

CIANOFÍCIES I ALGUES AEROFÍTIQUES DE SUBSTRATS CARBONATATS

X. ARIÑO¹, A. CANALS¹ & M. HERNÁNDEZ-MARINÉ²

ABSTRACT

Atmophytic Cyanophyta and Algae from limestone substrata

The walls of caves and tombs support an abundant colonization of light-dependent organisms. A total of 4 liverworts, 3 mosses, 7 lichens and 28 cyanophyta and algae are reported from 3 collecting sites. The development and specific composition of these organisms is related to microclimatic parameters. Opportunistic species present in soils are found on the mouth of hypogean niches. Light attenuation allows the development of calcifying cyanophyta following a successional pattern, each level having a different dominant species. Communities dominated by *Scytonema julianum* are replaced by *Herpyzonema pulverulentum* and, towards the less illuminated area, by *Geitleria calcarea* and *Loriella* sp.

Key words: Caves, Light attenuation, Non vascular plants, Colonization, Calcifying cyanophyta, *Scytonema julianum*, *Herpyzonema pulverulentum*, *Geitleria calcarea*, *Chlorophyta*, Diatoms, Microclimatic gradient.

Introducció

Les algues solen ser conegudes com a organismes aquàtics, malgrat que ocupen una gran varietat d'hàbitats terrestres, on poden arribar a ésser els únics productors primaris i on la seva importància ecològica és notable. Les trobem en diversos ambients, incloent-n'hi alguns de molt hostils, com els deserts, ja siguin càlids o freds, o certs hàbitats extrems caracteritzats per baixes intensitats de llum i de temperatura, amb fluctuacions freqüents, cosa que contrasta amb la major estabilitat dels ambients aquàtics (HOFFMANN, 1989).

Les coves i, en general, els ambients hipogeus es caracteritzen perquè presenten una zona externa, amb fortes variacions de llum, de temperatura i d'humitat ambiental, similars a les de l'exterior, i una zona interna estable. S'hi desenvolupen comunitats ben delimitades, seguint els gradients que s'hi estableixen. L'entrada de la cavitat és colonitzada per la vegetació heliòfila pròpia de l'entorn,

¹ Departament de Biologia Vegetal (Botànica), Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645. E-08028 Barcelona.

² Departament de Productes Naturals, Biologia Vegetal i Edafologia (Botànica), Facultat de Farmàcia. Av. Joan XXIII, s/n. E-08028 Barcelona.

mentre que a les zones menys il·luminades només hi poden créixer algunes algues microscòpiques o cianofícies molt especialitzades, que es caracteritzen perquè precipiten cristalls de calcita i tenen una estructura microfruticulosa. Totes, pel fet de viure en un ambient de difícil accés, han estat poc estudiades, encara que darrerament han rebut una certa atenció, tant en l'aspecte taxonòmic (HERNÁNDEZ-MARINÉ & CANALS, 1994a, b) com en l'ecològic (ABOAL *et al.*, 1994).

Mostreig

Des de l'any 1988 hem estudiat cavitats naturals i fabricades per l'home, en substrats carbonatats, al nord, sud i est de la península Ibèrica (figura 1), que presenten diferents graus de colonització.



Figura 1. Localització dels punts d'estudi.

Map with the localities sampled.

– A la província d'Oviedo (Ribadesella) vam estudiar la cova de “Tito Bustillo”, situada en una zona càrstica just al costat del mar. És una cova activa, de grans dimensions, que conté importants mostres d'art rupestre. La instal·lació de llum artificial al principi de la dècada dels setanta ha portat associada una incipient colonització d'algues i briòfits.

– A la província de Sevilla vam estudiar nombroses cavitats excavades a la calcarenita, que formen part del conjunt de la necròpolis romana de Carmona. Com a cavitat model vam prendre l'anomenada “Mausoleo Cuadrangular”, descoberta l'any 1890. Les cavitats solen tenir de tres a quatre metres de fondària i tres a cinc de longitud.

