

Estromatolitos

¿Papá, son esos arrecifes de coral?



El autor sentado sobre estromatolitos en la piscina de Hamelin, Shark Bay, Australia

John F Stolz

Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Duquesne, Pittsburgh, EE.UU

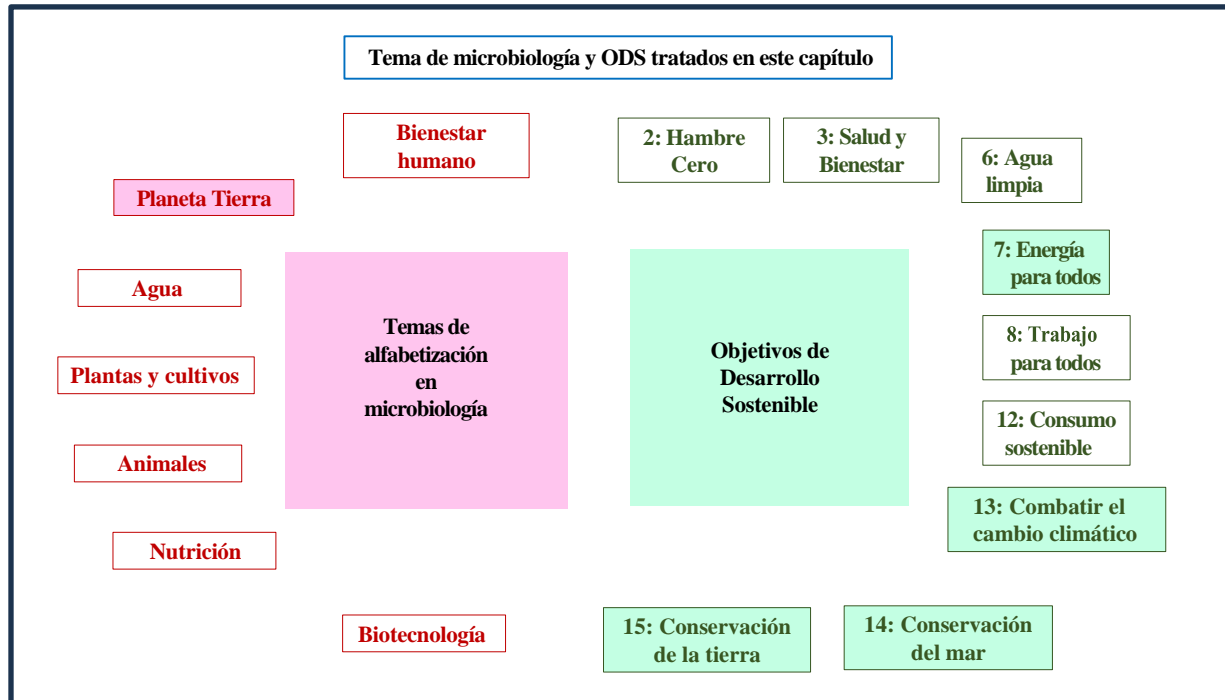
Estromatolitos

Trama

La historia de la vida está escrita en piedra. No por civilizaciones antiguas, como los mesopotámicos o los mayas, sino por microorganismos. Comenzaron a registrar esta historia hace más de 3.5 mil millones de años al dejar tanto estructuras sedimentarias únicas en capas llamadas "estromatolitos" como restos orgánicos silicificados (petrificados) llamados "microfósiles". Pero, ¿cómo pueden cosas tan pequeñas que requieren un microscopio para ser vistas, hacer algo visible a simple vista? ¿Cómo sabemos que los microfósiles que vemos en las rocas son los restos de microorganismos? Afortunadamente, sus descendientes modernos existen y los estromatolitos vivos son fáciles de encontrar si sabes qué buscar.

El tema de la microbiología y el contexto social

La Microbiología: historia de la vida; comunidades microbianas; microbiomas. Problemas de sostenibilidad: energía, cambio climático; ecosistemas marinos y de agua dulce. Problemas de sostenibilidad: energía asequible; cambio climático; vida submarina; vida en la tierra.



Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

Estromatolitos: la Microbiología

1. **Registro fósil.** Si tienes la suerte de vivir en una ciudad que tenga un museo de historia natural, normalmente habrá una exposición o sala dedicada a la historia de la vida en la Tierra. Allí encontrarás esqueletos fósiles de criaturas que vivieron hace millones de años. El registro fósil clásico comienza en la base del Período Cámbrico, hace aproximadamente 540 millones de años, cuando los animales comenzaron a desarrollar partes duras que eventualmente se conservarían en roca. Los primeros fósiles de plantas fueron descubiertos en rocas de 440 millones de años del Período Silúrico. Los dinosaurios, con los que la mayoría de nosotros estamos familiarizados, recorrieron la Tierra desde hace unos 250 millones de años hasta hace 65 millones de años. Pero, ¿existieron formas de vida distintas a los animales y plantas? ¿Cuánto tiempo ha existido la vida en nuestro planeta?

