

Vida en la sal: microorganismos halófilos como productores de polisacáridos

Life in salt: halophilic microorganisms as polysaccharide producers

Alejandra Aragón León¹ y Rosa María Camacho Ruiz^{1*}

¹ *Biotecnología Industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, Jal., México 45019.*

*Autor de correspondencia: Rosa María Camacho Ruiz, rcamacho@ciatej.mx

Palabras clave:

halófilos, polisacáridos, fructanos

Resumen

La sal ha sido utilizada como conservador de alimentos desde tiempos ancestrales, por lo que no se pensaría que podría haber vida en este mineral. Sin embargo, investigaciones en el último centenar de años han documentado la presencia de microorganismos en la sal y se ha descrito su taxonomía y sus aplicaciones. La producción de polisacáridos por microorganismos halófilos se ha descrito recientemente, por ejemplo, no se sabía que las arqueas halófilas eran capaces de producir polisacáridos de tipo fructano hasta que en 2019 un grupo de investigadores turcos publicó este descubrimiento. Posteriormente, el grupo de trabajo de halófilos de CIATEJ (México) realizó una serie de investigaciones para estudiar la producción de polisacáridos por microorganismos halófilos aislados de ambientes salinos mexicanos, y en 2023 publicó la producción de fructanos tipo inulina por las arqueas halófilas. En esta revisión se presenta un sumario sobre la vida en sal, los tipos de microorganismos que son capaces de vivir en ecosistemas salinos, las estrategias que utilizan para hacer frente a la concentración salina elevada. Se presentan ejemplos de investigaciones en las que se han estudiado dos ecosistemas salinos mexicanos (Cuatro Ciénegas, Coahuila y Salina Real de Huatabampo, Sonora), se muestran datos sobre el aislamiento e identificación de microorganismos por técnicas dependientes de cultivo y se describe la producción de polisacáridos a partir de dos de los microorganismos aislados.

Abstract

Keywords:

halophiles, polysaccharides, fructans

Salt has been used as a food preservative since ancient times, so it was not initially thought that life could exist in this mineral. However, research over the past century has documented the presence of microorganisms in salt, and their taxonomy and potential applications have been described. The production of polysaccharides by halophilic microorganisms has been recently described, for example, it was not known that halophilic archaea were capable of producing fructan-type polysaccharides until a group of Turkish researchers published this discovery in 2019. Subsequently, the CIATEJ halophile working group (Mexico) carried out a series of investigations to study the production of polysaccharides by halophilic microorganisms isolated from Mexican saline environments, and in 2023 published the production of inulin-type fructans by halophilic archaea. This review presents a summary of life in salt, the types of microorganisms that are capable of living in saline ecosystems, the strategies they use to cope with high salt concentration; Examples of research are presented in which two Mexican saline ecosystems have been studied (Cuatro Ciénegas, Coahuila and Salina Real de Huatabampo, Sonora), data on the isolation and identification of microorganisms by culture-dependent techniques are shown, and the production of polysaccharides from two of the isolated microorganisms is described.

