



MAESTRIA EN MICROBIOLOGÍA AGROINDUSTRIAL

Evaluación teórica de la producción de celulosa bacterial (CB) por *Gluconacetobacter*, a partir de fuentes nutricionales alternativas:
Revisión sistemática

DENISSE ADRIANA OÑATE PÉREZ



*Obra de Iglesia
de la Congregación*



*Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen*

VERIFICADA MINEDUCACIÓN

Evaluación teórica de la producción de celulosa bacterial (CB) por
Gluconacetobacter, a partir de fuentes nutricionales alternativas:
Revisión sistemática

DENISSE ADRIANA OÑATE PÉREZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES FACULTAD
DE CIENCIAS DE LA SALUD MAESTRÍA EN
MICROBIOLOGÍA
AGROINDUSTRIAL MANIZALES
2024

Magíster en Microbiología Evaluación teórica de la producción de celulosa bacterial (CB) por *Gluconacetobacter*, a partir de fuentes nutricionales alternativas: Revisión sistemática

DENISSE ADRIANA OÑATE PÉREZ

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

Proyecto de investigación del estudiante que se articula a una línea de investigación en coautoría y con acompañamiento de profesor investigador

Asesora:

GLORIA MARÍA RESTREPO FRANCO¹, Ph.D.

Co-asesor:

ALEJANDRO RINCÓN SANTAMARÍA², Ph.D.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA SALUD PROGRAMA MAESTRÍA EN
MICROBIOLOGÍA
AGROINDUSTRIAL MANIZALES
2024

¹ <http://orcid.org/0000-0003-0443-0369>

² <http://orcid.org/0000-0002-7381-0560>

Tabla de contenido

1. Introducción	4
2. Objetivos	6
2.1 Objetivo general	6
2.2 Objetivos específicos	6
3. Referente teórico	7
3.1. Celulosa Bacteriana	7
3.2. Microorganismos empleados en la obtención de celulosa bacteriana	7
3.3. Propiedades mecánicas de la celulosa bacteriana	9
3.4. Aplicaciones de celulosa bacteriana	11
3.5 Análisis bibliométrico y análisis sistemático de la información	13
4. Materiales y métodos	14
4.1 Tipo de estudio	14
4.2 Selección de los principales estudios que demuestren el potencial de producción de celulosa bacterial (CB) por <i>Gluconacetobacter</i> spp., empleando análisis bibliométrico	14
Con la información recolectada se identificaron las siguientes métricas	14
• Productividad y tendencia por años. Producción de artículos de acuerdo con el autor.....	14
• Filiación institucional de los autores.....	14
• Frecuencia de citas recibidas por título.....	14
• País de origen de los autores (países más productivos en publicación del tema)	14
• Principales tendencias de investigación	14
4.3 Identificación de los principales estudios y del efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre la producción de celulosa bacterial	14
4.4 Identificación de los principales estudios y del efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre las propiedades térmicas de la celulosa bacterial (CB)	15
5. Resultados y discusión	16
5.1. Selección de los principales estudios que demuestren el potencial de producción de Celulosa Bacterial (CB) por <i>Gluconacetobacter</i> spp., empleando análisis bibliométrico	16
5.1.1. Métricas de los resultados obtenidos en Scopus	17
5.2. Identificación del efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre la producción de celulosa bacterial	22

5.2.1. Sustratos empleados para obtención de celulosa bacteriana	22
5.2.2. Temperatura y pH del medio de cultivo o sustrato empleado para la producción de celulosa bacteriana	24
5.2.3. Días de incubación y condiciones del medio de cultivo para producción de celulosa bacteriana	26
5.2.4. Tipo de hidrólisis	28
5.2.5. Productividad y rendimiento de la celulosa	28
5.3. Análisis del efecto de las fuentes nutricionales y de las condiciones de cultivo sobre las propiedades térmicas de la celulosa bacteriana	30
Conclusiones	35

Lista de figuras

Figura 1. Distribución del número de artículos de acuerdo con el año de publicación. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	18
Figura 2. Países de procedencia de los autores con mayor producción de artículos (10 países de mayor producción). Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.....	20
Figura 3. Documentos por principales tendencias de investigación. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.....	21
Figura 4. Filiación institucional de los autores (10 principales instituciones). Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.....	21

