

# BIOSURFACTANTES: UNA HERRAMIENTA CLAVE PARA LA BIOTECNOLOGÍA SOSTENIBLE

José Antonio Chávez Gómez, José Luis Torres García, Diana Verónica Cortés Espinosa\*

Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Tlaxcala. Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, C.P. 90700. Tlaxcala, México.



## RESUMEN

Los biosurfactantes (BS) son compuestos anfífilicos sintetizados por microorganismos que desempeñan un rol imperante al disminuir la tensión superficial entre sustancias hidrofóbicas, facilitando su biodisponibilidad y solubilidad. Durante las últimas décadas, su adopción en la industria ha aumentado debido a ventajas como su biodegradabilidad, su baja toxicidad y su eficiencia en procesos industriales y ambientales en condiciones adversas o extremas, superando así a los surfactantes sintéticos en diversos ámbitos de aplicación. Este artículo revisa los aspectos fundamentales de los BS, desde su producción y clasificación hasta sus aplicaciones y estrategias para optimizar su síntesis, destacando su relevancia en la transición hacia tecnologías sostenibles.

**Palabras clave:** Biosurfactantes, Microorganismos, Tensión superficial, Bioprocesos, Ambiente

## ABSTRACT

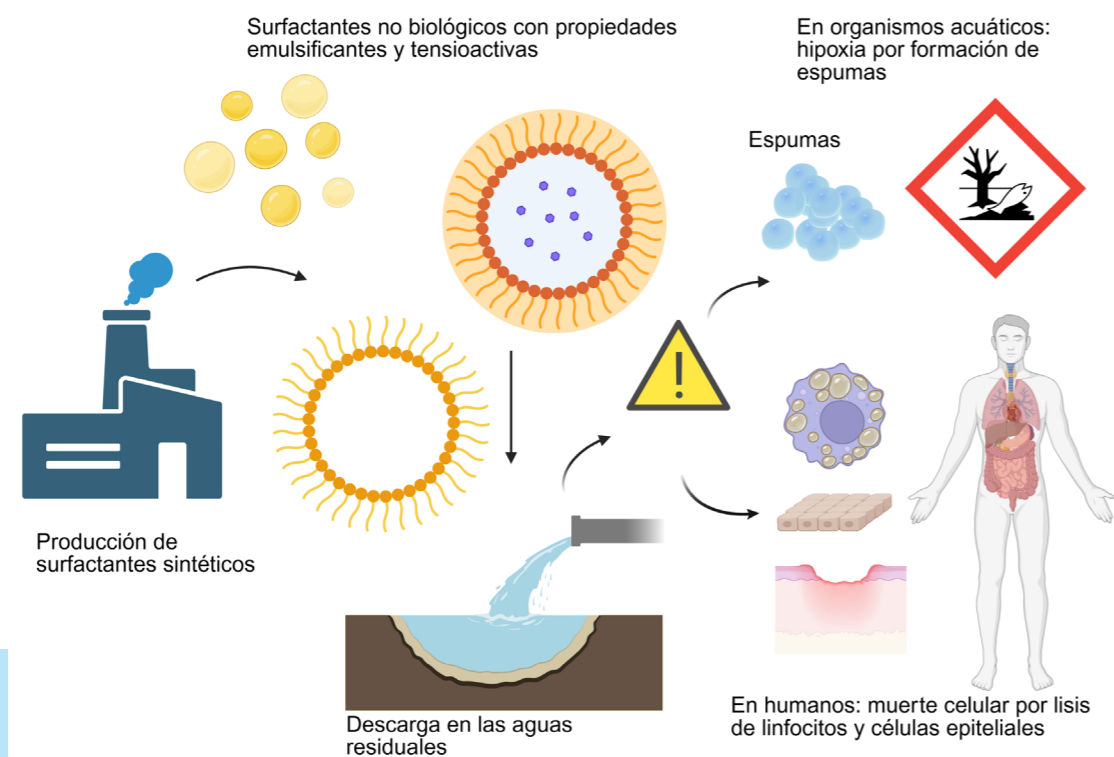
Biosurfactants (BS) are amphiphilic compounds synthesized by microorganisms that play a crucial role in reducing the surface tension between hydrophobic substances, thereby enhancing their bioavailability. Over the past decades, their adoption in industry has increased due to advantages such as biodegradability, low toxicity, and efficiency in industrial and environmental processes under adverse conditions, surpassing synthetic surfactants in various applications. This article reviews the fundamental aspects of BS, including their production, classification, applications, and production strategies, emphasizing their importance in the transition toward sustainable technologies.

