

CULTIVO DE CIANOBACTERIAS DE COSTRAS ALGAL-LIQUÉNICAS DE LAS LOMAS DE PACHACAMAC, LIMA

HAYDÉE MONTOYA T.^{1,2}

JOSÉ GÓMEZ C.²

DARIO MEDINA C.¹

GIOVANNA VERA²

1. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Botánica, Av. Benavides 5400, Surco, Apartado Postal 180131, Lima 33, Perú.

2. Museo de Historia Natural,

Laboratorio Simbiosis Vegetal, UNMSM, Av. Arenales 1256, Apartado Postal 140434, Lima 14, Perú;

3. Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.

RESUMEN

Las comunidades crustáceas de suelos en los ecosistemas desérticos del mundo tienen una microflora peculiar de importancia en la formación y estabilización de los suelos. El desierto Peruano Central se caracteriza por la formación de lomas y costras microbióticas debido a la humedad. Colecciones de talos de las costras desérticas de las lomas de Pachacamac (Jatun Sisa) se realizó en noviembre de 1995 y 1997. Inoculaciones de las costras y cultivos en medios Basal de Bold y N8 se realizaron a temperaturas promedio de 21°C y fueron seguidas hasta 1.5 años. La colonización algal-liquénica de las costras por las cianobacterias *Scytonema crispum*, *Microcoleus vaginatus* y *Nostoc commune* (Scytonemataceae, Oscillatoriaceae y Nostocaceae) y los líquenes *Parmelia* (Parmeliaceae) y *Ramalina* (Usneaceae) caracterizó a las comunidades saxícolas. Los talos cianobacteriales tuvieron mejor desarrollo en el período húmedo (noviembre, 97) y en los cultivos. La variabilidad morfológica de los talos cianobacteriales con el desarrollo de la pared y estuche extracelulares en porciones de talos latentes así como de estadios de resistencia (hormocistos) se presentó en períodos secos (noviembre, 95). La formación de hormocistos de *S. crispum* en la naturaleza y su germinación en cultivos explica la reactivación de estadios de dormancia en condiciones húmedas. Además la capacidad diazotrófica de las especies heterocistadas *S. crispum* y *N. commune* favoreció su colonización y perennización en estos ecosistemas. La plasticidad fenotípica de los talos cianobacteriales en condiciones climáticas fluctuantes en las lomas demostraron su estrategia de tolerancia al estrés hídrico por desecación.

SUMMARY

CYNOBACTERIAL CULTURES OF ALGAL-LICHEN CRUSTS FROM THE LOMAS DE PACHACAMAC, LIMA. Soil crust communities in desert ecosystems have peculiar microflora of relevance in soil formation and stabilization. Central Peruvian desert has the lomas formations due to the moisture period which allows the development of microbiotic crusts. Collections of desert crusts were done at Pachacamac lomas (12° 13'LS) in november 95, 97. Crust inoculations in culture media (Basal Bold, N8) at about 21° C, were followed up to 1.5 year. Algal-lichen crust colonization was formed by the cyanobacteria *Scytonema crispum*, *Microcoleus vaginatus* and *Nostoc commune* (Scytonemataceae, Oscillatoriaceae and Nostocaceae) and the lichens *Parmelia* (Parmeliaceae) and *Ramalina* (Usneaceae) which typified the saxicolous communities. Morphological variability of cyanobacterial thalli with the well-developed cell walls and extracellular sheaths in latent thalli and resistant stages as hormocysts were notorious in dry periods (november 95). Cyanobacterial species had better growth during the moisture period of The Niño Phenomenum (november 97) and in cultures. Nature formation of *S. crispum* hormocysts and their germination in cultures explain the reactivation of dormancy stages under moisture conditions. Besides, the diazotrophic capacity of *S. crispum*, heterocystous species, as well as *N. commune* favours their colonization and perennization in the desert. Therefore, phenotypic plasticity of cyanobacterial thalli under fluctuating climatic conditions in the lomas evidenced their tolerance strategies under stress desiccation. Algal morphological variability and ecological adaptations in saxicolous communities complemented with cultures let us understanding the algal-lichen colonization of tropical desert ecosystems.

INTRODUCCIÓN

El territorio peruano costero comprende una variedad de ecosistemas áridos y semiáridos tropicales entre los cuales se presentan peculiares formaciones vegetales como las lomas favorecidas por la humedad de los frecuentes estratos nebulosos.

Los talos algal-liquénicos colonizan una variedad de hábitats que incluyen a los más extremos como los desiertos que son excluyentes para otros organismos fotótrofos. Las costras desérticas (microbióticas, criptogámicas o cianobacteriales) constituyen

microhábitats terrestres estables con microambientes peculiares con gradientes físico-químicas que ejercen resistencia a las fuerzas erosionales (BELNAP & GARDNER 1993, GARCIA-PICHEL & BELNAP 1996).

Las cianobacterias constituyen componentes dominantes de las comunidades fotosintéticas terrestres (suelos, rocas) de regiones áridas y semiáridas, frías o calientes siendo la cianobacteria colonial *Nostoc commune* considerada como una de los más efectivas sobrevivientes

de nuestro ecosistema (FOREST & WESTON 1966, FRIEDMANN & GALUN 1974, FRIEDMANN 1980, WHITTON 1987). Inicialmente la estabilidad de las costras superficiales terrestres de regiones áridas y semiáridas estuvo asociada con la presencia de algas y en determinadas áreas (Planicie de Colorado, USA) las costras algal-liquénicas constituyen hasta un 70% de la comunidad biótica con la predominancia de la cianobacteria *Microcoleus vaginatus* (SHIELD et al., 1957, ANDERSON & RUSHFORTH 1976, BELNAP 1990). Las costras cianobacteriales modifican la microestructura de los suelos estimulando su estabilidad con la consecuente reducción en la erosión del suelo por aire y agua, favoreciendo la retención de humedad e incrementando su fertilidad (SHIELDS & DURELL 1964, CAMPBELL 1979, BELNAP & GARDNER 1993).