– A la província de Barcelona vam estudiar alguns avencs de la zona càrstica del Garraf. Com a model vam escollir els avencs anomenats de la “Papallona” i d’“Amat i Pagès”. Són cavitats poc o gens alterades, a causa del seu difícil accés.

Mètodes

La zona mostrejada segueix el gradient d'intensitat lluminosa des de l'entrada fins al límit de la zona fòtica. En el cas de Tito Bustillo va ser mostrejada l'àrea d'influència dels focus de llum. La identificació dels organismes es va realitzar a partir de les mostres de camp i també dels aïllaments obtinguts en cultiu en plaques de Petri amb medi nutritiu estàndard BG11 (RIPPKA *et al.*, 1972) i BBM (NICHOLS, 1973). Vam obtenir els cultius dipositant petits fragments de rostes o clapes acolorides sobre plaques de Petri amb medi solidificat amb agar (ADSA-MICRO) a l'1,8%. Després, vam ressebrar els filaments individuals o les colònies aïllades en altres plaques per tal d'obtenir cultius unialgals. Finalment, vam mantenir els cultius a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ i a una intensitat llumínica contínua de $30 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Resultats i discussió

Els organismes identificats en les tres àrees estudiades es relacionen a la taula 1. S'hi troben, tant els que es poden identificar en les mostres de camp (*Scytonema julianum* (Kütz.) Menegh., o *Orthoseira roseana* (Rabenh.) O'Meara) com els que només ho poden ser en els cultius, ja que necessitem conèixer el seu cicle vital (*Chlorosarcina*). La major part corresponen a cianofícies, que a més de dominar en biomassa també ho fan en diversitat. Les clorofícies es comporten, en general, com a oportunistes, i la majoria de tàxons corresponen a algues edàfiques que aprofiten puntualment les condicions adequades per créixer. La flora algal de les coves es caracteritza per una diversitat relativament elevada, fet que està lligat al gradient de les condicions microclimàtiques. A les zones externes de la cavitat, la flora consta d'espècies aerofítiques que es poden considerar com a ruderals, mentre que a mida que s'entra a la cavitat i van variant les condicions microclimàtiques (disminució de llum, augment de la humitat relativa i estabilitat de la temperatura), s'hi van instal·lant un grup de cianofícies filamentoses molt especialitzades en aquest tipus d'ambient, anomenades calcificants (representades principalment per *Scytonema julianum* (figs. 2 i 3), *Herpyzonema pulverulentum* Hernández-Maríné & Canals (fig. 3), *Geitleria calcarea* Friedmann (fig. 4) i *Loriella* sp. entre d'altres), que es caracteritzen perquè precipiten cristalls de carbonat càlcic al voltant de la beina mucilaginosa, originant una capa externa de cristalls de calcita. *S. julianum* ha estat citat amb freqüència de coves i ambients hipogeus (ABOAL *et al.* 1994; COUTÉ, 1985; HERNÁNDEZ-MARINÉ & CANALS, 1994a; HOFFMANN, 1989), i en algun cas de cavitats excavades per l'home (PIETRINI & RICCI, 1993). *G. calcarea* és molt més exigent i està restringida a la superfície de la roca situades vora el límit de la zona fòtica. Té una distribució amb clara tendència cap a les zones subtropicals i temperades (HOFFMANN, 1989). Les localitats de Carmona i Tito Bustillo són noves cites per a la península Ibèrica i amplien la seva àrea de distribució. En el cas de *Loriella* sp. i *H. pulverulentum*, les localitats

que aquí citem són les úniques conegudes arreu, d'on va ser descrita la darrera (HERNÁNDEZ-MARINÉ & CANALS, 1994b).

Taula 1. Cianofícies i algues identificades a les tres zones d'estudi.
List of identified cyanophytes and algae.

