

Sección: ¿Cómo funciona?

Aplicaciones de los surfactantes producidos por bacterias

Applications of surfactants produced by bacteria

Luis Alfonso Cruz Acevedo¹

Eric Pascal Houbbron^{2*}

Michel de la Cruz Canul Chan^{2†}

¹Departamento de Bioprocesos, UPIBI-IPN, Ciudad de México, México.

²Laboratorio de Gestión y Control de la Contaminación Ambiental. FCQ, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

[†]En reconocimiento a la contribución del Dr. Michel de la Cruz Canul Chan, fallecido antes de la publicación de este artículo.

*Autor para la correspondencia: ehoubbron@uv.mx

RESUMEN

Los surfactantes son moléculas utilizadas en productos de limpieza por su capacidad para eliminar grasas y suciedad hidrofóbica, por lo que forman parte de detergentes empleados en usos cotidianos. Sin embargo, muchos se producen a partir de derivados del petróleo y pueden causar impactos ambientales, como proliferación de algas y bacterias en ambientes acuáticos, así como emisiones de gases de efectos invernaderos. Ante ello, los biosurfactantes producidos por organismos vivos, como bacterias, representan una alternativa viable a los surfactantes convencionales, al presentar propiedades similares, ser biodegradables, biocompatibles y ambientalmente amigables. También contribuyen a remover contaminantes presentes en agua y suelo.

Palabras clave: Surfactantes, bacterias, biológicos detergentes.

SUMMARY

Surfactants are molecules used in cleaning products because of their ability to remove grease and hydrophobic contaminant making them part of everyday detergents. However, many are produced from petroleum-derived compounds, and made cause environmental impacts, such as proliferation of algae and bacteria in aquatic ecosystems as well as greenhouse gases emissions. For this reason, biosurfactants produced by living organisms such as bacteria can be considered an alternative to conventional surfactants, since they possess similar properties. In addition, they are biodegradable, biocompatible, and environmentally friendly. Their main applications include contribution to the removal of pollutants from water and soil.

Keywords: Surfactants, bacteria, biological detergents.

Los surfactantes

Los surfactantes son compuestos ampliamente utilizados en productos de limpieza gracias a su capacidad para facilitar la eliminación de grasas, aceites y otro tipo de suciedad que no se disuelven fácilmente en el agua [1]. La palabra surfactante proviene del término en inglés *surface active agent*, que significa “agente activo de superficie”. Este nombre hace referencia a la capacidad de estas sustancias para actuar sobre la superficie de los líquidos y debilitar la fuerza con la que sus moléculas se mantienen unidas. Al disminuir la tensión superficial del agua, permiten que esta entre en contacto con la grasa y la suciedad hidrofóbica (que no se mezcla con el agua), facilitando su eliminación durante la limpieza. Muchos surfactantes químicos se fabrican a partir de moléculas derivadas del petróleo como benceno, propileno o etileno, combinados con grupos químicos como sulfatos o sulfonatos [2, 3]. Entre los más utilizados a nivel mundial se encuentran los alquilbenceno sulfonatos, los alcoholes etoxilados, los sulfatos y los éter-sulfatos. La mayoría de los productos de limpieza que se venden hoy en día contie-

nen uno o más tipos de surfactantes, razón por la cual comúnmente se asocian con el término detergentes [1].

¿Cómo funcionan los surfactantes?

Los surfactantes son capaces de eliminar la suciedad hidrofóbica y las grasas, gracias a que están compuestos por moléculas con una “doble afinidad”: tienen una parte hidrofílica, que se asocia al agua, y otra hidrofóbica, que se une a las grasas y aceites. Debido a esta combinación, los surfactantes suelen representarse con una estructura formada por una cabeza y una cola (Figura 1A). Esta característica permite que, al mezclarse con el agua, los surfactantes puedan rodear la suciedad y formar pequeñas esferas llamadas micelas (Figura 1B). Las micelas atrapan y encapsulan la grasa en su interior, permitiendo que el agua las arrastre y se las lleve por el drenaje. Por esta razón, aunque el agua parezca suficiente para limpiar, por sí sola no puede eliminar la grasa, ya que el agua y los aceites no se mezclan de manera natural [3].