Cianobacterias del desierto de Atacama, norte de Chile, fueron obtenidas en cultivo registrándose las especies *Schizothrix calcicola* (Agardh) Gomont, *Anacystis montana* (Lightf.) Drouet & Daily y *Coccochloris penicystis* Drouet & Daily (FOREST & WESTON 1966). En nuestro país, tres especies de cianobacterias han sido reportadas en los suelos de alrededores de Lima: *M. paludosus*, *Nodularia spumigena* y *Cylindrospermum licheniforme* (ZÚÑIGA 1980).

Debido a la escasa información respecto a las costras algal-liquénicas terrestres en nuestra costa desértica y a sus especies representativas de gran significado ecológico, el presente trabajo (primera parte) presenta algunas estrategias de sobrevivencia de las cianobacterias de las lomas de Pachacamac en poblaciones naturales y de cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las lomas de Pachacamac están localizadas a 42.5 km. al sur de Lima, aproximadamente a 12° 13' LS y 76° 51' LO. Colecciones de costras desérticas fueron realizadas siguiendo la metodología de colección estándar con el raspado de superficies rocosas y del suelo en las lomas de Pachacamac (Jatun Sisa) en noviembre 1, 95 y noviembre 30, 97. Inoculaciones de los talos crustáceos algal-liquénicos fueron realizados en los medios inorgánicos de cultivo Basal de Bold (BISCHOFF & BOLD, 1963) de pH 6.5 - 6.8 y N8 (Instituto del Carbón Biológico de Dortmund) de pH 6.1 - 6.4. Técnicas de aislamiento y subcultivos de las microalgas se realizaron a temperatura promedio de 21°C. La iluminación fue proporcionada por lámparas fluorescentes blancas de 40 W así como iluminación natural a través de una ventana. Observaciones microscópicas de los talos en medios de cultivos líquido y agarizado (1.8%) fueron seguidos hasta los 1.5 años. La identificación de especies fue realizada mediante bibliografía especializada (GEITLER 1932, KOMAREK & ANAGNOSTIDIS 1989).

RESULTADOS

Área de Estudio

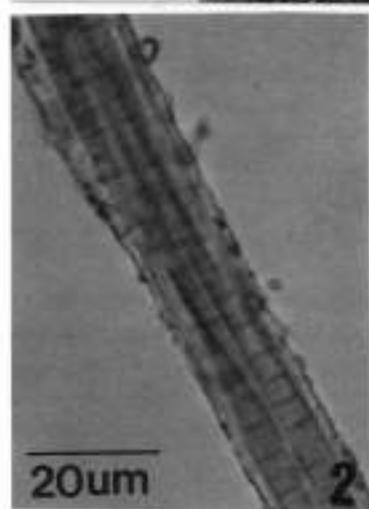
Las condiciones climáticas de la Costa Peruana Central ocasionan un clima moderado, con precipitación muy escasa e irregular y formación regular de estratos neblinosos principalmente en invierno y que aún en verano es posible reconocerlos ocasionalmente. Durante las dos colecciones realizadas en primavera tuvo contrastes climáticos notorios. En la primera colección las condiciones ambientales fueron más bien secas comparadas con la intensa neblina que cubría las lomas aunadas con garfías intensas e irregulares durante la segunda colección que correspondió a los eventos climáticos durante el Fenómeno de el Niño 1997.

Las costras desérticas bien distribuidas en las lomas están sujetas a los contrastes climáticos (sequedad-humedad) y a las modificaciones del ecosistema causadas por la influencia del ganado (vacuno, ovino y caprino), que pastorea contribuyendo a la desertificación que se acentúa durante la estación seca (verano).

Comunidades algal-liquénicas desérticas

Las costras algal-liquénicas en su mayoría saxícolas, grisáceas, pardo oscuras a negras, se presentaron aplanadas de superficie áspera y ondulada, fácilmente quebradizas y pulverulentas por la desecación a la cual estuvieron expuestas sobre el sustrato rocoso con heterogeneidad espacial como la superficie irregular a mediados de primavera (noviembre 1, 95) en las lomas de Jatun Sisa, Pachacamac. Esta compleja colonización criptogámica de las costras desérticas desecadas y distribuidas principalmente en parches estuvo compuesta por cianobacterias generalmente asociadas con talos liquénicos foliosos como *Parmelia* (Parmeliaceae) (Fig. 1). La estructura algal en su mayoría en estado anabiótico (metabolismo reducido), por disminución del contenido de agua (humedad) estuvo dominada por los talos filamentosos de las cianobacterias *Scytonema crispum* (C.A. Agardh) Bornet (Scytonemataceae), *Microcoleus vaginatus* Gomont (Oscillatoriaceae) junto con las formas coloniales mucilaginosas de *Nostoc commune* Vaucher. Las formas filamentosas entrelazadas (red) y algo

Fig. 1. Comunidades algal-liquénicas de costras desérticas saxícolas. Fig. 2. Filamento compuesto de *Microcoleus vaginatus* de comunidad saxícola con partículas de suelo adheridas a estuche mucilaginoso. Figs. 3-4. Filamentos de *Scytonema crispum* de comunidad saxícola. Fig. 3. Hormocistos terminales formados en ramas falsas pares rodeados de estuche estratificado. Fig. 4. Ramificación falsa con heterocistos en su origen. Figs. 5-7. Cultivo líquido de *S. crispum* en medio Basal Bold de inóculo inicial de 1 semana. Fig. 5. Germinación de hormocisto en erapa inicial con hinchamiento de estuche. Fig. 6. Activación de células vegetativas latentes de hormocisto. Fig. 7. Emergencia de células vegetativas apicales del hormocisto. Escala en Fig. 2 válida para Figs. 2-7.



enroscadas de las cianobacterias, con células viables contraídas casi en forma uniforme, exhiben la adhesión de partículas del suelo en la superficie de sus estuches extracelulares mucilaginosos además de sostener partículas en la red de los filamentos que produce la agregación de las partículas del suelo durante la colonización algal-liquénica.

