



Obtención de celulosa bacteriana a partir de Kombucha (SCOBY) y su aplicación en la elaboración de mascarillas faciales impregnadas con activos cosméticos

Laura Sofía Castiblanco Correa

Cristian Camilo García Cruz

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Bogotá, Colombia

Junio de 2026

Obtención de celulosa bacteriana a partir de Kombucha (SCOBY) y su aplicación en la elaboración de mascarillas faciales impregnadas con activos cosméticos

Laura Sofía Castiblanco Correa

Cristian Camilo García Cruz

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniera Química

Directora:

Marie José Chery Leal

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Bogotá, Colombia

Junio de 2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

“Señor, concédeme serenidad para aceptar todo aquello que no puedo cambiar, valor para cambiar lo que soy capaz de cambiar y sabiduría para entender la diferencia” - Reinhold Niehbur

Agradecimientos

Agradecemos primero a la kombucha, porque aunque empezó siendo un experimento científico, terminó siendo prácticamente una integrante más del grupo. Nos acompañó en días de estrés, madrugadas eternas y momentos donde ya no sabíamos si estábamos haciendo mascarillas... o criando un tamagotchi microbiológico.

A nuestras familias, gracias por el apoyo incondicional, por aguantar conversaciones interminables sobre bacterias, celulosa y fermentación, sin entender mucho pero diciendo igual: “qué interesante”. Gracias también por el café, la paciencia y por no preguntarnos cada semana cuándo íbamos a terminar.

A nuestros docentes y asesores, gracias por guiarnos, corregirnos y recordarnos amablemente que “eso no era formato APA”. Sus observaciones nos ayudaron a crecer académicamente... aunque a veces nos hicieron replantear nuestra existencia entera.

A nuestros amigos, gracias por escuchar nuestras crisis tesisiles, por enviarnos memes en momentos críticos y por entender nuestras desapariciones sociales cada vez que había entrega.

Y finalmente, a nosotros mismos, porque sobrevivimos al estrés, a los cambios de última hora, a los experimentos que salieron raros y a las infinitas correcciones. Este trabajo no solo representa conocimiento, sino también paciencia, trabajo en equipo y la capacidad de reírnos incluso cuando la kombucha parecía tener vida propia.

Hoy cerramos esta etapa con orgullo, cansancio... y probablemente con un ligero olor a fermentación que nunca olvidaremos.

Resumen

La investigación presentada a continuación tuvo como objetivo obtener celulosa bacteriana a partir del cultivo de Kombucha (SCOBY) y evaluar su viabilidad técnica para la elaboración de mascarillas cosméticas funcionales. Para lograrlo, se empleó un enfoque experimental en donde se controlaron variables tales como pH, temperatura, tiempo y composición del medio de cultivo para obtener biopelículas.

La biopelícula obtenida se purificó y caracterizó para evaluar las propiedades mecánicas, fisicoquímicas y funcionales. De igual manera, se elaboraron prototipos de mascarillas faciales y se evaluó su capacidad de retención de principios activos para su uso como mascarillas cosméticas.

Palabras clave: Kombucha (SCOBY), biomateriales, mascarillas cosméticas, fermentación estática, celulosa bacteriana,

Abstract

The research presented below aimed to obtain bacterial cellulose from Kombucha (SCOBY) culture and evaluate its technical feasibility for the development of functional cosmetic facial masks. To achieve this, an experimental approach was employed, in which variables such as pH, temperature, fermentation time, and culture medium composition were controlled to obtain biopolymer films.

The resulting biopolymer film was purified and characterized to assess its mechanical, physicochemical, and functional properties. Likewise, facial mask prototypes were developed, and their ability to retain active compounds was evaluated to determine their suitability for use as cosmetic masks.

Keywords: Kombucha (SCOBY), biomaterials, cosmetic facial masks, static fermentation, bacterial cellulose

Introducción

En la actualidad, una de las mayores preocupaciones a nivel general en la sociedad es el uso creciente de materiales sintéticos, plásticos o con un alto impacto ambiental. Este impacto se ve reflejado en las prácticas a nivel industrial de todas las líneas de negocio, entre las cuáles se encuentran las empresas con un enfoque cosmético. Esto ha llevado a los biomateriales a una posición más importante y relevante, especialmente aquellos producidos a partir de microorganismos, debido a su biodegradabilidad, alta compatibilidad con sistemas biológicos y su capacidad de producción a partir de recursos renovables (Nayak et al., 2024). Sin embargo, debe resaltarse que los esfuerzos por dicha transición no corresponden únicamente a exigencias regulatorias, sino que también buscan cumplir las demandas de los consumidores en términos de productos seguros y sostenibles.

Dentro de los biomateriales, la celulosa bacteriana se ha establecido como uno de los materiales más relevantes en los últimos tiempos debido a sus destacadas propiedades fisicoquímicas y estructurales. Estos biopolímeros se caracterizan principalmente por su estructura nanofibrilar de alta organización, una pureza alta al no contar con lignina y hemicelulosa, además de su alta idoneidad para la retención de agua (Gagliardi et al, 2025). Estas propiedades le dan una alta ventaja a la celulosa bacteriana frente a la celulosa vegetal, particularmente en las aplicaciones que requieren un contacto directo y prolongado con biotejidos, como es el caso en las aplicaciones biomédicas y cosméticas (Pandey et al., 2024).

En el caso del cultivo de Kombucha (SCOBY), la producción de celulosa bacteriana por medio de fermentación estática facilita la obtención de biopelículas en los medios de cultivos. Estas biopelículas de celulosa bacteriana presentan, desde el punto de vista funcional, una alta capacidad de absorción y retención de líquidos, dándole una ventaja importante al ser

considerada como prototipo ideal para un sistema de liberación controlada de diversos compuestos activos. Desde la biomedicina y ramas asociadas, esta propiedad se ha estudiado de gran manera, demostrando una muy buena biocompatibilidad, así como una alta eficacia en la liberación de sustancias o compuestos contenidos dentro de su matriz (Mbituyimana et al., 2021).

Todas estas características de liberación de compuestos, así como de absorción y retención de líquidos son de gran aplicación dentro del campo cosmético, especialmente en el área de las mascarillas faciales, donde es vital y primordial el uso de materiales con una liberación eficiente de activos sobre la piel, así como aquellos que favorezcan una buena hidratación de la piel. Estas propiedades, en conjunto con la resistencia y flexibilidad de la celulosa bacteriana, permiten su consideración en el campo cosmético, sumado a las propiedades mecánicas que permiten una fácil manipulación y adaptabilidad a superficies irregulares (Doğan, 2023).

Desde este punto, esta investigación se hace relevante para poder entender el comportamiento de la celulosa bacteriana como biomaterial, y también dar respuesta a la pregunta guía de este proyecto: ¿De qué manera afectan las condiciones de fermentación influyen en la cantidad obtenida y propiedades de la celulosa bacteriana a partir de cultivos de Kombucha (SCOBY) y cuál es su viabilidad en el desarrollo de mascarillas faciales de aplicación cosmética? En línea con esta pregunta de investigación se definen un objetivo general y tres objetivos específicos.

