

Biodiversidad procariota en ambientes acuáticos hipersalinos

ANTONIO VENTOSA, CRISTINA SÁNCHEZ-PORRO, RAFAEL RUIZ DE LA HABA, M^a JOSÉ LEÓN, BLANCA VERA GARGALLO, ANA DURÁN VISERAS, CRISTINA GALISTEO, DÁŠA STRAKOVÁ Y ALICIA GARCÍA ROLDÁN

Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla.

✉ ventosa@us.es | sanpor@us.es | rrh@us.es



De izquierda a derecha: Antonio Ventosa, Dáša Straková, Alicia García Roldán, Cristina Galisteo, Mª José León, Blanca Vera Gargallo, Cristina Sánchez-Porro y Rafael Ruiz de la Haba. Recuadro: Ana Durán Viseras.

Nuestro grupo de investigación realiza sus actividades en el Departamento de Microbiología y Parasitología de la Universidad de Sevilla y lleva más de 40 años dedicado al estudio de la biodiversidad de microorganismos procariotas de los ambientes hipersalinos, cuya elevada concentración de sales y otros parámetros ambientales limitan la vida a grupos de arqueas y bacterias halófilas. Nuestros estudios se han centrado especialmente en ambientes acuáticos hipersalinos, aunque en los últimos años también estamos trabajando en el análisis de la biodiversidad procariota en suelos hipersalinos, con la finalidad de realizar estudios comparativos entre ambos ecosistemas que nos permitan conocer en profundidad las relaciones entre los diferentes grupos microbianos en dichos hábitats.

Al igual que en otros ambientes extremos, sólo conocemos una pequeña parte de la microbiota existente en los ecosistemas acuáticos hipersalinos, nos quedan muchos microorganismos por descubrir y describir y este es uno de los principales objetivos de nuestro equipo. Nuestros estudios han puesto un granito de arena en la determinación de la estructura y actividad de los grupos de arqueas y bacterias que forman parte de estos sistemas hipersalinos, utilizando las técnicas disponibles en cada momento, desde la caracterización fenotípica y genotípica de los aislados hasta las recientes técnicas de secuenciación masiva, lo cual nos está permitiendo tener un gran conocimiento de los microorganismos que habitan en estos ambientes, aunque no los podamos cultivar, y de sus actividades metabólicas

y función ecológica en dichos hábitats. Así, hemos realizado estudios microbiológicos en salinas solares de estanque múltiple, como las salinas de Santa Pola en Alicante, las salinas de Isla Cristina e Isla Bacuta en Huelva, o salinas localizadas en Cádiz, Mallorca o Gran Canaria. También hemos realizado importantes aportaciones en estudios de biodiversidad en el Mar Muerto o en lagos hipersalinos localizados en Mongolia Interior (China), Turquía o Irán.

Nuestros estudios pioneros de metagenómica y genómica comparativa en estanques con diferentes salinidades de las salinas "Bras del Port", localizadas en Santa Pola, Alicante e Isla Cristina en Huelva, permitieron determinar con detalle la diversidad filogenómica y metabólica de dichos hábitats, en un rango salino entre

el 13 y 37%. Entre los resultados más relevantes derivados de estos estudios metagenómicos se encuentra el aislamiento y caracterización de un grupo de gammaproteobacterias, abundantes en estanques con salinidades intermedias (entre el 13 y 21% de sales), que constituyen el primer ejemplo de bacterias halófilas moderadas definidas desde un punto de vista ecológico, presentando una morfología curvada y en determinadas condiciones espiral, justificando su descripción como un nuevo género, al que denominamos *Spiribacter*. Actualmente dicho género consta de 4 especies, aisladas todas por nuestro equipo y estudios recientes de otros investigadores están poniendo de manifiesto la relevancia y abundancia de este grupo bacteriano en diferentes ambientes acuáticos salinos de nuestro planeta.

Como hemos comentado anteriormente, entre los objetivos de nuestro grupo se encuentra el aislamiento y caracterización de nuevos grupos taxonómicos de ambientes acuáticos hipersalinos. Así, gracias a un trabajo meticuloso de cultivo, utilizando diferentes estrategias y medios de aislamiento, hemos aislado y caracterizado (al menos de manera preliminar, en base a la secuenciación del gen 16S rRNA) más de 4000 cepas, determinando la diversidad cultivable de estos ambientes y la presencia de nuevos taxones. Entre los nuevos taxones que hemos aislado y caracterizado en detalle recientemente de estos hábitats acuáticos hipersalinos se encuentran especies de los géneros *Salinivibrio*, *Halorubrum*, *Halonotius* y *Natronomonas*, pero especialmente vamos a referirnos a la descripción de dos nuevos géneros de haloarqueas, a los que hemos designado *Halosegnis* y *Haloglomus*.