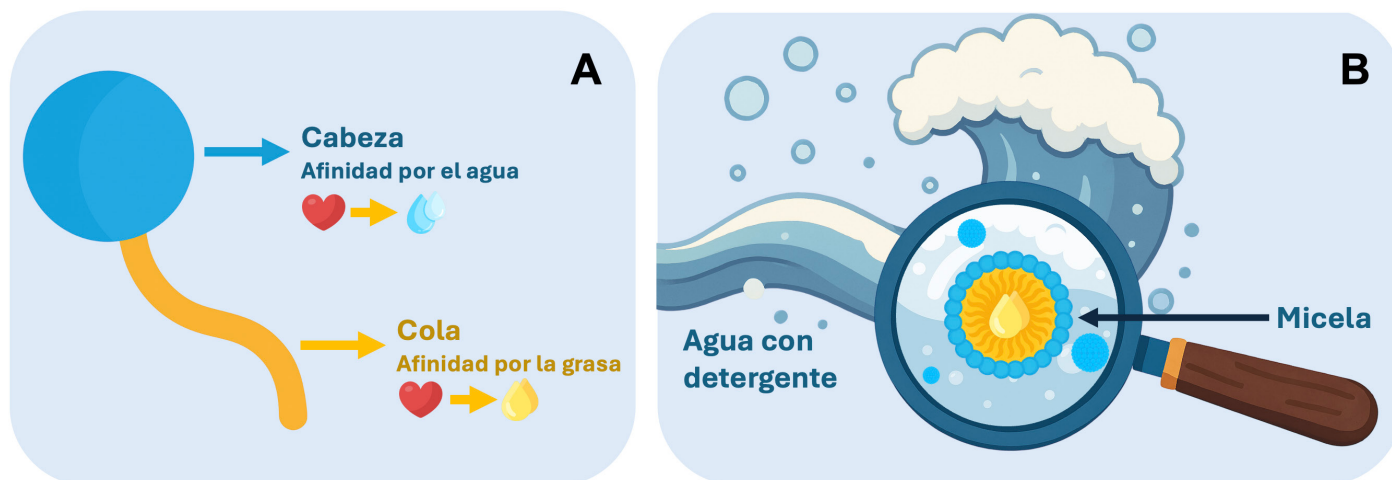


Figura 1. (A) Estructura de doble afinidad de los surfactantes: una parte hidrofílica (afín al agua) y una parte hidrofóbica (afín a las grasas). (B) Representación de la formación de micelas en presencia de agua con detergentes (surfactantes). En este proceso, los surfactantes rodean la suciedad y las grasas, formando pequeñas esferas llamadas micelas.