El objetivo general de esta investigación busca evaluar el potencial de la celulosa bacteriana obtenida a partir del cultivo simbiótico del Kombucha (SCOBY) para su aplicación en el desarrollo de mascarillas cosméticas, mediante la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas, mecánicas y funcionales. Para poder alcanzar este objetivo general, se hace necesario así mismo,

como primer objetivo específico obtener celulosa bacteriana a partir del cultivo de Kombucha (SCOBY), por medio del control de variables críticas del proceso de fermentación estática tales como tiempo y composición del medio de trabajo. El tiempo es una variable bastante importante en este punto, ya que este permite un mayor o menor crecimiento del biomaterial, cuyo posterior tratamiento permitiría la obtención de la celulosa bacteriana. Así mismo, se busca evaluar las propiedades fisicoquímicas, estructurales y mecánicas de la biocelulosa obtenida mediante la medición de parámetros como retención de humedad y estabilidad. Además de esto se quiere determinar la viabilidad técnica de la celulosa bacteriana para el desarrollo de mascarillas de aplicación cosmética, analizando su capacidad de retención y liberación de compuestos activos, funcionalidad y adaptabilidad.

Marco teórico

Biomateriales y sostenibilidad en la industria cosmética.

Actualmente, la industria cosmética está en medio de una transición significativa, impulsada por la necesidad de adopción de prácticas de producción más sostenibles y, especialmente, más amigables con el medio ambiente. Dicho cambio deriva del uso a gran escala de materiales sintéticos derivados del petróleo, materiales que presentan una baja biodegradabilidad y un alto impacto en el componente ambiental de la cadena de producción de la industria, lo cual impulsa la búsqueda de alternativas sostenibles, biodegradables y basadas en recursos renovables (Nayak et al,2024).

Como alternativa, han surgido los biomateriales, como una solución que brinda innovación y sostenibilidad frente a la coyuntura de los materiales basados en recursos fósiles o no renovables. Los biomateriales se producen a partir de materiales orgánicos vegetales o

animales, y presentan cualidades como bajo impacto ambiental, biodegradabilidad y biocompatibilidad, que los hacen altamente atractivos para aplicaciones que impliquen contacto directo con otros tejidos biológicos como la piel humana, como es el requerimiento de la industria cosmética (Pandey et al., 2024).

Celulosa bacteriana como biopolímero funcional

Dentro de los polisacáridos extracelulares, la celulosa bacteriana es un biopolímero que se sintetiza gracias a bacterias acéticas, mayormente del género *Komagataeibacter*. Este biopolímero, se obtiene bajo condiciones controladas y gracias a la ausencia de otros biopolímeros como la lignina y la hemicelulosa, presenta una ventaja en términos de propiedades mecánicas y fisicoquímicas como mayor flexibilidad, resistencia y adaptabilidad en comparación con la celulosa vegetal (Gagliardi et al., 2025).

Una propiedad principal de la celulosa bacteriana es una estructura de nanofibras tridimensional, que le otorga capacidades mecánicas superiores, alta resistencia a las fuerzas de tracción y fricción, además de una alta capacidad de retención de líquidos. Estas capacidades únicas abren un abanico de aplicaciones en campos de la ciencia tales como el estudio de tejidos orgánicos, biomedicina y la industria cosmética (Mbituyimana et al., 2021).

Obtención de celulosa bacteriana partiendo de Kombucha (SCOBY). Una bebida fermentada que está en auge en tiempos recientes es la Kombucha, que se obtiene con base en soluciones de té inoculado con cultivos de bacterias y levaduras conocidos como *Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast* o *SCOBY*. En medio del proceso de fermentación, se puede obtener una biopelícula de celulosa bacteriana en la superficie del medio de cultivo gracias a la acción de las bacterias acéticas presentes en la mezcla (Liu et al., 2025). Sin embargo, las propiedades del material obtenido bajo condiciones de una fermentación estática, dependen de

variables críticas tales como el tiempo de fermentación, la composición del medio, la temperatura y el pH (Ruka et al., 2012), por lo tanto el control de estas variables es fundamental para estandarizar las condiciones óptimas de operación y asegurar su reproducibilidad a escala industrial.

Celulosa Bacteriana: propiedades estructurales, fisicoquímicas y mecánicas. La celulosa bacteriana presenta características fisicoquímicas únicas que la alejan de otros materiales más comunes y convencionales. Una de estas características es la alta capacidad de retención de agua y líquidos en general, que lo convierte en un material con una capacidad hidratante bastante alta (Ul-Islam et al., 2012).

Adicionalmente, unas de las cualidades más importantes que presenta la celulosa bacteriana es una flexibilidad alta junto con una resistencia considerable, que permiten la manipulación constante del biomaterial, sin comprometer la integridad estructural del mismo, esto permite su uso en aplicaciones que requieren de materiales que se adapten fácilmente a superficies irregulares como la piel humana (Doğan, 2023).

Además, la cualidad porosa de su estructura permite una mayor difusión de sustancias, compuestos activos o distintos materiales lo que favorece una liberación controlada de aquello que contenga en su estructura, esto representa una ventaja significativa en el desarrollo de productos del área cosmética, así como su aplicación en la industria biomédica (Abeer et al., 2014)

Celulosa bacteriana y su aplicación en mascarillas cosméticas. Para las mascarillas de uso cosmético, se necesitan materiales flexibles y que puedan permitir una liberación controlada de compuestos activos sobre la piel, de manera que puedan ayudar con la limpieza, hidratación, apariencia y salud de la piel, esto sin descuidar el soporte que debe brindar la mascarilla sin

deformarse, romperse o rasgarse. Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, la celulosa bacteriana tiene campo de acción dentro de las mascarillas, ya que presenta una alta retención de líquidos, una buena capacidad de adaptación al contorno de la cara, además de una buena biocompatibilidad, en conjunto con su naturaleza biodegradable, la celulosa bacteriana se vuelve una buena alternativa sostenible frente a materiales sintéticos comúnmente usados en este tipo de productos (Mbituyimana et al., 2021). Esto ha sido estudiado y comprobado de manera que se puede considerar como una matriz aplicable en la industria cosmética para una liberación controlada y efectiva de activos cosméticos sobre la piel (Li et al., 2023).

Estado del arte (Metodología PRISMA)

El desarrollo del Estado del Arte de esta investigación se llevó a cabo bajo los parámetros de la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), que permite estructurar de manera transparente, reproducible, sistemática y clara el proceso de búsqueda, análisis y selección de la literatura científica relevante para este proyecto.

Para la búsqueda de información, se tomó como referente la base de datos Scopus, debido a su amplia cobertura de revistas indexadas y su alta aceptación en términos de revisión bibliográfica. La ecuación de búsqueda se construyó en torno a palabras claves relacionadas con el objeto de estudio: ("bacterial cellulose" AND "kombucha" AND (biomaterial OR cosmetic OR "functional material")).

De igual manera, se aplicaron filtros con respecto al rango de tiempo de interés, el tipo de material que se requería, el idioma de preferencia de los estudios y el área alrededor de la cual se enfocan los artículos de interés. Por lo tanto, se tomó en cuenta un periodo de publicación de 2020 a 2025, basado en artículos científicos (*research articles*) como tipo de documento de

interés el inglés como idioma principal. Así mismo, la búsqueda se centró en ingeniería, ciencia de materiales y biotecnología como áreas temáticas.

De esta manera, se aseguraba la relevancia, pertinencia y relación con el proyecto de investigación desarrollado, de modo que no se presentara información poco relevante o no relacionada con este proyecto.

Adicionalmente, se definieron unos criterios de inclusión para asegurar la pertinencia de los estudios revisados dentro de los cuales se tomó en cuenta que el material de revisión fueran artículos indexados en la base de datos de interés (Scopus) que contuvieran una revisión científica o estudio experimental. Así mismo, se seleccionaron investigaciones centradas en producción de celulosa bacteriana a partir de Kombucha (SCOPY) y que además contaran con aplicaciones en biomateriales o cosmética. Además, se tomó en cuenta la disponibilidad del texto y que tuvieran un DOI verificable.