Cianofícies i algues identificades	Tito Bustillo	Carmona	Garraf
CIANOFÍCIES			
<i>Chroococcus minor</i> (Kütz.) Näg.		*	
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz.) Näg.			
<i>Cyanosarcina parthenonensis</i> Anag.		*	*
<i>Geitleria calcarea</i> Friedmann	*	*	*
<i>Gloeocapsa</i> sp.			*
<i>Gloeotheca</i> sp.	*	*	
<i>Herpyzonema pulverulentum</i> Hernández-Mariné & Canals			*
<i>Hyella</i> cf. <i>fontana</i> Huber & Jadin		*	*
<i>Leptolyngbya</i> sp.pl.			*
<i>Loriella</i> sp.		*	*
<i>Plectonema boryanum</i> Gom.		*	*
<i>Plectonema purpureum</i> Gom.		*	*
<i>Plectonema</i> sp.			*
<i>Pseudocapsa dubia</i> Printz	*	*	
<i>Scytonema arcangelii</i> Born. & Flah.			*
<i>Scytonema crispum</i> (Ag.) Born.			*
<i>Scytonema julianum</i> (Kütz.) Menegh.	*	*	*
<i>Stigonema minutum</i> (Ag.) Hass.			*
<i>Synechococcus elongatus</i> Näg.		*	
<i>Tolypothrix discoidea</i> (Gardner) Geitler			*
CLOROFÍCIES			
<i>Chlorosarcina</i> sp.		*	
<i>Choricystis chodatii</i> (Jaag.) Fott		*	*
<i>Chlorella</i> sp.pl.			*
<i>Stichococcus bacillaris</i> Näg.		*	*
<i>Trentepohlia</i> sp.pl.		*	*
DIATOMEES			
<i>Orthoseira roseana</i> (Rabenh.) O'Meara			*
<i>Navicula contenta</i> Grun.			*
<i>Navicula mutica</i> Kütz.		*	

A la cova de Tito Bustillo, la comunitat es va trobar molt poc desenvolupada i molt localitzada al voltant dels focus de llum; es tractava de poblacions gairebé monoespecífiques, formades per *S. julianum* i, de manera puntual, per d'altres membres de la comunitat com *G. calcarea* i *Gloeotheca* sp. El curt període de temps transcorregut des de la possible colonització (aproximadament vint anys), així com l'absència d'un gradient microclimàtic (ja que només hi ha canvis en la radiació lluminosa) poden ser les causes que fan impossible una complexitat més gran de la comunitat. No obstant, és interessant comprovar que espècies restringides a aquests ambients tan particulars, com *G. calcarea*, tenen mecanismes de dispersió prou eficaços, bé que desconeguts, per fer possible la colonització de nous ambients en períodes de temps relativament curts.



Figura 2. *Scytonema julianum*. Filaments calcificats procedents de la boca de la cova Amat i Pagès, al microscopi electrònic de rastreig (com també les figures 3 i 4). Barra = 500 mm.

Scytonema julianum. Calcified filaments from the entrance of the "Amat i Pagès" cave. Bar = 500 mm.