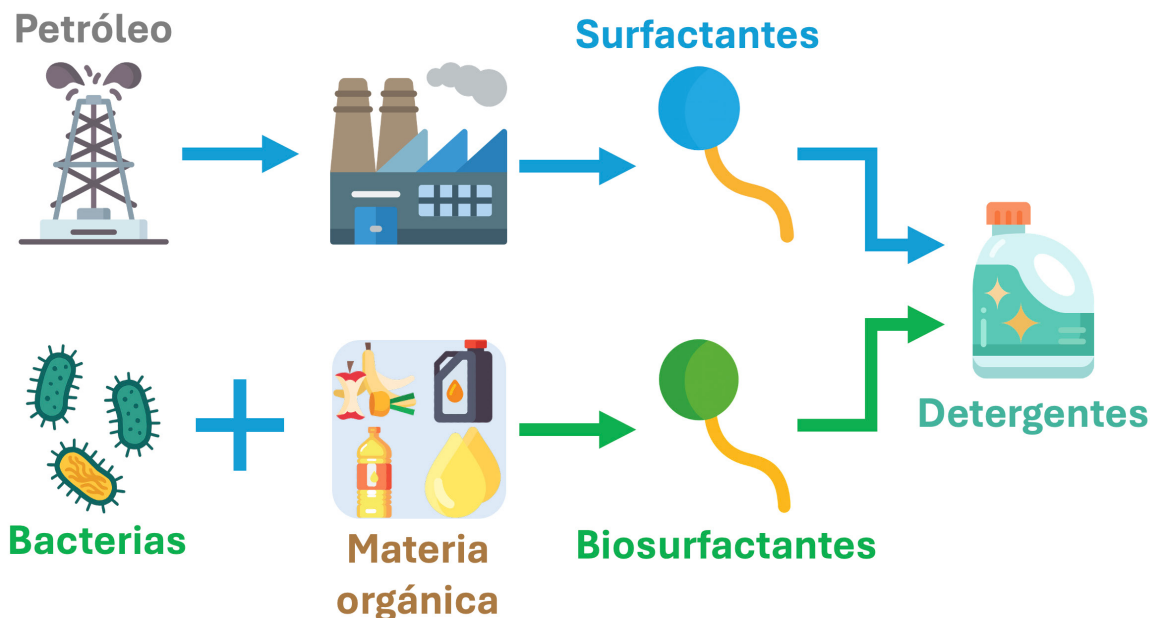


Figura 2. Los surfactantes convencionales se producen comúnmente a partir de derivados del petróleo, mientras que los biosurfactantes son sustancias elaboradas de forma natural por bacterias a partir de materia orgánica. Ambos tipos pueden utilizarse como ingredientes de detergentes para la limpieza de distintos materiales y superficies.

Los surfactantes de origen biológico

La comunidad científica ha mostrado un gran interés en desarrollar o identificar moléculas con propiedades limpiadoras similares a las de los surfactantes convencionales, pero obtenidas a partir de fuentes alternas y sustentables [4]. En esta búsqueda, se descubrió que algunos microorganismos son capaces de producir moléculas con propiedades similares a las de los surfactantes convencionales. Estas sustancias reciben el nombre de surfactantes de origen biológico o biosurfactantes. A diferencia de los surfactantes convencionales, los biosurfactantes se obtienen mediante procesos biológicos y, en muchos casos, pueden producirse sin la necesidad de utilizar compuestos químicos sintéticos (Figura 2) [5, 6]. Entre los más estudiados se encuentran los producidos por bacterias, las cuales los generan de forma natural al consumir materia orgánica como grasas y aceites.

Los biosurfactantes bacterianos están compuestos generalmente por la unión de una

cadena de ácido graso con otras moléculas como proteínas, lípidos o carbohidratos. Dependiendo de cómo se combinen estas moléculas, pueden presentar estructuras simples o complejas, lo que influye en sus propiedades y en sus aplicaciones. Entre los géneros bacterianos más estudiados por su capacidad para producir biosurfactantes se encuentran *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Acinetobacter* [6].

Para producir los biosurfactantes en laboratorio o a escala industrial, se han estudiado distintas fuentes de materia orgánica como son la melaza de caña, glicerol, aceite de cocina usado e incluso agua contaminada con hidrocarburos, es decir, materiales provenientes de residuos orgánicos. Dependiendo de la especie bacteriana y el tipo de materia orgánica utilizada, se pueden generar distintos tipos de biosurfactantes. Entre los más conocidos se encuentran los lipopéptidos, formados por un ácido graso unido a una pequeña cadena de aminoácidos y producidos principalmente por bacterias del género *Bacillus* y *Pseudomonas*. Otro grupo importante son los glicolípidos,

