

DEL TÉ FERMENTADO AL BIOMATERIAL DEL FUTURO: LA CELULOSA ESCONDIDA EN LA KOMBUCHA

FROM FERMENTED TEA TO THE BIOMATERIAL OF THE FUTURE: THE CELLULOSE HIDDEN IN KOMBUCHA

RESUMEN

La celulosa bacteriana es un biopolímero que ha cobrado importancia por sus propiedades físicas, químicas y estructurales. Sin embargo, su producción a escala industrial presenta problemas principalmente asociados a los elevados costos de los medios de cultivo y al uso de cepas microbianas altamente especializadas. Por otro lado, la creciente producción y consumo de kombucha como bebida fermentada a nivel mundial han generado una cantidad considerable de película gelatinosa. En esta película se muestra un cultivo simbiótico de bacterias y levaduras conocido como SCoBY, en el que se produce un biopolímero llamado celulosa bacteriana. En este sistema, las levaduras inician el proceso, convirtiendo la sacarosa presente en azúcares más simples, que son aprovechados por las bacterias, en particular las bacterias ácido-acéticas. Estos compuestos se utilizan como fuente de energía y de carbono para la producción de celulosa bacteriana mediante enzimas especializadas. Aunque una pequeña fracción de esta película se utiliza en fermentaciones posteriores, la mayor parte se desecha, a pesar de sus propiedades, como la alta cristalinidad, la porosidad y la capacidad de retención de agua. Además, presenta ventajas frente a la celulosa vegetal, que está libre de otros biopolímeros, como la lignina y la hemicelulosa, que requieren tratamientos severos para su eliminación. Así, este subproducto representa una fuente renovable y sostenible con potencial para el desarrollo de diversos materiales y aplicaciones. El presente trabajo busca mostrar la obtención de celulosa bacteriana a partir de una bebida fermentada, como la kombucha, y destacar su aprovechamiento como alternativa alineada con los principios de la economía circular, que promueve la transformación de un subproducto de la fermentación en un material de interés para distintos sectores.

Palabras clave: celulosa bacteriana; kombucha; fermentación; bacterias; levadura.

CHANTRE LÓPEZ, Adriana Rocío¹

FLORES GALLEGOS, Adriana
Carolina¹

RODRÍGUEZ HERRERA, Raúl¹

ILINA, Anna¹

ESPARZA GONZÁLEZ, Sandra Cecilia²

ROA ACOSTA, Diego Fernando³

RAMOS GONZÁLEZ, Rodolfo⁴

1. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.
2. Facultad de Odontología, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.
3. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca, Colombia.
4. SECIHTI-Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia
rodolfo.ramos@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0501-907X>

Fecha de recepción
20 de marzo de 2026.

Fecha de aceptación
12 de septiembre de 2026.

ABSTRACT

Bacterial cellulose is a biopolymer that has gained prominence for its physical, chemical, and structural properties. However, industrial-scale production presents challenges primarily related to the high cost of culture media and the use of highly specialized microbial strains. On the other hand, the increase in the production and consumption of kombucha as a fermented beverage worldwide has generated a considerable amount of gelatinous film. In this film, there is a symbiotic culture of bacteria and yeast known as SCoBY, within which a biopolymer called bacterial cellulose is produced. In this system, the yeast initiates the process by converting sucrose into simpler sugars, which are then utilized by the bacteria, particularly acetic acid bacteria. These compounds serve as sources of energy and carbon for the production of bacterial cellulose by specialized enzymes. Although a small portion of this film is used for subsequent fermentation, most of it is discarded despite its properties, including high crystallinity, porosity, and water retention capacity. Furthermore, it has advantages over plant cellulose in that it is free of other biopolymers, such as lignin and hemicellulose, which require severe treatments to remove. Therefore, this byproduct is a renewable and sustainable resource with potential for the development of various materials and applications. The objective of this study is to demonstrate the production of bacterial cellulose from a fermented beverage, such as kombucha, and to highlight its use as an alternative aligned with the principles of the circular economy, thereby transforming a fermentation byproduct into a material of interest across various sectors.

