

ALGAS DE NIEVE:

Extremófilos de alto interés científico y potencial biotecnológico

Pirjo Huovinen^{1,2}, Claudio Rivas^{1,2,3} & Iván Gómez^{1,2}

¹Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia

²Centro Fondap de Investigación en Dinámica de Altas Latitudes (IDEAL)

³Doctorado en Ciencias de la Acuicultura, Universidad Austral de Chile, Sede Puerto Montt

pirjo.huovinen@uach.cl



IDEAL
Centro de Investigación:
Dinámica de Ecosistemas Marinos
de Altas Latitudes.



Las algas de nieve son organismos adaptados al frío que colonizan de forma permanente o temporal la fase líquida de los campos de nieve y glaciares principalmente en las regiones polares y en las zonas frías alrededor del mundo. Estos organismos presentan adaptaciones metabólicas para crecer y realizar fotosíntesis en condiciones ambientales extremas tales como temperaturas exteriores alrededor o por debajo de 0 °C, alta radiación solar, bajos niveles de nutrientes, y estrés osmótico. Las algas de nieve pueden formar floraciones que cambian el color de la nieve acumulada en función de los pigmentos que prevalecen en sus diferentes etapas de desarrollo (Hoham et al. 1993). Por ejemplo pueden estar presentes en fase vegetativa verde o como fase enquistada de color rojo (Fig. 1). Por lo tanto, se les considera como material biogénico que puede reducir el albedo considerablemente y de este modo acelerar el derretimiento de la nieve. En los campos de nieve polares, su biomasa puede llegar a ser muy importante y debido a su capacidad de fijar y almacenar carbono como productores primarios, las algas de nieve desempeñan un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos en las regiones árticas y antárticas.

DIVERSIDAD: La nieve como un dominio de los microorganismos

En general las algas de nieve pertenecen a las principales divisiones de algas, por ejemplo Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillario-

phyta (diatomeas) y Cryptophyta. En los campos de nieve costeros de la Antártica Chlorophytas de géneros tales como *Chlamydomonas*, *Chloromonas*, *Chlorococcum* y *Mesotaenium* están ampliamente representadas en términos de abundancia y composición de especies (Fig. 2). Sin embargo, no solo viven algas en estos ecosistemas: existe también un conjunto muy diverso de microorganismos, incluyendo cianobacterias, así como bacterias heterótrofas y pequeños eucariontes, por ejemplo, protozoos, hongos, anélidos, etc. (Hoham y Duval 2001). La composición y abundancia de los microorganismos que están asociados a las algas de nieve pueden cambiar considerablemente entre los diferentes tipos de ecosistemas de hielo y nieve, así como durante un ciclo estacional (Laybourn-Parry et al. 2013). En ambientes extremos la comunidad es normalmente dominado por bacterias y cianobacterias.

Ciclo de vida y adaptación a la nieve

Durante el ciclo de vida en la nieve las algas están constantemente expuestas a cambios de temperatura, de radiación solar, nutrientes, entre otros. Por lo tanto, estos organismos muestran una serie de adaptaciones fisiológicas para hacer frente a estos factores, por ejemplo, ajustes en la composición lipídica de la membrana (fluididad), menor energía de activación para las reacciones enzimáticas, o la transferencia eficiente de la energía dentro del aparato fotosintético (revisado en Morgan-Kiss et al. 2006). En general, la mayo



Figura 1. Nieve verde (A) y roja (B) en la zona costera de Isla Rey Jorge, Antártica.