Recibido: 30 de abril 2025

Revisado: 06 de junio 2025

Aceptado: 13 de junio 2025

Publicado: 21 de julio 2025



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Introducción

La sal ha acompañado al ser humano desde tiempos ancestrales, ha sido tan importante para el humano que hubo una época en la que tenía valor como moneda, de hecho, el origen de la palabra salario refiere a la sal. Ha sido utilizada como condimento, para fijar colores en los textiles, como medicamento, etc. Uno de los usos más antiguos de la sal es como conservador de alimentos, esto debido a su actividad antimicrobiana, dado que reduce la actividad de agua en los alimentos y limita el crecimiento microbiano (Cirillo et al., 1994). Su uso para la conservación de alimentos nos hace pensar que la sal no podría albergar vida. Sin embargo, se ha documentado la presencia de microorganismos en muestras de sal provenientes del mar Muerto, de minas de sal y de lugares donde se evapora agua de mar para producir sal (Oren, 1994). En los años 1930 se descubrió que microorganismos adaptados a vivir en concentraciones salinas cercanas a la saturación podrían contaminar productos conservados en salmueras. La investigación en microorganismos halófilos y su taxonomía se ha desarrollado desde entonces y se ha descrito que las arqueas halófilas albergan a la mayoría de microorganismos clasificados como halófilos extremos. Se han investigado numerosas aplicaciones biotecnológicas para los microorganismos halófilos entre las que destacan la producción de solutos compatibles (azúcares, betaína, ectoína, glicerol, sales) para la industria cosmética, uso de microorganismos completos en biorremediación, producción de polímeros como los polihidroxicanoatos, enzimas, pigmentos y polisacáridos (DasSarma et al., 2009). En este artículo se describen los microorganismos halófilos, sus estrategias para vivir en ecosistemas con elevada salinidad, se aborda una revisión sobre algunos lugares salinos de México, se habla sobre los microorganismos halófilos que se han aislado de estos ecosistemas y se describe lo que se ha explorado sobre la producción de polisacáridos por estos microorganismos.

¿Qué son los microorganismos halófilos y dónde habitan?

Amantes de la sal, por sus raíces griegas halos: sal y filos: amante. Este es el nombre que reciben diferentes bacterias, eucariotas y arqueas, microorganismos que necesitan sal para poder vivir. Estos microorganismos habitan en lugares extremadamente salinos como las plantas productoras de sal, lagos salados y suelos salinos. Los microorganismos halófilos pueden tolerar una concentración de sal diez veces mayor (350 g/L) a la concentración de sal del agua de mar (35 g/L). Vale la pena resaltar que los microorganismos no halófilos no son capaces de tolerar concentraciones salinas por arriba de 10 g/L en el medio donde crecen (Oren, 1994).

Se han realizado diferentes expediciones en ecosistemas mexicanos como la reserva de cuatro Ciénegas en Coahuila y en la Salina Real de Huatabampo, Sonora, con la finalidad de encontrar microorganismos halófilos extremos. Se lograron aislar



microorganismos de estos ecosistemas y se integró una colección de más de 50 cepas. Esta colección está resguardada en las instalaciones de CIATEJ, Zapopan. Estos microorganismos fueron aislados e identificados. Se encontró que algunos de los microorganismos, cuando son cultivados en caja Petri, muestran una película transparente alrededor de las colonias; este halo transparente corresponde a moléculas conocidas como exopolisacáridos (EPS), los cuales tienen la función de proteger la célula de las adversidades físicas a las que están expuestas en los ambientes extremadamente salinos.

¿Cómo sobreviven los halófilos en concentraciones de sal tal elevadas?

Los microorganismos halófilos han logrado adaptarse a condiciones extremas de salinidad y tolerar temperaturas o condiciones de pH extremos. La estrategia que utilizan los microorganismos halófilos para vivir en elevada salinidad consiste en el equilibrio de la presión osmótica del interior de la célula con respecto a la presión osmótica del exterior. En el medio donde crecen los microorganismos halófilos suelen existir distintas sales como el cloruro de sodio, cloruro de potasio, sulfato de magnesio, entre otras. Los microorganismos halófilos son capaces de acumular en su interior grandes cantidades de solutos; estos últimos pueden ser moléculas pequeñas como azúcares o aminoácidos (betaína o ectoína) o pueden ser sales como el cloruro de potasio. Esta acumulación permite equilibrar la presión osmótica al interior de la célula (Oren, 1994).

Si la concentración de sal del medio se retira, los microorganismos presentan un desbalance osmótico y la membrana puede romperse (lisis), llegando a morir. De esta manera, los microorganismos halófilos se clasifican en función a la cantidad de cloruro de sodio (NaCl) que requieren para su crecimiento: halófilos tolerantes 1-5%, moderados 5-20% y extremos 20-30% (Amoozegar et al., 2019).

¿Qué tipo de microorganismos podemos encontrar en los ambientes salinos?