Las costras desérticas fueron humedecidas a mediados de primavera (noviembre 30, 97) por las inusuales garías algo persistentes durante el fenómeno de El Niño. Los estuches extracelulares de los filamentos secos, sinuosos y enroscados por la sequedad se hinchan en períodos húmedos cubriendo los suelos superficiales. La turgencia de las colonias terrestres y saxícolas de *Nostoc commune*, de coloración verde oscura, verde pardusca o verde negruzca permitieron su reconocimiento y distribución bastante extendida en las lomas en esta época. En las superficies rocosas, las colonias de *N. commune* estuvieron asociadas con las matas pardo oscuras de *S. crispum*, de aspecto cespitoso por la densidad de los filamentos, que a su vez estuvieron asociados con el líquen fruticoso *Ramalina* (Usneaceae) y en menor proporción de musgos higrofiticos. Las costras rugosas humedecidas de *N. commune* mostraron proliferación de colonias que emergen de los talos crustáceos basales. La parte basal crustácea y la parte erguida con colonias globulares permitió relacionarlos con talos diferenciados como los heterotricos.

Caracterización de poblaciones de *Scytonema crispum*

Durante el período seco, la morfología compleja de las poblaciones algales de *S. crispum* como las matas negruzcas o pardo oscuras, cespitosas o con apariencia de motas presentaron filamentos largos, curvados, ligeramente atenuados y ramificados, de 15 a 18 μm de diámetro. Los filamentos estuvieron rodeados de estuches gruesos, estratificados y pigmentados (pardo amarillento oscuro), de hasta 3.2 μm de espesor y con las células escasamente visibles. La mayoría de estos talos filamentosos vegetativos resistieron períodos desfavorables con la consecuente sequedad de los talos y con el desarrollo del estuche gelatinoso que demostró la habilidad de la especie bajo condiciones de estrés por desecación. En general, a lo largo de los filamentos la mayoría de células son pardo doradas, pardo verdosas claras y otras pálidas. Las células vegetativas alcanzaron de 10.2 a 12.8 μm de diámetro y de 2 a 3 μm de longitud. Los heterocistos hemisféricos u ovoides alcanzaron de 11.8 a 16 μm de diámetro por 6.4 a 11.8 μm de longitud. Hormocistos de filamentos cortos, rodeados de estuche denso, frecuentes, con diámetro de 15 a 18 μm . Ellos se formaron por enquistamiento de hormogonios móviles en la mayoría de los casos. Sin embargo, los hormocistos intercalares se originaron al desprenderse los hormogonios del filamento principal o de las ramas por fragmentación. Durante la germinación también se reconoció la presencia de heterocistos (Figs.3-4).

Los talos parduscos de *S. crispum* obtenidos en

período húmedo como ocurrió durante el fenómeno de El Niño (noviembre 30, 97) presentaron células vegetativas discoidales intensamente azul verdosas en su mayoría, de 14 a 19.3 μm de diámetro por 3.2 a 8.6 μm de longitud. Estas células fueron mejor desarrolladas en comparación con las células vegetativas de la primera colección de período más bien seco (noviembre 1, 95) que alcanzaron dimensiones menores (10.2 a 12.8 μm x 2 a 3 μm). Igualmente los filamentos con frecuentes hormogonios alcanzaron hasta 30 μm de diámetro aunque el estuche mucilaginoso pardo amarillento fue más delgado.

Caracterización de poblaciones *Microcoleus vaginatus*

Se reconocieron talos filamentosos de *M. vaginatus* sólo en época seca con filamentos complejos de 13.9 a 37.5 μm de diámetro. Estos filamentos exhibieron pocos o numerosos tricomas superpuestos formando paquetes fasciculares, rodeados de un estuche grueso común mucilaginoso con partículas de suelo adheridas (Fig. 2). Tricomas libres en los ápices de los fascículos fueron frecuentes. Las células discoidales alcanzaron de 4.8 a 6.4 μm de diámetro por 2.1 a 3.7 μm de longitud. Célula apical de 3.2 μm de diámetro por 2.7 μm de longitud. Los hormogonios liberados dentro del filamento compuesto desarrollan en su interior e incrementan el número de tricomas de los filamentos y éstos a su vez de los fascículos.