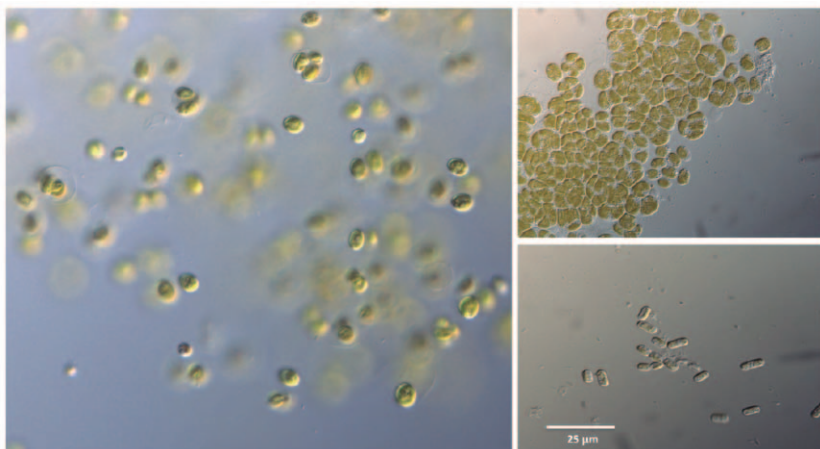


Figura 2. Microalgas aisladas de nieve de la Isla Rey Jorge, Antártica, en su fase vegetativa en cultivo.

ría de las algas de nieve pueden ser consideradas como verdaderos organismos psicófilos, es decir, sus fases vegetativas móviles crecen bien a una temperatura entre 0 y 5 °C (Hoham 1975).

El ciclo de vida de un alga de nieve típica, por ejemplo *Chlamydomonas*, comienza con la germinación (meiosis) de zigosporas ($2n$), esporas que se encuentran en el suelo (en los sistemas de nieve que experimentan el deshielo de temporada) o en la nieve vieja (en sistemas en los que la capa de nieve persiste todo el año). Las zoosporas ($1n$) formadas migran luego a través del agua intersticial hacia la

Las algas de nieve como indicadores de cambio climático

Debido a que las algas de nieve habitan ecosistemas altamente sensibles a las variaciones en las condiciones ambientales (por ejemplo, aumento de temperatura, luz, o precipitaciones), ellas pueden ser consideradas como excelentes organismos modelo para examinar el impacto del cambio climático. El calentamiento en varias regiones del planeta ha sido relacionado con menor precipitación de nieve y rápido derretimiento de esta, que trae como consecuencia que el período de permanencia de los bancos

de nieve sea mucho más corto. Este fenómeno tiene importantes consecuencias para el clima debido a que se generan cambios en el balance de energía radiativa, de la temperatura y del albedo (Brown y Philip 2008). Debido a estos cambiantes escenarios climáticos, las algas de nieve y su comunidad microbiana asociada tienen que adaptarse a un régimen muy diferente de descongelación y congelación (Dove et al. 2012), lo que implica adaptaciones moleculares y fisiológicas que hasta ahora no son bien entendidas. Un estudio reciente ha mostrado que estas algas poseen alta eficiencia fotosintética y tolerancia a la radiación UV (Rivas et al. 2016).

Además de su importante rol como productores primarios, los extremófilos polares contribuyen fuertemente a los procesos de intercambio de gases reactivos con la atmósfera (por ejemplo, N_2 , CO_2 , sulfóxido de dimetilo, etc.) (Amoroso et al. 2010). Por lo tanto, los escenarios presentes y futuros de calentamiento en vastas regiones frías, ponen de relieve la contribución de estos organismos a los ciclos biogeoquímicos a nivel global.

Otro aspecto importante relacionado con el cambio climático es la relación entre las algas de nieve con su microbiota asociada, la cual probablemente sufrirá cambios en términos de composición e interac