Lista de tablas

Tabla 1. Palabras clave obtenidas de los resúmenes de los artículos de Google académico.....	16
Tabla 2. Ecuaciones evaluadas en las diferentes bases de datos y buscadores, con el número de documentos obtenidos.	16
Tabla 3. Títulos de los 10 artículos más citados. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	22
Tabla 4. Sustratos empleados en la obtención de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.....	23
Tabla 5. Medios cultivos (sustratos) para producción de Celulosa Bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.....	24
Tabla 6. Rango de temperatura para aislamiento de microorganismo y producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.....	25
Tabla 7. pH de medios de cultivos para aislamiento y producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	26
Tabla 8. Días incubación del medio de cultivo para producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	27
Tabla 9. Productividad y rendimiento de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	29
Tabla 10. Condiciones de temperatura del cultivo para producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	30
Tabla 11. Rango de temperatura de análisis termogravimétrico de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	31
Tabla 12. Temperatura degradación de la celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	32
Tabla 13. Estabilidad térmica en la celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.	32
Tabla 14. Grado de Cristalinidad obtenidos en la celulosa bacteriana con diferentes sustratos. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.....	33

Agradecimientos

Instituciones y oficinas

A la Universidad Católica de Manizales-UCM por su apoyo para la realización de la Maestría en Microbiología Agroindustrial.

Doctores e investigadores

A la Dra. Gloria María Restrepo Franco, directora del trabajo de grado, por su vocación, enseñanzas y fortaleza en todo este proceso. Por todo su tiempo y disposición en cada momento, un apoyo incondicional para sacar adelante esta investigación. Infinita gratitud con ella.

Al ingeniero Alejandro Rincón Santamaria, por su acompañamiento y consejos en el análisis de la información de las propiedades térmicas.

Otras personas

Protécnica Ingeniería por darme la oportunidad y el espacio de crecimiento intelectual. Muy agradecida.

A mis compañeras de maestría Claudia Marcela, Nelsy Paola y Natalia, por su compañía, apoyo y cariño todo este tiempo.

Agradecimientos personales

Primero agradezco a Dios por su sabiduría y por esta bella oportunidad de crecimiento intelectual, personal, por sus fuerzas.

A mi familia por su comprensión durante este tiempo y ser siempre la base de mi vida y mi inspiración.

Resumen

Introducción: La celulosa bacteriana (CB) ha despertado interés en la investigación industrial y académica como biopolímero biodegradable, debido a sus importantes ventajas como una estructura única de red reticulada tridimensional de nanofibras que le confiere propiedades mecánicas, gran capacidad de retención de agua y estabilidad. También se caracteriza por su pureza, alto grado de cristalinidad biocompatibilidad y biodegradabilidad. **Objetivo:** Desde este punto de vista el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar teóricamente la producción de celulosa bacteriana (CB) de *Gluconacetobacter* spp., usando fuentes nutricionales alternativas. **Metodología:** Inicialmente se realizó un estudio bibliométrico, con el fin de seleccionar los principales estudios que demostraron el potencial de producción de CB por *Gluconacetobacter* spp. Posteriormente, se realizó un análisis sistemático para determinar cómo las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo afectaron la producción de celulosa bacteriana y por último se analizó el efecto de las fuentes nutricionales y condiciones del cultivo sobre las propiedades térmicas. **Resultados:** La producción de celulosa bacteriana depende estrechamente de las condiciones del método de cultivo, de las fuentes de carbono y de nitrógeno, pH y temperatura. Los residuos agrícolas de frutas y agrícolas favorecen el crecimiento del microorganismo *Gluconacetobacter* spp. y las características de la celulosa bacteriana, la cual presenta mejor porosidad, capacidad de absorción y de retención de agua que la celulosa vegetal. Además, las propiedades mecánicas, térmicas y fisiológicas son mejores y su estructura única de red reticulada tridimensional, que le confiere una serie de ventajas como grandes superficies, permeabilidad líquido/gas y naturaleza transparente. **Conclusión:** La bacteria *Gluconacetobacter* en medio de cultivo alternativo con base en residuos de frutas, agrícolas, residuos industriales y aguas residuales, emplea estos materiales como fuente de carbono, para la producción de celulosa bacteriana. La producción de celulosa bacteriana obtenida por esta bacteria posee unas características distintivas que la hacen un material muy especial para demostrar su superioridad en aplicaciones biomédicas, industrias de alimentos, industria textil, industria papelera, industria electrónica, industrias cosméticas, cuidado personal y productos químicos domésticos.

Palabras clave: celulosa bacteriana, biodegradable, fuentes nutricionales alternativas, propiedades mecánicas, propiedades térmicas, cristalinidad, biocompatibilidad.