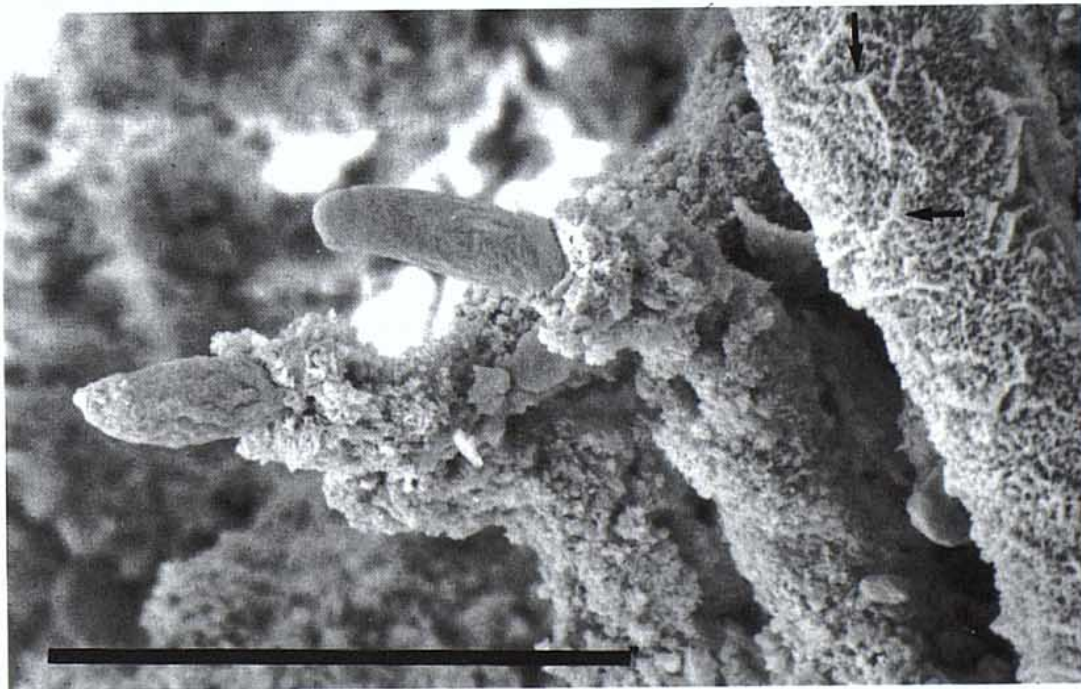


Figura 3. *Herpyzonema pulverulentum* amb els àpexs sense calcificar i un tros de la beina de *Scytonema julianum* amb els típics cristalls triradiats (fletxes). Barra = 50 mm.

Herpyzonema pulverulentum with non calcified tips and a sheath fragment of *Scytonema julianum* with the typical triradiate crystals (arrows). Bar = 50 mm.

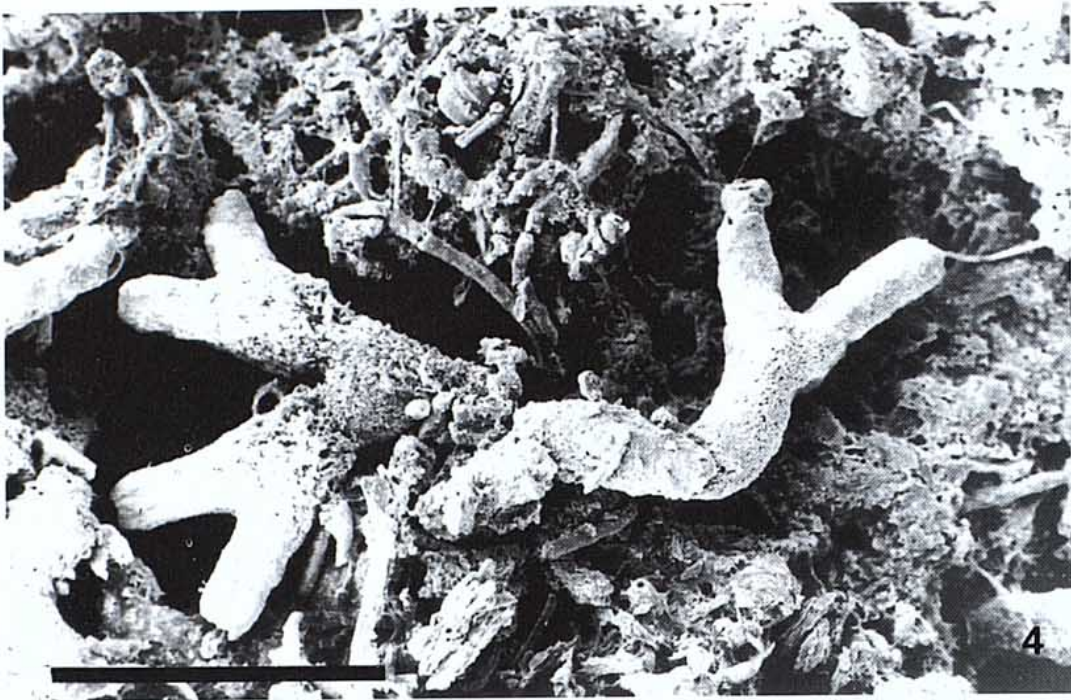


Figura 4. *Geitleria calcarea* mostrant les ramificacions veritables en forma de V. Barra = 100 mm.

