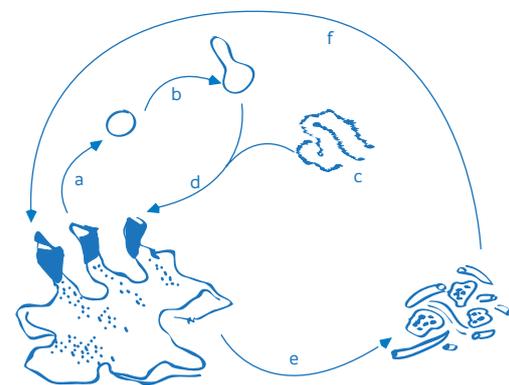




1 *Peltigera* sp. del Parque Natural Karukinka, en Tierra del Fuego. Dato: La mitad de las especies de ascomicetes (la división más grande del reino de hongos) son liquenizadas, de los cuales la minoría son cianolíquenes (líquenes cuyo fotobionte es una cianobacteria).



2 Representación esquemática de las estrategias de reproducción en líquenes: a) esporulación fúngica; b) germinación de las esporas fúngicas; c) cianobacterias compatibles; d) generación de un nuevo holobionte; e) propágulos vegetativos especializados; f) holobionte mantenido de una generación a otra (modificada de Paulsrud *et al.*, 2001).

## Cianolíquenes antárticos y subantárticos: estrategias de unión y supervivencia

Julieta Orlando, Catalina Zúñiga y Margarita Carú

Universidad de Chile  
orlandojulieta@yahoo.com.ar



Los líquenes son asociaciones simbióticas formadas por un hongo (micobionte) y por un par fotosintético (fotobionte), que puede ser un alga (ficobionte), una cianobacteria (cianobionte) o ambos. El líquen posee características morfológicas y fisiológicas distintas a aquéllas que presentan sus componentes por separado, en especial por la tolerancia a las condiciones extremas. Es así que ellos son pioneros en la colonización de diversos hábitats terrestres y se encuentran en una gran diversidad de ambientes. En esta asociación mutualista, el hongo proporciona agua, minerales y protección al otro socio simbiótico; por su parte, el fotobionte, proporciona azúcares producidos por la fotosíntesis.

Sin embargo, en el caso de las asociaciones tripartitas, hay una clara separación de las funciones de los fotobiontes, donde la cianobacteria tiene como función principal fijar nitrógeno y el alga realiza mayoritariamente la fotosíntesis. Estas capacidades permiten que los líquenes sobrevivan en ambientes pobres en nutrientes, donde son escasos otros fijadores de nitrógeno, ya sean simbioses o de vida libre. La diversidad de

los componentes simbióticos se ha estudiado en varios líquenes y si bien las características macro y microscópicas permiten hacer una clasificación general, para determinar con certeza la identidad de los componentes simbióticos es necesario el uso de herramientas moleculares.

El objetivo de nuestro proyecto “Factores involucrados en la asociación ciano-líquén: disponibilidad, especificidad y selectividad”, financiado por Fondecyt (N° 11100381) y el INACH, es estudiar los factores que determinan el establecimiento exitoso de estas asociaciones simbióticas interespecíficas, incluyendo los factores genéticos que definen su especificidad (factores intrínsecos) y los factores ambientales (extrínsecos) tales como la disponibilidad de los socios adecuados y las condiciones ecológicas de un sitio en particular. Por lo tanto, pretendemos poner a prueba un modelo en el que el proceso de liquenización en la naturaleza combina la disponibilidad, la especificidad y la selectividad de los socios simbióticos. De este modo, las asociaciones en un sitio no son necesariamente determinadas por la presencia y abundancia de los socios que llegan y sobreviven

por sí mismos, sino más bien por el éxito de las alianzas determinadas por el medioambiente. El proyecto propone como modelo de estudio la asociación simbiótica de *Peltigera* (hongo) y *Nostoc* (cianobacteria) (fig. 1), en dos contextos ecológicos diferentes: el Parque Natural Karukinka (Tierra del Fuego, Chile, donde se ha contado con el apoyo de la Wildlife Conservation Society) y la isla Livingston (islas Shetland del Sur, Antártica). La Antártica es el único continente en el mundo que tiene una “flora” predominantemente criptogámica, consistente de musgos y líquenes, unas pocas especies hepáticas y sólo dos especies de plantas con flores. Por otra parte, Karukinka contiene restos de bosque primario de lenga (*Nothofagus pumilio*), bosques mixtos de lenga-coigüe (*Nothofagus betuloides*) y una variedad de otros ecosistemas (humedales, ecosistemas andinos y estepa patagónica) con una importante diversidad líquénica.

El impacto de estos factores intrínsecos y extrínsecos sobre el establecimiento de la simbiosis puede ser especialmente relevante durante la reproducción del líquen (fig. 2). Muchos líquenes se reproducen asexualmente mediante la producción