**Keywords:** Biosurfactants, Microorganisms, Surface tension, Bioprocesses, Environment.

## INTRODUCCIÓN

Los surfactantes, también llamados tensioactivos, son compuestos anfifílicos, término que se refiere a una molécula de estructura dual compuesta por una porción hidrofílica y otra hidrofóbica. Gracias a esta estructura tienen la capacidad de reducir la tensión superficial entre sustancias inmiscibles (Moldes et al., 2021). Esta propiedad les permite actuar como agentes emulsificantes, dispersantes y espumantes, lo que ha llevado a su amplia aplicación en sectores industriales como el farmacéutico, de cosméticos, alimentario y el petrolero (Sun et al., 2022). El ejemplo más claro de sustancias inmiscibles son el agua y el aceite, ambas sustancias no se mezclan, en su lugar se forma una capa que las separa, a esta capa se le denomina interfase y un surfactante es capaz de debilitarla y solubilizar parcialmente ambas sustancias (Qazi et al., 2020). Los surfactantes pueden clasificarse de acuerdo con su fuente de obtención en dos grandes grupos: aquellos producidos por procesos químicos sin-

téticos derivados del petróleo y los de origen biológico, a partir de plantas o microorganismos. En cuanto a los surfactantes sintetizados químicamente, presentan la desventaja de ser tóxicos y la mayoría no son biodegradables, la principal ruta de entrada de éstos al ambiente ocurre mediante los sistemas de aguas residuales. Al ser producidos a escala global y tener gran demanda por su uso cotidiano se han clasificado como contaminantes emergentes capaces de formar espumas, las cuales al llegar a los cuerpos de agua se convierten en una barrera que provoca la disminución del oxígeno disuelto llevando a condiciones hipóxicas, con consecuencias negativas para los organismos acuáticos (Jena et al., 2023). Si el humano tiene una exposición prolongada a los surfactantes químicos se presentan daños a nivel celular, porque las cargas de estas moléculas permiten su adhesión a las membranas plasmáticas interrumpiendo distintos procesos celulares llevando a la lisis y muerte



**Figura 1.** Surfactantes sintéticos y su daño a la salud.

celular, por ejemplo, se ha reportado el daño en linfocitos (cuando hay ingesta) y en células epiteliales (cuando el contacto es dérmico) (Aslam et al., 2023).

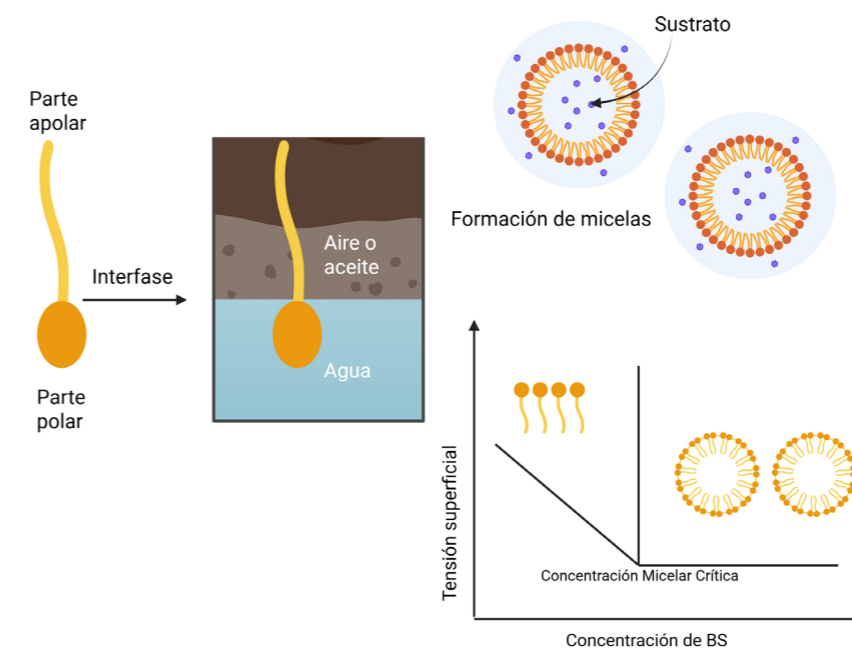
Por ello se ha optado por el uso de surfactantes de origen biológico los cuales son denominados biosurfactantes, producidos como metabolitos secundarios (MS) por microorganismos como bacterias, hongos y levaduras; no son tóxicos,

