ROUND, 1981). Similar fenología presentan los tapetes donde *Pleurocapsa minor* y *Symploca muralis* constituyen el entramado sobre el que se desarrolla la comunidad. La presencia de estas comunidades durante el verano, cuando los esfuerzos de limpieza sobre estas fuentes son máximos, pone de manifiesto la capacidad de crecimiento de los organismos que las constituyen. La calcificación que sufren estas comunidades, al

menos en su parte basal, pueden ayudarles a mitigar los efectos de las limpiezas, tanto mecánicas como químicas. Por otra parte también se podría explicar el desarrollo de estas formaciones por la ausencia de depredadores como ocurre en los ambientes extremos donde suelen darse este tipo de formaciones, son los casos de las fuentes termales y los ambientes hiperhalinos (STOCK & WARD, 1991).

Especialmente llamativos son los tapetes de coloración rosácea que desarrolla *Schizothrix gomontii*, una situación similar también se ha descrito en comunidades rivulares, donde HUGHES & WHITTON (1972) describen superficies de color escarlata en el fondo de un arroyo debido al crecimiento de otra especie del mismo género: *S. lardaceae*.

Las costras constituyen unas comunidades pluriestratificadas donde alternan capas minerales (Carbonato cálcico) y estratos algales. Al igual que los estromatolitos, las costras tienen un origen biosedimentario, resultando de la interacción de las algas y los procesos de sedimentación (WRAY, 1977). Dado su origen biosedimentario, las costras que se desarrollan en las fuentes estudiadas podrían considerarse como estromatolitos en un sentido amplio (GOLUBIC, 1990), nosotros preferimos denominar a estas comunidades con el término costras estromatolíticas, ya que resulta más descriptivo.

Los dos tipos de costras que se diferencian en este trabajo se diferencian por los siguientes caracteres: morfología, composición específica y localización. De este modo las

costras laminadas, de ecología sumergida y constituidas fundamentalmente por *Chlorosarcinopsis minor* (Fig. 3.1) se podrían relacionar con los procesos de carbonatación espontánea que se producen en la cabecera de los ríos (GOLUBIC, 1973), donde predomina la precipitación espontánea de carbonato cálcico, cubriendo la comunidad de forma inespecífica. Por el contrario las costras nodulosas, serían similares a los fenómenos que se producen en las zonas de flujo intermedio de los ríos, donde la precipitación espontánea disminuye y el proceso de carbonatación está condicionado por la contribución específica de la comunidad algal, el resultado de este proceso es la formación de nódulos, corresponderían con las costras nodulosas que se describen en este trabajo. Estas comunidades incrustantes estudiadas en las fuentes de la Alhambra están formadas fundamentalmente por el alga verde *Poloidion didymos* y las cianofíceas *Chlorogloea microcistoides* y *Chroococcidiopsis sp.*

B. Desarrollo y sucesión de las comunidades.

Tanto el desarrollo como la sucesión de estas comunidades se encuentra condicionado por la periodicidad de los tratamientos biocidas físicos y/o químicos que sufren las fuentes estudiadas. Dichos tratamientos se desarrollan con mayor frecuencia durante primavera y verano, épocas en las que su desarrollo es más conspicuo. Paradójicamente los tapetes presentan mayor desarrollo durante estos períodos. Esta situación se puede explicar debido a que los tapetes y las costras se desarrollan preferentemente en huecos, relieves y otros microespacios inaccesibles o que pasan desapercibidos a los tratamientos comentados.

Para establecer las relaciones entre las distintas comunidades observadas en estas fuentes monumentales se ha realizado un análisis de agrupación sobre el total de los inventarios de pústulas, películas, tapetes y costras. A partir de los resultados de dicho análisis se pueden establecer dos grandes grupos de comunidades, en las cuales se mezclan los inventarios de todas las formaciones estudiadas. Esto nos indica, como ya hemos comentado, que no se trata de formaciones estables o maduras, sino que realmente representan distintas fases de desarrollo de comunidades más complejas que no llegan a completar su máxima complejidad estructural. Uno de los grupos se establece en torno a *Chlorosarcinopsis minor*, el cual se estructura, fundamentalmente, en forma de películas y costras. Asociadas a ella se disponen parte de los inventarios de las comunidades de *Apatococcus* y *Poloidion*, fundamentalmente los de carácter aerófilo/anfibio. Estos inventarios muestran mayor afinidad con los tapetes mucosos de *Symploca muralis* que formarían parte de este grupo de

comunidades caracterizadas por la presencia de *C. minor*. En resumen, la variabilidad observada en torno a esta macrocomunidad de *Chlorosarcinopsis minor* se puede concretar en los siguientes estadios: a) pústulas con *P. favosum* y *Symploca muralis*, b) películas con *S. muralis*, c) tapetes mucosos con distintas especies de *Phormidium*, d) tapetes mucosos con *S. muralis* y c) costras con especies de *Scenedesmus* y *Tetracystis*.