La primera indicación de que la vida podría ser más antigua fue descubierta por el geólogo canadiense C. D. Walcott, quien en 1906 describió rocas con capas únicas que creía habían sido formadas por algas. Las llamó “Criptozoo”. Estas estructuras y otras similares se conocieron más tarde como “estromatolitos” (rocas en capas).

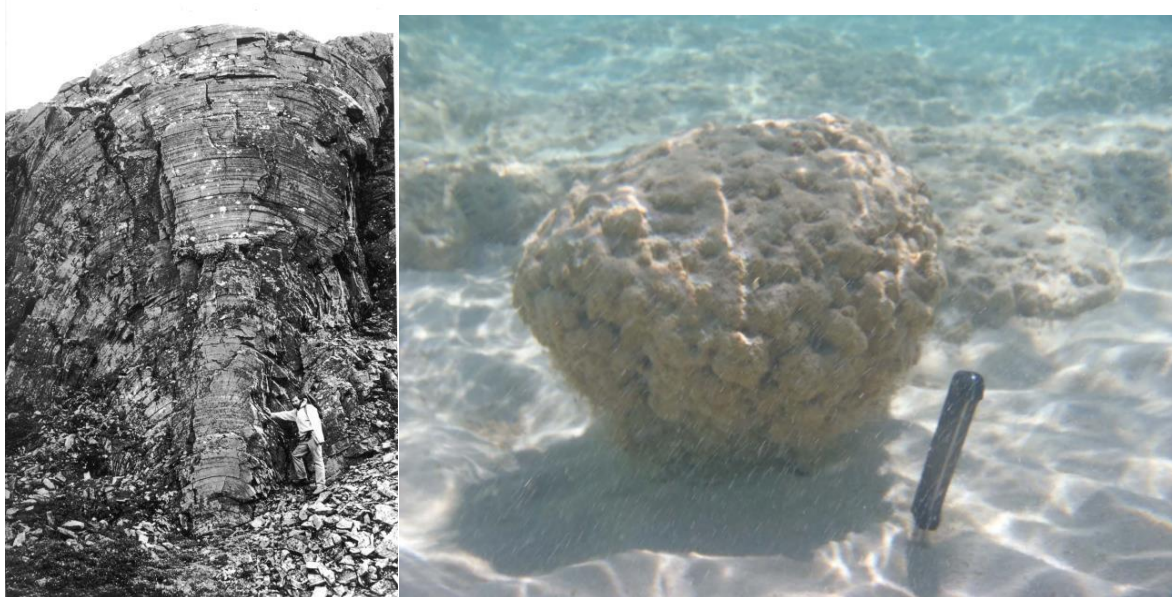


Figura 1. A) Estromatolito de 2 mil millones de años del cinturón canadiense (Campbell y Cecil, 1981), ¡geólogo para escala! B) Estromatolitos vivos de la piscina de Hamelin, Shark Bay, Australia. Cuchillo de buceo para escala.

Los estromatolitos vienen en una variedad de formas y tamaños, algunos más pequeños que un dedal, otros de varios metros de altura (¡más grandes que una casa!). La característica común es que todos tienen capas repetidas o laminaciones de roca sedimentaria, generalmente piedra caliza (Figura 1A). Se han encontrado estromatolitos fósiles en formaciones rocosas de todo el mundo, siendo algunos de los más antiguos en Australia y Sudáfrica. Representan la evidencia más antigua de vida en la Tierra. Sus descendientes están vivos hoy en día en lugares como Shark Bay, Australia (Figura 1B) y las Islas Exuma en las Bahamas.

A principios de la década de 1950, los geólogos Stanley Tyler y Elso Barghoorn pensaron que habían encontrado carbón fósil en la Formación Gun Flint, una formación rocosa de hierro bandeado en el norte de Minnesota y el noroeste de Ontario. La roca estaba compuesta de cuarzo de grano muy fino, llamado chert, similar al que se encuentra en la madera petrificada.