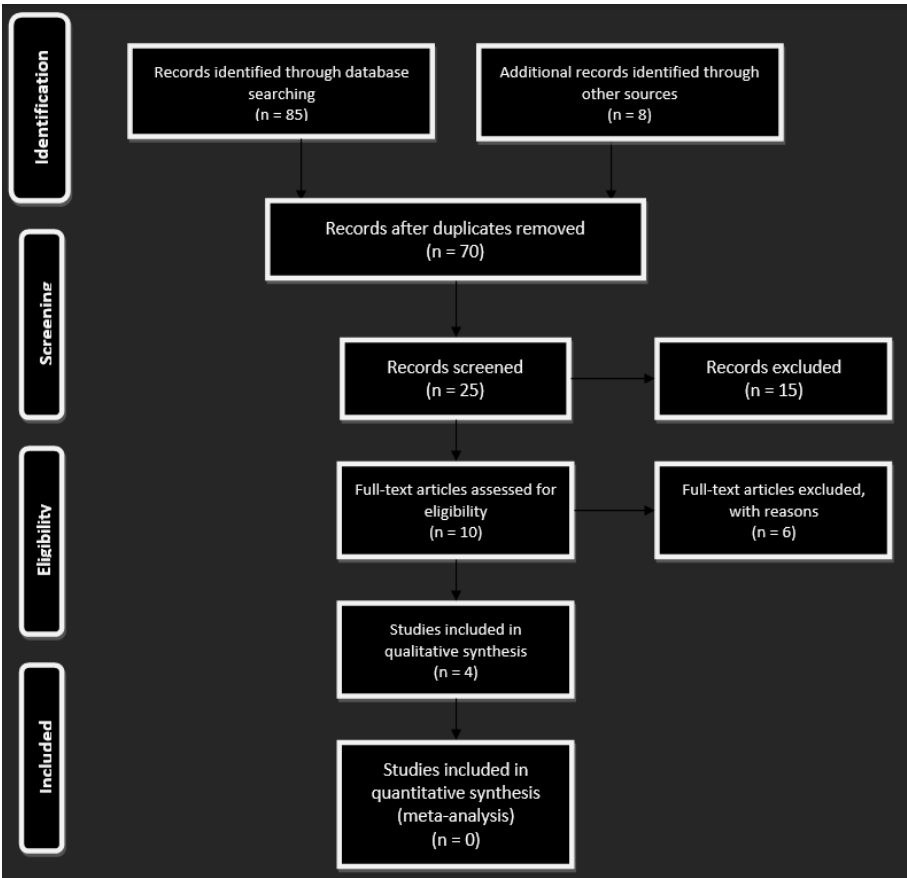
De manera paralela, se establecieron criterios de exclusión o rechazo de los artículos de manera que se excluyeron artículos repetidos, investigaciones no relacionadas con celulosa bacteriana, estudios de fermentación sin caracterización del material resultante y artículos que no tenían información completa o que no permitían acceso al texto completo.

Después de que se establecieron los criterios de inclusión y exclusión de los artículos, el proceso de selección se desarrolló de manera que en un principio se identificaron 85 registros asociados a la ecuación de búsqueda establecida. Se eliminaron artículos duplicados e irrelevantes reduciendo el registro a 70. Posteriormente se realizó una revisión de los títulos y resúmenes de los artículos para asegurar una potencial relevancia temática y se redujeron los registros a 25. A continuación, se realizó la revisión de los materiales completos para verificar su pertinencia metodológica y la relación con el objeto de estudio del proyecto, seleccionando 10

artículos. Finalmente, se seleccionaron los artículos que cumplieron con los criterios de relevancia científica, actualidad y calidad, resultando en 4 artículos científicos que se presentan en la Tabla 1, *Comparación de estudios seleccionados*. El proceso de aplicación de la metodología se presentan en la figura 1.

Figura 1.

Diagrama Prisma para Estado del Arte



Nota: Diagrama Elaborado a partir de BLANK_PRISMA_2009_Flow_Diagram.doc

Tabla 1.

Comparación de estudios seleccionados

Autor(es) / Año	Título del estudio	Objetivo principal	Metodología empleada	Variables analizadas	Principales hallazgos	Limitaciones reportadas	Relación con el proyecto actual
Gagliardi et al. (2025)	Kombucha bacterial cellulose: A promising biopolymer for advanced applications	Analizar el potencial de la celulosa bacteriana en diversas aplicaciones	Revisión sistemática	Propiedades fisicoquímicas, aplicaciones	Alta pureza, biocompatibilidad y sostenibilidad	Falta de estudios específicos en cosmética	Fundamenta el uso de la celulosa bacteriana como biomaterial sostenible
Feng et al. (2024)	Production and characterization of bacterial cellulose from kombucha	Producir y caracterizar celulosa bacteriana a partir de Kombucha	Experimental (fermentación controlada)	pH, temperatura, estructura, rendimiento	Alta retención de agua y estructura homogénea	Limitaciones en escalabilidad	Sustenta la producción y control de variables del proceso
Doğan (2023)	Bacterial cellulose films based on kombucha pellicle	Evaluar propiedades de películas de celulosa bacteriana	Experimental (ensayos mecánicos)	Resistencia, flexibilidad, estabilidad	Buen comportamiento mecánico y estructural	No evalúa aplicaciones cosméticas	Relaciona con la resistencia y adaptabilidad del material
Li et al. (2023)	Curcumin-loaded Pickering emulsion using bacterial cellulose	Evaluar BC como sistema de liberación de compuestos activos	Experimental (encapsulación)	Estabilidad, capacidad antioxidante	Alta eficiencia en liberación controlada	Aplicación indirecta a cosmética	Justifica la impregnación de activos en mascarillas

Nota: elaborado por los autores.

Los artículos presentados en esta tabla evidencian que la celulosa bacteriana producida a partir de Kombucha (SCOBY) muestra propiedades funcionales, fisicoquímicas y mecánicas que favorecen el uso de dicha celulosa como biomaterial.

De acuerdo con lo que presenta Gagliardi (2025), se puede observar que la celulosa bacteriana presenta una capacidad de retención de agua bastante importante, así como una biocompatibilidad bastante alta y una alta pureza, lo que se alinea con el objetivo de este proyecto en cuanto a la aplicación de la celulosa bacteriana de Kombucha para productos cosméticos como mascarillas faciales.

Por otra parte, en apoyo al enfoque metodológico de control de variables para obtener biopelículas de este proyecto, el trabajo realizado por Feng (2024) demuestra la importancia de las condiciones de fermentación, tiempo, temperatura y pH, que afectan de manera significativa la estructura de la celulosa bacteriana, sus propiedades y el rendimiento del proceso de obtención.

Ahora bien, en cuanto a los requerimientos de los materiales utilizados en el desarrollo de mascarillas faciales, se evidencia de acuerdo con los hallazgos de Doğan (2023), que las biopelículas obtenidas muestran una gran capacidad de manipulación y adaptación a superficies irregulares debido a sus características mecánicas como la resistencia y flexibilidad, lo que las hace adecuadas para su uso en aplicaciones cosméticas similares.

Por último, Li (2023) muestra evidencia científica acerca de la eficiencia de la celulosa bacteriana como sistema de liberación controlada de compuestos activos adicionados, sin afectar su estabilidad o funcionalidad operativa. Esto es importante para la etapa de impregnación y liberación de activos contemplada en este proyecto, en pro de la elaboración de mascarillas cosméticas funcionales y estables.