son biocompatibles y biodegradables (Bhadra et al., 2023; Sharma et al., 2023). Se han reportado un gran número de microorganismos productores de BS, específicamente aquellos que habitan en ambientes contaminados por hidrocarburos. Este patrón sugiere que la síntesis de BS forma parte de una estrategia de supervivencia. El presente artículo tiene la finalidad de describir a grandes rasgos los aspectos generales y fundamentales de los biosurfactantes, así como sus ventajas sobre los surfactantes sintéticos y las estrategias para su producción a gran escala encaminando los bioprocesos a una biotecnología realmente sostenible.

## 2 BIOSURFACTANTES

Los biosurfactantes (BS) son compuestos anfifílicos de origen biológico constituidos en su estructura por una porción hidrofílica (afinidad por el agua) y una porción hidrofóbica (afinidad por las grasas) (Figura 2) (Jahan et al., 2020). Su función biológica consiste en la difusión de sustancias a través de la membrana celular, en la formación de biopelículas, en la regulación de la presión osmótica, que le permite a la célula utilizar moléculas no biodisponibles como fuente de carbono y energía (Fracchia et al., 2015; Santos et al., 2016; Banat et al., 2021).

La parte hidrofílica de un BS es soluble en agua y su estructura puede ser iónica, no iónica o anfótera; puede estar constituida por monosacáridos y/o polisacáridos, polipéptidos, proteínas, alcoholes, ácidos carboxílicos y fosfatos (Sarubbo et al., 2022). Mientras que la parte hidrofóbica se encuentra constituida por cadenas hidrocarbonadas de 8 hasta 18 carbonos conformadas por un ácido graso saturado, un hidroxiácido o un  $\alpha$ -álcali- $\beta$ -hidroxiácido saturado o insaturado (Cai, 2019). Estas moléculas poseen la capacidad de aumentar la solubilidad de sustancias hidrofóbicas, pues se forman monómeros que constituyen estructuras micelares, que al incrementar su conformación se denomina concentración micelar crítica (CMC) (Figura 2). Se forman dos porciones polares que se posicionan en la parte acuosa y las porciones apolares se posicionan hacia la parte oleosa. A partir de esta organización molecular es posible la dis-



**Figura 2.** Molécula tensioactiva de los biosurfactantes con su fracción hidrofóbica e hidrofílica en una interfase y su concentración micelar crítica.

minución de las tensiones superficiales e interfaciales y la emulsificación de sustancias que posteriormente los microorganismos utilizan como fuente de carbono y energía (Jahan et al., 2020; Banat et al., 2021).

En lo que respecta a la producción de BS microbianos, se cuenta con información sobre diversas especies, entre las que destacan bacterias como *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Pseudomonas putida*; levaduras del género *Candida*; y hongos filamentosos: *Aspergillus ustus*, *Ustilago maydis*, *Fusarium fujikuroi* y *Penicillium chrysogenum* (Markande et al., 2021).



### 2.1 Clasificación

Los BS se pueden clasificar de acuerdo a su origen microbiano, su polaridad, su potencial de acción y su peso molecular, el cual oscila entre 500 Da y 1500 Da. Los BS de bajo peso molecular agrupan a los glicolípidos y lipopéptidos, mientras que los de alto peso molecular congregan a polisacáridos, proteínas, lipoproteínas y lipopolisacáridos (Drakontis & Amin, 2020). Cada grupo tiene características físico-químicas y funciones fisiológicas específicas según su estructura química, los glicolípidos son compuestos que consisten en una porción lipídica unida a uno o más carbohidratos (Sharma et al., 2021). Estos BS contienen soforosa se denominan soforolípidos; aquellos con ramnosa como parte hidrofílica, son ramnolípidos; mientras que a los BS con trehalosa se les atribuye el nombre de trehalosalípidos;