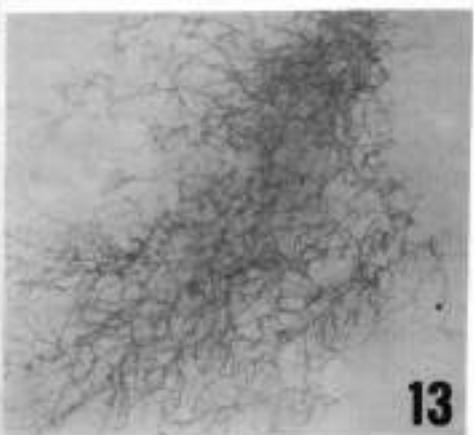
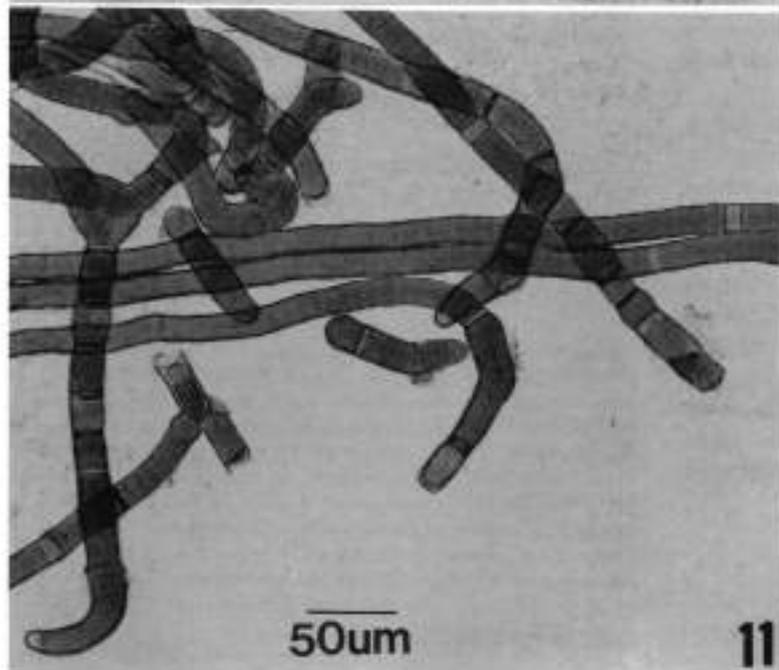
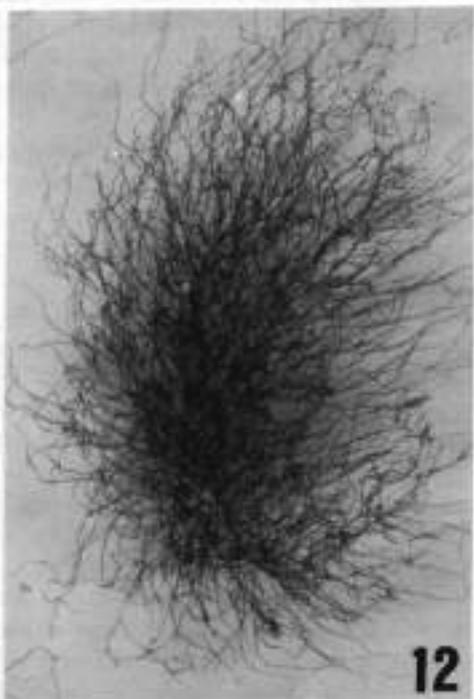
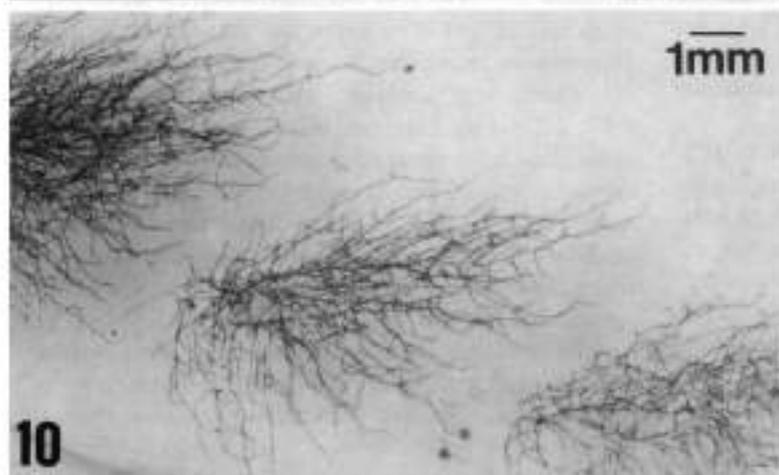
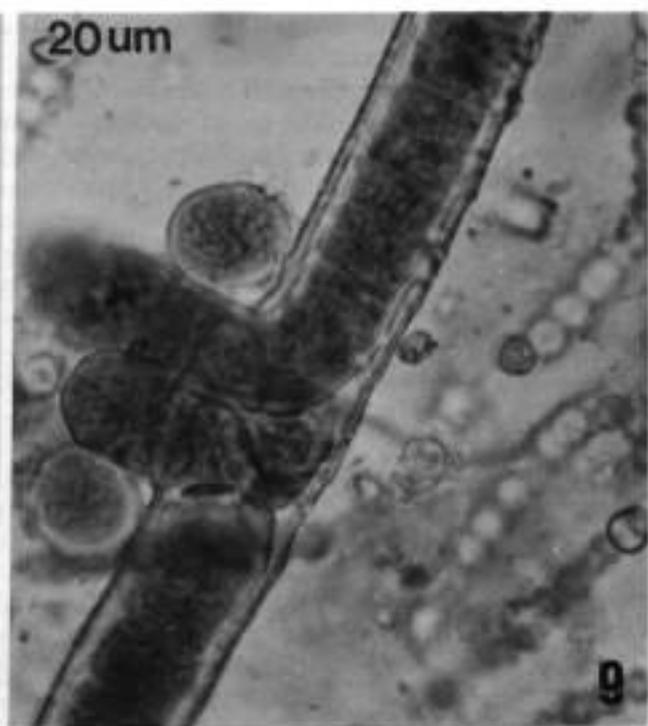
Cultivos Cianobacteriales

La complejidad morfológica de las poblaciones algales saxícolas fue determinante para demostrar la importancia de estos ecotipos cianobacteriales que complementado con sus cultivos evidenció el desarrollo de formas filamentosas de rápido crecimiento como *Microcoleus vaginatus* y *Scytonema crispum*.

Scytonema crispum

El proceso de reactivación de las formas latentes de los talos cianobacteriales de *Scytonema crispum* como filamentos en dormancia y hormocistos presentes en las costras desérticas fue seguido en cultivo (Figs. 5-7).

Figs.8-9. Cultivo líquido en medio Basal Bold de inóculo inicial (costra) de 2 meses. Fig.8. Penachos azul verdosos de filamentos ramificados de *Scytonema crispum* en parte superior de nata pardusca de *Microcoleus vaginatus*. Fig.9. Filamento de *S. crispum* con ramificación falsa en pares y células vegetativas esféricas azul verdes aisladas en lado izquierdo de filamento. Tricomas de *Nostoc commune* en el lado derecho. Figs.10-11. Cultivo agarizado en medio N8 de *S. crispum* de 5 meses. Fig.10. Ramificaciones profundas de filamentos. Fig.11. Filamentos con frecuentes heterocistos y formación de hormogonios. Fig.12. Filamentos ramificados pardo verdoso oscuros de *S. crispum* en cultivo agarizado en medio N8 de 6.5 meses. Fig.13. Filamentos ramificados pardo naranjas de *S. crispum* de cultivo agarizado en medio N8 de 1.5 años. Escala en Fig.10 válida para Figs.10, 12-13.



La imbibición de las formas de latencia en medio líquido (Basal Bold) fue evidenciado en el lapso de una semana. Después de la imbibición se re-estableció la actividad metabólica normal y su crecimiento. La germinación de hormocistos, ligeramente atenuados en sus extremos y variados en longitud implicó cambios morfológicos como incremento en sus dimensiones, alcanzando de 18 a 24 μm de diámetro.