En los ambientes salinos podemos encontrar microorganismos halófilos pertenecientes a los tres dominios de la vida. Recordemos que los organismos que habitan este planeta se clasifican en tres grandes dominios: eucaria, arquea y bacteria (Das-Sarma, 2009). Los microorganismos eucariotas son células que contienen orgánulos envueltos en membranas, siendo el núcleo el principal organelo; por otro lado, las bacterias y arqueas carecen de núcleo.

Ejemplos de microorganismos halófilos del dominio eucaria son el hongo halófilo *Aspergillus sydowii* y la microalga halófila *Dunaliella salina*. Se han identificado numerosas bacterias halófilas, entre las que destacan los géneros *Halobacillus* y *Halomonas*. Por otro lado, las arqueas son conocidas como los “halófilos por excelencia”, esto



porque son este grupo de arqueas halófilas quienes muestran los más altos requerimientos de sal para vivir, es decir que son halófilos extremos. Algunos ejemplos de arqueas halófilas muy interesantes son *Halobacterium salinarum*, *Haloarcula marismortui*, *Haloferax volcanii* (Oren, 2010).

México alberga una gran biodiversidad de microorganismos halófilos que se pueden localizar en diferentes ecosistemas extremos. A continuación, se presentan algunos ejemplos de microorganismos que se han estudiado y aislado de Cuatro Ciénegas y de la Salina Real de Sonora, y se describirá la capacidad de estos microorganismos en la producción de exopolisacáridos.

Microorganismos halófilos en ecosistemas mexicanos

Cuatro Ciénegas

Denominado en 1994 como reserva natural, está ubicado en el desierto de Coahuila. Cuatro Ciénegas se encuentra en un valle alrededor de majestuosas montañas, tiene vegetación desértica, pozas azules, lagos y ríos. Este ecosistema se formó hace 800 millones de años. Tiene la peculiaridad de contener agua con una gran cantidad de sales de calcio, magnesio, potasio, sulfatos y cloruro, que pueden concentrarse al paso de las estaciones del año. Se han estudiado comunidades microbianas que se van formando y contribuyen a formaciones rocosas denominados estromatolitos, generados por la precipitación de calcio. Se caracterizaron algunos sitios de este ecosistema como las dunas de yeso, encontrando que son moderadamente salinas y ligeramente alcalinas con pH de 8.5. De este ecosistema se aislaron nueve bacterias halófilas, entre ellas, *Halobacillus andaensis*, *Halobacillus dabanensis*, *Marinococcus luteus*, *Alkalibacillus salilacus*, *Salibacterium halocharis*, *Aquisalibacillus elongatus* (Delgado-García et al., 2018). Se exploró la capacidad de estas bacterias para producir biomoléculas de interés industrial como biocatalizadores y biosurfactantes (Barbachano-Torres et al., 2019; Delgado-García et al., 2019).

Salina Real de Sonora

Ubicada en la Bahía de Santa Bárbara en Huatabampo, Sonora, México. Es un área productora de sal en una zona no protegida y es clasificada como un humedal salado. Tiene una biodiversidad de especies halófilas, incluyendo bacterias y arqueas. Los suelos salinos de este ecosistema son ligeramente alcalinos con pH de 8. De este ecosistema se aislaron ocho arqueas halófilas pertenecientes a los géneros *Haloarcula*, *Halorubrum* y *Halolamina*. Se encontró que son excelentes productores de pigmentos carotenoides como la bacterioruberina (Vázquez et al., 2021) y una de ellas es capaz de producir exopolisacáridos de alto peso molecular (Aragón-León et al., 2023).

¿Qué son los exopolisacáridos y para qué sirven?

Los exopolisacáridos (EPS) son polímeros conformados por unidades de monosacáridos, tienen un alto peso molecular, que oscila entre 1×10^5 a 3×10^6 Daltones. Estas moléculas son diferenciadas por el tipo de monosacárido que las compone, el tipo de enlace glucosídico que forman (α o β) y pueden presentar una estructura lineal o ramificada. Los homopolisacáridos contienen un tipo único de monómero, mientras que los heteropolisacáridos presentan dos o más tipos de sacáridos (Figura 1).