Abstract

Introduction: Bacterial cellulose (BC) has aroused interest in industrial and academic research as a biodegradable biopolymer, due to its important advantages such as a unique three-dimensional cross-linked network structure of nanofibers that gives it mechanical properties, great water retention capacity and stability. It is also characterized by its purity, high degree of crystallinity, biocompatibility, and biodegradability. **Objective:** From this point of view, the present work aimed to theoretically evaluate the production of bacterial cellulose (BC) of *Gluconacetobacter* spp., using alternative nutritional sources. **Methodology:** Initially, a bibliometric study was carried out, to select the main studies that demonstrated the potential for CB production by *Gluconacetobacter* spp. Subsequently, through systematic analysis, the effect of nutritional sources and cultivation conditions on the production of bacterial cellulose was identified and finally the effect of nutritional sources and cultivation conditions on thermal properties was analyzed. **Results:** The production of bacterial cellulose depends closely on the conditions of the culture method, carbon and nitrogen sources, pH, and temperature. Agricultural fruit and agricultural waste favor the growth of the microorganism *Gluconacetobacter* spp. and the characteristics of bacterial cellulose, which has better porosity, absorption and water retention capacity than plant cellulose. In addition, the mechanical, thermal, and physiological properties are better and its unique three-dimensional reticulated network structure, which gives it a series of advantages such as large surfaces, liquid/gas permeability and transparent nature. **Conclusion:** The *Gluconacetobacter* bacteria in alternative culture medium based on fruit and agricultural waste, industrial waste, and wastewater, uses these materials as a carbon source to produce bacterial cellulose. The production of bacterial cellulose obtained by this bacterium has distinctive characteristics that make it a very special material to demonstrate its superiority in biomedical applications, food industries, textile industry, paper industry, electronic industry, cosmetic industries, personal care, and household chemicals.

Keywords: bacterial cellulose, biodegradable, alternative nutritional sources, mechanical properties, thermal properties, crystallinity, biocompatibility.

1. Introducción

La celulosa representa uno de los biopolímeros más abundante de la superficie de la tierra con diversas aplicaciones comerciales en los ámbitos de la biomédica, industria alimentaria, aplicación en productos de cuidado personal, productos químicos domésticos, aplicaciones textiles y resinas compuestas (Zhong, 2020). La celulosa es un tipo de carbohidrato con muchos grupos hidroxilo que forman cadenas poliméricas. Como resultado, muchos enlaces de hidrógeno se forman entre los grupos hidroxilo y los átomos de oxígeno de las unidades de anhidroglucosa. (Pogorelova et al., 2020). Las plantas, son la principal fuente de celulosa vegetal y además de las algas, los hongos y las bacterias también pueden producirla. La celulosa bacteriana (CB) en comparación, con las nanopartículas de celulosa vegetal que se obtiene mediante métodos descendentes, está compuesta por nanofibras sintetizadas de forma ascendente (Zhong, 2020), mediante el uso de fuentes sintéticas y residuos se ha obtenido CB con características superiores en propiedades fisicoquímicas, entre las cuales se resalta una mayor capacidad de retención de agua, hidrofobicidad, cristalinidad, biocompatibilidad, propiedades mecánicas como porosidad y moldeabilidad postsintética (Kamal et al., 2022). Esta estructura única dota a la CB de propiedades distintas que incluyen una alta resistencia a la tracción en húmedo, una gran superficie, una alta capacidad de retención de agua, una excelente permeabilidad, flexibilidad, elasticidad y durabilidad. Adicionalmente, está libre de los componentes simbióticos de las plantas, como lignina, hemicelulosa y la pectina. Estas ventajas hacen de la CB sea un candidato ideal para las fuentes renovables de materiales celulósicos. La demanda y el interés por la investigación y desarrollo de estos materiales es cada vez mayor (Oh, 2022).

Numerosos artículos han mencionado la producción exitosa de CB a partir de una variedad de recursos de desecho que incluyen residuos de frutas y verduras, jugos vencidos, zumos caducados, residuos industriales y alimentarios (Kamal et al., 2022; Saleh et al., 2021). La producción de celulosa por microorganismos se considera uno de los enfoques más beneficiosos para los requisitos medioambientales. Es un producto que tiene funciones diversas para su aplicación en diferentes ámbitos, como la biomedicina (cicatrización de heridas, implantes, vasos sanguíneos para microcirugías, reparación de tejidos cutáneos, membranas transductores de sonido, compuestos ópticamente transparentes) (Pang et al., 2020), en la industria alimentaria como espesante y estabilizador, la producción de papel, la industria textil y la inmovilización de microorganismos y enzimas (Santoso et al., 2021). Las aplicaciones más recientes de la celulosa incluyen los metamateriales impresos en 3D, los marcos orgánicos metálicos (MOF por sus siglas en inglés), y las aplicaciones biomédicas debido a su biocompatibilidad, y a sus propiedades de aislamiento térmico (Fleury et al., 2020). A pesar de su enorme potencial en diversas aplicaciones, el elevado costo de la producción de CB es el principal inconveniente que dificulta su aplicación industrial. La utilización de desechos y subproductos industriales como base para la producción de materiales, podría mejorar la competitividad en los costos de la producción de CB.