El espesor del estuche estratificado, pardo amarillento o pardo dorado alcanzó hasta 12 μm . La reactivación diferencial de las células de los talos filamentosos se reconoció por las variaciones en las dimensiones y tonalidades celulares. Los filamentos desecados en los hormocistos con células contraídas y pálidas alcanzaron de 6.4 a 10.7 μm de diámetro mientras que las células rápidamente reactivadas y turgentes se presentaron azul verdosas, alcanzando de 12.8 a 14 μm de diámetro. La emergencia de las células vegetativas en los extremos de los hormocistos luego del fenómeno de adelgazamiento y disolución de la pared celular fue evidente con las células apicales intensamente azul verdosas. De esta forma la proliferación celular ejerció presión en los extremos de las paredes para la emergencia de los filamentos reactivados. Las condiciones favorables de los cultivos para el crecimiento vegetativo también favorecieron la germinación de los hormocistos donde las células experimentan condiciones adecuadas para la fotosíntesis y reproducción por fisión.

Los cultivos estacionarios en medio Basal Bold de 2 meses demostraron inicialmente el crecimiento rápido de *M. vaginatus*. Los filamentos de esta especie formaron una nata fina o película gelatinosa tubular (por el tipo de recipiente: tubo), pardo verdusca clara o pardo clara, sobre la cual desarrollaron en la parte superior filamentos azul verdosos de *S. crispum*. Estos filamentos orientados hacia la luz adquirieron el aspecto de talos fasciculiformes con frecuentes ramificaciones y alcanzaron de 19 a 20 μm de diámetro. Las células intensamente verdosas presentaron un estuche más bien delgado e incoloro, de hasta 4.3 μm de espesor (Figs 8-9). Además colonias irregulares de *N. commune* se presentaron en la parte inferior o base de la misma nata de *M. vaginatus* - *S. crispum*.

Los talos de *S. crispum* profusamente ramificados, azul verdosos y pardo verdosos fueron comunes en cultivos en medio agarizado (N8) de 5 meses. Las células no se presentaron uniformes en coloración siendo algunas verde azuladas y otras amarillentas pálidas y con estuche delgado e incoloro. Igualmente se reconocieron frecuentes heterocistos (Figs. 10-11). En los mismos cultivos de 6.5 meses, los talos filamentosos ramificados de *S. crispum* se presentaron más intensamente coloreados de pardo olivo o parduscos (Fig. 12). Por el contrario, los filamentos de cultivos de 1.5 años fueron pardo amarillentos, pardo anaranjados o verde pálidos aunque fueron viables en varios sectores (Fig. 13).

Microcoleus vaginatus

Los cultivos en medio líquido (Basal Bold) de 2 meses

evidenciaron que el crecimiento inicial de *M. vaginatus* fue más rápido que el de *S. crispum*. Filamentos aislados y atenuados del talo complejo de *M. vaginatus* alcanzaron de 7.5 a 8.6 μm de diámetro. Las células discoidales, con gránulos de reserva, alcanzaron de 5.8 a 6.4 μm de diámetro por 2.1 a 3.4 μm de longitud. Los filamentos aislados con frecuente formación de hormogonios intercalares o terminales fueron semejantes a los del género *Lyngbya* por el estuche bien definido e incoloro, de hasta 2.4 μm de espesor. Los hormogonios liberados del filamento parental se deslizaron para aislarse y desarrollaron nuevos individuos. Célula apical cónica y capitada, de 2.1 a 2.7 μm de diámetro y de 1 a 2 μm de longitud. (Figs. 20-21).