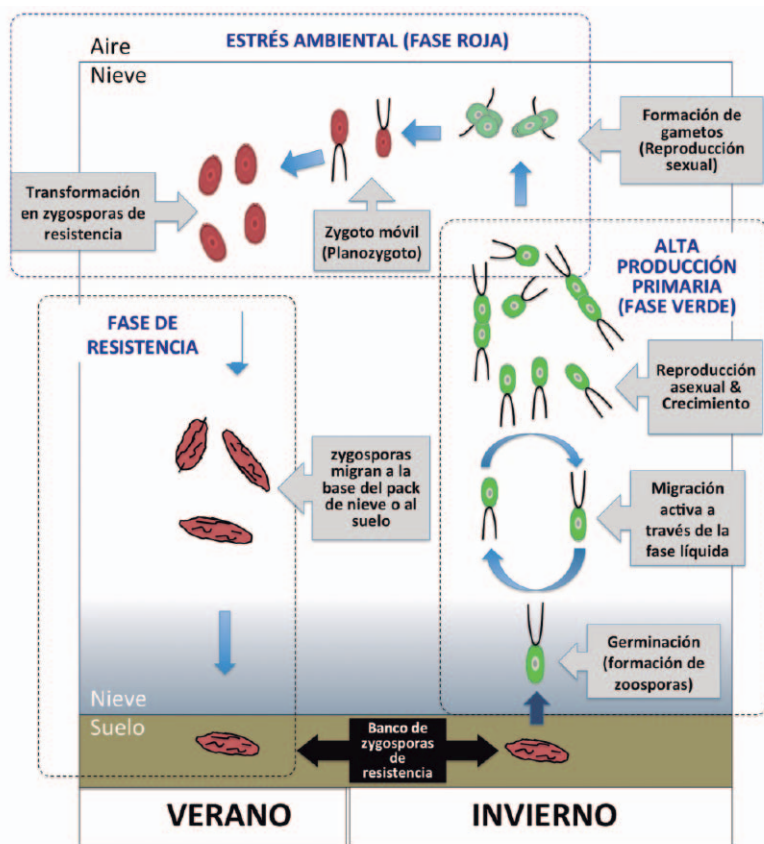


Figura 3. Ciclo de vida estacional de un alga de nieve típica (ej. *Chlamydomonas*) indicando los principales tipos de células y fases de desarrollo. Modificado de Hoham y Duval (2001).

ciones biológicas. Por ejemplo, períodos mas largos con menor cubierta de nieve puede aumentar la importancia relativa de otros organismos que habitan, por ejemplo, el suelo o ambientes marinos. De esta forma la evaluación del acervo genético de estos ecosistemas es urgente para evaluar la pérdida de biodiversidad en escenarios de cambio climático.

Las algas de nieve y su potencial biotecnológico

Los organismos psicrófilos tienen un potencial biotecnológico poco explotado. El conocimiento de cómo estas algas se adaptan fisiológicamente a los cambios ambientales puede ayudar en programas de mejoramiento y producción de especies relacionadas de otras regiones y que son consideradas candidatas para la producción de biomasa y fuente de diferentes biomoléculas (por ejemplo, carotenoides, compuestos polifenólicos y otros derivados, agentes anticongelantes como azúcares y proteínas, así como antioxidantes) (ver Margesin y Feller 2010).

Ácidos grasos insaturados: Dentro de los compuestos mas importantes que producen las algas de nieve están los ácidos grasos poli-insaturados (PUFAs), los cuales son sintetizados principalmente para mantener la integridad de las membranas a bajas temperaturas. Dentro de los más conocidos se encuentra PUFAS tipo Omega 3 tales como el ácido eicosapentanoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA). Estos compuestos son normalmente producidos a partir de microalgas tales como *Spirulina*, *Haematococcus* y *Dunaliella*, que tradicionalmente han sido cultivadas en gran escala para abastecer a la industria de la nutrición humana y animal, así como a la industria farmacéutica. Sin embargo, uno de los principales desafíos que tiene la producción de estas microalgas es el abastecimiento de agua y de luz. En Chile por ejemplo, se cultiva *Haematococcus pluvialis* en la zona norte del país, lo cual impone una alta carga ambiental a una región que sufre déficit hídrico. Por lo tanto, iniciativas de mejoramiento biotecnológico podrían permitir el cultivo de cepas adaptadas a bajas temperaturas y así usar el potencial de las regiones del sur del país que no tienen problemas de abastecimiento de agua.