Keywords: bacterial cellulose; kombucha; fermentation; bacteria; yeast.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la kombucha ha ganado popularidad como bebida fermentada elaborada tradicionalmente a partir de té negro y azúcar. Al finalizar la fermentación, se obtiene una bebida a la que se atribuyen diversas propiedades asociadas a la salud, como actividad antioxidante, antimicrobiana, antidiabética y anticancerígena (Kitwetcharoen et al., 2025). Estos beneficios han impulsado su creciente mercado en distintos países, especialmente en Norteamérica y Europa.

Sin embargo, durante este proceso también se forma una capa gelatinosa en la superficie conocida como SCoBY. Aunque a simple vista parece una sola masa, en realidad es un consorcio de bacterias y levaduras que trabajan en conjunto. Algunas de estas bacterias producen celulosa, “tejiendo” una red microscópica que actúa como soporte estructural y da forma a la capa visible. A pesar de su origen biológico y de su estructura organizada, gran parte de este material se desecha, perdiéndose así la oportunidad de aprovechar un recurso natural de alto valor biotecnológico (Tapias et al., 2023).

Ante este escenario, la celulosa bacteriana ha despertado un gran interés científico por sus propiedades únicas. Su versatilidad permite aplicaciones en campos tan diversos como la industria alimentaria, los materiales avanzados, la biomedicina o la cosmética. Por otro lado, tiene ventajas frente a la celulosa vegetal, que es libre de biopolímeros como la lignina y la hemicelulosa, lo que confiere una mayor capacidad de retención de agua y una mayor resistencia a la tracción.

Además de sus propiedades, la celulosa bacteriana obtenida a partir de kombucha presenta una ventaja adicional en su producción. A diferencia de los procesos convencionales, que suelen depender de microorganismos aislados por su alta capacidad de síntesis y de medios de cultivo de alto costo, este sistema aprovecha una matriz celulósica generada de forma natural durante la fermentación de la bebida (Amarasekara et al., 2024). En este contexto, su aprovechamiento constituye una estrategia clave dentro del enfoque de economía circular, ya que se busca reducir sus desechos y convertirlos en productos de valor.

CELULOSA BACTERIANA

La celulosa bacteriana es un polisacárido lineal compuesto por unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos β -1,4. Esta estructura es igual a la celulosa vegetal, y ambas son no tóxicas y biodegradables (Liu et al., 2025). Sin embargo, existen diferencias en el proceso de obtención. La celulosa vegetal debe extraerse de las paredes celulares de las plantas mediante procesos severos como tratamientos mecánicos o químicos agresivos. Estos procesos usan soluciones ácidas, como el ácido sulfúrico, o alcalinas, como el hidróxido de sodio, para eliminar sustancias como la pectina, la

hemicelulosa y la lignina. Como resultado, se generan residuos con un impacto ambiental negativo. En contraste, la celulosa bacteriana puede obtenerse de forma directa y pura durante procesos fermentativos, sin necesidad de procesos tan severos (Santhosh et al., 2025).

La celulosa bacteriana es producida por diversas especies de bacterias y luego se libera al exterior, formando una red tridimensional (3D) visible. Esta estructura está compuesta por nanofibrillas ultrafinas visibles a nivel microscópico, unidas entre sí mediante puentes de hidrógeno. Esta estructura le confiere propiedades de interés, entre las cuales destacan la biocompatibilidad, la alta pureza, la resistencia mecánica, la cristalinidad, la estructura porosa y la alta capacidad de retención de agua, en comparación con la celulosa vegetal (Nagano et al., 2025).

La producción de este biopolímero se asocia principalmente con determinados géneros de bacterias ácido-acéticas. Entre ellos, se destaca el género *Komagataeibacter*, conformado por bacterias Gram-negativas, aerobias estrictas y de forma bacilar (Potočnik et al., 2023). Este género ha sido identificado en el SCoBY durante la fermentación de la kombucha y, gracias a su metabolismo, estas bacterias sintetizan y liberan celulosa al medio, formando la película gelatinosa que se observa en la superficie de la bebida.

¿CÓMO SE FORMA LA CELULOSA BACTERIANA EN LA KOMBUCHA?

La kombucha es una bebida que se obtiene de la fermentación de té negro o verde (*Camellia sinensis*) y de sacarosa (azúcar común) como sustrato, mediante un cultivo simbiótico de bacterias y levaduras, comúnmente llamado SCoBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast, por sus siglas en inglés). Esta fermentación se produce a temperaturas entre 20 y 30 °C y tarda entre 7 y 15 días (Daus et al., 2025). Como se observa en la figura 1, la producción de kombucha comprende la preparación del medio de cultivo, la inoculación con el SCoBY y la fermentación en condiciones controladas. Estas etapas favorecen la formación de una película de celulosa bacteriana en la superficie de la bebida.