Geitleria calcarea with true V-branching. Bar = 100 mm.

A la cavitat del Mausoleo Cuadrangular, de la necròpolis de Carmona, les parets estaven totalment colonitzades per organismes fotòtrofs. Hi vam observar un gradient, tant de llum com d'humitat i de temperatura, des de l'entrada de la cavitat fins al fons, el qual repercuteix directament en la composició de la comunitat colonitzadora. Hi observarem dues zones principals. La primera és la més propera a l'entrada i encara rep una bona il·luminació. La comunitat hi era dominada per *S. julianum*, junt amb alguns líquens com *Botryolepraria lesdainii* (Hue.) Canals, Hernández-Mariné, Gómez-Bolea & Llimona i molses (*Fissidens* sp.). La segona zona correspon al fons, amb una radiació lluminosa d'entre 2 i 5 mmol.m⁻².s⁻¹, on la comunitat era dominada per *G. calcarea* i on apareixia, per bé que esporàdicament, una altra cianofícia filamentosa, *Loriella* sp. Evidentment, existeix una zona de transició entre ambdues comunitats. A totes dues zones s'hi observen altres tàxons associats, com *Gloeotheca* sp., *Plectonema* sp.pl. i *Synechococcus elongatus* Näg., formant un recobriment mucilaginos a la base dels filaments calcificats.

Als avencs naturals de la Papallona i d'Amat i Pagès dels massís del Garraf, les comunitats es troben perfectament desenvolupades i estratificades, seguint el gradient microclimàtic. Aquí es poden distingir tres nivells principals, de profunditat variable segons la seva orientació sigui a solell o a obac. A la zona propera a l'entrada, amb temperatures diürnes elevades i bona il·luminació però sense insolació directa, són freqüents comunitats de líquens i briòfits i grans taques taronja de diverses espècies de *Trentepohlia*. La presència d'aquesta alga té un paral·lelisme amb la de molts líquens, que la tenen com a ficosimbiont: *Lithotelium triseptatum*

(Nyl.) Aptroot, *Ramonia calcicola* Canals & Gómez-Bolea, *Encephalographa ellisae* Massal., *Strigula calcarea* Bricaut et Roux, *Strigula porinoides* Canals et al. o *Petractis thelotremella* (Bagl.) Vezda. Els briòfits més comuns són les hepàtiques *Marchesinia mackaii* (Hook.) Gray, *Lejeunea cavifolia* (Ehrh.) Lindb. emnd. Bouch., *Cololejeunea rossetiana* (Mass.) Schiffn., i *C. calcarea* (Liber) Schiffn., i les moltes *Fissidens viridulus* (Sw.) Wahlenb., *Homalia lusitanica* Schimp. i *Brachythecium* sp. Barrejades amb aquestes comunitats hi ha *Scytonema julianum* i altres cianofícies com *Stigonema minutum* (Ag.) Hass. i *Tolypothrix discoidea* (Gardner) Geitler. Per sota, on disminueix o és absent *S. julianum*, i ja protegides dels canvis ambientals, es troben *Herpyzonema pulverulentum* o *Plectonema purpureum* Gom. formant una banda de transició fins al nivell més intern, on la il·luminació és molt tènue i es produeix una gran estabilitat ambiental. En aquesta darrera zona hi creixen *Geitleria calcarea* i *Loriella* sp. Cal destacar que aquestes comunitats absorbeixen l'aigua del substrat i no s'instal·len a les zones en què es produeix degoteig o traspuament d'aigua, on creixen, en canvi, altres espècies oportunistes, tant de cianofícees com de clorofícees.