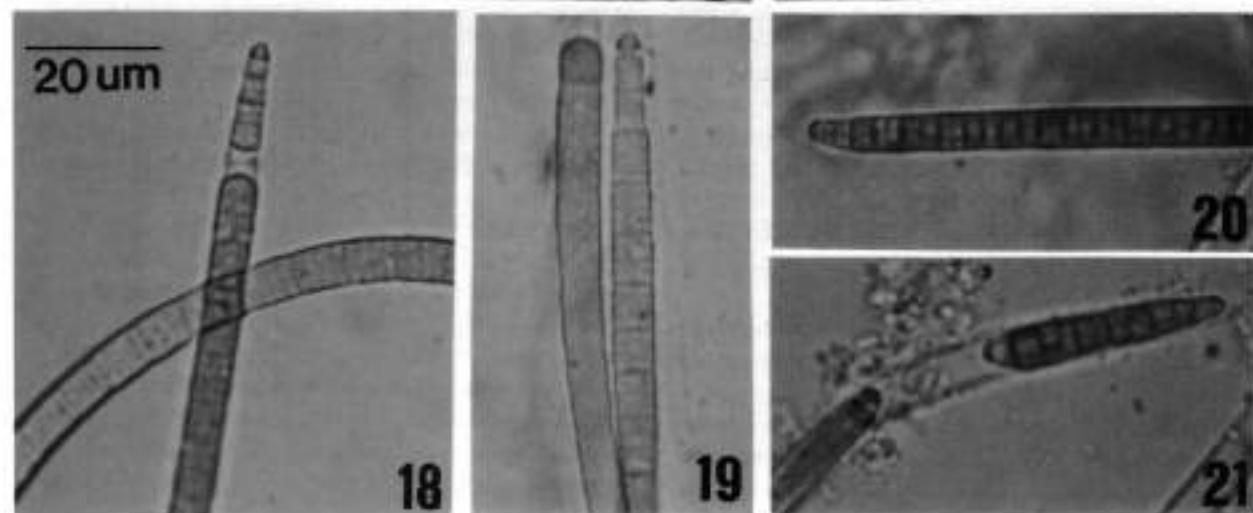
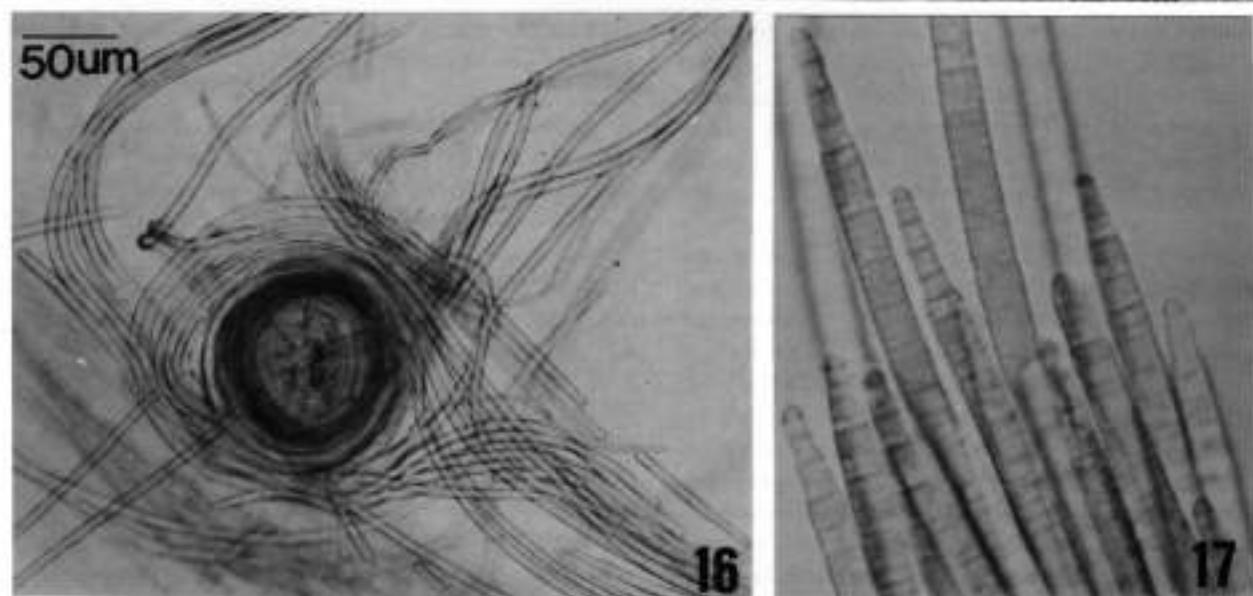
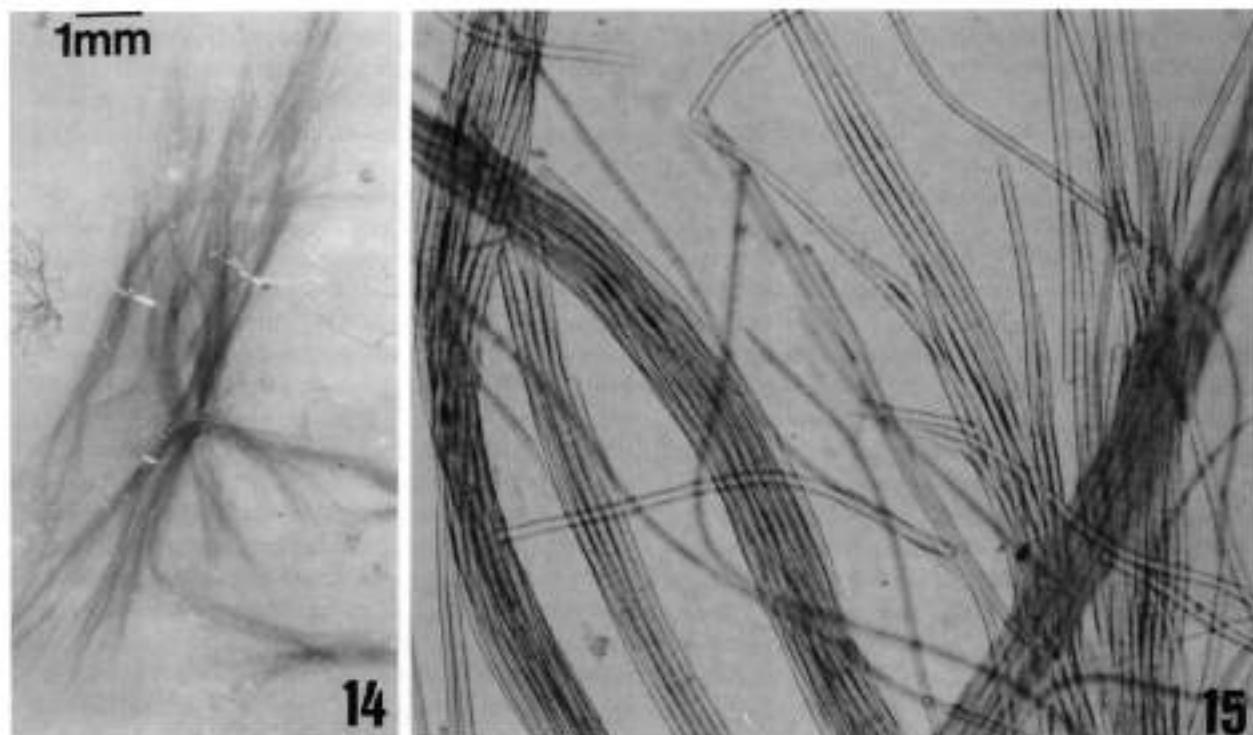
En medio agarizado (N8) *M. vaginatus* creció más rápido por las condiciones semi-sólidas y húmedas que las otras especies asociadas (*S. crispum* y *N. commune*). En cultivos de 5 meses, los filamentos fasciculados y atenuados, pardo verdosos claros o pardo amarillentos, rodeados de un estuche incoloro se distribuyeron más bien paralelos, curvados, agregados (paquetes de filamentos) o aislados (Figs. 14-15). Sin embargo, la habilidad de los filamentos de enrollarse en círculos (status circinatus) por motilidad (deslizamiento) sobre la superficie de agar que evidenció su flexibilidad se presentó cuando la densidad del alga interfirió con su motilidad presentándose competencia espacial intraespecífica (Fig. 16). Células vegetativas de 5.4 a 6.4 μm de diámetro por 1.6 a 3.2 μm de longitud. Filamentos marcadamente atenuados en forma gradual terminan en célula apical capitada, de 2 a 3 μm de diámetro por 1.4 a 2.7 μm de longitud. La variabilidad en la célula apical se reconoce cuando se forman hormogonios en los ápices de los filamentos que luego son liberados dejando una célula apical convexa recientemente formada (Figs. 17-19).

Los talos filamentosos moribundos de *M. vaginatus* en las mismas placas anteriores (cultivo en agar) pero de 6.5 meses se tornaron blanquecinos con la gradual desecación del medio de cultivo. Sin embargo, *S. crispum* especie heterocistada coexistente con *M. vaginatus* se mantuvo aún viable por un lapso mayor (1.5 años).