**Tabla 1.** Tipos más comunes de biosurfactantes, origen y estructura química.

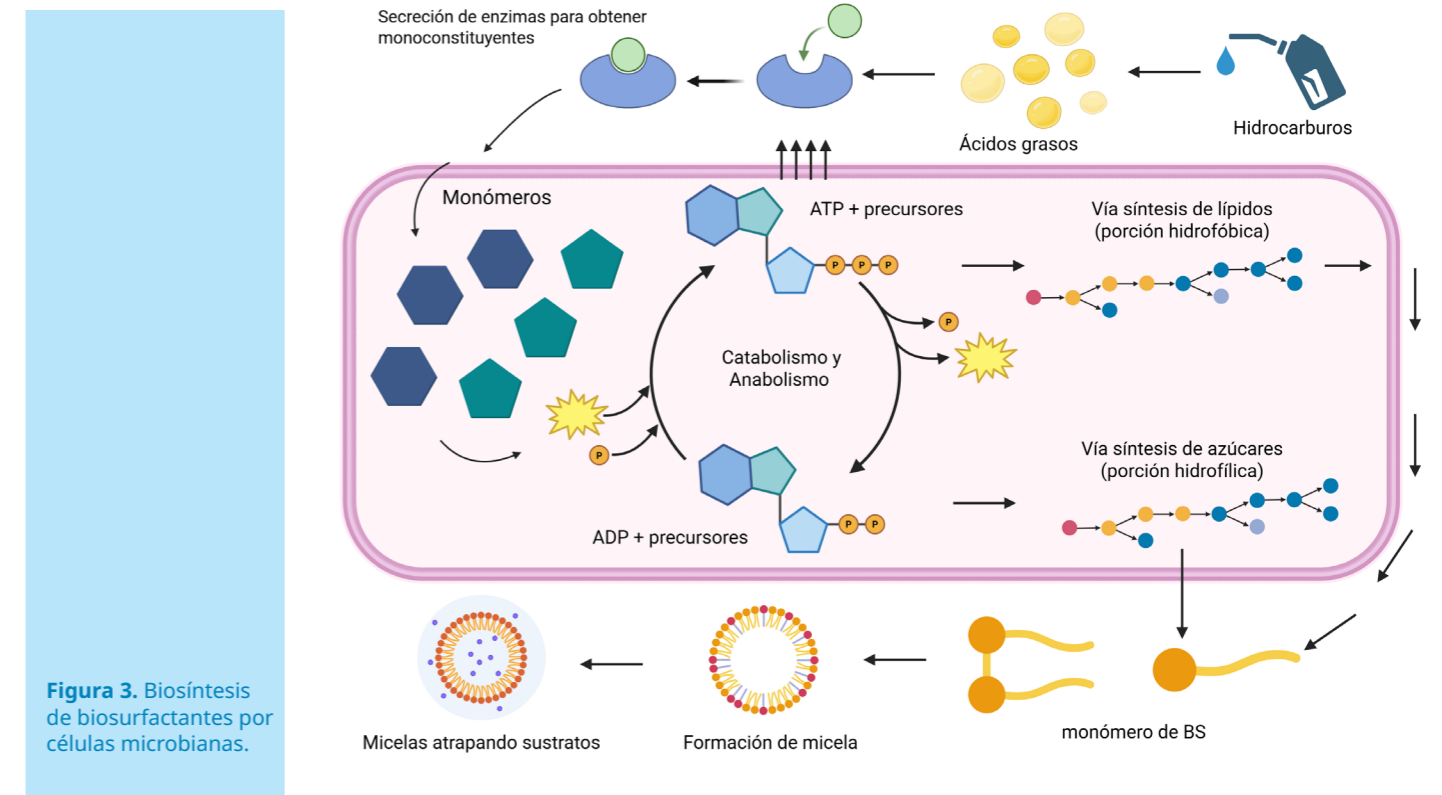
Biosurfactante	Origen microbiano	Aplicaciones	Referencia
Ramnolípidos	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Agentes emulsificantes y tensioactivos en procesos de biorremediación de hidrocarburos, formulaciones antimicrobianas y como ingredientes en la industria cosmética y farmacéutica.	(Fracchia et al., 2015)
Soforolípidos	<i>Candida spp.</i>	Ingredientes en cosméticos y productos de cuidado personal, agentes emulsificantes en la industria alimentaria y como sustancias con actividad superficial.	(Banat et al., 2021)
Surfactinas	<i>Bacillus subtilis</i>	Agentes antivirales (inhibición de fusión viral), antimicrobianos, aplicaciones en biorremediación y potencial en recuperación mejorada de petróleo.	(Sharma et al., 2021)
Glicolípidos	Diversos (e.g., <i>Pseudomonas</i> , <i>Candida</i> , <i>Bacillus</i> )	Agentes emulsificantes y tensioactivos para la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y procesos de biorremediación.	(Drakontis & Amin, 2020)
Lipopéptidos	<i>Bacillus spp.</i> (e.g., <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> )	Propiedades antimicrobianas, antivirales e inmunomoduladoras; aplicaciones en formulaciones farmacéuticas, cosméticas y como agentes en biorremediación.	(Sharma et al., 2021; Markande et al., 2021)
Lipopolisacáridos	Bacterias Gram-negativas (e.g., <i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacter</i> )	Estabilizadores de emulsiones, aplicaciones en la industria alimentaria y cosmética como agentes espesantes, gelificantes y en procesos de biorremediación.	(Drakontis & Amin, 2020; Markande et al., 2021)