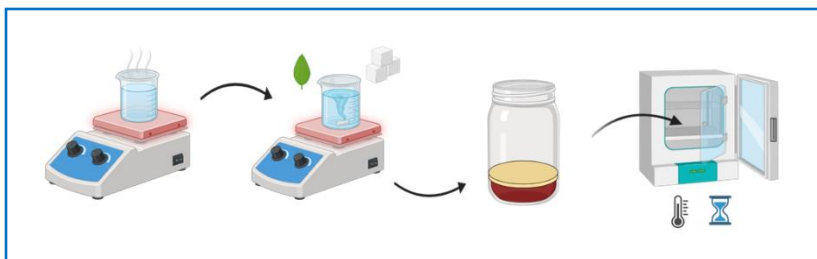


Figura 1. Producción de la kombucha y formación de celulosa bacteriana

El mercado mundial de la kombucha no ha dejado de crecer y se estima que aumente alrededor de un 22 % entre 2022 y 2027 (Dartora et al., 2023). Aunque producirla puede costar menos de un dólar estadounidense por litro, su precio de venta puede alcanzar entre 7 y 9 dólares, lo que convierte el proceso en atractivo. Sin embargo, durante esta fermentación se genera un subproducto poco aprovechado: la película gelatinosa que flota en la superficie, conocida como celulosa bacteriana. Una parte puede utilizarse como inóculo para fermentaciones posteriores, pero debido a la falta de estrategias industriales para su comercialización, con frecuencia se desecha.

Así, la creciente popularidad de la kombucha abre la oportunidad de convertir este subproducto en un recurso, integrándolo en modelos de economía circular en los que nada se desperdicia y todo puede reutilizarse, y convirtiéndolo en un material con potencial de aplicación en diversas áreas, como la biomédica, la alimentaria y la farmacología, entre otras.

En el SCOBY se encuentran bacterias del ácido acético, como *Komagataeibacter* y *Gluconobacter*; bacterias del ácido láctico, como las especies de *Lactobacillus* y *Lactococcus*; y levaduras como *Brettanomyces*, *Saccharomyces* y *Zygosaccharomyces* (Meng et al., 2025). Estos microorganismos trabajan en conjunto; así, la obtención de kombucha se inicia con la fermentación del té endulzado, que presenta una alta disponibilidad de azúcares.

Las levaduras descomponen la sacarosa en dos azúcares más sencillos: glucosa y fructosa mediante la acción de la enzima invertasa (Santiago et al., 2025). Estas moléculas más pequeñas son aprovechadas por las bacterias y las levaduras, convirtiéndolas en otros compuestos, como dióxido de carbono (CO_2), etanol, celulosa bacteriana y ácidos orgánicos, entre los cuales predomina el ácido acético. Este último aporta un sabor ligeramente ácido a la kombucha. Además, durante la fermentación se generan y se transforman



compuestos polifenólicos asociados a posibles beneficios para la salud. Entre ellos, se ha asociado con la prevención o la reducción de factores de riesgo de algunas enfermedades crónicas, aunque la evidencia científica continúa en desarrollo.

Como se mencionó anteriormente, las bacterias ácido-acéticas son conocidas por producir celulosa bacteriana. Estas bacterias actúan como pequeñas fábricas, capaces de transformar azúcares simples en un material estructural con propiedades de interés. Este proceso ocurre a través de las siguientes etapas.

DE LOS AZÚCARES A LOS BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

Todo inicia con la glucosa, el azúcar resultante de la descomposición de la sacarosa en glucosa y fructosa por acción de las levaduras presentes en el SCoBY. Esto es posible gracias a enzimas denominadas invertasas, que catalizan dicha transformación. Una vez liberadas, estas moléculas quedan disponibles para ser utilizadas por las bacterias ácido-acéticas.