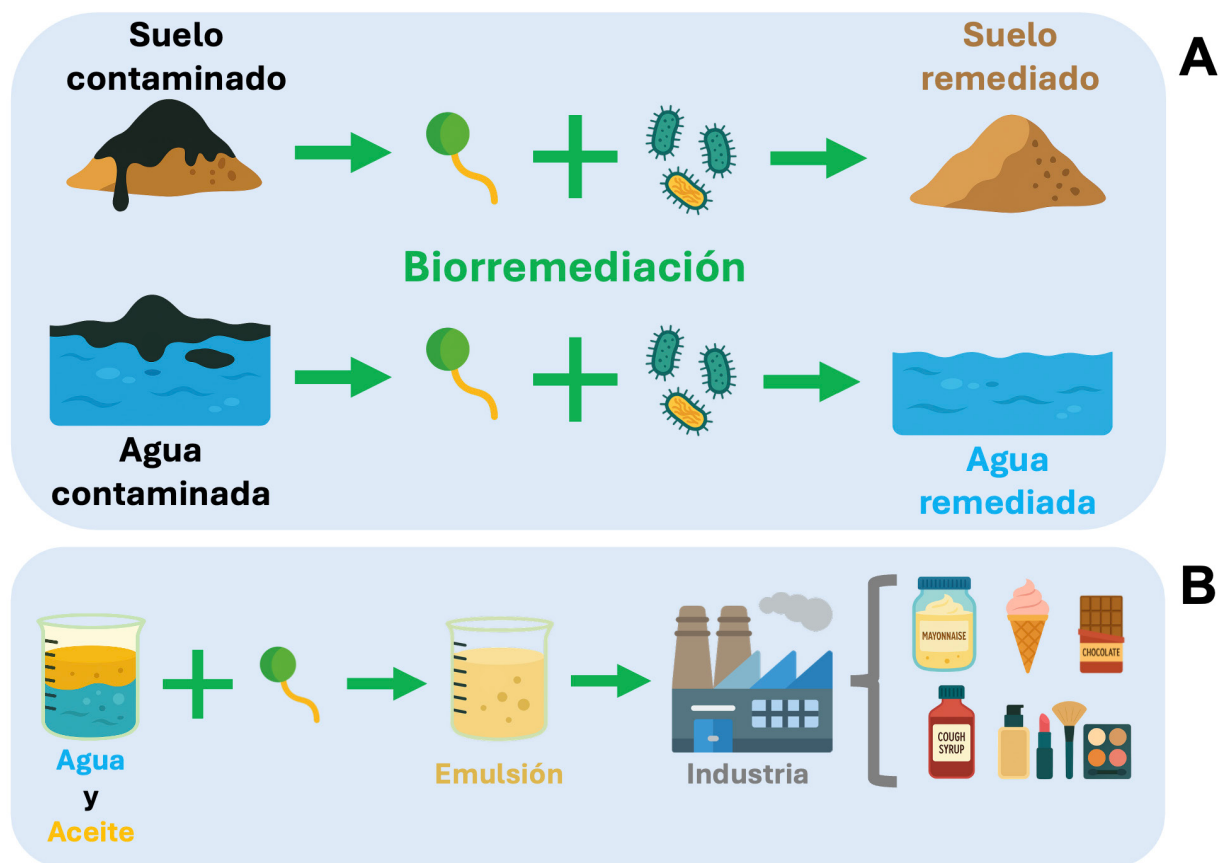


Figura 3. (A) Uso de biosurfactantes en procesos de biorremediación. Las bacterias y los biosurfactantes pueden ser adicionados al suelo y agua contaminada para remediar la contaminación del suelo y el agua. (B). Los biosurfactantes permiten mezclar líquidos como agua y aceite, dando lugar a emulsiones, que son fundamentales en muchas industrias. Algunos de los productos que dependen de estas mezclas son los helados, aderezos, medicamentos y otros productos de uso cotidiano.

que presentan en su estructura un ácido graso unido a azúcares simples y pueden ser producidos por bacterias del género *Acinetobacter* y *Pseudomonas* [1].

Características y usos de los biosurfactantes

Entre las características más importantes de los biosurfactantes destacan su baja toxicidad para plantas y animales, y su alta biodegradabilidad, lo que significa que otros microorganismos pueden descomponerlos de manera natural [5, 6]. Además, muchos de ellos funcionan incluso en condiciones adversas, como altas temperaturas, elevada salinidad o ambientes muy ácidos o alcalinos, además de

incluso ser eficaces en pequeñas cantidades. Gracias a estas propiedades, los biosurfactantes se utilizan en la limpieza de aguas y suelos contaminados con petróleo, grasas y aceites, contaminantes que representan un grave problema ambiental por los daños que causan a plantas y animales [5].

Aunque existen microorganismos capaces de asimilar los hidrocarburos del petróleo, este proceso suele ser lento porque estas sustancias tienden a flotar y no se mezclan fácilmente con el agua. Aquí es donde entra en acción la adición de biosurfactantes como los lipopéptidos, ya que estos atrapan a los contaminantes hidrofóbicos, permitiendo que se mezclen con el agua y sean más accesibles para las bacterias. De esta manera se facilita

su degradación natural, a través de un proceso de biorremediación, el cual es utilizado para reducir el daño ambiental y recuperar suelos y cuerpos de agua (Figura 3A) [1, 5].

Los biosurfactantes no solo se utilizan en la limpieza o en la biorremediación de suelos y aguas; sino que también tienen aplicaciones en diversas industrias como la industria cosmética, farmacéutica, alimentaria y agrícola. Gracias a su capacidad para mezclar sustancias que normalmente no se combinan, como el agua y las grasas, pueden formar emulsiones, las cuales están presentes en productos de uso cotidiano como aderezos, helados, jarabes, pinturas, maquillaje y chocolates (Figura 3B). En la agricultura se ha estudiado la adición de biosurfactantes en el suelo por su capacidad para inhibir el crecimiento de algunos hongos y microorganismos dañinos, además de favorecer la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas. También, en la industria cosmética, se utilizan como emulsionantes y estabilizadores en productos como jabones, cremas hidratantes, lociones y champús, mientras que en el sector farmacéutico algunos biosurfactantes han mostrado propiedades antimicrobianas [5].