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

También contenía una gran cantidad de materia orgánica que le daba a la roca su color negro. Cuando la roca se cortó en finas láminas para poder ser observada bajo un microscopio, se sorprendieron al encontrar lo que parecían ser restos de bacterias. Algunas eran filamentos largos y gruesos, otras eran redondas, ¡y había una que se parecía a un paraguas al revés! Se les llamó microfósiles. Estas rocas también se dataron en alrededor de 2 mil millones de años. Al igual que los estromatolitos, las formaciones de chert con microfósiles se han encontrado en todo el mundo, siendo las más antiguas, de más de 3.4 mil millones de años, en Australia y Sudáfrica. El material orgánico conservado fue estudiado más a fondo por geoquímicos, quienes confirmaron que efectivamente estos eran restos de microorganismos.

2. **Microbialitos.** Una de las cosas notables acerca de las bacterias es que, cuando se les proporcionan las condiciones adecuadas (es decir, alimento, agua), pueden formar comunidades complejas. Estas comunidades, llamadas biopelículas, interactúan con su entorno, creando depósitos distintivos llamados “microbialitos”. Este comportamiento se cree que es un vestigio de los primeros días de la Tierra, cuando no había capa de ozono para proteger a los seres vivos de la radiación ultravioleta dañina. Los microorganismos se entierran literalmente bajo una capa protectora de sedimento. Hoy en día, se pueden ver ejemplos vivos de estas comunidades, también llamadas “alfombras microbianas”, en ambientes extremos como los humedales salinos y las fuentes termales (Figura 2). Al igual que los estromatolitos, pueden dejar trazas de sí mismos en lo profundo del sedimento, que eventualmente puede convertirse en roca. Sus restos orgánicos también pueden ser “petrificados” a través de un proceso llamado silicificación. Así es como las bacterias fueron preservadas en el Chert Gunflint. Los estromatolitos también son un tipo de microbialito, ya que también se forman como resultado de la captura, unión y precipitación de sedimentos.



Figura 2. A) Alfombras microbianas planas en el humedal de Sippewissett, Massachusetts. B) Primer plano de la alfombra despegada mostrando la capa rosa de bacterias fototróficas.

3. **Diversidad microbiana.** Por sorprendente que parezca, las comunidades involucradas en la formación de alfombras microbianas y estromatolitos son ecosistemas, compuestos por los grupos funcionales clave: productores primarios, consumidores y descomponedores. Los productores primarios suelen ser cianobacterias y bacterias fotosintéticas anaerobias como los fotótrofos verdes y morados (Figuras 2, 3). Bacterias quimioautotróficas incoloras, como las bacterias que oxidan el azufre, también pueden contribuir a la fijación de carbono.

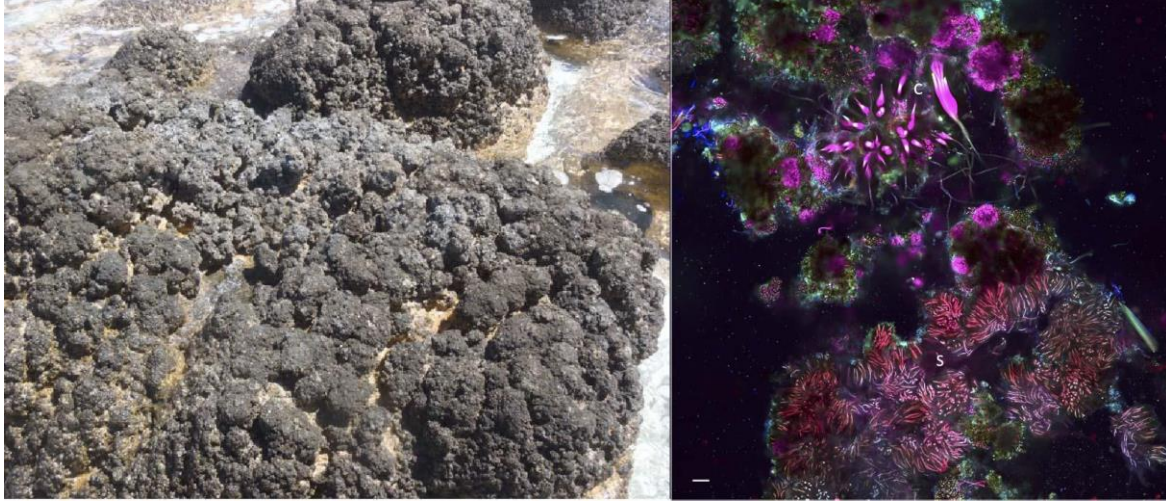


Figura 3. Comunidades microbianas de Shark Bay, Australia. A) Alfombra microbiana pustulosa encontrada en la zona intermareal. B) Microscopia confocal de la comunidad diversa en la alfombra pustulosa. C) *Chalothrix*, S) *Scytonema*. Barra 50 μ m.