TRANSFORMACIÓN DE LA GLUCOSA Y SÍNTESIS DE CELULOSA

Cuando la glucosa ingresa a la célula bacteriana, no se convierte de inmediato en celulosa. Primero debe activarse químicamente mediante una serie de reacciones metabólicas que se llevan a cabo dentro de la célula, permitiendo transformarla a una forma adecuada que luego pueda unirse una con la otra, es decir, convertirse en un bloque de construcción (Zhang et al., 2025). Posteriormente, enzimas ubicadas en la membrana celular, en particular la celulosa sintasa, permiten unir estos bloques uno tras otro, formando largas cadenas lineales de glucosa que constituyen la estructura de la celulosa. Este proceso, que constituye la biosíntesis de este biopolímero, ocurre de manera continua mientras la bacteria disponga de nutrientes y de condiciones adecuadas, como oxígeno y una temperatura óptima (Zhang et al., 2025).

FORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL

A diferencia de muchas otras moléculas biológicas que permanecen dentro de la célula, las cadenas de celulosa son expulsadas hacia el exterior a medida que se forman. Una vez fuera, múltiples cadenas comienzan a asociarse entre sí mediante puentes de hidrógeno, organizándose en

microfibrillas ultrafinas. Estas microfibrillas, a su vez, se agrupan en una compleja red tridimensional que da origen a la película gelatinosa característica que flota en la superficie de la kombucha (Zhang et al., 2025).

La orientación y el empaquetamiento de las fibras otorgan al biopolímero una alta cristalinidad y resistencia mecánica, así como una notable capacidad de retención de agua. Además, la estructura nanofibrilar de la celulosa bacteriana es más uniforme y pura que la de la celulosa vegetal, ya que no está asociada a otros biopolímeros, como la lignina y la hemicelulosa, que son componentes estructurales de las plantas.

La producción de celulosa cumple, además, una función biológica para la bacteria. Esta película gelatinosa que se forma actúa como una barrera protectora y facilita el acceso al oxígeno en la superficie del líquido, lo cual es una condición indispensable para estas bacterias aerobias. Así, la biosíntesis de celulosa no solo genera un material con potencial tecnológico, sino que también representa una ventaja competitiva al favorecer la adhesión, la adherencia y la posterior colonización del SCOBY en otros sustratos (Potočník et al., 2023).

Después de la biosíntesis de la celulosa bacteriana, esta se convierte en la nueva casa del SCoBY. Por ello, se lleva a cabo un proceso de purificación para eliminar estos microorganismos y compuestos, como los polifenoles, ya que pueden afectar sus propiedades fisicoquímicas y estructurales. Como se muestra en la figura 2, la película de celulosa obtenida tras la fermentación es sometida a tratamientos térmicos y varios lavados con soluciones alcalinas diluidas como hidróxido de sodio, seguidos de lavados con agua hasta alcanzar un pH neutro. Este procedimiento permite eliminar las impurezas sin alterar la red tridimensional de nanofibras. Durante la purificación también se observa un cambio visible en el material, que pasa de una tonalidad

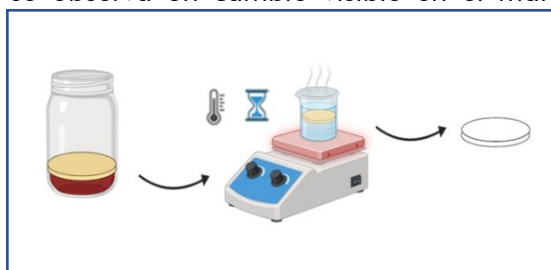


Figura 2. Purificación de la celulosa bacteriana obtenida durante la fermentación de kombucha.

café/marrón a un color blanco característico de la celulosa (Srivastava & Mathur, 2025). Así, finalmente se convierte en un material con un amplio potencial de aprovechamiento en distintos sectores, extendiendo su utilidad más allá del sistema biológico responsable de su producción.



APLICACIONES

Debido a las propiedades de la celulosa bacteriana, esta se ha convertido en un material con potencial en diversos sectores. Como se muestra en la figura 3, sus aplicaciones abarcan áreas como la biomédica, donde puede emplearse en apósitos para heridas y andamios para la regeneración de tejidos; la industria alimentaria; la administración controlada de fármacos; la fabricación de lentes de contacto; el desarrollo de sensores; y el tratamiento de aguas. Así, el mercado de la celulosa bacteriana se valoró en aproximadamente 412 millones de dólares en 2023, con una tasa de crecimiento anual estimada entre 16 y 20 % hasta 2030 (Guevara et al., 2025).