Les tres àrees estudiades es caracteritzen per unes condicions similars. El gradient de condicions microclimàtiques, que arriba fins a l'extinció en el cas de la llum, una humitat relativa estable, al voltant del 90-100%, i una temperatura també estable que només experimenta petites oscil·lacions al llarg de l'any (dades no mostrades aquí) afavoreixen la instal·lació de les diferents espècies. L'elevada humitat ambiental fa que la pedra estigui constantment humida, a causa de la seva hidroscoïplicitat, ja que l'absència de perturbacions facilita la immobilitat de la capa d'aire just en contacte amb la superfície de la pedra. Això es confirma pel fet que a les zones de les cavitats on hi ha corrents d'aire, la pedra està més seca i la comunitat no s'hi desenvolupa.

Els organismes colonitzadors mostren un elevat grau d'especialització a aquests ambients. La composició de les comunitats és molt semblant a les tres àrees de mostreig, encara que es trobin en diferents graus de desenvolupament, a causa de les seves característiques intrínseques. La superioritat adaptativa de les cianofícies és força evident, no tan sols pel més gran nombre de tàxons sinó per la dominància en el recobriment. En general, és coneguda la seva capacitat per colonitzar ambients de condicions extremes (WHITTON, 1992), però no sempre en coneixem les estratègies adaptatives que ho fan possible. En el cas de les que habiten a les coves no sabem pas quin ha de ser l'avantatge que suposa, en ambients aerofítics, la precipitació de carbonat càlcic associat a canvis en el pH deguts a la respiració, fet que, per altra part, es ben conegut en ambients aquàtics (MERZ, 1992).

Bibliografía

- ABOAL, M.: ASENCIO, A.D. & PREFASI, M. 1994 - Studies on cave cyanophytes from southeastern Spain: *Scytonema julianum*. *Algological Studies*, 75: 31-36.
- COUTÉ, A. 1985 - Preliminary comparative study of two calcareous cyanophytes from caves. *Geitleria calcarea* Friedmann and *Scytonema julianum* Meneg. *Arch. Hydrobiol.*, 71: 91-98.
- GOLUBIC, S. 1973 - The relationship between blue-green algae and carbonate deposits. In *The Biology of Blue Green Algae* (N.G. CARR & B.A. WHITTON, eds.), Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. & CANALS, A. 1994a - Cianofíceas filamentosas cavernícolas. *Studia Botanica*, 13: 227-229.
- HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. & CANALS, A. 1994b - *Herpyzonema pulverulentum* (Mastigocladaceae), a new cavernicolous atmophytic and lime-incrusted cyanophyte. *Algological Studies*, 75: 123-136.
- HOFFMANN, L. 1989 - Algae of terrestrial habitats. *The Botanical Review*, 55(2): 77-105.
- MERZ, M.U.E. 1992 - The biology of carbonate precipitation by cyanobacteria. *Facies*, 26: 81-102.
- NICHOLS, H.W. 1973 - Culture mediums for algae. In *Handbook of Phycological Methods* (I.J.R. STEIN, ed.): 7-24. Cambridge Univ. Press.
- PIETRINI, A.M. & RICCI, S. 1993 - Occurrence of a calcareous blue-green alga, *Scytonema julianum* (Kntz.) Meneghini, on the frescoes of a church carved from the rock in Matera, Italy. *Crypt. Bot.*, 3: 290-295.
- RIPPKA, R.; DERUELLES, J.; WATERBURY, J.B.; HERDMAN, M. & STAINER, R.Y. 1979 - Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.*, 111: 1-61.
- WHITTON, B.A. 1992 - Diversity, ecology and taxonomy of the cyanobacteria. In N.H. Mann & N.G. Carr (Eds.): *Photosynthetic Prokaryotes*. Plenum Press. New York. 51 pp.

Rebut / Received: 1-1997