

Ecología microbiana de ambientes extremos

Ángeles Aguilera¹, Elena González-Toril¹, Esther Santofimia², Enrique López-Pamo², Virginia Souza³, María Altamirano⁴



¹Centro de Astrobiología (INTA-CSIC), Ctra Ajalvir Km4, Torrejón Ardoz, 28850 Madrid. ²Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas, 23, 28003, Madrid. ³Instituto Estructura de la Materia (CSIC), Serrano 113, 28006 Madrid. ⁴Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias. Teatinos s/n, 29071 Málaga.

El grupo de **Ecología Microbiana**, desde hace más de 10 años, agrupa investigadores de cuatro instituciones con el objeto de aglutinar intereses y conocimientos complementarios en un mismo marco general, el del estudio de ecosistemas extremos, fundamentalmente, ambientes ácidos extremos. La unión de investigadores de áreas tan diversas como la geología, microbiología o la biología molecular proporciona al grupo un enfoque multidisciplinar que permite aunar trabajos de investigación básica muy ligados a objetivos puramente aplicados. Los organismos extremófilos ayudan a responder preguntas fundamentales tales como: cuáles son los límites de la vida, el establecimiento y evolución de los sistemas de transducción de energía, el origen de los ciclos de los elementos en la naturaleza, todos ellos relacionados con la vida en nuestro planeta y la posibilidad de encontrarla en otros sistemas planetarios.

Este grupo, coordinado por la Dra. Aguilera, trabaja en el estudio de diversos aspectos de las comunidades microbianas acidófilas, centrándose fundamentalmente en los organismos eucariotas que los habitan, siendo uno de los grupos pioneros en el estudio de la biodiversidad y los mecanismos de adaptación de estas comunidades a las condiciones ambientales. Actualmente tenemos un sólido conocimiento sobre la ecología microbiana en drenajes ácidos, fundamentalmente asociados a la Faja Pirítica Ibérica (FPI), aunque también hemos trabajado en otros ambientes ácidos fríos como la Antártida, la Cordillera Blanca en Perú, y ambientes ácidos hidrotermales como Argentina o Islandia. Nuestras principales aportaciones al conocimiento en este campo son:

(i) Estudios Hidrogeoquímicos: estudiamos la **evolución espacio-temporal de las aguas ácidas al incorporarse a la red fluvial**, tanto la evolución oxidativa como por dilución, demostrando la rápida cinética de la oxidación del Fe(II) y su alta relación con variables como pH, T, O₂ disuelto, actividad bacteriana y concentración de hierro. Hemos realizado un extenso estudio de la FPI como áreas generadoras de drenajes ácidos y su relación con parámetros climáticos. Hemos trabajado en tratamientos pasivos para remediar aguas mineras contaminadas caracterizando los precipitados como herramienta esencial para entender los procesos de eliminación de metales, aportando mejoras a uno de los pocos tratamientos pasivos en España. De manera novedosa se han estudiado los procesos hidrogeobioquímicos que se dan en la columna de agua de los lagos mineros y su variación química y estacional en profundidad, analizándose las fases minerales que precipitan, las cuales son capaces de capturar metales pesados del medio. Asimismo, hemos trabajado en casi todos los lagos ácidos mineros de la FPI, demostrando que cada lago es un sistema único.

(ii) Estudios relacionados con Biodiversidad: Somos uno de los grupos pioneros en abordar estudios en organismos eucariotas acidófilos, siendo los primeros en describir de manera exhaustiva su biodiversidad así como los modelos geomicrobiológicos que los incluyeran en diversos ambientes extremos ácidos extremos. **Hemos demostrado que estos ecosistemas extremos presentan una biodiversidad eucariota superior en número de especies y biomasa a la biodiversidad procario-**

ta, a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de ambientes extremos. A pesar de las diferentes condiciones ambientales y fisicoquímicas que presentan estos ecosistemas, existen especies eucariotas comunes a todos ellos lo que nos hace presuponer la existencia de un componente genético común que les permiten sobrevivir bajo condiciones de extrema acidez. Asimismo, hemos descrito la comunidad procariota asociada a los biofilms eucariotas para comprender mejor las posibles asociaciones. Nuestros estudios ultraestructurales demuestran una disposición ordenada de los organismos en capas, separadas entre sí por láminas de EPS en las que se disponen las bacterias. Nuestros estudios voltamétricos indican que la concentración de metales aumenta en la superficie y que son comparables con las que aparecen en el agua.