Figura 3. Diversas aplicaciones de la celulosa bacteriana.

Estudios recientes han encontrado que la fabricación de apósitos con celulosa bacteriana aceleró el proceso de cicatrización en pacientes con problemas diabéticos. Debido a que la regeneración del tejido suele ser más lenta y más susceptible a infecciones (Khalid et al., 2026). Este efecto se atribuye, en gran parte, a la elevada capacidad de retención de agua y su estructura porosa. Estas propiedades permiten mantener un ambiente húmedo favorable para la recuperación de la piel, y actúan como barrera física frente a contaminantes externos.

Este biopolímero también mostró propiedades sostenibles y eficaces para la conservación de alimentos. Permitió mantener la calidad del producto y

alargó la vida útil del mismo (Ma et al., 2026), esto debido a la resistencia que presenta. También se ha utilizado como material adsorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados fueron positivos debido a su estructura microporosa (Konjevod et al., 2025). Esta propiedad puede convertirse en una estrategia para el tratamiento de efluentes industriales, particularmente en regiones donde la contaminación por metales representa un riesgo para la salud y los ecosistemas.

Asimismo, la versatilidad estructural de este biopolímero ha permitido su aplicación como sistema de protección y de liberación controlada de compuestos bioactivos. Muchos de estos compuestos son sensibles a factores externos, como la luz, el oxígeno y la temperatura, lo que puede afectar su estabilidad. Diversos compuestos de origen vegetal han sido ampliamente estudiados por sus propiedades antioxidantes y su posible relación con la reducción de factores de riesgo asociados a ciertas enfermedades crónicas. En este contexto, la celulosa bacteriana contribuye a proteger estos compuestos, favoreciendo la conservación de sus propiedades durante su almacenamiento o su incorporación en distintos productos.

En el sector alimentario también se han explorado diversas aplicaciones de la celulosa bacteriana. Por ejemplo, se ha evaluado como suplemento dietético en modelos animales alimentados con dietas ricas en grasas, en los que se han observado efectos asociados a la disminución de los niveles de colesterol, lo que ha despertado interés en su posible uso como fuente de fibra dietética (Nagano et al., 2025). De igual forma, se ha utilizado la celulosa bacteriana como ingrediente para la fabricación de helado, encontrando mejoras en la viscosidad y la textura, además de un efecto probiótico, sin afectar las características sensoriales (Mehta et al., 2024). Estas aplicaciones se han logrado, además, gracias al reconocimiento como sustancia segura por parte de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE. UU. (FDA) desde 1992.

CONCLUSIONES

La celulosa bacteriana obtenida a partir de la kombucha evidencia el valor que pueden alcanzar algunos subproductos de la fermentación cuando se aprovechan adecuadamente. Durante muchos años, esta película gelatinosa que se formaba en la superficie de la bebida fermentada fue desechada, ya

que el principal interés era el consumo de la bebida. Sin embargo, este “desecho” ha mostrado características únicas que pueden aprovecharse en distintos ámbitos.

Su obtención mediante un proceso natural de fermentación la convierte en una alternativa interesante dentro de las estrategias de sostenibilidad y de economía circular. En este sentido, la valorización de esta matriz contribuye a un uso más eficiente de los recursos y amplía las posibilidades de aplicación innovadora. Así, la celulosa bacteriana, más allá de ser otro producto de la fermentación, invita a considerar los bioprocesos desde otra perspectiva: no solo como una forma de obtener un alimento o un producto principal, sino también como sistemas capaces de generar materiales sostenibles.