Todos estos artículos presentan un amplio conocimiento de la producción y caracterización de biopolímeros como lo es la celulosa bacteriana y su aplicación como biomateriales en el ámbito científico, sin embargo, presentan limitaciones con respecto a la

aplicación objetiva como material para la elaboración de mascarillas cosméticas. En este aspecto, este proyecto busca integrar los resultados obtenidos con anterioridad y enfocarlos hacia el desarrollo de soluciones sostenibles, amigables con el ambiente e innovadores en el área de los cosméticos.

Metodología

Enfoque y alcance de la investigación

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo experimental, ya que se buscaba evaluar la relación entre las variables manipuladas del proceso (Tiempo, pH, temperatura, composición del medio del cultivo) y las características de la celulosa bacteriana obtenida del cultivo de Kombucha (SCOBY). Desde la parte metodológica, se realizó un diseño experimental en donde se controlaron condiciones específicas del proceso de fermentación y se analizó su impacto en variables medibles del biomaterial (espesor, resistencia, capacidad de retención de humedad y absorción de activos).

En términos del alcance de esta investigación se estableció que es una investigación descriptiva (caracterización de las propiedades de la celulosa bacteriana obtenida), correlacional (impacto de las variables críticas del proceso en el producto final) y aplicada (uso del material obtenido en aplicación específica: mascarillas cosméticas). Esto permitió no solo evaluar la calidad del producto obtenido y todos los parámetros fisicoquímicos, mecánicos y funcionales, sino que también se evaluó la viabilidad técnica de la aplicación específica del producto.

Metodología experimental

Preparación del medio de cultivo

Para la obtención de membranas de celulosa bacteriana (BC), se empleó un medio de cultivo elaborado a partir de té verde y sacarosa como fuente principal de nutrientes para el crecimiento microbiano. Inicialmente, se preparó una infusión de té verde utilizando agua destilada, la cual fue sometida a agitación hasta obtener una extracción homogénea de los compuestos solubles presentes en las hojas. Posteriormente, el medio fue filtrado mediante filtración al vacío (ver Figura 2) con el propósito de eliminar residuos sólidos y obtener una solución libre de partículas que pudiera interferir en el crecimiento uniforme de la biopelícula.

Figura 2.

Filtración del medio de fermentación.



Nota: Foto de autoría propia.

Una vez obtenido el filtrado, se adicionaron 200 g de sacarosa como fuente de carbono necesaria para el metabolismo de los microorganismos presentes en el cultivo iniciador de kombucha. El medio preparado fue homogenizado hasta lograr la completa disolución de la

sacarosa. Posteriormente, se realizó el ajuste de pH hasta alcanzar un valor neutro (pH 7), condición que fue mantenida durante las diferentes etapas experimentales con el fin de favorecer la estabilidad del sistema y el crecimiento controlado de la biocelulosa.

El medio de cultivo fue transferido a recipientes de vidrio previamente esterilizados y sometido a un proceso de esterilización para minimizar el riesgo de contaminación microbiológica externa. Una vez alcanzada la temperatura ambiente, se inoculó el sistema con un cultivo iniciador de kombucha (SCOBY), empleado como fuente de microorganismos productores de celulosa bacteriana.

Obtención y propagación de la celulosa bacteriana

El cultivo inoculado se mantuvo bajo condiciones de incubación estática durante un periodo de 7 días a temperatura ambiente, permitiendo el desarrollo inicial de la membrana de celulosa bacteriana en la interfase aire-líquido. Durante este periodo se evitó la agitación del sistema con el fin de favorecer la formación continua y homogénea de la biopelícula.

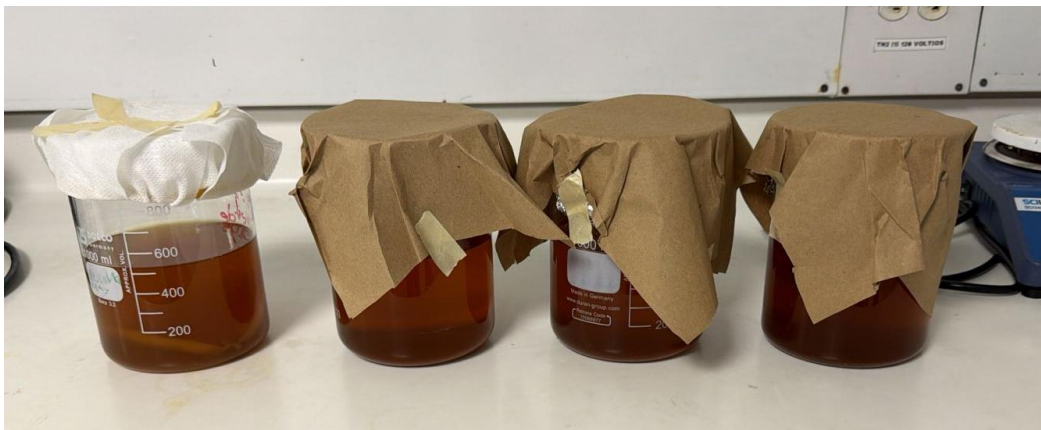
Posteriormente, se prepararon cuatro nuevos medios de cultivo utilizando la misma formulación a base de té verde y sacarosa. Cada medio fue nuevamente esterilizado y ajustado a pH 7 antes de su inoculación. En cada recipiente se adicionaron aproximadamente 10 g de hongo madre (SCOBY) obtenido durante la primera etapa de crecimiento, con el objetivo de promover la propagación y producción de nuevas membranas de BC.

Los recipientes fueron cubiertos utilizando diferentes materiales de sellado, incluyendo gasa, papel aluminio y papel craft, con el propósito de controlar el intercambio gaseoso necesario

para el crecimiento microbiano y evaluar las condiciones más adecuadas para la formación de la membrana. Posteriormente, los sistemas fueron incubados en condiciones estáticas durante 4 días adicionales, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3..

Medios de fermentación inoculados.



Nota: Foto de autoría propia.

Determinación de azúcares reductores mediante el método DNS

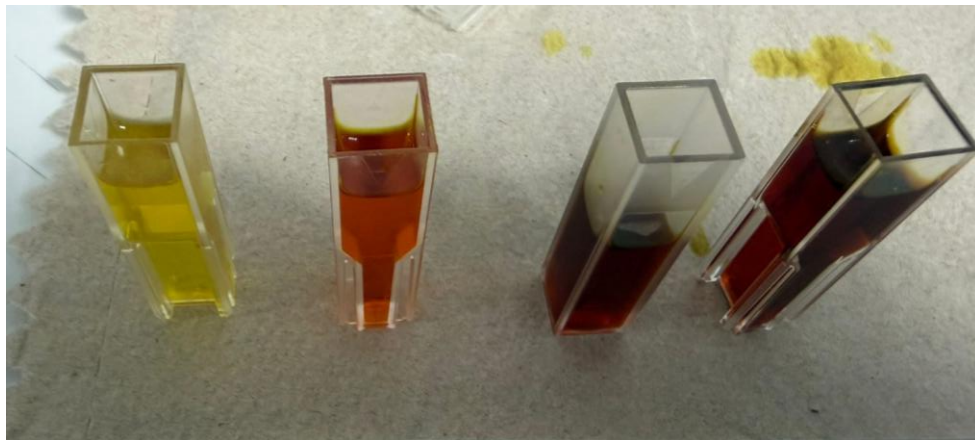
Con el fin de evaluar la presencia y variación de azúcares reductores en los medios de cultivo durante el proceso fermentativo, se realizó una determinación cuantitativa utilizando el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). Para ello, inicialmente se elaboró una curva de calibración empleando soluciones patrón de glucosa a concentraciones conocidas.