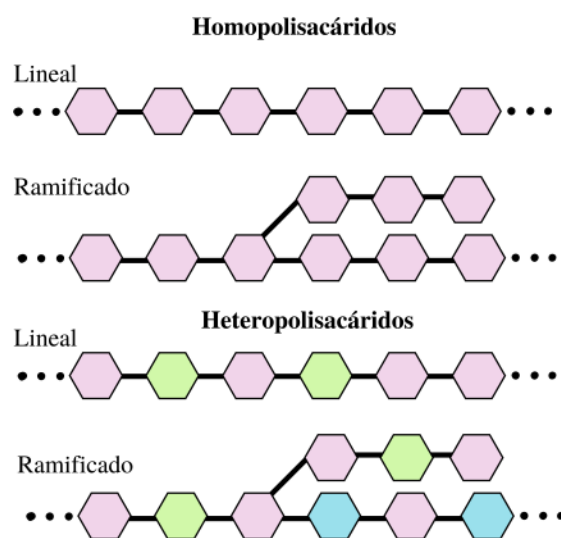


Figura 1. Estructuras de polisacáridos. Homopolisacárido: formados por un tipo de monosacárido, puede presentar estructura lineal o ramificada. Heteropolisacárido: Formado por dos o más monosacáridos, estructura lineal o ramificada

Fuente: elaboración propia

La biosíntesis de EPS se da en tres fases, en la primera se asimila la fuente de carbono, posteriormente se lleva a cabo la síntesis de manera intracelular y finalmente la exclusión de la molécula de la célula. Son secretados al medio circundante en forma de una biocapa. Los polisacáridos son encargados de proteger a las células por estrés biótico y factores externos como la temperatura, pH, salinidad e intensidad de luz. Adicionalmente, cumplen funciones celulares como adhesión a las superficies o a otros organismos, también funcionan como almacenamiento de energía y apoyo a mecanismos de defensa contra patogenicidad y virulencia (Finore et al., 2014).

Se ha reportado que los EPS producidos por vía microbiana han tomado importancia actualmente debido a que pueden ser empleados en la industria cosmética, química y farmacéutica. Los EPS poseen propiedades tecno-funcionales como gelificantes, estabilizantes y emulsionantes. Presentan beneficios a la salud como antimicrobianos y antioxidantes para su uso en la industria alimentaria. A nivel ambiental pueden ser empleados para inmovilizar metales pesados como plomo y cobre (Barcelos et al., 2019).



Cabe resaltar que a pesar de que la producción de polisacáridos por arqueas halófilas se conocía, no se sabía que las arqueas halófilas eran capaces de producir polisacáridos de tipo fructano, hasta que en 2019 un grupo de investigadores turcos publica este descubrimiento (Kırtel, et al., 2019).

Exopolisacáridos producidos por microorganismos aislados de ambientes salinos mexicanos

Una de las bacterias halófilas aisladas de Cuatro Ciénegas, identificada como *Salibacterium halochares*, produce por fermentación líquida 17.38 g/L de un exopolisacárido de alto peso molecular (1,283 kDa), mostrando capacidad de emulsificación, estabilidad térmica y poder viscosificante (López-Ortega et al., 2022). Se exploró la capacidad de este EPS para realizar emulsiones en condiciones de temperatura, pH y salinidad extrema. Se probaron concentraciones de 2M y 4M de NaCl (pH 7 y 30 °C). Se exploró también pH de 4, 7.5 y 12 (sin sal y 30 °C) y temperaturas de 40, 70 y 100 °C (pH 7 y sin sal) en la emulsión de hexano E (%); el control se realizó sin sal a 30 °C y pH 7. Se lograron índices de emulsión de 141% cuando se utilizó 4M de NaCl en la emulsión, y del 51% a pH 12 (Figura 2). Esta capacidad del polisacárido de *Salibacterium halochares* para realizar emulsiones en condiciones extremas de pH y salinidad lo convierte en un polisacárido de gran interés para la industria, con posibles aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (López-Ortega et al., 2022). Se desconoce la estructura de este polisacárido dado que no ha sido todavía reportada.