En el Grupo de Investigación en Microbiología y Biotecnología Agroindustrial (GIMIBAG) de la Universidad Católica de Manizales, desde el 2009 se ha trabajado con la bacteria *Gluconacetobacter diazotrophicus*, en investigaciones orientadas a la promoción de crecimiento vegetal en cultivos de interés agrícola. Lo anterior con el fin de desarrollar inoculantes microbianos a base de esta bacteria. En el Grupo ha surgido la inquietud de indagar otros potenciales que la bacteria pueda tener, con el fin de proyectar las futuras investigaciones en torno a este microorganismo.

Por lo tanto, se realizó una revisión sistemática la cual se centró en la evaluación teórica de la producción de celulosa bacteriana (CB) por el microorganismo *Gluconacetobacter* spp., utilizando fuentes nutricionales alternas. Además, se investigaron las propiedades físicas y mecánicas bacterianas producidas a partir de diferentes medios de fermentación.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar teóricamente la producción de celulosa bacterial (CB) de *Gluconacetobacter* spp., usando fuentes nutricionales alternativas, mediante revisión sistemática.

2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los principales estudios que demuestren el potencial de producción de celulosa bacterial (CB) por *Gluconacetobacter* spp., empleando análisis bibliométrico.
- Identificar el efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre la producción de celulosa bacterial.
- Analizar el efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre las propiedades térmicas de la celulosa bacterial.

3. Referente teórico

3.1. Celulosa Bacteriana

La celulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas y está asociada a la hemicelulosa lignina y otros componentes de la madera. La celulosa es un homopolisacárido lineal que se compone de unidades repetidas de β -D-glucopiranosas unidas por enlaces β -1,4 glicosídicos (Zhong, 2020).

La biosíntesis de la celulosa bacteriana se produce a partir de fuente de carbono como sacarosa, glucosa, manitol, glicerol. Donde inicia una etapa reacción del sustrato con el microorganismo y hay una conversión a glucosa-6-fosfato hasta la polimerización de la celulosa por acción de un complejo enzimático celulosa sintetasa. Los valores ideales de pH del cultivo para la mayoría de las especie productoras de celulosa bacteriana se sitúan entre 4 a 7, las temperaturas más adecuadas para el cultivo se sitúan en el intervalo 28 - 30°C para una producción de alto rendimiento (Navya,P.V., 2022). El uso del CB determina la técnica de cultivo y depende directamente del crecimiento de las bacterias, el aporte de oxígeno aumenta la población celular y la producción(Blanco ,F. G, 2020) La celulosa producida después de la fermentación contiene impurezas como células y otros elementos del medio de cultivo, hay métodos de lavados para eliminar esas impurezas basados en componentes alcalinos (NaOH, KOH), ácidos orgánicos. Se requiere al menos 48 horas de hidrólisis con H₂SO₄ para atacar regiones amorfas y aumentar la cristalinidad. Después de la neutralización, se puede producir celulosa bacteriana altamente cristalina y una alta estabilidad térmica para ser utilizada como material de refuerzo en compuestos que se puedan fundir. En contraste, el HCL actúa hidrolíticamente de manera más suave y normalmente produce cristalinidad de celulosa con estructuras nativas sin grupos cargados, lo que resulta en nanocristalinos poco cargados y/o no sulfatados.(Soon & Eun Joo Shin, 2020).

La celulosa bacteriana (CB) carece de lignina, pectina, hemicelulosa y tienen propiedades estructurales, físicas y mecánicas superiores. Como resultado, los niveles superiores de pureza, estructura cristalina, capacidad de retención de agua, resistencia a la tracción y biocompatibilidad de la celulosa de origen bacterial respaldan la viabilidad de utilizarlas como alternativas para aplicaciones biomédicas, cosméticas, alimentarias y otras aplicaciones de gama alta (Sundaram et al., 2021).