Cada estándar fue tratado con el reactivo DNS y sometido a calentamiento para promover la reacción colorimétrica entre el reactivo y los azúcares reductores presentes. Posteriormente, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y analizadas mediante espectrofotometría,

registrando la absorbancia correspondiente para la construcción de la curva de calibración. En la figura 4 se presentan los estándares empleados para la realización de la curva de calibración.

Figura 4.

Curva de calibración DNS para determinación de azúcares reductores.



Nota: Foto de autoría propia.

Las muestras provenientes de los diferentes medios de cultivo fueron procesadas bajo las mismas condiciones experimentales y sus valores de absorbancia fueron interpolados en la curva patrón con el fin de determinar la concentración de azúcares reductores presentes durante las diferentes etapas del cultivo.

Purificación y secado de las membranas

Una vez finalizado el periodo de crecimiento, las membranas obtenidas fueron retiradas cuidadosamente del medio de cultivo y sometidas a un proceso de lavado con agua destilada para eliminar residuos del medio, metabolitos y compuestos solubles adheridos a la superficie de la biopelícula.

Posteriormente, las membranas fueron sometidas a un proceso de secado en horno a 30 °C durante 3 días consecutivos, permitiendo la eliminación progresiva de la humedad contenida en la estructura polimérica de la BC y obteniendo películas delgadas y manipulables. Durante esta etapa se evidenció la presencia de una coloración oscura y un olor característico asociado a ácido acético, derivado de los procesos fermentativos desarrollados por el cultivo.

Figura 5.

Biomaterial obtenido después del secado.



Nota: Foto de autoría propia.

Tratamiento de acondicionamiento de la membrana

Con el fin de reducir el olor residual y mejorar las características organolépticas de las membranas, estas fueron sometidas inicialmente a ventilación y posteriormente tratadas mediante lavado con una solución de bicarbonato de sodio al 1%, favoreciendo la neutralización parcial de compuestos ácidos presentes en la estructura de la BC.

Posteriormente, las películas fueron sometidas a un tratamiento de blanqueamiento utilizando peróxido de hidrógeno al 3%. Las membranas permanecieron en contacto con la solución durante un periodo de 3 días, permitiendo la disminución de la coloración oscura y la reducción adicional de olores residuales asociados al proceso fermentativo.

Finalizado el tratamiento, las membranas fueron nuevamente lavadas con agua destilada para retirar residuos de los reactivos empleados y posteriormente sometidas a un segundo proceso de secado bajo las mismas condiciones previamente establecidas.

Figura 6.

Biomaterial obtenido después del tratamiento.



Nota: Foto de autoría propia.

Incorporación del principio activo

Finalmente, las membranas de celulosa bacteriana acondicionadas fueron sumergidas en una solución que contenía el principio activo seleccionado para el desarrollo del biomaterial tipo mascarilla. Este procedimiento se realizó con el propósito de favorecer la absorción y retención del compuesto activo dentro de la estructura tridimensional de la BC, aprovechando su capacidad de hidratación y su elevada porosidad. Posteriormente, las membranas fueron almacenadas bajo condiciones controladas hasta su caracterización y evaluación final.

Resultados

Se evaluaron cuatro medios de fermentación con distintas composiciones, utilizando el cultivo de SCOBY como inóculo. Dentro de las variables críticas controladas se tomaron en cuenta el tiempo de fermentación y la composición del medio utilizado, para poder determinar las condiciones favorables para un crecimiento óptimo del biomaterial. Dentro los tiempos de fermentación se evaluaron dos medios con un tiempo de crecimiento aproximado de 20 días y otros dos medios con un tiempo de crecimiento aproximado de 7 días. En cuanto a la composición del medio de fermentación, se tomaron composiciones aproximadas de 0,5 g de azúcar/L y 1,0 g de azúcar/L.

Lo primero que se pudo observar es que los medios que presentaron un mayor tiempo de fermentación demostraron un mayor crecimiento tal como se puede ver en la Figura 7.

Biomaterial obtenido dispuesto para secado además, los medios de mayor tiempo de fermentación, también corresponden con los medios que presentaban una menor cantidad de azúcar en su composición.

Figura 7.

Biomaterial obtenido dispuesto para secado.

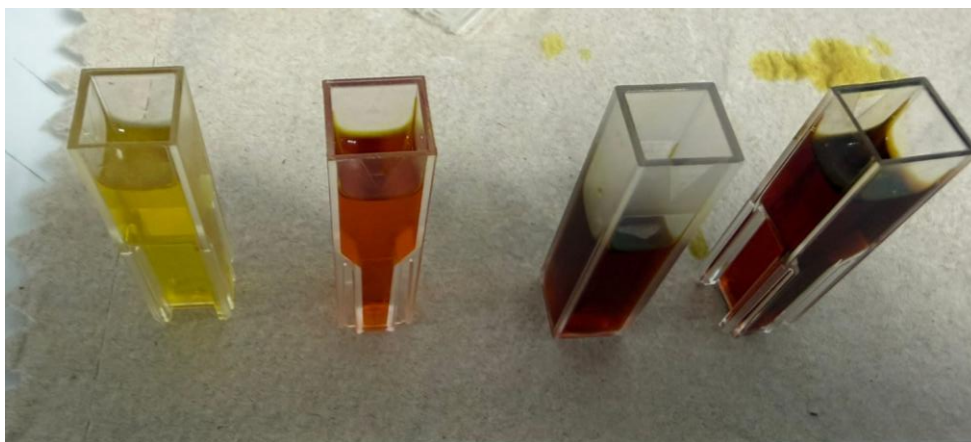


Nota: Foto de autoría propia.

Para la determinación de azúcares presente en la elaboración de los medios de fermentación se utilizó la curva de calibración mostrada en la Figura 8. *Curva de calibración DNS para determinación de azúcares reductores.*

Figura 8.

Curva de calibración DNS para determinación de azúcares reductores.



Nota: Foto de autoría propia.

Esta curva de calibración se utilizó como estándar para poder determinar la composición óptima de azúcar y a partir de los valores obtenidos en la Tabla 2 se realizaron las mediciones de los cuatro medios de fermentación.

Tabla 2.

Valores de la curva de calibración para medición de azúcares reductores.

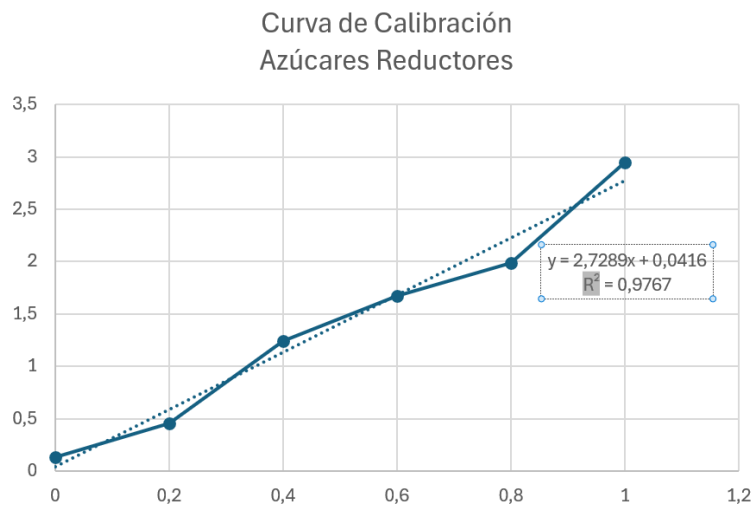
Curva de Calibración	
g de Azúcar/Litro	Absorbancia
0	0,129
0,200	0,456
0,400	1,245
0,600	1,674
0,800	1,987
1,000	2,945

Nota: Autoría propia.