DISCUSIÓN

Los patrones climáticos naturales producen ciclos de sequedad seguidos por períodos de humedad que son importantes para el desarrollo y distribución de las plantas en especial en las lomas de nuestra costa desértica. La estructura de las costras desérticas está relacionada con

Figs.14-21. *Microcoleus vaginatus*. Figs.14-19. Cultivo agarizado en medio N8 de 5 meses. Figs.14-15. Fascículos de filamentos pardo dorados y tricomas aislados. Fig.16. Tricomas enrollados en círculos. Fig.17. Porción apical de tricomas paralelos atenuados. Fig.18. Formación de hormogonio terminal y deslizamiento en tricoma aislado. Fig.19. Variabilidad apical de tricomas paralelos con células apicales capitada y convexa. Figs.20-21. Cultivo líquido en medio Basal Bold de inóculo inicial de 2 meses: Fig.20. Tricoma atenuado con gránulos de reserva y célula apical capitada. Fig.21. Formación de hormogonio con extremos atenuados y capitados en filamento aislado. Escala en Fig.16 válida para Figs.15-16. Escala en Fig.18 válida para Figs.17-21.



los requerimientos ecológicos y tolerancia de las especies algal-liquénicas consideradas como plantas poiquilohídricas y pioneras en la colonización de ecosistemas desérticos.

La compensación a las fluctuaciones en el abastecimiento de agua en las lomas durante períodos cortos (gariás) esta dada por la habilidad de adaptación de los talos criptogámicos al contenido de agua de la humedad del entorno que no siempre se satura pero facilita la colonización algal-liquénica. JEFFRIES et al., (1995) ha indicado que la productividad de las costras desérticas es mayor en condiciones de saturación parcial de agua que durante la saturación completa y BAILEY et al., (1973) determinó el incremento en la estabilidad del agua en los agregados de partículas del suelo por las algas asociadas: **Nostoc commune**, **Microcoleus vaginatus** (**Oscillatoria profilica**) y **Chlorella vulgaris** (**C. pyrenoidosa**).

Las cianobacterias que dominan biológicamente las costras desérticas permanecen en estado latente (inactivo) durante la estación seca (parte de primavera y verano principalmente) en las lomas de Pachacamac y reasumen su actividad sólo cuando el agua es disponible (gariás o condensaciones). Las estrategias cianobacteriales de sobrevivencia a la desecación residen en la plasticidad fenotípica de las especies con variabilidad morfológica de sus talos como el gran desarrollo de la pared y estuche circundante. La habilidad de los filamentos de **M. vaginatus** fue evidenciado por el enrollamiento en círculos «status circinatus» creándose microambientes donde pueden permanecer latentes cuando la densidad algal u otro obstáculo (desecación del sustrato) interfiere con su motilidad y crecimiento durante la colonización en las lomas del desierto. La sobrevivencia a condiciones extremas como la sequedad presente en los desiertos con fluctuaciones climáticas estacionales ha sido reportada para la cianobacteria **Nostoc commune** (CAMERON 1962, WHITTON 1987). La presencia de filamentos de **N. commune** rodeados con mucílago los hace resistentes y favorece su exitosa colonización en períodos desfavorables. En períodos secos las formas coloniales enteras de **N. commune** con denso mucílago y filamentos gelatinosos como **S. crispum** y **M. vaginatus** se secan periódicamente y sobreviven los talos perennes como típicas plantas poiquilohídricas que alternan períodos de sequedad y de humedad en las lomas. El desarrollo del estuche lamelado, pigmentado o incoloro en las poblaciones cianobacteriales negruzcas y estables de **S. crispum**, **M. vaginatus** y **N. commune** de las lomas de Pachacamac se avala con el reporte para algas terrestres de otras latitudes (SINGH 1950, SHIELDS & DROUET 1962, BELNAP & GARDNER 1993, FRIEDMANN & GALUN 1974).

La formación de hormocistos considerados como estructuras especializadas (intermediarios entre hormogonios y acinetos) constituye otra estrategia ecológica de sobrevivencia cianobacterial. La germinación de hormocistos ha sido reportada para las cianobacterias **Scytonema javanicum** (Kuetzing) Bornet y Westiella

lanosa Frémy (ALLSOPP 1968, FOGG et al., 1973). En las lomas de Pachacamac también se presentaron frecuentes hormocistos pigmentados de **S. crispum** que aunado con la capacidad diazotrófica de esta especie explica su dominancia y perennización en las costras desérticas de Pachacamac.

La presencia de cianobacterias diazotróficas como **Scytonema crispum** y **N. commune** en condiciones de humedad incrementan la productividad de los ecosistemas desérticos. El incremento en el contenido de nitrógeno y carbono de los suelos por los procesos de fijación de nitrógeno y fotosíntesis influencia en el ciclo biogeoquímico de estos nutrientes en las lomas como ha sido observado por EVANS & EHRLINGER (1993) para otros ecosistemas áridos. La composición específica de la estructura cianobacterial en las lomas de Pachacamac estuvo dominada por las algas heterocistadas **S. crispum** y **N. commune**. El limitado abastecimiento de nutrientes (nitrógeno, agua) en suelos desérticos puede haber creado una presión selectiva que favorece el desarrollo de especies fijadoras de nitrógeno. Esta distribución específica también se relaciona con la habilidad de sintetizar la scitonemina como pigmento fotoprotector que colorea los estuches de pardo dorado permitiendo su crecimiento bajo intensa iluminación que caracteriza a ecosistemas desérticos cálidos (GARCIA-PICHELL & CASTENHOLZ 1991).

En los cultivos agarizados (6.5 meses) se reconoció el fenómeno de exclusión de **M. vaginatus** y mayor sobrevivencia de **S. crispum** que puede atribuirse a su capacidad diazotrófica ventajosa en cultivos viejos con limitación de nutrientes. Este fenómeno avala la dominancia de esta última especie en las costas desérticas evaluadas reconociendo la sucesión ecológica en las lomas con la subdominancia de **M. vaginatus**.

La dinámica de las costras desérticas que involucra estados de sucesión ecológica en el sur este de Utah, USA, fue demostrada por GARCIA-PICHELL & BELNAP (1996). Las costras negruzcas evaluadas correspondieron a poblaciones superficiales extensas de **Scytonema sp.**, **Nostoc sp** y **Microcoleus vaginatus**. Esta última especie, considerada por los autores como colonizador primario en desiertos, se distribuye en capas más bien profundas de las costras, estabilizando los suelos y por la motilidad de sus filamentos se protege de la intensa iluminación en ecosistemas desérticos.