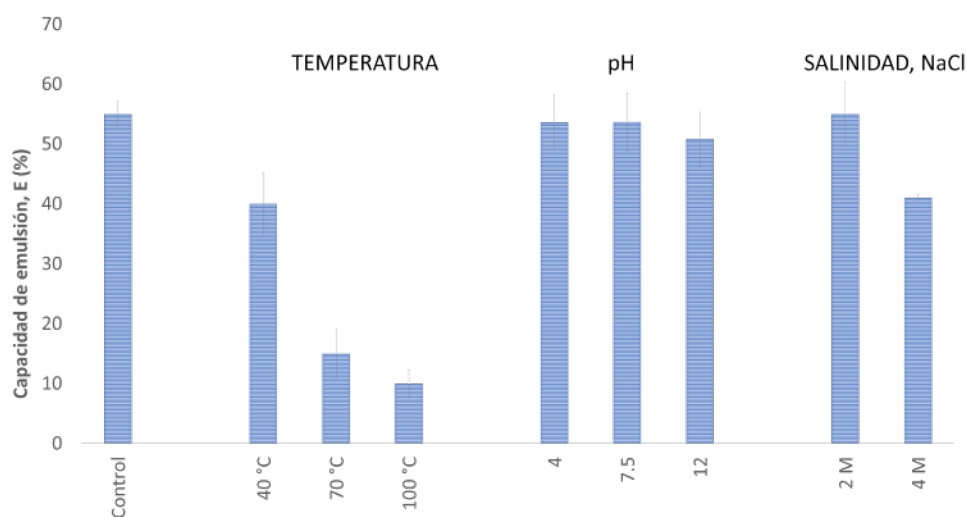


Figura 2. Capacidad de emulsión en condiciones extremas de salinidad, pH y temperatura del EPS obtenido de la bacteria halófila *Salibacterium halochares*. El control se realizó sin sal a 30 °C y pH 7
Fuente: López-Ortega et al., 2022

Por otro lado, se exploró también la producción de polisacáridos de la colección de arqueas halófilas aisladas de Huatabampo, Sonora. Se encontró que las ocho arqueas halófilas que se aislaron presentaban colonias de aspecto brillante, convexo, mucoso; se ha reportado que estas características fenotípicas están asociadas a cepas productoras de EPS (Kirtel, et al., 2019). La cepa identificada como *Haloarcula* sp. mostró el mayor potencial para producir polisacáridos (Figura 3). Se lograron producir hasta 3.9 g/L en cultivo en medio líquido. Se llevó a cabo la caracterización bioquímica del polisacárido encontrando que se trata de un homopolisacárido lineal tipo inulina (fructano) con alto peso molecular de 8,370 kDa (Aragón-León et al., 2023).

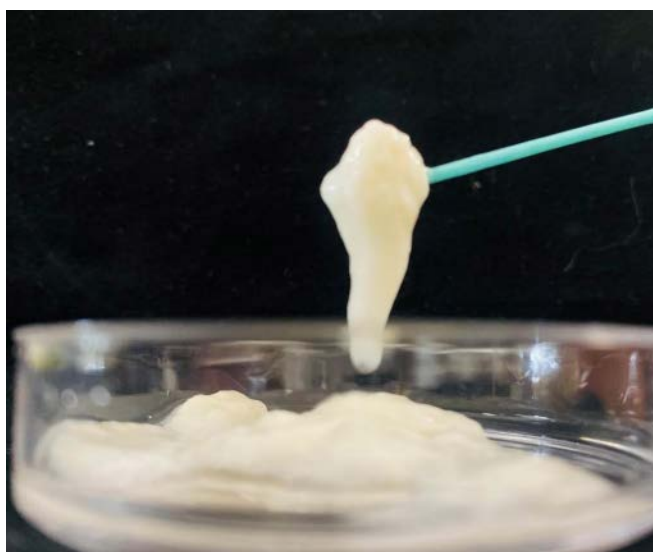


Figura 3. Exopolisacárido obtenido de la arquea halófila *Haloarcula* sp., con aspecto mucoso
Fuente: elaboración propia