Realizando el gráfico de la curva de calibración que se puede observar en la Figura 8. *Curva de Calibración DNS*, se obtuvo que el R^2 fue de 0.9767 lo cual permite establecer una relación lineal correspondiente entre el contenido de azúcar y la absorbancia reportada.

Figura 9.

Curva de Calibración DNS.



Nota: Gráfico de Autoría Propia

Los medios de fermentación se midieron en dos momentos diferentes: antes de ser inoculados y posterior al tiempo de fermentación determinado, tal y como se muestra en la tabla 3. *Consumo de azúcar en los medios de fermentación.* En esta tabla se muestran las absorbancias observadas en los medios de fermentación.

Tabla 3.

Consumo de azúcar en los medios de fermentación.

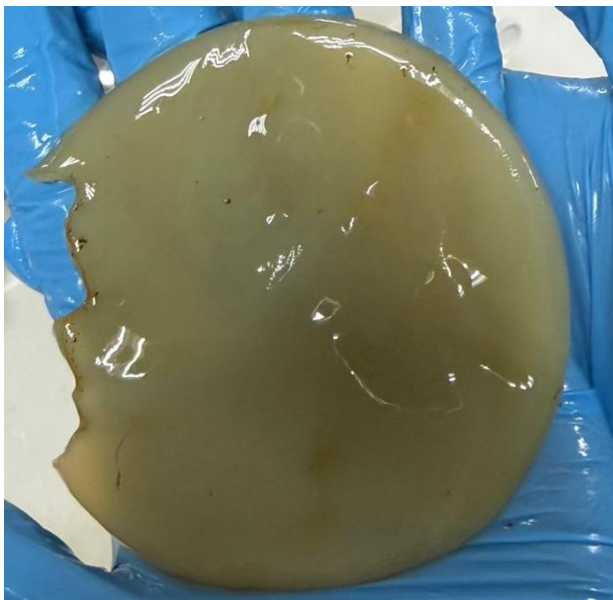
	Absorbancia Inicial	g de azúcar/Litro	Absorbancia Final	g de azúcar/Litro
M1	1,457	0,4988	0,156	0,0165
M2	1,523	0,5296	0,241	0,0401
M3	2,897	0,9899	1,879	0,6214
M4	2,780	0,9655	2,278	0,8608

La M1 y M2 corresponden a los medios de fermentación que tuvieron un mayor tiempo de fermentación (20 días) y fueron los medios que presentaron un mejor crecimiento tanto en tamaño como en presencia de contaminación. La M, vista en la Figura 8, corresponde al

crecimiento obtenido bajo condiciones caseras más controladas del medio, y se obtuvo un crecimiento uniforme y de mayor tamaño que las obtenidas en M3 y M4. Este medio de fermentación estuvo alejado de focos de contaminación cruzada y además estuvo bajo supervisión constante debido a la facilidad de acceso a este medio.

Figura 10.

Crecimiento obtenido en M1.

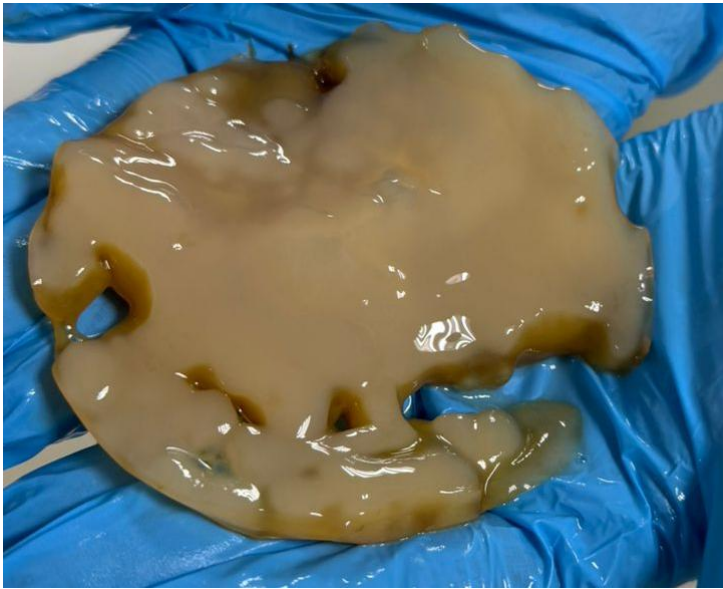


Nota: Foto de autoría propia.

La Figura 10 corresponde al Crecimiento obtenido en M1 y la figura 11, al obtenido en M2. Este medio de fermentación estuvo expuesto a condiciones ambientales menos controladas y con mayor exposición a contaminación cruzada, ya que se encontraba dispuesta en los Laboratorios de la Universidad EAN, razón por la cuál, no se podía tener un control total respecto a la exposición a material particulado y demás contaminantes propios de un laboratorio.

Figura 11.

Crecimiento obtenido en M2.



Nota: Foto de autoría propia.

Sin embargo es necesario anotar que estos medios de cultivos tuvieron el mayor tiempo de fermentación y además tuvieron un contenido de azúcar bajo, en comparación con los medios M3 y M4, lo cuál se considera un factor relevante dentro de los resultados obtenidos.

Como se puede observar en la Figura 12. *Crecimiento obtenido en M3*, el crecimiento que se obtuvo, en comparación con el obtenido en M1 y M2, no es tan significativo debido al corto tiempo de proceso (7 días). Además, como se puede observar en la Figura anteriormente mencionada, se observó un crecimiento microbiano no deseado. Este crecimiento no deseado puede relacionarse con la composición del medio utilizado, ya que una mayor disposición de sustrato, en este caso azúcar, puede generar una inestabilidad dentro del cultivo así como un mayor crecimiento de hongos y levaduras que resultan en contaminación (Feng et al., 2024).

Figura 12.

Crecimiento obtenido en M3.



Nota: Foto de autoría propia.

Esto se presenta de igual manera en el caso del M4, que tal y como se ve en la Figura 13, presentó un crecimiento uniforme pero de menor tamaño en comparación con M1 y M2, y al igual que M3, presentó crecimientos no deseados relacionados con hongos y levaduras, que en mayor presencia de sustrato proliferaron en mayor medida.

Figura 13.

Crecimiento obtenido en M4.



Nota. Foto de autoría propia.

Análisis de resultados

Tomando en cuenta el trabajo de laboratorio y el análisis de los datos obtenidos se pudo observar que la obtención de la celulosa bacteriana se pudo lograr en un lapso de 7 a 20 días, bajo unas condiciones de fermentación y crecimiento controladas. Además es necesario recalcar que una variable crítica de la eficiencia del proceso es el tiempo de fermentación, ya que la diferencia obtenida entre los medios que se dejaron fermentar 7 días y los que se dejaron fermentar por 20 días es bastante significativa. Para el biomaterial obtenido transcurridos los 7 días de fermentación presentó un grosor aproximado de 1-2 mm, la cual no es un grosor con el que se pueda trabajar ya que se necesita someter la celulosa bacteriana a un tratamiento de secado y acondicionamiento de manera que se pueda reducir su grosor sin afectar la integridad de la biopelícula para poder trabajarla de forma adecuada. Además se debe aclarar que estas biopelículas no se sometieron al proceso de tratamiento y secado, en un primer instante debido a la contaminación detectada y, en segundo lugar, debido al grosor obtenido.