Las bacterias fermentadoras, que actúan como consumidores, pueden descomponer compuestos orgánicos complejos a más simples. Las bacterias reductoras de sulfato toman los compuestos orgánicos simples y los oxidan a dióxido de carbono, completando el ciclo del carbono, reduciendo el sulfato (producido por los fotótrofos anaerobios) a gas sulfuro de hidrógeno. Por eso, cuando se altera una alfombra microbiana, a menudo se percibe un olor a huevos podridos (en realidad, sulfuro de hidrógeno). La diversidad microbiana puede ser increíble, con miles de especies diferentes coexistiendo. Las alfombras microbianas suelen tener gradientes químicos que crean micro-nichos específicos en la escala de milímetros. Los gradientes más notables son de oxígeno, sulfuro y pH. Estas comunidades pueden considerarse “biorreactores” ya que ciclan oxígeno, azufre, nitrógeno y metales como manganeso y hierro. Las comunidades microbianas que construyen estromatolitos no solo atrapan y unen el sedimento que las rodea, sino que también precipitan carbonato de calcio que cimenta la estructura (Figura 3).

4. Campañas de muestreo de estromatolitos: viaje, logística, descubrimientos emocionantes. Shark Bay se encuentra en el oeste de Australia, a unas 8 horas en coche al norte de la ciudad de Perth. Al ser un Sitio del Patrimonio Mundial, los estromatolitos están protegidos, por lo que se necesitan permisos especiales para recolectar muestras. Llegar a los diferentes sitios requiere mucho manejo fuera de carretera, por lo que un vehículo de tracción en las cuatro ruedas es esencial. Debes estar atento al ganado, como ovejas y cabras (principalmente en tierras agrícolas alrededor de la bahía), y, por supuesto, a los canguros, que son abundantes, y al ocasional emú.

Carbla Point es el lugar clásico de campo, pero hay muchos tipos diferentes de alfombras microbianas y estromatolitos alrededor de la bahía. Las alfombras microbianas se pueden encontrar a lo largo de la línea costera, donde están expuestas al aire en la marea baja. Las alfombras pustulosas, que se asemejan a cabezas de brócoli, también se encuentran en esta zona intermareal (Figura 3). Comienzan siendo suaves, con colonias de la cianobacteria *Entophysalis major*, pero eventualmente se endurecen y luego son colonizadas por otras cianobacterias, como *Scytonema* y *Chalothrix* (Figura 3B).

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

Los estromatolitos más grandes se encuentran en aguas más profundas y están sumergidos la mayor parte del tiempo. Para estudiarlos, debes hacer esnórquel o buceo con equipo SCUBA. Las corrientes no son demasiado fuertes, pero debes tener cuidado con las serpientes marinas, ¡tienen un veneno muy potente y una sola mordida podría ser letal! Afortunadamente, generalmente se mantienen alejadas. Es increíble ver los muchos tipos diferentes de comunidades microbianas y la variedad de microbialitos que producen. Es como retroceder a una época en la que no había plantas ni animales. La cantidad de sedimento que producen, en forma de carbonato, también es muy significativa, especialmente en el contexto del cambio climático.

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus Grandes Desafíos

- **Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante.** Muchos de los organismos que crearon los primeros estromatolitos eran fotosintéticos. Fueron los primeros productores primarios en aprovechar la energía solar y transformar el carbono en organismos vivos.
- **Objetivo 13. Acción por el clima.** A lo largo de la historia de la vida, la Tierra nunca ha estado completamente congelada ni los océanos se han evaporado.
- **Objetivo 14. Vida submarina.** Aunque los estromatolitos vivos hoy en día están limitados a ciertos ambientes marinos y de agua dulce, fueron mucho más abundantes en el pasado.
- **Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres.** Puedes encontrar comunidades microbianas en tierra si sabes qué buscar.

Participación de los alumnos

1. Discusión en clase sobre cómo las comunidades bacterianas están involucradas en los ciclos del carbono y del azufre. Habla sobre la fotosíntesis oxigénica y la fotosíntesis anoxigénica, y cómo están relacionadas (una utiliza H_2O y la otra H_2S).