Utilizando un enfoque basado en la culturomica obtuvimos cultivos axénicos de nuevas haloarqueas a partir de muestras de agua de las salinas de Isla Cristina e Isla Bacuta, en Huelva, que no se asignaban a ningún género descrito hasta la fecha. Análisis filogenómicos y filogenéticos nos mostraron que estos aislados constituían un nuevo género, al que denominamos *Halosegnis*, con dos nuevas especies, *Halosegnis rubeus* y *Halosegnis longus*. Además, las reconstrucciones metabólicas basadas en la genómica comparativa de sus secuencias nos indicaron que se trataba de arqueas con un metabolismo aeróbico fotoheterótrofo y con una estrategia típica *salt-in* de adaptación a los ambientes hipersalinos. Los reclutamientos genó-

micos de estos nuevos taxones frente a numerosas bases de datos metagenómicas nos han permitido determinar que las especies del género *Halosegnis* tienen una distribución geográfica mundial, alcanzando una gran abundancia (hasta un 8%) en hábitats con salinidades intermedias (18 a 27% de sales).

Por otro lado, a partir de muestras de agua de estanques de las salinas de Isla Cristina hemos aislado una nueva haloarquea, que ha resultado constituir un nuevo género, al que hemos denominado *Haloglomus*, con una sola especie, *Haloglomus irregularis*. Se trata de una arquea halófila extrema que crece óptimamente al 30% (p/v) de NaCl. El análisis de reclutamiento de fragmentos metagenómicos de esta nueva haloarquea sugiere la existencia de otras especies estrechamente relacionadas con la misma, todavía no aisladas en cultivo puro y cuyo papel ecológico es desconocido, que se encuentran ampliamente distribuidas en ambientes acuáticos con elevadas concentraciones salinas.

Por último, queremos destacar las colaboraciones que venimos realizando con otros grupos de investigación, a través de las redes de microorganismos extremófilos nacional y latinoamericana, especialmente con grupos de Turquía (Dra. M. Birbir), Estados Unidos (Dres. R.T. Papke y K. Konstantinidis), México (Dres. Ninfa Ramírez y Horacio Sandoval) y de forma muy especial la colaboración que venimos realizando con el Dr. Mohammad Ali Amoozegar, de la Universidad de Teherán, desde hace más de 20 años, acerca de la diversidad procarionta de lagos hipersalinos localizados en Irán, como los lagos Aran-Bidgol, Meyghan o Urmia, este último recientemente declarado reserva de la biosfera por la UNESCO. Hemos publicado tanto trabajos basados en técnicas independientes de cultivo como de caracterización de nuevos taxones. Concretamente, hemos descrito 45 nuevos grupos de arqueas y bacterias halófilas, destacando entre ellos 14 nuevos géneros y una nueva familia.

Publicaciones seleccionadas

León MJ, Fernández AB, Ghai R, Sánchez-Porro C, Rodríguez-Valera F, Ventosa A. (2014). From metagenomics to pure culture: isolation and characterization of the moderately halophilic bacte-

rium *Spiribacter salinus* gen. nov., sp. nov. Appl. Environ. Microbiol. 80: 3850-3857.

Ventosa A, de la Haba RR, Sánchez-Porro C, Papke RT. (2015). Microbial diversity of hypersaline environments: a metagenomic approach. Curr. Opin. Microbiol. 25: 80-87.

Vera-Gargallo B, Chowdhury TR, Brown J, Fansler SJ, Durán-Viseras A, Sánchez-Porro C, Bailey VL, Jansson JK, Ventosa A. (2019). Spatial distribution of prokaryotic communities in hypersaline soils. Sci. Rep. 9: 1769.

Durán-Viseras A, Andrei A-S, Ghai R, Sánchez-Porro C, Ventosa A. (2019). New *Halonotius* species provide genomics-based insights into cobalamin synthesis in haloarchaea. Front. Microbiol. 10: 1928.

de la Haba RR, López-Hermoso C, Sánchez Porro C, Konstantinidis K, Ventosa A. (2019). Comparative genomics and phylogenomic analysis of the genus *Salinivibrio*. Front. Microbiol. 10: 2104.

Durán-Viseras A, Sánchez-Porro C, Ventosa A. (2020). *Haloglomus irregularis* gen. nov., sp. nov., a new halophilic archaeon isolated from a marine saltern. Microorganisms 8: 206.

Durán-Viseras A, Andrei A-S, Vera-Gargallo B, Ghai R, Sánchez-Porro C, Ventosa A. (2021). Culturomics-based genomics sheds light on the ecology of the new halobacterial genus *Halosegnis*. Environ. Microbiol. 23: 3418-3434.

de la Haba RR, Minegishi H, Kamekura M, Shimane Y, Ventosa A. (2021). Phylogenomics of haloarchaea: the controversy of the genera *Natrinema*-*Haloterrigena*. Front. Microbiol. 12: 740909.

Durán-Viseras A, Sánchez-Porro C, Ventosa A. (2021). Genomic insights into new species of the genus *Halomicroarcula* reveals potential for new osmoadaptive strategies in halophilic archaea. Front. Microbiol. 12: 751746.

Ventosa A, de la Haba RR, Arahal DR, Sánchez-Porro C. (2021). Genus *Halomonas*. In Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria. M. Trujillo (ed.), pp. 1-111. Wiley & Sons, New Jersey.