El polisacárido de *Haloarcula* sp. mostró capacidad para ser utilizado como fuente de carbono por bacterias benéficas para la salud intestinal, demostrando con esto su capacidad prebiótica. En la Tabla 1 se observan los tiempos que tardaron bacterias benéficas probióticas y bacterias patógenas en crecer utilizando el polisacárido como única fuente de carbono (Aragón-León et al., 2023). El parámetro que se determinó se llama ET50 y se refiere al tiempo que tardó el microorganismo en alcanzar la mitad de su población, entre menor es el tiempo significa que el microorganismo creció más rápido. Como se observa en la Tabla 1, los microorganismos benéficos para la salud intestinal crecieron más rápido que las bacterias patógenas. Con ET50 entre 2.9 y 5.6 horas para las bacterias probióticas de los géneros *Lactobacillus* y *Pediococcus*; mientras que las bacterias patógenas tardaron más en duplicarse con tiempos entre 5.8 y 6.4 h (Aragón-León et al., 2023). Los resultados anteriores, aunados a la solubilidad de este polisacárido en agua, lo hacen interesante para ser utilizado como ingrediente con capacidad prebiótica en la industria de alimentos.



Tabla 1. Capacidad prebiótica del exopolisacárido obtenido de la arquea halófila *Haloarcula* sp. expresado como el tiempo en alcanzar la mitad de la densidad optima máxima (ET₅₀)

Cepa	Clasificación	Tiempo, ET ₅₀ , h
<i>Lactobacillus fermentum</i>	Bacterias reconocidas como benéficas para la salud digestiva, mejor conocidas como bacterias probióticas.	2.9
<i>Lactobacillus paracasei</i>		3.0
<i>Lactobacillus plantarum</i>		3.2
<i>Pediococcus acidilactici</i>		3.4
<i>Lactobacillus acidophilus</i>		3.5
<i>Lactobacillus casei</i>		4.6
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>		5.6
<i>Staphylococcus aureus</i>	Bacterias patógenas para el humano. Asociadas con enfermedades gastrointestinales.	5.8
<i>Listeria monocytogenes</i>		5.8
<i>Salmonella typhi</i>		5.8
<i>Escherichia coli</i>		6.4

Fuente: Tomado de Aragón-Leon et al., 2023

Conclusión

El estudio de arqueas y bacterias halófilas aisladas de ambientes salinos mexicanos como Cuatro Ciénegas, Coahuila y Huatabampo, Sonora, ha demostrado el excelente potencial de estos microorganismos para producir exopolisacáridos. Los polisacáridos producidos por los microorganismos halófilos han mostrado características distintas a otros polisacáridos, como su poder emulsificante en condiciones de elevada salinidad y pH. En el caso del polisacárido de la arquea halófila aislada de Sonora, se demostró capacidad para ser usado por bacterias benéficas para la salud digestiva. Estas investigaciones han generado un gran impacto en la comunidad científica, ya que se han encontrado diferentes aplicaciones para su uso en la industria de alimentos, ambiental y cosmética. La bioprospección y el resguardo de microorganismos aislados de diferentes ecosistemas mexicanos genera un impacto social y científico y pone en valor el patrimonio biológico que México resguarda.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a las investigadoras que realizaron su tesis en el marco del proyecto de “Bioprospección de ambientes salinos mexicanos”.



Financiamiento

Esta investigación recibió financiamiento de beca de maestría para Alejandra Aragón León, beca CONACYT número 1065125. Los reactivos y materiales usados en la investigación fueron financiados con recursos autogenerados propios de CIATEJ.