por mencionar algunos ejemplos (Tabla 1). De todos los tipos de glicolípidos, los soforolípidos y los ramnolípidos siguen siendo los BS más estudiados por sus múltiples aplicaciones en la industria como espumantes y emulsificantes (Banat et al., 2021; Fracchia et al., 2015). En cuanto a los lipopéptidos y las lipoproteínas (Tabla 1), estas son moléculas que combinan una porción peptídica con una cadena lipídica, tal es el caso de las surfactinas, empleadas en distintas actividades de ruptura de la tensión superficial ya que es un BS muy potente, así como las iturinas que son utilizadas como antimicrobianos de amplio espectro (Sharma et al., 2021).

## 3 SÍNTESIS METABÓLICA DE LOS BIOSURFACTANTES

La producción de BS es un proceso fascinante que varía según el tipo de microorganismo y el tipo específico de BS a producir (Figura 3), un aspecto interesante es que las porciones de estas moléculas pueden ser sintetizadas de manera independiente o dependiente de sustratos específicos (Jahan et al., 2020). Los microorganismos al utilizar fuentes de carbono hidrofílicas (glucosa, melazas), la glucosa-6-fosfato (G6P), generada por la glucólisis, actúa como precursor de componentes hidrofílicos (trehalosa, polisacáridos), mientras el piruvato derivado

de la glucosa se transforma en acetil-CoA para producir ácidos grasos mediante lipogénesis (Farias et al., 2021). Con sustratos hidrofóbicos (aceites, hidrocarburos), los ácidos grasos se degradan mediante  $\beta$ -oxidación, generando acetil-CoA. Este compuesto se redirige para sintetizar G6P, y los ácidos grasos residuales contribuyen a las porciones hidrofóbicas. Este sistema dual de biosíntesis permite a los microorganismos adaptarse a diversos entornos, integrando eficientemente sustratos contrastantes (Jahan et al., 2020; Patel et al., 2023).



**Figura 3.** Biosíntesis de biosurfactantes por células microbianas.

# 4 BIOSURFACTANTES VS SURFACTANTES SINTÉTICOS

El mercado de los surfactantes ha adquirido un protagonismo fundamental en la dinámica industrial contemporánea, consolidándose como un pilar esencial en la cadena de valor de numerosos sectores productivos. Su relevancia radica en la capacidad de estos compuestos para ser ingredientes insustituibles en una amplia gama de aplicaciones (Fernandes et al., 2023), esta tendencia de producción y consumo ha estado incrementando constantemente desde hace décadas (Sajna et al., 2019). No obstante, se plantean importantes desafíos ambientales ya que aproximadamente el 90% del mercado corresponde a sur-

factantes sintéticos derivados de recursos fósiles no renovables. La obtención de los tensioactivos biológicos es un factor importante a considerar dentro de este mercado debido a las ventajas (Tabla 2) que presentan frente a los surfactantes sintéticos. Adicionalmente, los BS presentan una biodegradabilidad superior al 90% frente al 60% mínimo exigido a los sintéticos por la normativa europea, eliminando problemas de persistencia y bioacumulación, mientras que al final de su vida útil se reintegran eficientemente a los ciclos biogeoquímicos naturales sin generar metabolitos tóxicos (Banat et al., 2021).