3.2. Microorganismos empleados en la obtención de celulosa bacteriana

Los principales productores de celulosa bacteriana pertenecen al género *Gluconacetobacter* (ahora *Komagataeibacter*), especialmente las cepas de *Komagataeibacter nataicola* y *K. xylinus* (también conocida como *Acetobacter acetii* subsp. *xylinum* o *G. swingsii*). Entre las numerosas bacterias productoras de celulosa, las cepas de *K. xylinus* y *K. nataicola* son las más estudiadas y las más eficientes productoras bacterianas de celulosa, capaces de asimilar diversos sustratos y de producir más celulosa en medio líquido (Chaiyachet et al., 2022a)

Gluconacetobacter especie *xylinus* (actualmente denominado *Komagataeibacter xylinus*) es el género más estudiado porque produce la mayor cantidad de celulosa. Es un mesófilo no patógeno del género de bacterias *Acetobacter* identificado por A. J. Brown en 1886. Es un organismo

modelo, para estudiar la producción de celulosa a partir de glucosa, así como para explorar posibles usos industriales y textiles. Algunas especies producen cantidades significativas y han sido ampliamente reconocidas como las productoras más eficientes de bionanocelulosa (Szymczak et al., 2022). Debido al alto rendimiento y a la producción de cintas de celulosa altamente cristalinas, las cepas de este género han sido seleccionadas como modelos para estudiar este proceso a nivel molecular, fisiológico y de cultivo celular (Ryngajłło, 2020). Las especies más representativa de este género se describen a continuación.

3.2.1. *Gluconacetobacter xylinus* (sinónimo homotípico *Komagataeibacter xylinus*)

Gluconacetobacter xylinus (también conocido como *Acetobacter xylinum*) es una bacteria Gram negativa, estrictamente aerobia, que realiza la oxidación incompleta de varios azúcares y alcoholes (proceso conocido como fermentación oxidativa). Su nicho ecológico natural es la descomposición de frutas y verduras, donde puede producir celulosa bacteriana en medios líquidos y sólidos formando una película sobre la superficie. La celulosa sintetizada por *G. xylinus* tiene características químicas y estructurales similares a las de la celulosa vegetal. Sin embargo, la celulosa bacteriana se encuentra con alta pureza, carece de lignina y hemicelulosa, tiene una alta capacidad de absorción de agua y una alta resistencia mecánica (Abdelraof et al., 2022; Euzeby, 2013; He et al., 2020; Li et al., 2021; Padmanabhan et al., 2022; Pepicelli et al., 2021; Schoch, et al., 2020; Souza et al., 2020).

La biosíntesis de CB a partir de *G. xylinus* se divide en dos etapas. La primera es la polimerización de moléculas dentro de las células en polímeros de celulosa; la segunda es el autoensamblaje de cadenas de polímeros de celulosa en nanofibras cristalinas (Zhong, 2020). La bacteria produce la síntesis bioquímica de la celulosa, que generalmente consiste en cuatro reacciones catalizadas por enzimas: (i) Primero se convierte una molécula de glucosa en glucosa 6- fosfatos (glucosa 6 -P) producidos por la enzima glucoquinasa; (ii) Una molécula de glucosa 6- P se isomeriza en glucosa 1- fosfato producido por la fosfoglucomutasa; (iii) La pirofosforilaza cataliza la producción de glucosa difosfato de uridina (UDP-Glucosa) a través de una reacción entre una molécula de glucosa 1-P y el trifosfato de uridina (UTP); (iv) Finalmente, las UDP-Glucosas son polimerizadas en cadenas lineales de beta 1,4 glucano, que es catalizada por la celulosa sintetasa. La celulosa bacteriana se hidroliza primero en monosacáridos como glucosa y fructosa si se utilizan otras fuentes de carbono como disacáridos (Soon & Eun Joo Shin, 2020; Zhong, 2020).

Después de la polimerización intracelular, la segunda etapa las bacterias extraen las cadenas de polímeros de celulosa de la membrana celular. Esto sigue a un proceso de autoensamblaje impulsado por la fuerza de van der Waals y los enlaces de hidrógenos intra e intermoleculares entre los grupos hidroxilos y los átomos de oxígeno de las unidades de anhidroglucosa. La bacteria *G.xylinum* tiene entre 50 y 80 complejos terminales alineados en el eje longitudinal de la célula bacteriana. Las cadenas de polímeros de celulosa se pulverizan en complejo terminales y luego se autoensamblan en nanofibras semicristalinas. Las cintas de microfibras se entrelazan en una red reticulada tridimensional para crear una película gelatinosa que se pega en la superficie de los medios de cultivo durante la fermentación estática. Esto crea un entorno rico en oxígeno, húmedo y seguro para que las bacterias no móviles y aeróbicas crezcan bien y las proteja de la desecación, la radiación y los daños (Zhong, 2020).

3.2.2. *Komagataeibacter rhaeticus* (Dellaglio et al. 2005; Yamada et al. 2013)

La cepa se identificó como Gram negativa, catalasa positiva y oxidasa negativa. Producen una reacción alcalina en un medio que contiene lactato o acetato debido a la oxidación (Leonarski et al., 2022). Se aisló una cepa del té de Kombucha y se utilizó como bacteria alternativa para la biosíntesis de celulosa bacteriana (CB). Una bacteria viable para producir CB de acuerdo con los datos de rendimiento, espesor y capacidad de retención de agua (Calderón, 2022; Euzeby, 2013; Li et al., 2021; X. Ma et al., 2021; Machado, 2016; Mangayil et al., 2021; Schoch, et al., 2020; Souza, 2021).