Carotenoides: Este es otro grupo de compuestos producidos por las algas de nieve. Aunque carotenos tales como astaxantina o luteína, son importantes pigmentos fotosintéticos en algas, ellos son también sintetizados para servir como sustancias fotoprotectoras, debido principalmente a que ellas absorben en longitudes de onda corta cercana a la UV. La gran capacidad de las algas de nieve para vivir en ambientes lumínicos extremos (en las capas superficiales del pack de nieve la luz puede llegar a ser tan alta como $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Bajo estas condiciones muchas especies muestran diferentes adaptaciones en su ciclo de vida, entre ellas la formación de quistes con altos contenidos de astaxantina, lo que le da a la nieve su característico color rojo.

Antioxidantes: Debido a que viven en ambientes extremos y cambiantes, las algas de nieve han desarrollado eficientes mecanismos para contrarrestar el estrés oxidativo causado por cambios de temperatura, radiación UV, estrés osmótico, etc. Sustancias tales

como tocoferol, o fenoles son muy importantes para los procesos de detoxificación celular durante episodios de estrés ambiental. Asimismo, estos organismos sintetizan una serie de enzimas antioxidantes tales como superóxido dismutasa y ascorbato peroxidasa.

Consideraciones finales

Debido a la abundancia de campos de nieve y a su perfil montañoso, Chile es un país muy idóneo para realizar estudios sobre estos organismos. Especialmente en las áreas Antárticas, las investigaciones se han comenzado a centrar en la capacidad de estas algas para tolerar los efectos del cambio climático, como son altos niveles de radiación UV y aumentos de temperatura. (Proyecto Fondecyt 1161129).

Considerando que las algas de nieve pueden sintetizar a serie de compuestos con valor nutraceutico a temperatura cercana a 0°C, ellas pueden entregar valiosa información molecular y fisiológica que nos permita desarrollar aplicaciones biotecnológicas y así poder optimizar el cultivo de cepas de importancia industrial y farmacológica. Estudios moleculares que se realizan en la microbiota asociada a las algas de nieve entregaran importante información referente a la diversidad funcional de estos ecosistemas en escenarios de cambio climático.

Financiamiento: Proyecto FONDECYT 1161129, Centro Fondap-IDEAL (Grant 15150003) CONICYT, PhD Grant DT_09-14 de Instituto Antártico Chileno (INACH).

Referencias

- Amoroso A, Domine F, Esposito G, Morin S, Savarino J et al. (2010)** Microorganisms in dry polar snow are involved in the exchanges of reactive nitrogen species with the atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 44: 714e719.
- Brown RD, Philip WM (2008)** The response of northern hemisphere snow cover to a changing climate. *J. Climate* 22: 2124–2145.
- Dove A, Heldmann J, McKay C, Toon OB (2012)** Physics of a thick seasonal snowpack with possible implications for snow algae. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 44: 36–49.
- Hoham RW (1975)** The life history and ecology of the snow alga *Chloromonas pichincha* (Chlorophyta, Volvocales). *Phycologia* 14: 213–26.
- Hoham R, Laursen W, Clive S, Duval B (1993)** Snow algae and other microbes in several alpine areas in New England. *Proceedings of the 50 annual Eastern snow conference*, pp. 165–173.
- Hoham RW, Duval B (2001)** Microbial ecology of snow and freshwater ice with emphasis on snow algae. In: Jones HG, Pomeroy JW, Walker DA, Hoham RW (Eds), *Snow ecology: An interdisciplinary examination of snow-covered ecosystems*. Cambridge University Press, 168–228.
- Laybourn-Parry J, Tranter M, Hodson AJ (2013)** *The ecology of snow and ice environments*. Oxford University Press.
- Margesin R, Feller G (2010)** Biotechnological applications of psychrophiles. *Environ. Technol.* 31:844–845.
- Morgan-Kiss RM, Priscu JP, Pockock T, Gudynaite-Savitch L, Hüner NPA (2006)** Adaptation and acclimation of photosynthetic microorganisms to permanently cold environments. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 70:222–252.
- Rivas C, Navarro N, Huovinen P, Gómez I (2016)** Photosynthetic UV stress tolerance of the Antarctic snow alga *Chlorella* sp. modified by enhanced temperature? *Rev. Chi. Hist. Nat.* 89:7.