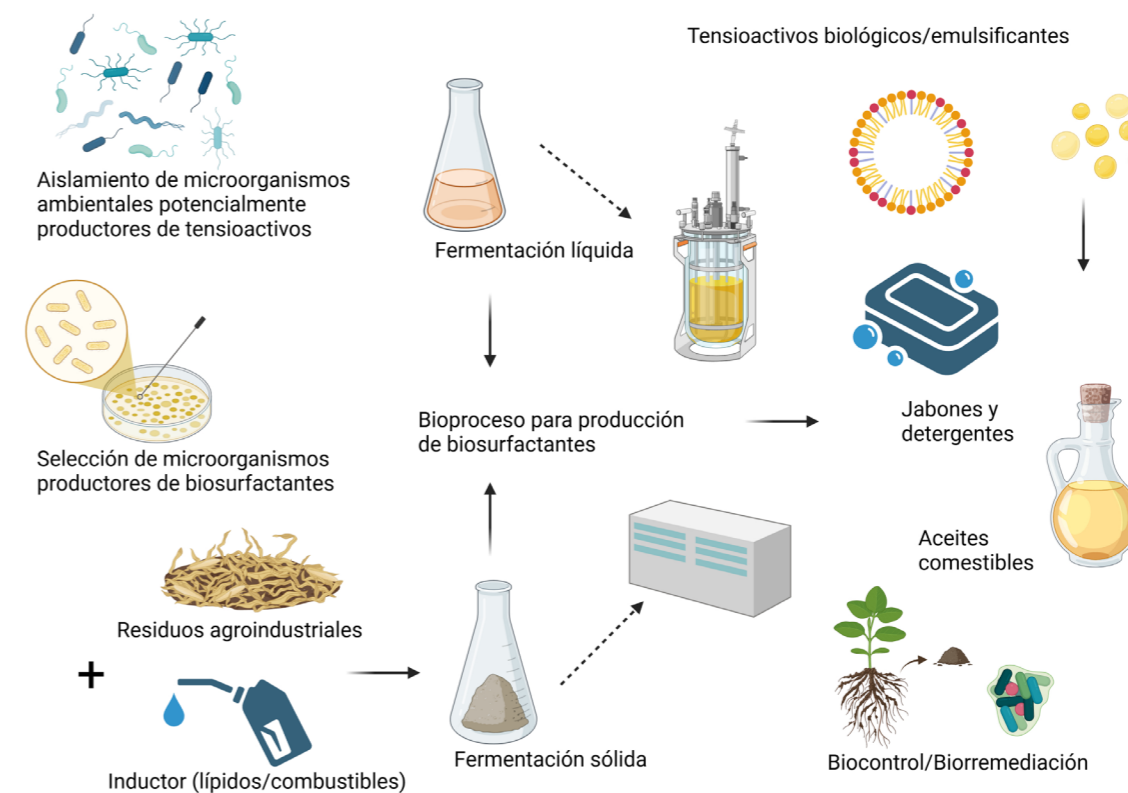
Ventaja	Descripción comparativa	Referencia
Biodegradabilidad y baja persistencia ambiental	Se degradan rápidamente por microorganismos ambientales, minimizando la acumulación en suelos y aguas.	(Banat et al., 2021; Sarubbo et al., 2022)
Baja o nula toxicidad, mayor seguridad	Exhiben una toxicidad significativamente menor hacia organismos acuáticos, células humanas y el microbioma del suelo.	(Banat et al., 2021; Moldes et al., 2021; Bhadra et al., 2023)
Alta eficacia en condiciones extremas	Aplicaciones en procesos industriales exigentes como la recuperación de petróleo en yacimientos o biorremediación en ambientes contaminados.	(Jahan et al., 2020; Banat et al., 2021)
Menor concentración micelar crítica	Logran reducir la tensión superficial e interfacial a concentraciones significativamente más bajas que sus análogos sintéticos.	(Sharma et al., 2021; Bhadra et al., 2023)
Funcionalidad adicional	Poseen propiedades biológicas con actividad antimicrobiana, antiviral, antiadherente (inhibición de biopelículas) e inmunomoduladora.	(Banat et al., 2021; Dabaghi et al., 2023; Fernandes et al., 2023)
Compatibilidad con sistemas biológicos y sostenibilidad	Estimulan la actividad biológica de los microorganismos nativos en las matrices ambientales. Los BS pueden ser producidos a partir de recursos renovables mediante procesos de fermentación, promoviendo una economía circular.	(Banat et al., 2021; Dabaghi et al., 2023; Fernandes et al., 2023)
Especificidad estructural y selectividad	Su estructura química puede conferirles una mayor selectividad y eficiencia en aplicaciones como la separación de enantiómeros en la industria farmacéutica o la movilización selectiva de metales pesados en biorremediación.	(Sarubbo et al., 2022)