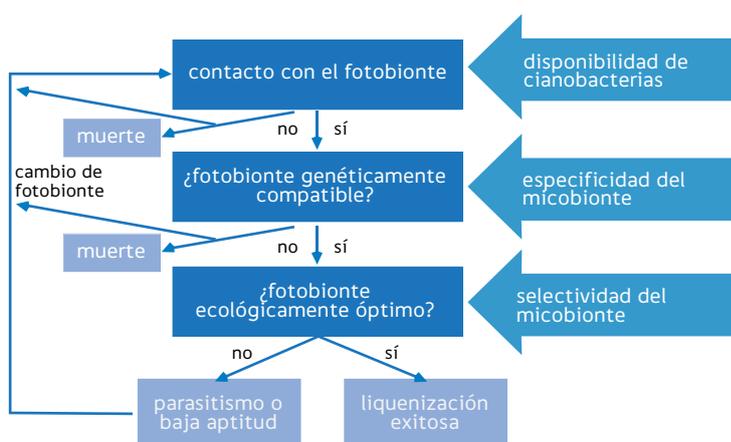
⊕ Los líquenes son asociaciones simbióticas que, gracias a la interacción de sus componentes biológicos, son capaces de tolerar condiciones extremas, sobrevivir en ambientes pobres en nutrientes y ser pioneros en la colonización de diversos hábitats. El modelo ecológico de liquenización propone que el establecimiento de la interacción depende del encuentro de socios compatibles y del contexto ambiental donde éstos se encuentran. Por lo tanto, una menor diversidad de uno de sus componentes (las cianobacterias de vida libre) en un entorno más adverso, podría llevar a una disminución de las asociaciones simbióticas. El proyecto “Factores involucrados en la asociación ciano-liquen: disponibilidad, especificidad y selectividad”, financiado por Fondecyt y el INACH, está midiendo estos parámetros en dos ecosistemas diferentes: el Parque Natural Karukinka (Tierra del Fuego) y la isla Livingston (Antártica).

de propágulos vegetativos que incluyen ambos componentes, permitiendo así la transmisión vertical de los simbioses. Sin embargo, los líquenes también se reproducen sexualmente mediante la producción de esporas por parte del micobionte, las que luego de germinar deben restablecer la simbiosis con un fotobionte de vida libre compatible. Así, si los pares son transmitidos verticalmente, entonces la asociación simbiótica se mantiene durante muchas generaciones, pero si se transmiten horizontalmente, entonces la asociación se desacopla y debe ser restablecida después de la reproducción del hongo.

Por lo tanto, la mantención de los socios simbióticos específicos en la naturaleza es un proceso que combina la *disponibilidad* de cianobacterias y la *especificidad* y *selectividad* del hongo (fig. 3). Luego de la germinación de una espora fúngica, debe existir un fotobionte disponible en las cercanías con quien establecer la simbiosis (*disponibilidad del fotobionte*); esta disponibilidad depende de factores geográficos y ecológicos del lugar. Si no existe un fotobionte adecuado disponible, el

hongo no es capaz de sobrevivir. En la siguiente etapa, luego del encuentro, el fotobionte debe cumplir el requisito de ser genéticamente compatible con el micobionte (*especificidad*); algunos hongos presentan un rango de especificidad por el fotobionte relativamente amplio, mientras que otros presentan un rango más estrecho. Si existe más de un tipo de fotobionte genéticamente compatible presente, entonces el hongo seleccionará como compañero a aquél que sea más adecuado ecológicamente (*selectividad del micobionte*). Finalmente, si el hongo se asocia con un fotobionte compatible, pero no ecológicamente óptimo, el liquen formado podrá sobrevivir durante un tiempo con un bajo rendimiento, hasta que logre intercambiar su fotobionte por una pareja más adecuada para el ambiente en que viven.

Nuestra hipótesis es que si el encuentro (*disponibilidad*) de los socios adecuados (*especificidad*) es esencial en el establecimiento de las asociaciones simbióticas, y el éxito depende del contexto ambiental (*selectividad*), entonces, en un entorno más adverso, como la isla Livingston



3 Modelo hipotético de la asociación hongo-fotótrofo en líquenes (modificado de Yahr *et al.*, 2006).

en comparación con Tierra del Fuego, se espera una menor diversidad de cianobacterias de vida libre en el sustrato asociado a los líquenes, lo que podría llevar a una reducción de la selectividad fúngica. Para poner a prueba la hipótesis se emplearán herramientas moleculares y marcadores genéticos específicos que permitan: i) identificar las poblaciones de cianolíquenes en ambas localidades y caracterizar los sitios de muestreo, ii) identificar los socios simbióticos (cianobionte y micobionte) a nivel de especie, iii) establecer la diversidad de los cianobiontes en cada liquen, y iv) determinar la diversidad de las cianobacterias de vida libre presentes en el sustrato asociado a cada liquen. Si la hipótesis planteada se cumple, se espera que la especificidad de la interacción, por estar determinada genéticamente, sería la misma en ambos ambientes. Por su parte, la disponibilidad del fotobionte se reflejaría en una mayor diversidad de cianobacterias en el contexto ecológico más favorable y la selectividad de la interacción disminuiría en un contexto ecológico desfavorable; entonces la razón entre la diversidad de cianobacterias endobiontes y epibiontes será menor en Tierra del Fuego que en la Antártica (tabla 1).

El modelo biológico *Peltigera-Nostoc* nos per-

Indicador	Parámetro	Tierra del Fuego	Antártica
Diversidad cianobacterias epibiontes	Disponibilidad	>	<
Identificación micobionte y cianobionte	Especificidad	=	=
Diversidad cianobacterias endobiontes	Selectividad	>	<

Tabla 1. Resumen de los resultados esperados según la hipótesis planteada.

mitirá poner a prueba los factores que afectan a esta asociación simbiótica cianoliquénica, la cual se espera presente variaciones en la diversidad de sus componentes en respuesta a la disponibilidad de los pares simbióticos y a la especificidad y selectividad fúngica. Asimismo, los sitios de estudio propuestos en esta investigación podrían proporcionar información adicional sobre el grado de endemismo de los grupos microbianos estudiados. Se conoce que la Antártica experimenta una entrada continua de propágulos de los otros continentes del hemisferio sur; en tal escenario los grupos microbianos podrían no estar tan aislados del contacto con los de latitudes más bajas como es el caso de macroorganismos, en especial dado su aparentemente elevado potencial para el transporte aéreo.