REFERENCIAS

- Amarasekara, A., Shrestha, B., & Wang, D. (2024). Chemical modifications of kombucha SCOBY bacterial cellulose films by citrate and carbamate cross-linking. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 8, 100595. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100595>
- Dartora, B., Hickert, L., Fabricio, M., Ayub, M., Furlan, J., Wagner, R., Perez, K., & Sant’Anna, V. (2023). Understanding the effect of fermentation time on physicochemical characteristics, sensory attributes, and volatile compounds in green tea kombucha. *Food Research International*, 174, 113569. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113569>
- Daus, F., Montroni, D., Pesavento, L., Bruschi, M., Liguori, A., & Focarete, M. L. (2025). Influence of the thickness of symbiotic culture of bacteria and yeast on purification and final properties of bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 9, 100645. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100645>
- Guevara, K., Martínez, G., Sánchez, V., Guerrero, K., & Fiallos, M. (2025). Trends and perspectives on bacterial nanocellulose: A comprehensive analysis from the three helixes of innovation. *Materials Today Sustainability*, 30, 101090. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2025.101090>
- Khalid, A., Khan, T., Wang, H., Said, A., Madni, A., Khan, S., Khalid, A., Islam, M., Ayub, H., Hassan, A., Haghniaz, R., & Wahid, F. (2026). In vivo and molecular analysis of bacterial cellulose incorporated graphene oxide for diabetic wound healing. *Materials Today Communications*, 51, 114693. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2026.114693>

- Kitwetcharoen, H., Chamnipa, N., Thanonkeo, S., Klanrit, P., Tippayawat, P., Klanrit, P., Klanrit, P., Yamada, M., & Thanonkeo, P. (2025). Enhancing kombucha functionality: Utilizing dried pineapple peels and cores as an alternative ingredient for improved antioxidant and antimicrobial properties. *LWT*, 216, 117358. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117358>
- Konjevod, M., Alonso, R., Taha, A., Lanceros, S., & Sáiz, J. (2025). Zero-waste valorization of agricultural products: The model case of mixed fermentation in kombucha. *Environmental Challenges*, 20, 101225. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101225>
- Liu, S., Luo, J., Shi, Y., & Chen, Q. (2025). Unlocking the potential of *Komagataeibacter europaeus* FMES: A novel source of bacterial cellulose from *Monascus vinegar* biofilm. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 10, 100841. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100841>
- Ma, L., Hu, P., Zhang, Y., Dai, Y., & Guo, Y. (2026). The preparation and physicochemical properties of biodegradable konjac glucomannan-based films reinforced with bacterial cellulose and tea polyphenol for food packaging. *RSC Advances*, 16(1), 370–382. <https://doi.org/10.1039/D5RA07243C>
- Mehta, A., Kumar, L., Serventi, L., Morton, J., & Torrico, D. (2024). Bacterial cellulose infusion: A comprehensive investigation into textural, tribological and temporal sensory evaluation of ice creams. *International Journal of Biological Macromolecules*, 281, 136510. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136510>
- Meng, Q., Jiang, Y., Rogiewicz, A., & Hu, J. (2025). A sustainable strategy for biosynthesis of bacterial cellulose using a microbial symbiotic culture from hemp (*Cannabis sativa* L.) waste hydrolysate. *Industrial Crops and Products*, 234, 121509. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121509>
- Nagano, T., Pambu, A., Higashimura, Y., Nakano, M., & Nishiuchi, T. (2025). Dietary bacterial cellulose modulates gut microbiota and increases bile acid excretion in high-fat diet-induced obese mice. *Food Hydrocolloids for Health*, 7, 100213. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2025.100213>
- Potočník, V., Gorgieva, S., & Trček, J. (2023). From nature to lab: Sustainable bacterial cellulose production and modification with synthetic biology. *Polymers*, 15(16), 3466. <https://doi.org/10.3390/polym15163466>
- Santhosh, I., Singh, S., Holla, S., & Selvaraj, S. (2025). Pyrethroid pesticide detection and bioactivity evaluation of microbial cellulose derived from food waste. *Food Chemistry Advances*, 8, 101031. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101031>
- Santiago, R., Michel, M., Rodríguez, R., Aguilar, P., Ascacio, J., & Flores, A. (2025). Symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY) in the food sector as a source of polysaccharides and other applications in the food sector. *Polysaccharides*, 6(4), 97. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides6040097>

- Srivastava, S., & Mathur, G. (2025). Investigating the effect of alkali treatment on physicochemical characteristics of bacterial cellulose synthesized by *Komagataeibacter saccharivorans* BC-G1. *Microbe*, 7, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100340>
- Tapias, Y., Monte, M., Peltzer, M., & Salvay, A. (2023). Kombucha fermentation in yerba mate: Cellulose production, films formulation and its characterisation. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100310. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100310>
- Zhang, Y., Sun, D., & Xu, L. (2025). Bacterial cellulose-driven sustainable food packaging innovations: Biosynthesis, functionalization, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 163, 105167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105167>