El otro gran grupo de comunidades se estructura en torno a *Pleurocapsa minor*, la cual muestra un amplio rango ecológico, desde los inventarios más aéreos donde predominan las especies de cianofíceas con vaina conio las de los géneros *Chlorogloea*, *Aphanothece* y *Myxosarcina*, hasta los tapetes fibrosos sumergidos reófilos donde son las especies de *Cladophora* y *Melosira* las más frecuentes. De forma resumida esta comunidad constituye las siguientes formaciones: a) pústulas con *Pleurastrum* y varias especies de *Symploca*, b) películas con *Chamaesiphon polonicus* y *P. favosum*, entre cuyos inventarios suelen situarse las películas de la comunidad de *Chlorogloea* y parte de las costras que generan éstas últimas películas, c) tapetes con diversas especies de *Phormidium*, *Pleurastrum sp.* y *C. polonicus*, d) tapetes fibrosos donde intervienen *Melosira varians* y *Cladophora glomerata*.

La figura 5 representa, de forma esquemática, la sucesión descrita en las comunidades estudiadas. Los primeros estadios de desarrollo son de carácter microscópico, y sólo cuando alcanzan un suficiente grado de desarrollo empiezan a ser diferenciables a simple vista. En los ambientes sumergidos son frecuentes pústulas y películas constituidas por especies de biotipos gelatinoso y compactante, mientras que en los aéreos son más frecuentes los de especies de biotipo filamentosos y/o gelatinoso. Sobre películas de ambas naturalezas se puede producir una mayor complicación de su estructura, mediante adición de nuevos estratos, constituyendo los tapetes. La diferenciación de tapetes mucosos o fibrosos viene dada en base a la participación de filamentos con o sin vaina, siendo los primeros frecuentes en ambientes aéreos/anfibios, mientras que los segundos suelen desarrollarse en ambientes sumergidos. Mediante procesos de carbonatación se desarrollarán los diferentes modelos de costras; las nodulosas en ambientes fundamentalmente aéreos, mientras que las planas suelen aparecer en ambientes sumergidos en aguas que aportan partículas minerales de forma continuada.

Al estar las fuentes monumentales estudiadas sometidas a limpiezas periódicas se produce un proceso cíclico de maduración, aparente desaparición y recolonización por parte de las distintas formaciones estudiadas. A estas situaciones de limpieza están asociadas las comunidades menos complejas