3.2.3 *Novacetimonas hansenii* (antes *Komagataeibacter hansenii*)

Fue descrita originalmente por Brandao (Brandao, 2022; Schoch, et al., 2020). Los análisis filogenómicos y comparativos apoyan la reclasificación de varias especies de *Komagataeibacter* como nuevos miembros de *Novacetimonas* gen. nov. y aportar nuevos conocimientos sobre la evolución de los genes de la celulosa sintasa (Brandao, 2022).

La producción de CB a partir de residuos de frutas y verduras y con *Komagataeibacter hansenii* presentaba la fibra más fina, una alta capacidad de retención de agua y estabilidad térmica (Albuquerque et al., 2021; Camargo et al., 2020; Euzeby, 2013, 2013; Fatima et al., 2022; Güzel, 2020; Sundaram et al., 2021).

3.3. Propiedades mecánicas de la celulosa bacteriana

El método de cultivo (estático o agitado), las fuentes de carbono y de nitrógeno, el pH y la temperatura son factores importantes para la producción en el mecanismo de síntesis de CB, su estructura y propiedades, han puesto en manifiesto que su producción depende estrechamente del método de cultivo.

3.3.1. Temperatura de producción de Celulosa Bacteriana (CB)

Durante el proceso industrializado de fermentación la temperatura óptima de *G. xylinus* es de unos 30°C (Calderón, 2022; Singhaboot, 2022; Singhaboot et al., 2022; Zhong, 2020). Aunque también se han reportado temperaturas de incubación de 28°C y temperaturas ambientes (Arfa, 2021; Chng Chia Hui et al., 2020; Fleury et al., 2020; Gupte et al., 2021; He et al., 2020; Kalender, 2021; Pepicelli et al., 2021).

3.3.2 Estabilidad térmica

La estructura de la celulosa bacteriana (CB) está relacionada con sus propiedades mecánicas y con la resistencia a la tracción y el módulo de Young. La resistencia de CB se debe a los enlaces fuertes de hidrógeno entre las fibrillas de celulosa, y el tamaño uniforme de las fibrillas bien dispuestas proporciona una mayor resistencia (Akintunde, 2022; Chaiyachet et al., 2022a). El módulo de elasticidad de un polímero está directamente relacionado con la rigidez del material; cuanto mayor sea el módulo de elasticidad del polímero, más rígido es el material (Chaiyachet et al., 2022b). El nanomaterial natural BC se compone de nanofibrillas de celulosa en forma de cinta tridimensionales que mejoran sus propiedades mecánicas.

3.3.2.1 Resistencia mecánica (Módulo Young):

La estabilidad térmica de la celulosa bacteriana (CB) es importante para aplicaciones médicas. Está relacionada con su capacidad de mantener sus propiedades mecánicas para cierto rango de

temperatura. Aunque los biomateriales generalmente se usan a temperatura corporal fisiológica y temperatura ambiente, el análisis termogravimétrico proporciona información importante de las propiedades de CB, incluyendo: i) la proporción entre agua en estructura celosía y agua en estructura coordinada; ii) el efecto de los métodos de esterilización térmica seca sobre la estructura y la morfología de CB (Torgbo, 2020). Además, contribuye al conocimiento y entendimiento de las propiedades y comportamientos de la celulosa bacteriana, incluyendo: propiedades mecánicas, fase amorfa y cristalina, comportamiento ante reacciones térmicas del cuerpo, capacidades de aislamiento.

La estabilidad térmica es cuantificada por medio de termogravimetría y análisis térmico diferencial, los cuales involucran descomposición de la celulosa bacteriana (Torgbo, 2020). La degradación térmica de CB tiene tres etapas de pérdida de masa:

- La primera etapa ocurre a menos de 200°C, e involucra la evaporación de agua residual o humedad, con alteración de los enlaces intermoleculares de hidrógeno, generando un cambio mínimo de la estructura de CB.
- La segunda etapa ocurre entre 200°C y 400°C; es la principal etapa de degradación; involucra la descomposición de la celulosa, con formación de materia carbonácea, generando una alta pérdida másica y cambio estructural de la celulosa CB.
- La tercera ocurra a más de 400°C, involucra oxidación de materia carbonácea y formación de residuos carbonáceos (El-Saied, 2008; Torgbo, 2020).