La fotosíntesis y respiración se reanudaron después de unos minutos de ser humedecidas las costras cianobacteriales y fueron evidenciados por los microambientes formados (GARCIA-PICHELL & BELNAP 1996). Estos eventos también se presentaron durante la reactivación de los talos cianobacteriales desecados en los medios de cultivo y aceleraron la germinación de los hormocistos y posterior proliferación de los filamentos.

El potencial de crecimiento de las comunidades crustáceas algal-liquénicas también está siendo afectado por la destrucción de las costras por pisadas de rebaños de ganado y actividades antropogénicas, que impactan

negativamente la cohesión y cobertura de las costras. La compactación del suelo y reducción en la disponibilidad de agua alteran los procesos de interacción suelo-planta que repercuten en el patrón sucesional (xerosere) de las lomas. Esta alteración aunada con la fertilización orgánica de los suelos por el ganado favorece la heterogeneidad temporal y espacial de los recursos terrestres y constituye un factor que influencia en la estructura y distribución de las comunidades desérticas de las lomas.

El proceso de desertificación de las tierras áridas y semiáridas causa cambios en los ciclos biogeoquímicos que acarrearán pérdida de la capacidad productiva de la biósfera y ponen en peligro la recuperación potencial de las costras algal-liquénicas dañadas. Considerando que la pérdida de los suelos desérticos por la erosión es significativa, es preciso la preservación de la integridad de las costras desérticas de importancia en la formación, estabilización y fertilidad de los suelos en nuestra costa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLSOPP, A. 1968. Germination of hormocysts of *Scytonema javanicum* and the function of blue-green algal heterocysts. *Nature*. London 220: 810.
- ANAGNOSTIDIS, K. & J. KOMAREK. 1988. Modern approach to the classification system of Cyanophytes 3. Oscillatoriales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 80 (1-4): 327-472. (Algalogical Studies 50-53). Stuttgart.
- ANDERSON, D. C. & S. R. RUSHFORTH. 1976. The cryptogamic flora of desert soil crusts in southern Utah. *Nova Hedwigia* 28: 691-729.
- BAILEY, D., A.P. MAZURAK & J.R. ROSOWSKI. 1973. Aggregation of soil particles by algae. *J. Phycol.* 9(1): 99-101.
- BELNAP, J. 1990. Microbiotic crusts: their role in past and present ecosystems. *Park Science*. 10(3):3-4.
- BELNAP, J. & J. S. GARDNER. 1993. Soil microstructure in the soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Great Basin Naturalist*. 53: 40-47.
- BISCHOFF, H.W. & H.C. BOLD. 1963. Phycological Studies IV. Some algae from Enchanted Rock and related algal species. *Univ. of Texas Publ.* N° 6318. 95p.
- CAMERON, R.E. 1962. Species of *Nostoc* Vaucher occurring in the Sonoran Desert in Arizona. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 81: 379-384.
- CAMPBELL, S.E. 1979. Soil stabilization by a prokaryotic desert crust: implications for Precambrian land biota. *Origins of life*. 9:335-348.
- FOGG, G.E., W.D. STEWART, P. FAY & A.E. WALSBY. 1973. The blue-green algae. Academic Press. London. 459 p.
- FOREST, H. & C.R. WESTON. 1966. Blue-green algae from the Atacama desert of Northern Chile. *J. Phycol.* 2: 163-164.
- FRIEDMANN, E.I. & M. GALUN. 1974. Desert algae, lichens and fungi. In *Desert Biology*. G.W. Brown (ed.). 165-212 p. Academic Press, New York York.
- FRIEDMANN, E.I. 1980. Endolithic microbial life in hot and cold deserts. *Origins of life*. 10:223-235.
- GARCIA - PICHEL, F. & J. BELNAP 1996. Microenvironments and microscale productivity of cyanobacterial desert crusts. *J. Phycol.* 32: 774-782.
- GARCIA-PICHEL, F. & R.W. CASTENHOLZ. 1991. Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *J. Phycol.* 27: 395-409.
- GEITLER, L. 1932. Cyanophyceae In Rabenhorst's *Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz*. Akad. Verlagsges. Leipzig. 14:1-1196.
- JEFFRIES, D.L., S.O. LINK & J.M. KLOPATEK. 1993. CO₂ fluxes of cryptogamic crusts. 2. Response to dehydration. *New Phytol.* 125: 391-396.
- KOMAREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS. 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 4-Nostocales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 82,83: 247-345. Algalogical Studies 56. Stuttgart.
- METTING, B. 1981. The systematics and ecology of soil algae. *Botanical Review*. 47: 195-312.
- RUNDEL, P.W., M.O. DILLON, B. PALMA, H.A. MOONEY, S.L. GULMON & J.R. EHLERINGER 1991. The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso*. 13(1): 1-49.

SHIELDS, L.M. & F. DROUET. 1962. Distribution of terrestrial alga within the Nevada test site. *Am. J. Bot.* 49: 547-554.

SHIELDS, L.M. & L.W. DURELL. 1964. Algae in relation to soil fertility. *Botanical Review* 30: 93-128.

SHIELDS, L.M., C.MITCHEL & F.DROUET. 1957. Alga and lichen stabilized surface crusts as soil nitrogen sources. *Am. J. Bot.* 44: 489-498.

SINGH, R.N. 1950. Reclamation of "Usar" lands in India through blue-green algae. *Nature, London.* 165: 325-326.

STARKS, TL., L.E. SHUBERT & FR. TRAINOR. 1981. Ecology of soil algae: a review. *Phycologia.* 20(1): 65-80.

WHITTON, B.A. 1987. Survival and dormancy of blue-green algae. In *Survival and dormancy of microorganisms.* Y. Henis (ed.) 109-167 p. John Wiley & Sons. New York.

ZUÑIGA, R. 1980. Algas del suelo de Lima y alrededores. *Rev. Per. Biol.* 2(1):3-7.

CONTINUA EN LA PAGINA SIGUIENTE

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]