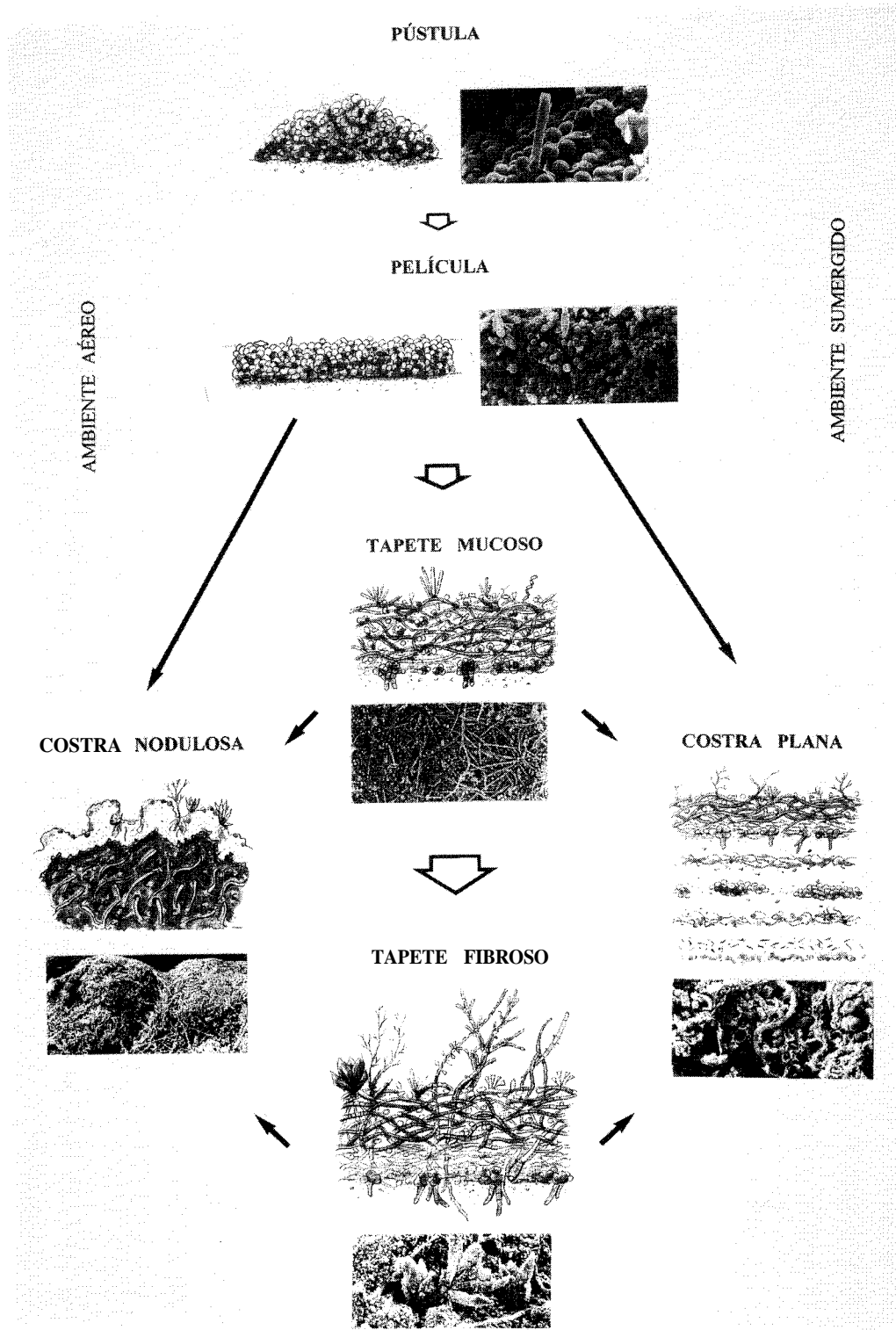


FIGURA 5. Esquemático del proceso de colonización en ambientes aéreos y sumergidos.
 FIGURE 5. Diagrammatic representation of the colonization process in the submerged and aerial locations

(pústulas y películas), mientras que en las zonas menos tratadas o en los períodos de cese de las limpiezas es cuando se desarrollan las comunidades que generan mayor biomasa (tapetes) o que favorecen los procesos de mineralización (costras estromatolíticas).