3.3.2.2. Análisis termogravimétrico (TGA):

La cantidad y la frecuencia de variación del peso de las muestras frente a la temperatura y el tiempo en una atmósfera controlada se determinan por el TGA (Brown, 2001). Puede utilizarse principalmente para investigar las propiedades de las muestras estabilidad térmica (la resistencia del material a una temperatura determinada), las estabilidades oxidativas (la tasa de absorción de oxígeno en el material), así como las propiedades de composición (resina polimérica, disolventes). Además, la ganancia y/o pérdida de peso de las muestras están relacionadas con una variedad de factores como el aumento de peso se debe a la adsorción u oxidación, mientras que la pérdida de peso se debe a la descomposición, desorción, deshidratación, desolvatación o volatilización (Vyazovkin et al., 2018).

3.3.3 Cristalinidad

La celulosa bacteriana contiene dominios amorfos y cristalinos. La cristalinidad de CB como biomaterial tiene un impacto significativo en sus propiedades mecánicas, químicas y físicas. Estudios previos han reportado un alto índice de cristalinidad de la celulosa bacteriana entre 80 y 90% (Anguluri et al., 2022; Gupte et al., 2021; Güzel, 2020; Leonarski et al., 2022; Torgbo, 2020; Wu et al., 2022). Por lo tanto, una mayor cristalinidad significa una cadena poliméricas más fuerte, menos flexible y una mayor estabilidad térmica (Torgbo, 2020). Una disminución del índice de cristalinidad se asocia con un rápido proceso de degradación del CB debido a la transformación de la región cristalina en amorfa (Torgbo, 2020).

La CB posee buenas propiedades como un alto módulo Young de más de 15 GPA, una resistencia a la tracción de 167,7 MPa , alto contenido de cristalinidad 85 % , un alto grado de polimerización de 10.000 , y un alto contenido en agua del 90-95 % (Chaiyachet et al., 2022b).

En comparación con la celulosa vegetal, la BC tiene características excepcionales de alta cristalinidad, pureza, baja densidad, módulo de Young alto (78 GPa) y resistencia a la tracción (200-300 MPa), elasticidad, durabilidad, potencial hidrófilo (retiene y absorbe agua en el 98-99 % de su volumen), no toxicidad, biocompatibilidad y biodegradabilidad (Tsouko et al., 2020).

3.4 Aplicaciones de celulosa bacteriana

La celulosa está siendo utilizada en una amplia gama de aplicaciones comerciales, como textiles, cosméticos y usos médicos, lo que ha llevado a investigaciones para su uso en nuevas áreas. Las diferentes investigaciones que se revisaron en este trabajo se han centrado principalmente en el mecanismo de síntesis del polímero, así como en su estructura y características que determinan su uso en la industria.

3.4.1. Aplicaciones en la industria alimentaria

La celulosa bacteriana (CB) ha sido considerada como un aditivo alimentario "generalmente reconocido como seguro (GRAS)" por la FDA desde 1992. Tiene usos potenciales en postres tradicionales, dietas bajas en colesterol, carne vegetariana, aditivos para alimentos/bebidas y envasado de alimentos (Machado, 2016; Niyazbekova et al., 2018; Zhong, 2020). En aplicaciones comerciales, las formas y funciones de CB son variadas dependiendo de los métodos de fermentación. La CB producida a partir de la fermentación estática con una película gelatinosa se utiliza principalmente como materia prima para postres e ingredientes alimentarios y mientras tanto la CB obtenida a partir de la fermentación agitada con naturaleza hidrocoloide se explota como espesantes y agentes de suspensión en bebidas (Sar, 2022; Zhong, 2020).

3.4.2. Aplicaciones en el desarrollo de productos de cuidado personal y productos químicos domésticos

Los componentes utilizados en los productos para el cuidado personal deben ser no tóxicos y biocompatibles. Por ello, los clientes prefieren productos naturales de gran pureza y seguridad. La CB es un producto natural generado mediante fermentación microbiana, que ha demostrado ser altamente biocompatible. En los productos de cuidado personal, las películas de CB obtenidas de la fermentación estática se han explotado como materia prima para mascarillas faciales (Zhong, 2020), las mascarillas compuestas de BC tienen una excelente capacidad de retención de agua y proporcionan una sensación favorable de frescor y suavidad gracias a su red reticulada 3D a nanoescala (Niyazbekova et al., 2018; Zhong, 2020).

Además, la CB obtenida de la fermentación agitada también sirve como agente espesante, para ofrecer una excelente estabilidad de suspensión para partículas tales como microperlas decorativas, fragancia encapsulada y enzimas encapsuladas, etc. (Zhong, 2020).