A pesar de su gran potencial, su producción aún enfrenta algunos desafíos. Al ser compuestos generados por microorganismos, su obtención depende del crecimiento de bacterias capaces de transformar distintos nutrientes en biosurfactantes, un proceso que puede tardar varios días y producir cantidades limitadas. Sin embargo, el interés por estas moléculas ha crecido rápidamente, debido a que pueden obtenerse a partir de residuos orgánicos, lo que reduce costos y aprovecha materiales que de otro modo serían desechados. Actualmente, empresas internacionales como Dow, Clariant y Unilever participan en la investigación, producción o uso de estos compuestos, impulsando un mercado global en crecimiento. En este contexto, los biosurfactantes representan una alternativa prometedora para disminuir

el uso de surfactantes sintéticos derivados del petróleo y avanzar hacia procesos industriales sostenibles [2, 5].

Conclusión

Los biosurfactantes producidos por bacterias pueden considerarse como una alternativa prometedora para sustituir algunos surfactantes convencionales, ya que presentan propiedades similares a las de sus contrapartes sintéticas. Además, tienen aplicaciones en diversos sectores, como el alimentario, agrícola y cosmético, e incluso en la solución de problemas ambientales ocasionados por la contaminación del suelo y agua. Debido a esto, resulta importante impulsar la investigación relacionada a su producción mediante diversas bacterias, así como el desarrollo de procesos eficientes y escalables que aumente su rentabilidad. De esta manera, sería posible reemplazar gradualmente algunos surfactantes químicos presentes en los detergentes y avanzar hacia productos más amigables con el ambiente.

Agradecimientos

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a la Dra. Elvia Inés García Peña, del Departamento de Bioprocesos de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biología del Instituto Politécnico Nacional, por su destacada participación y valiosa contribución en la elaboración de este artículo de divulgación. Su orientación, comentarios críticos y apoyo constante fueron de gran importancia para asegurar el rigor científico y la claridad del contenido, así como para fortalecer la calidad de la información presentada al público general.

Los autores desean dedicar este artículo a la memoria del Dr. Michel de la Cruz Canul Chan, coautor de este trabajo, quien lamentablemente falleció durante el proceso editorial. Reconoce-

mos con profundo respeto su valiosa contribución científica, su compromiso académico y su calidad humana. Sirva esta publicación como testimonio de gratitud y reconocimiento a su legado.

Se declara que se empleó la herramienta de Inteligencia Artificial ChatGPT-5 únicamente para la generación de elementos gráficos, así como apoyo en la revisión ortográfica y de estilo en algunas secciones del texto, sin comprometer la originalidad ni el rigor científico del manuscrito.

Referencias

[1] Melikoglu, M. (2025). Biosurfactants for enhanced oil recovery and bioremediation in the modern petroleum industry: A global review. *JCIS Open*, 100168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jciso.2025.100168>.

[2] V Nagtode, V. S., Cardoza, C., Yasin, H. K. A., Mali, S. N., Tambe, S. M., Roy, P., ... & Pratap, A. P. (2023). Green surfactants (biosurfactants): a petroleum-free substitute for sustainability— comparison, applications, market, and future prospects. *ACS omega*, 8(13), 11674-11699. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00591>.

[3] Shah, S. K., Bhattarai, A., & Chatterjee, S. K. (2013). Applications of surfactants in modern science and technology. *Modern Trends Sci Technol*, 147-58.

[4] Premathilake, D. S., Silva, A. A. M. P., Illankoon, W. A. M. A. N., Rosatelli, A., Beltrametti, F., Bava, A., ... & Vaccari, M. (2026). Environmental, Economic, and Social Trade-Offs in Biochar and Biosurfactant-Based Soil Remediation: A Critical Review Based on Mass Flow Analysis. *Energy Nexus*, 100644. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nexus.2026.100644>.

[5] Hsu, C. Y., Mahmoud, Z. H., Hussein, U. A. R., Abdulvalieva, D., Alsultany, F. H., & Kianfar, E. (2025). Biosurfactants: Properties, applications and emerging trends. *South African Journal of Chemical Engineering*, 53(1), 21-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajce.2025.04.002>.

[6] Cui, J., & Dörmann, P. (2025). Microbial degrada-

tion of hydrocarbons from petroleum assisted by biosurfactants: pathways and bioremediation potential. *Biochimie*.<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biochi.2025.09.011>.