(iii) Estudios relacionados con Mecanismos de adaptación a ambientes ácidos: Publicamos los primeros transcriptomas y proteomas de organismos eucariotas acidófilos, estudiando la respuesta a metales pesados de especies fotosintéticas (*Chlamydomonas acidophila*, *Dunaliella acidophila* y *Euglena mutabilis*) mediante técnicas de secuenciación masiva y proteómica. Estos trabajos sugieren que **los microorganismos analizados presentan un alto nivel de estrés en su ambiente natural que los obliga a reorganizar parte de su metabolismo fotosintético y energético**. En el caso de *Chlamydomonas* encontramos una enzima fitoquelatín sintasa sobreexpresada en presencia metales no descrita anteriormente en este género de microalgas. Un detallado análisis filogenético ha revelado evidencias de múltiples eventos de transferencia génica horizontal de bac-



Fig. 1. Algunos ejemplos de ambientes ácidos extremos. **a)** Áreas geotermales en la Península de Reykjanes (SW, Islandia), **b)** Drenaje ácido en Río Tinto (SW, España), **c)** Drenaje ácido en el Parque Nacional de Huascarán National (Perú), **d)** Drenaje ácido en Bahía Almirantazgo (Islas Shetland, Antártida), **e)** Drenaje ácido en el río Pachacoto (Parque Nacional Huascarán, Perú), **f)** Río Tinto en la zona del pueblo de Nerva (SW, España).

terias a eucariotas dentro de esta familia de genes en este acidófilo. El análisis de los genes expresados diferencialmente en presencia de metales pone de relieve una alta expresión constitutiva de genes implicados en el estrés oxidativo, incluso en ausencia de metales pesados. En *D. acidophila* se observó sobreexpresión de transcritos relacionados con producción de sustancias extrapoliméricas (EPSs) que sugiere una respuesta de estrés del retículo endoplásmico no descrita hasta este momento en microalgas. Destacar que, el 26% de las proteínas analizadas no presentaban homología con ninguna otra proteína de las bases de datos, lo que podría indicar la existencia de nuevas proteínas en estas especies.

Hemos caracterizado por primera vez la **actividad fotosintética y productividad primaria** de las principales especies acidófilas fototróficas. Estos análisis son fundamentales a la hora de entender el papel que juegan este tipo de organismos en el ecosistema como productores primarios. Actualmente no existe ningún estudio de este tipo en ambientes extremos. Los resultados indican una gran adaptación a condiciones de poca luz, lo cual creemos que tiene mucha relación con el intenso color rojo del agua en la que habitan y que modifica en gran medida la calidad de luz fotosintética que reciben. Todas las especies analizadas

presentan fenómenos de fotoinhibición, lo que las diferencia de otras especies fotosintéticas, relacionadas más frecuentemente con procesos de fotosaturación.

(iv) Evaluación del potencial biorremediador de ambientes contaminados: hemos detectado que estos organismos acidófilos producen una mayor cantidad de EPSs que juegan un importante papel como mecanismos de protección frente a presencia de metales pesados. **Producen más EPS que otras especies de agua neutras** (entre 130 a 450 mg/gr peso seco), llegando a representar entre el 15 y 40 % del peso total en seco del biofilm, producen más EPS cuanto menor es el pH y cuanto mayor es la concentración de metales de la zona de donde son aislados. Hemos comprobado que la cantidad y composición de EPSs no depende de la especie, si no de las condiciones fisicoquímicas del agua que las rodea, evaluando de manera sistemática el posible uso de estas EPSs en biorremediación de aguas contaminadas.

(v) Estudios relacionados con microorganismos psicrófilos y su potencial biotecnológico: Asimismo hemos trabajado en microorganismos psicrófilos, centrándonos en su biodiversidad, ecología, mecanismos moleculares de adaptación a las temperaturas extremas y en sus posibles aplicaciones

biotecnológicas. Estudios proteómicos nos han permitido **encontrar nuevas proteínas, enzimas y metabolitos secundarios, que los microorganismos utilizan en su respuesta a los cambios medioambientales, y que podrían tener interés biotecnológico.** Entre las que se encuentran diversos pigmentos procedentes de microorganismos psicrófilos y moléculas con actividad antimicrobiana aisladas en organismos bentónicos antárticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera A, Manrubia SC, Gómez F, Rodríguez N, Amils R.** (2006). Eukaryotic community distribution and their relationship to water physicochemical parameters in an extreme acidic environment, Río Tinto. *Appl Environ Microbiol* 72: 5325-30.
- Cid C, García L, Casado V, Amils R, Aguilera A.** (2010). Proteomic response of an acidophilic strain of *Chlamydomonas* sp. to natural metal-rich water. *Proteomics* 10: 2026-36.
- Souza V, Altamirano M, Amils R, Aguilera A.** (2011). Photosynthetic performance of phototrophic biofilms in extreme acidic environments. *Environ Microbiol* 13: 2351-58.
- González E, Santofimia E, López E, Cruz R, Palomino EJ, Aguilera A.** (2015). Pyrosequencing assessment of microbial community of Pastoruri Glacier (PN Huascarán), a natural extreme acidic environment. *Microb Ecol* 70:936-47.
- Puente F, Olsson S, Gómez M, Souza V, Altamirano M, Amils R Parro, Aguilera A.** (2016). Solar radiation stress in natural acidophilic biofilms of *Euglena mutabilis* revealed by metatranscriptomics and PAM fluorometry. *Protist* 167: 67-81.