**Tabla 2.** Características principales de los biosurfactantes frente a los surfactantes sintéticos.

# 5 ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN DE LOS BIOSURFACTANTES

La optimización del proceso de producción y la modificación genética de los microorganismos productores son dos principales estrategias en la producción de BS. La primera se centra en ajustar nutrientes clave (C, N, P, Fe) y sus relaciones (C:N, C:P) y utilizar sustratos como los residuos agroindustriales que es materia prima renovable que aporten precursores para síntesis de BS. Además, parámetros como temperatura, agitación, tipo de fermentación y aeración son cruciales para maximizar los rendimientos de producción (Banat et al., 2021; Dabaghi et al., 2023). Estos ajustes se

evalúan mediante análisis estadísticos para definir las condiciones óptimas, lo que también facilita su posterior purificación. Los procesos son alternativas sostenibles clave para el manejo y gestión de los residuos, al permitir la valorización de subproductos agroindustriales como el bagazo de caña, las vinazas, los exocarpios de frutas y verduras, así como los aceites usados. Lejos de ser desechos, estos materiales pueden ser transformados en recursos de alto valor añadido mediante métodos biotecnológicos. Ejemplos concretos de estos bioprocesos son la fermentación en estado líqui-



**Figura 4.** Esquema general del bioproceso de producción de surfactantes biológicos.

do (ideal para residuos como las vinazas) y la fermentación en estado sólido (utilizada para residuos con poca humedad, como el bagazo), que actúan como plataformas biotecnológicas para convertir residuos en productos como los biosurfactantes como componentes de jabones o aceites; además de ser aplicados en sistemas de biorremediación (Figura 4). Por otro lado, la manipulación genética ha surgido como herramienta clave para incrementar la producción de BS. Mediante técnicas como el ADN recombinante, se insertan genes específicos o se silencian aquellos que limitan la síntesis, incluso eliminando genes asociados a patogenicidad para garantizar seguridad en aplicaciones industriales.

Métodos como la mutagénesis aleatoria o dirigida permiten optimizar cepas microbianas, reduciendo costos y mejorando eficiencia (Sharma et al., 2021; Chabhadiya et al., 2024). Sin embargo, esto requiere un conocimiento detallado de los genes involucrados y ajustes en las condiciones de cultivo. Ambas estrategias deben integrarse de manera complementaria: la optimización de nutrientes y procesos físicos, junto con el diseño genético de microorganismos, permite escalar la producción de BS de forma sostenible. Esto no solo beneficia sectores como la biorremediación o la industria alimentaria, sino que también impulsa su uso en cosméticos y farmacéuticos, asegurando procesos más seguros y eficientes.



## 6 CONCLUSIÓN

La creciente demanda industrial de productos biotecnológicos eficientes y sostenibles ambientalmente, ha posicionado a los biosurfactantes como una alternativa estratégica en diversos sectores. Para aprovechar plenamente su potencial, es imperativo profundizar en la investigación científica que permita identificar microorganismos productores, optimizar las condiciones de cultivo y comprender las rutas metabólicas involucradas en su biosíntesis, donde los bioprocesos de fermentación utilizando residuos y la ingeniería genética juegan un papel clave para mejorar los rendimientos. Finalmente, el verdadero desafío trasciende del laboratorio pues es fundamental que la investigación en bioprocesos adopte un enfoque aplicado que contemple escenarios reales y los retos del escalamiento industrial, garantizando así que, la producción de biosurfactantes sea no solo técnicamente factible, sino también económicamente viable.