Con respecto al material resultante después de 20 días de fermentación, se pudo observar un mayor grosor, con cerca de 4-5 veces mayor tamaño, ya que se obtuvo un grosor aproximado de 6-8 mm. Tomando en cuenta todo el proceso de secado, acondicionamiento y rehidratación de la mascarilla con el principio activo, las cualidades de este segundo biomaterial obtenido, son mucho mejores en comparación ya que la integridad física de la biopelícula se mantuvo durante todo el tratamiento.

Así mismo, la cantidad de sustrato presente en M3 y M4 y la proliferación no deseada de hongos en la superficie de la biopelícula, van de acuerdo a lo que plantea Feng (2024) con respecto a la relación entre mayor cantidad de sustrato y el crecimiento de hongos y levaduras no deseadas. Esto plantea una posición en la cuál la cantidad de sustrato se convierte en una variable crítica frente a la presencia o ausencia de contaminación y crecimientos no deseados, frente a lo cuál el proceso se debe optimizar de manera que el contenido de azúcar sea el suficiente para que el cultivo crezca, pero las especies que no son de interés (hongos, específicamente) no proliferen ni afecten la salubridad de la celulosa bacteriana.

También es necesario señalar que en cuanto a las características fisicoquímicas y mecánicas del biomaterial, tanto la composición como el tiempo de fermentación juegan un rol importante, ya que sí el SCOBY consume una mayor cantidad de azúcar y se deja fermentar por más tiempo, el biomaterial es mucho más resistente y grueso en comparación. No se puede confundir el consumo de sustrato con la disponibilidad de este, ya que como se pudo observar en M3 y M4 y en conjunto con lo que plantea Feng (2024), una mayor disponibilidad de sustrato no significa necesariamente un mayor consumo del mismo ni un crecimiento apropiado del biomaterial.

Además, el grosor del biomaterial antes del acondicionamiento afecta en gran medida la resistencia y la maleabilidad del mismo al final del proceso mencionado anteriormente. Entre mayor grosor del biomaterial previo al pretratamiento, el resultado final después del secado mostró un buen desempeño y resistencia en el momento de manejarlo y someterlo al estrés al que se someten las mascarillas comerciales.

Finalmente, el hecho de que la mascarilla haya logrado una absorción cercana al 80% en peso del principio activo en el que se sumergió soporta la hipótesis de que la celulosa bacteriana puede ser una alternativa sostenible y viable para reemplazar los plásticos tradicionales derivados del petróleo.

Propuesta de solución a la problemática

Situación actual

Debido al crecimiento en la demanda de productos que procuren el cuidado personal, especialmente aquellos destinados al cuidado de la piel, la industria cosmética ha sido impulsada a crear soluciones que ayuden a cubrir esta demanda y satisfagan el nicho de mercado del cuidado de la piel. Pero este crecimiento ha traído consecuencias a nivel ambiental, ya que una de las propuestas de la industria cosmética ha sido la comercialización de mascarillas faciales, que utilizan materiales sintéticos, que presentan una amenaza en términos de la biodegradabilidad y la conciencia ambiental. Esta problemática ha abierto el camino para la búsqueda de soluciones y materiales alternativos, que conserven la misma funcionalidad y confiabilidad de los productos cosméticos, al tiempo que ofrecen una posibilidad de reducción del impacto ambiental asociado a los mismos desarrollos mencionados anteriormente (Almeida et al., 2021).

Tomando en cuenta el contexto actual de la industria, los biomateriales han despertado interés como alternativas sostenibles, especialmente la celulosa bacteriana, debido a las propiedades físicas que posee, tales como la porosidad, la biocompatibilidad, la capacidad de retención de agua y su biodegradabilidad, lo cuál le da cabida como una solución a las aplicaciones cosméticas y biomédicas (Oliveira et al., 2022). Sin embargo, los estudios centrados en la obtención de este biomaterial a partir del cultivos SCOBY, se encuentran limitados a unas pocas referencias, y su aplicación en el ámbito de las mascarillas cosméticas, se encuentran aún más limitados.

Oportunidades

La producción de celulosa bacteriana a partir de los cultivos SCOBY del Kombucha, abre las puertas al desarrollo de biomateriales sostenibles, de bajo costo y procesos biotecnológicos de impacto ambiental positivo. Diversos estudios han evidenciado que la celulosa bacteriana posee propiedades de alta relevancia para la industria cosmética, como lo es su estructura flexible para adaptarse de mejor manera a la piel, en conjunto con su alta capacidad de retención y absorción de humedad (Pacheco et al, 2018).

Además, la estructura misma del material permite una retención y liberación de principios activos de manera eficiente, abriendo el camino para utilizar este biomaterial como alternativa sostenible para la liberación funcional de principios activos en la industria cosmética (Lima et al, 2024). Adicionalmente, la industria en general presenta tendencias crecientes dentro del mercado impulsadas por las preferencias actuales de productos que surjan de procesos de elaboración sostenibles y que además utilicen materiales renovables, lo cuál volcó la atención sobre los biomateriales tales como la celulosa bacteriana (Almeida et al., 2021)

Propuesta de solución

Como alternativa y solución a la problemática encontrada, la propuesta se establece en la obtención de celulosa bacteriana a partir del SCOBY del Kombucha por medio de una fermentación estática controlada, con su correspondiente caracterización fisicoquímica, estructural y mecánica para determinar su aplicación potencial en mascarillas cosméticas.

Tomando en cuenta las propiedades propias de la celulosa bacteriana como se encuentran reportadas en la literatura científica, se establece esta propuesta de solución, partiendo de propiedades tales como la biocompatibilidad intrínseca del material, su capacidad para actuar como matriz de liberación controlada de principios activos, su resistencia mecánica y la elevada capacidad de retención de humedad (Oliveira et al., 2024). Las características mencionadas anteriormente en realidad permiten considerar la célula bacteriana como una alternativa prometedora y sostenible, en comparación directa con los materiales tradicionales utilizados en la actualidad, tales como los derivados del petróleo.

De igual manera, tomando en cuenta los principios de sostenibilidad, el aprovechamiento del SCOBY como una fuente de obtención de biomateriales, contribuye al desarrollo de soluciones encaminadas en esta línea, así como en la promoción de la producción de productos con un bajo impacto ambiental y el uso de recursos renovables alternativos (Almeida, 2021). Tomando esto en cuenta, esta investigación aporta una base tecnológica para investigaciones futuras que busquen optimizar el proceso productivo, incorporar activos cosméticos y un posible escalamiento industrial de la producción de biomaterial. Así mismo, se consignan conocimientos científicos sobre la producción del mismo, de manera que se pueda comprender sus alcances y oportunidades inherentes.

Discusión

Partiendo de los hallazgos que se obtuvieron durante esta investigación, se puede resaltar que muchos de los datos obtenidos sirven como evidencia y soporte de la revisión teórica realizada anteriormente. Primero que todo, se pudo constatar y evidenciar que en concordancia con lo que plantea Feng (2024), la cantidad de sustrato presente en los medios de fermentación juega un rol importante en el control de crecimiento del biomaterial así como en la proliferación no deseada de especies presentes en los medios, tales como los hongos contaminantes que crecieron en M3 y M4.

Así mismo, mediante la manipulación del biomaterial y la evaluación de resistencia mecánica de este, se pudo constatar que la celulosa bacteriana obtenida a partir del SCOBY del Kombucha presenta características mecánicas óptimas y su adaptabilidad para acoplarse a la superficie de trabajo objetivo, en este caso el rostro de las personas. A partir de esto, se constata que lo planteado por Doğan (2023) es totalmente aplicable, ya que las características mecánicas encontradas y las mencionadas por Doğan son acordes y se evidencia en los resultados obtenidos.