REFERENCIAS

- ANAGNOSTIDIS, K; ECONOMOU-AMILLI, A AND M. ROUSSOMOUSTAKAKI, 1983. Epilithic and chasmolithic microflora (Cyanophyta, Bacillariophyta) from marbles of the Parthenon (Acropolis-Athens, Greece). *Nova Hedwigia*, 38: 227-287.
- BACKHAUS, D. 1976. Beitrage zur Okologie der benthischen Algen des Hochgebirges in den Pyrenaeen. *Cyanophyceen und ubrige Algen-gruppen*. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 61: 471-516.
- BAILEY, D., A.P. MAZURAK AND J.R. ROSOWSKI, 1973. Aggregation of soil particles by algae. *J. Phycol.* 9: 99-101.
- BOLÍVAR, F.C. AND P.M. SÁNCHEZ-CASTILLO. 1995. Preliminary results on the study of the algal biodeterioration within the Alhambra (Granada, Spain). In: Bouscher, Chandra & Edyvean (Eds): *Biodeterioration and Biodegradation*, 9: 210-215.
- BOLIVAR, F.C. & P.M. SÁNCHEZ CASTILLO, 1996. Evaluación de los tratamientos algicidas realizados en la Alhambra. En: Sebastian, Valverde & Zezza (Eds). *Restoration of Buildings and Architectural Heritage*, 494-499.
- BOLÍVAR, F.C. & P.M. SÁNCHEZ CASTILLO, 1997. Biomineralization Processes in the Fountains of the Alhambra, Granada, Spain. *Int. Biodeterioration & Biodegradation*, 40: 205-215.
- DANIN, A. AND G. CANEVA, 1990. Deterioration of limestone walls in Jerusalem and marble monuments in Rome caused by Cyanobacteria and Cyanophilous lichens. *Int. Biodeterioration*, 26: 397-417.
- DIXON, W.J., M.B. BROWN, L. ENGELMON & R.I. JENNRICH. 1990 *BMDP Statistical Software Manual*. University of California Press. Berkeley.
- FOGED, N., 1976. Diatoms from the Alhambra, Granada, Spain. *Nova Hedwigia*, 27 (314): 881-901.
- FOGED, N., 1983. Diatoms of fountains, reservoirs and some other humid and dry localities in Rome (Italy). *Nova Hedwigia*, 38: 433-470.
- FRIEDMANN, E.I., 1971. Light and scanning electron microscopy of the endolithic desert algal habitat. *Phycol.* 10 (4): 411-428.
- FRIEDMANN, E.I., Y. LIPKIN AND R. OCAMPO-PAUS. 1967. Desert algae of the Negev (Israel). *Phycologia*, 6: 185-200
- GIOCOBINI, C. & M.R. GIULIANI, 1987. *Analisi Biologiche*. In: Tolomeo Speranza, M. G. *Il restauro della "Barcaccia" in Piazza di Spagna*. La Repubblica. Assessorato alla Cultura. Coinune di Roma. pp 39-40.
- GOLUBIC, S. 1973. The relationship between blue-green algae and carbonate deposits. In: Carr, N.G. & B.A. Whitton. *The biology of blue-green algae*. Ed. Blackwell. Oxford.
- GOLUBIC, S., 1990. *Modern Stromatolites: A Review*. In: R. Riding (Ed). *Calcareous Algae and Stromatolites*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- GOLUBIC, S., I. FRIEDMANN AND J. SCHNEIDER, 1981. The lithobiontic ecological niche, with special refereiice to microorganisms. *J. Sed. Petrol.*, 51 (2): 475-478.
- HERNÁNDEZ MARINÉ, C., J.J. ORTEGA CALVO AND C. SÁINZ JIMÉNEZ, 1992. El microscopio electrónico de barrido como instrumento de estudio del biodeterioro de obras de arte. En: Vílchez, J. & A. López. *Microscopía Electrónica*. Ed. Universidad de Cádiz.
- HUGHES, M.K. & B.A. WITTON, 1972. Algae of slapestone sike, Upper Teesdale. *Vasculum*, 67: 30-35.
- KANN, E. 1948. Tipification of Austrian stream algae. *Vehr. Intern. Verein Limnol.*, 20: 1523-1526
- KANN, E. 1959. Die eulittorale algenzone im Traunsee. *Arch. Hydrobiol.*, 55: 129-192.
- KAWECKA, B. 1980. Sessile algae in European mountain streams. I. The ecological characteristics of communities. *Acta Hydrobiol.*, 22: 361-420.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Ed Omega. Barcelona.
- METTING, B. 1981. The systeintatics and ecology of soil algae. *The Botanical Review*, 47: 195-312.
- ORTEGA CALVO, J.J., M. HERNÁNDEZ MARINÉ Y C. SÁINZ JIMÉNEZ, 1991. Biodeterioration of building materials by Cyanobacteria and algae. *International Biodeterioration*, 28 (114): 165-185.
- ORTEGA CALVO, J.J., P.M. SÁNCHEZ CASTILLO, M. HERNÁNDEZ MARINÉ Y C. SÁINZ JIMÉNEZ. 1993. Isolation and characterization of epilithic chlorophytes and cyanobacteria from two spanish cathedrals (Salamanca and Toledo). *Nova Hedwigia*, 57 (112): 239-253
- RICCI, S. AND A. M. PIETRINI, 1994. Caratterizzazione della inicroflora algale presente sulla Fontana dei Quattro Fiumi, Roma. III Int. Symp. On the Consaervation of Monumeiits in the Mediterranean Basin, 353-357.
- ROUND, F.E. 1981. *Ecology of algae*. Cambridge University Press. Cambridge.

SÁNCHEZ CASTILLO, P.M., 1981. Cianofitas de la ciudad de Granada. Trab. Dept. Bot. Univ. Granada. Vol. 6: 29-48.

SÁNCHEZ CASTILLO, P.M., 1983. Clorofitas de la ciudad de Granada. Trab. Dept. Bot. Univ. Granada. Vol. 7: 63-79.

STOCK, M.S. & A.K. WARD. 1991. Blue-green algal mats in a small stream. J. of Phycology, 27(6): 692-698.

WESTLAKE, D.F., H. CASEY, M. LADLE, R.H. MANN, & A.F. MARKER. 1972. The chalk stream ecosystem. In: Zajak, Z. & H. Ilkowska. Productivity problems of freshwaters. IBP-UNESCO.

WRAY, J. L. 1977. Calcareous Algae. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.