## REFERENCIAS

Aslam, R., Mobin, M., Aslam, J., & Zehra, S. (2023). Advancements in Biosurfactants Research. In *Advancements in Biosurfactants Research*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-21682-4>

Banat, I. M., Carboué, Q., Saucedo-Castañeda, G., & de Jesús Cázares-Marino, J. (2021). Biosurfactants: The green generation of speciality chemicals and potential production using Solid-State fermentation (SSF) technology. In *Bioresource Technology* (Vol. 320). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124222>

Bhadra, S., Chettri, D., & Kumar Verma, A. (2023). Biosurfactants: Secondary Metabolites Involved in the Process of Bioremediation and Biofilm Removal. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 195(9), 5541–5567. <https://doi.org/10.1007/S12010-022-03951-3/FIGURES/1>

Cai, Q. (2019). *Biosurfactant production and applications in oil contaminate control*.

Chabhadiya, S., Acharya, D. K., Mangrola, A., Shah, R., & Pithawala, E. A. (2024). Unlocking the potential of biosurfactants: Innovations in metabolic and genetic engineering for sustainable industrial and environmental solutions. In *Biotechnology Notes* (Vol. 5, pp. 111–119). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.biotno.2024.07.001>

Dabaghi, S., Ataei, S. A., & Taheri, A. (2023). Production of rhamnolipid biosurfactants in solid-state fermentation: process optimization and characterization studies. *BMC Biotechnology*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12896-022-00772-4>

Fernandes, N. de A. T., Simões, L. A., & Dias, D. R. (2023). Biosurfactants Produced by Yeasts: Fermentation, Screening, Recovery, Purification, Characterization, and Applications. *Fermentation* 2023, Vol. 9, Page 207, 9(3), 207. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030207>

Jahan, R., Bodratti, A. M., Tsianou, M., & Alexandridis, P. (2020). Biosurfactants, natural alternatives to synthetic surfactants: Physicochemical properties and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 275, 102061. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102061>

Jena, G., Dutta, K., & Daverey, A. (2023). Surfactants in water and wastewater (greywater): Environmental toxicity and treatment options. *Chemosphere*, 341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140082>

Markande, A. R., Patel, D., & Varjani, S. (2021). A review on biosurfactants: properties, applications and current developments. *Bioresource Technology*, 330, 124963. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124963>

Moldes, A. B., Rodríguez-López, L., Rincón-Fontán, M., López-Prieto, A., Vecino, X., & Cruz, J. M. (2021). Synthetic and bio-derived surfactants versus

microbial biosurfactants in the cosmetic industry: An overview. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Number 5, pp. 1–23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms22052371>

Qazi, M. J., Schlegel, S. J., Backus, E. H. G., Bonn, M., Bonn, D., & Shahidzadeh, N. (2020). Dynamic Surface Tension of Surfactants in the Presence of High Salt Concentrations. *Langmuir*, 36(27), 7956–7964. [https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c01211/ASSET/IMAGES/LARGE/LA0C01211\\_0004.JPG](https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c01211/ASSET/IMAGES/LARGE/LA0C01211_0004.JPG)

Sajna, K. V., Gottumukkala, L. D., Sajna, K. V., & Gottumukkala, L. D. (2019). *Biosurfactants in Bioremediation and Soil Health*. 353–378. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9117-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9117-0_15)

Sarubbo, L. A., Silva, M. da G. C., Durval, I. J. B., Bezerra, K. G. O., Ribeiro, B. G., Silva, I. A., Twigg, M. S., & Banat, I. M. (2022). Biosurfactants: Production, properties, applications, trends,

and general perspectives. *Biochemical Engineering Journal*, 181, 108377. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108377>

Sharma, J., Sundar, D., & Srivastava, P. (2021). Biosurfactants: Potential Agents for Controlling Cellular Communication, Motility, and Antagonism. In *Frontiers in Molecular Biosciences* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.727070>

Sun, Z., Yan, X., Xiao, Y., Hu, L., Eggersdorfer, M., Chen, D., Yang, Z., & Weitz, D. A. (2022). Pickering emulsions stabilized by colloidal surfactants: Role of solid particles. *Particology*, 64, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.06.004>