2. Ejercicios

a. Microbios bajo tus pies – dando un paseo por la playa y en el pantano salino. Si vives cerca de la costa, deberías poder encontrar alfombras microbianas viviendo en o cerca del pantano salino. Esto es especialmente cierto en áreas que se inundan en la marea alta pero se exponen al aire en la marea baja. Es posible que tengas que rascar la superficie para eliminar la capa protectora de arena y exponer la comunidad microbiana debajo (ver Figura 2).

b. Encontrar alfombras microbianas en tu jardín. Las alfombras microbianas no solo viven en ambientes extremos, sino que también se pueden encontrar en lugares donde las plantas y el césped tienen dificultades para sobrevivir. Se pueden hallar en canaletas de techos (les gusta la alternancia de húmedo y seco), o en huellas de neumáticos en el borde de las carreteras o en caminos sin pavimentar.

La Base de Evidencia, Lecturas Adicionales y Recursos Didácticos

“Estas rocas están vivas” de Nova, Making North America: Life, <https://www.pbs.org/video/these-boulders-are-alive-goefio/>

“¿Qué son los estromatolitos?” <https://www.youtube.com/watch?v=N-G7IJCkyvg>

Un marco educativo de microbiología centrado en los niños

Campbell, F.H.A. y Cecil, M.P. 1981. Evolución del Cuenca Kilohigok Proterozoico Temprano, Bathurst Inlet-Isla Victoria, Territorios del Noroeste. En: F.H.A. Campbell (ed.), Cuenca Proterozoicas de Canadá. Geological Survey of Canada Paper 81-10, pp. 103-131.

Franks, J. y Stolz, J.F., 2009. Comunidades de Alfombras Microbianas Laminadas Planas. *Earth Sci. Revs.* 96:163-172. Grey, K. y Awramik, S.M. 2020. Manual para el estudio y descripción de microbialitos. Geological Survey of Western Australia, Bulletin 147, 278 p.

Reid, R.P., Visscher, P.T., Decho, A.W., Stolz, J.F., Bebout, B., Dupraz, C., MacIntyre, I., Pearl, H.W., Pinckney, J., Prufert-Bebout, L., Steppe, T., y Des Marais, D., 2000. El papel de los microbios en la acumulación, estratificación y litificación temprana en estromatolitos marinos modernos. *Nature* 406:989-992.

Rezak, R. 1957. Estromatolitos de la Serie Belt en el Parque Nacional Glacier y alrededores, Montana. US Geological Survey Professional Paper 294-D. https://www.nps.gov/parkhistory/online_books/geology/publications/pp/294-D/index.htm.

Stolz, J.F., Reid, R.P., Visscher, P.T., Decho, A.W., Norman, R.S., Aspen, R.J., Bowlin, E.M., Franks, J., Foster, J.S., Paterson, D.M., Przekop, K.M., Underwood, G.J.C., y Prufert-Bebout, L. 2009. Las comunidades microbianas de los estromatolitos marinos modernos en Highborne Cay, Bahamas. *Atoll Res. Bull.* Número 567, pp. 1-28.

Suosaari, E.P., Reid, R.P., Playford, P.E., Foster, J.S., Stolz, J.F., Casaburi, G., Hagan, P.D., Chirayath, V., Macintyre, I.G., Planavsky, N.J., y Eberli, G.P. 2016. Nuevas perspectivas a múltiples escalas sobre los estromatolitos de Shark Bay, Australia Occidental. *Sci. Rep.* | 6:20557 | DOI: 10.1038/srep20557.

Suosaari, E., Awramik, S., Reid, R.P., Stolz, J., Grey, K. 2018. Alfombras Microbianas Dendrolíticas Vivas en Hamelin Pool, Shark Bay, Australia Occidental. *Geosciences* 8:212.

Visscher, P.T. y Stolz, J.F. 2005. Alfombras microbianas como biorreactores: poblaciones, procesos y productos. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 218:87-100.

Glosario

Quimioautotrofia – un organismo que fija dióxido de carbono y genera energía a partir de la oxidación de compuestos inorgánicos como el sulfuro de hidrógeno.

Microscopía Confocal – microscopía de fluorescencia que utiliza láseres.

Cianobacterias – bacterias fotosintéticas que producen oxígeno en el proceso.

Heterótrofo – organismo que utiliza compuestos orgánicos para obtener energía y crecer.

Comunidad microbiana – poblaciones diversas de diferentes especies microbianas que viven en el mismo lugar al mismo tiempo.

Microbialito – depósito sedimentario distintivo formado por la captura, unión y precipitación de sedimento por microorganismos.

Microfósil – restos de microorganismos conservados en sílex.

Fotótrofo – organismo que es capaz de realizar la fotosíntesis.

Estromatolito – microbialito estratificado, a menudo en forma de domo, producido por microorganismos.