Referencias

- Amoozegar, M. A., Safarpour, A., Noghabi, K. A., Bakhtiary, T., & Ventosa, A. (2019). Halophiles and their vast potential in biofuel production. *Frontiers in microbiology*, 10(1895). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01895>
- Aragón-León, A., Moreno-Vilet, L., González-Ávila, M., Mondragón-Cortez, P. M., Sassaki, G. L., Martínez-Pérez, R. B., & Camacho-Ruíz, R. M. (2023). Inulin from halophilic archaeon Haloarcula: Production, chemical characterization, biological, and technological properties. *Carbohydrate Polymers*, 321, 121333. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121333>
- Barcelos, M. C. S., Vespermann, K. A. C., Pelissari, F. M., & Molina, G. (2019). Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1575791>
- Barbachano-Torres, A., López-Ortega, M. A., Delgado-García, M., González-García, Y., Rodríguez, J. A., Kirchmayr, M. R., & Camacho-Ruíz, R. M. (2020). Production and characterization of surface-active lipopeptides by haloalkaliphilic bacteria Salibacterium sp. 4CTb. *Journal of Surfactants and Detergents*, 23(1), 67–78. <https://doi.org/10.1002/jsde.12336>
- Cirillo, M., Capasso, G., Leo, V. A. D., & Santo, N. G. D. (1994). A history of salt. *American journal of nephrology*, 14(4-6), 426–431. <https://doi.org/10.1159/000168759>
- DasSarma, P., Coker, J. A., Huse, V., & DasSarma, S. (2009). Halophiles, industrial applications. *Encyclopedia of industrial biotechnology: bioprocess, bioseparation, and cell technology*, 1–43. <https://doi.org/10.1002/9780470054581.eib439>
- Delgado-García, M., Contreras-Ramos, S. M., Rodríguez, J. A., Mateos-Díaz, J. C., Aguilar, C. N., & Camacho-Ruíz, R. M. (2018). Isolation of halophilic bacteria associated with saline and alkaline-sodic soils by culture dependent approach. *Heliyon*, 4(11), e00954. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00954>
- Delgado-García, M., Flores-Gallegos, A. C., Kirchmayr, M., Rodríguez, J. A., Mateos-Díaz, J. C., Aguilar, C. N., Muller, M. & Camacho-Ruíz, R. M. (2019). Bioprospection of proteases from *Halobacillus andaensis* for bioactive peptide production from fish muscle protein. *Electronic Journal of Biotechnology*, 39, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.03.001>



- Finore, I., Di Donato, P., Mastascusa, V., Nicolaus, B., & Poli, A. (2014). Fermentation technologies for the optimization of marine microbial exopolysaccharide production. *Marine drugs*, 12(5), 3005–3024. <https://doi.org/10.3390/md12053005>
- Kirtel, O., Lescrinier, E., Van den Ende, W., & Öner, E. T. (2019). Discovery of fructans in Archaea. *Carbohydrate polymers*, 220, 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.064>
- López-Ortega, M. A., Rodríguez-Hernández, A. I., Chavarría-Hernández, N., López-Cuellar, M., González-García, Y., Córdova, J., ... & Camacho-Ruiz, R. M. (2022). Extracellular polysaccharide synthesized by the halophilic bacterium *Salibacterium halochares* STm, Isolated from gypsum dunes: production, physicochemical characterization and emulsifying properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 30, 2050–2065. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02326-9>
- Oren, A. (1994). The ecology of the extremely halophilic archaea. *FEMS Microbiology Reviews*, 13(4), 415–439, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00060.x>
- Oren, A. (2010). Industrial and environmental applications of halophilic microorganisms. *Environmental technology*, 31(8-9), 825-834. <https://doi.org/10.1080/09593330903370026>
- Vázquez, A. S., Barbachano, A., Arellano, M., Kirchmayr, M. R., Finore, I., Poli, A., Nicolaus, B., De la Torre, S. & Camacho, R. M. (2021). Effect of carbon sources in carotenoid production from *Haloarcula* sp. M1, *Halolamina* sp. M3 and *Halorubrum* sp. M5, halophilic archaea isolated from Sonora saltern, Mexico. *Microorganisms*, 9(5), 1096. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9051096>