De igual manera, también se pudo confirmar que la celulosa bacteriana presenta una alta capacidad de retención de líquido, ya que pudo retener aproximadamente 80 % de su peso en líquido, para este caso un serum antiarrugas de uso cosmético. Esto permite asegurar que la celulosa bacteriana puede considerarse un material alternativo sostenible para elaborar mascarillas cosméticas, y reemplazar los materiales plásticos derivados del petróleo que se utilizan para elaborar las mascarillas comerciales.

Plan de divulgación

Este proyecto contempla un plan de divulgación enfocado en la socialización de los resultados obtenidos a nivel académico, encaminado en la producción de un artículo científico. El objetivo principal de dicho artículo es difundir los hallazgos de la investigación de obtención, caracterización y evaluación de la celulosa bacteriana obtenida a partir del cultivo de Kombucha (SCOBY), así como la viabilidad técnica del uso de dicha bacteria celulosa en la elaboración de mascarillas cosméticas.

En un primer instante, se hace la sistematización de los datos experimentales de manera estructurada, de acuerdo con los estándares de publicación científica. Es primordial presentar los resultados en gráficas, imágenes y tablas de acuerdo con la calidad, cantidad y origen de los datos, para evidenciar la relación entre las variables del proceso, y dar muestra del proceso de obtención del biomaterial.

De manera seguida, se realiza la redacción del artículo científico de acuerdo con las normas y requisitos establecidos, incluyendo aquellos relacionados con la forma, así como la aplicación de las normas APA para el manejo de referencias y citas. Posteriormente, el artículo será sometido a revisión por parte del director del proyecto, de manera que se pueda asegurar la calidad, coherencia y rigurosidad de la información a presentar,

La estrategia principal de divulgación del artículo será el repositorio MINERVA de la universidad, de manera que sea de libre acceso y consulta para los miembros de la comunidad universitaria. Esto se realizará con el fin de que este material sea apoyo para futuras investigaciones e investigadores interesados en temas afines. Así mismo, para cumplir con los requisitos de grado y los requerimientos de la universidad, la segunda estrategia de divulgación que se contempla para este artículo es la sustentación de esta investigación frente al director de proyecto, jurados y pares interesados en esta investigación.

De acuerdo con lo obtenido al final del proyecto, también se evaluará la viabilidad económica y técnica del proyecto para ser presentada a instancias que apoyen la investigación y el emprendimiento tales como EAN Emprende, Minciencias u otras instancias estatales que cumplan con el mismo objetivo que las anteriormente mencionadas.

Conclusiones

-Se obtuvo celulosa bacteriana a partir del SKOBY del Kombucha, evidenciando que, a mayor tiempo de fermentación (20 días) y con una concentración de 0,5 g/L de sustrato, mayor crecimiento presentaba el material obtenido.

-La caracterización realizada permitió observar que un alto consumo de sustrato derivó en una mayor resistencia y grosor del material obtenido, así como una resistencia considerable a presión y fuerzas aplicadas.

-La celulosa bacteriana obtenida logró retener aproximadamente 80 % en peso del serum aplicado, lo cuál es un indicador positivo en su viabilidad para el uso en mascarillas cosméticas.

-En términos generales, el biomaterial obtenido a partir del SCOBY del Kombucha demostró características que cumplen con los requerimientos de una mascarilla cosmética, lo que permite concluir que presenta potencial como alternativa biotecnológica sostenible con cabida en la industria cosmética.

Referencias bibliográficas

- Abeer, M. M., Amin, M. C. I. M., & Martin, C. (2014). A review of bacterial cellulose-based drug delivery systems: Their biochemistry, current approaches and future prospects. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 66(8), 1047–1061. <https://doi.org/10.1111/jphp.12234>
- Almeida, T., Silvestre, A. J. D., Vilela, C., & Freire, C. S. R. (2021). *Bacterial nanocellulose toward green cosmetics: Recent progresses and challenges*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 2836. <https://doi.org/10.3390/ijms22062836>
- Doğan, N. (2023). Bacterial cellulose films based on kombucha pellicle: Production and characterization. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05808-x>
- Feng, X., Ge, Z., Wang, Y., Xia, X., Zhao, B., & Dong, M. (2024). Production and characterization of bacterial cellulose from kombucha-fermented soy whey. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6, 20. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00188-3>
- Gagliardi, T. R., Nascimento, A. F., & Valencia, G. A. (2025). Kombucha bacterial cellulose: A promising biopolymer for advanced food and non-food applications. *Foods*, 14(5), 738. <https://doi.org/10.3390/foods14050738>
- Li, B., Wang, X., & Wang, P. (2024). Microorganisms and bacterial cellulose stability of kombucha under different manufacture and storage conditions. *Journal of Food Science*, 89(5), 2921–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16975>
- Li, Z., Hu, W., Dong, J., Li, X., & Chen, Y. (2023). The use of bacterial cellulose from kombucha to produce curcumin-loaded Pickering emulsion with improved stability and

antioxidant properties. *Food Science and Human Wellness*, 12(2), 669–679.

<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.069>

Lima, N. F., Maciel, G. M., Lima, N. P., Arruda Fernandes, I., & Haminiuk, C. W. I. (2024). *Bacterial cellulose in cosmetic innovation: A review*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 275, 133396. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133396>

Liu, Z., Sun, Q., Wang, Y., Zhang, J., & Li, H. (2024). Preparation and characterization of bacterial cellulose by kombucha using corncob. *Cellulose*. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-06018-0>

Mbituyimana, B., Liu, L., Ye, W., & Sun, J. (2021). Bacterial cellulose-based composites for biomedical and cosmetic applications. *Carbohydrate Polymers*, 257, 117564. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117564>

Nayak, R., Cleveland, D., & Tran, G. (2024). Sustainable applications of bacterial cellulose in textiles and biomaterials. *Journal of Materials Science*, 59, 6685–6710. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-09577-6>

Oliveira, T. J., Segato, T. C. M., Machado, G. P., Grotto, D., & Jozala, A. F. (2022). *Evolution of bacterial cellulose in cosmetic applications: An updated systematic review*. *Molecules*, 27(23), 8341. <https://doi.org/10.3390/molecules27238341>

Pacheco, G., Véspoli de Mello, C., Chiari-Andréo, B. G., et al. (2018). *Bacterial cellulose skin masks: Properties and sensory tests*. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 17(5), 840–847. <https://doi.org/10.1111/jocd.12441>

Pandey, A., Singh, M. K., & Singh, A. (2024). Bacterial cellulose: A smart biomaterial for biomedical applications. *Journal of Materials Research*, 39, 2–18. <https://doi.org/10.1557/s43578-023-01116-4>

Ruka, D. R., Simon, G. P., & Dean, K. M. (2012). Altering the growth conditions of *Gluconacetobacter xylinus* to maximize the yield of bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 89(2), 613–622. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.059>

Ul-Islam, M., Khan, S., & Park, J. K. (2012). Water holding and release properties of bacterial cellulose obtained by in situ and ex situ modification. *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 596–603. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.006>

Wood, J., Verran, J., & Redfern, J. (2023). Bacterial cellulose grown from kombucha: Assessment of textile performance properties using fashion apparel tests. *Textile Research Journal*, 93(13–14), 3094–3108. <https://doi.org/10.1177/00405175231152668>

Zhu, C., Li, F., Zhou, X., Lin, L., & Zhang, T. (2014). Kombucha-synthesized bacterial cellulose: Preparation, characterization, and biocompatibility evaluation. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 102(5), 1548–1557. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.34796>