3.4.3. Aplicaciones en áreas biomédicas

La celulosa bacteriana (CB) tiene un gran potencial en diversas aplicaciones biomédicas, incluyendo el vendaje de heridas, la piel artificial, el implante dental, la administración de fármacos, los materiales hemostáticos, los injertos vasculares, los andamios para la ingeniería de tejidos, el biosensor y el diagnóstico (Soon, 2020). La alta pureza y biocompatibilidad de la CB son el requisito previo para todas las aplicaciones biomédicas. Posee una red reticulada tridimensional única, que le confiere una serie de ventajas como grandes áreas superficiales, excelente capacidad de retención de agua, buena permeabilidad a líquidos y gases, notables

propiedades mecánicas y naturaleza transparente (Zhong, 2020). Igualmente, hay varios productos relacionados con la administración de fármacos, lentes de contacto, injertos vasculares y sustitución de membranas timpánicas en vías de transformación comercial.

Trabajar con polímeros naturales como la celulosa mejora las propiedades de adhesión celular y formación de tejido de hidrogeles de nanocelulosa, debido a su hidrofiliidad, biocompatibilidad y biodegradabilidad. En la actualidad, los polímeros naturales son los que más se utilizan como base para la regeneración de tejidos y como cualquier material utilizado en biomedicina, deben cumplir una serie de requisitos, tales como ser compatibles con el organismo receptor, es decir, no generar rechazo ni alteraciones y ser biodegradables (González, 2021).

3.4.4. Aplicaciones en textil

La CB también se ha explotado comercialmente como fuente de materia prima para fabricar rayón y tejidos sin plantas. El uso intensivo de fibras químicas derivadas del petróleo, como el nailon, el acrilón, el terileno y el polipropileno, ha causado graves problemas de contaminación ambiental debido a su naturaleza no degradable. Las fibras regeneradas de origen vegetal, como el rayón y el cupramonio, suelen derivarse de pulpas de madera y algodón. Aunque son degradables, el proceso de fabricación de la pulpa suele consumir una gran cantidad de energía y contamina el medio ambiente, ya que se utilizan enormes cantidades de productos químicos (Niyazbekova et al., 2018; Zhong, 2020). En comparación con la celulosa vegetal, la CB es fácil de purificar, lo que reduce el impacto medioambiental. Se ha convertido con éxito CB en fibras de viscosa-rayón, proporcionando una alternativa para las fibras de origen vegetal, utilizando su propia técnica de desarrollo, que luego se hila se convierte en hilo, después tejido y prenda. Como fuente de celulosa, se utilizan residuos industriales en lugar de pulpa de madera obtenida mediante un proceso químico agresivo. Además, el proceso de fermentación es más eficaz que el crecimiento de las plantas, tanto en tiempo como en requisitos para su crecimiento. Por último, el proceso de producción de rayón a partir de la fermentación de BC consume poca energía y agua. En conjunto, debería ser una oportunidad para la aplicación de CB que proporciona una alternativa sostenible para las fibras de rayón a base de plantas (Zhong, 2020). Las membranas obtenidas de CB se han utilizado en la fabricación de compuestos de base biológica como posibles sustitutos del cuero en la fabricación de biotextiles, como resultado obtuvieron una buena estabilidad de forma y una flexibilidad considerable, una resistencia a la tracción y un módulo elástico medios de 1,69 MPa y 100 MPa, respectivamente (Nguyen et al., 2021).

3.4.5. Aplicaciones en materiales compuestos

Las nanofibras de celulosa bacteriana, cuenta con una excelente área superficial, alta hidrofiliidad, gran pureza e importante estabilidad química y mecánica; pueden utilizarse en aplicaciones como para la bioseparación, el papel, el relleno, el material de envasado, los biosensores y para impresión molecular para la eliminación selectiva y eficaz del fenol de las aguas residuales (Derazshamshir et al., 2020). Finalmente la nanofibras de celulosa bacteriana es una estructura única de gran resistencia y flexibilidad que en el campo de la electrónica flexible, la monitorización de la salud humana y la conmutación sin contacto es un campo de aplicación prometedor (Suryanto, 2021).

3.5 Análisis bibliométrico y análisis sistemático de la información

La situación actual hace que sea necesario administrar herramientas de procesamiento de la información durante las primeras etapas de la investigación. Las técnicas bibliométricas ofrecen métodos y herramientas útiles que permiten reducir el grado del componente subjetivo, encontrar temas en un campo y clasificarlos de acuerdo con la matriz estratégica. La bibliometría es una subdisciplina de la cienciometría que proporciona información sobre los resultados del proceso, el volumen y el impacto de las investigaciones y las fuentes (Escorcía, 2009).

La definición de una base de datos es un conjunto de datos organizados mediante una interfaz para facilitar la búsqueda de documentos específicos. Las bases de datos también permiten el análisis de datos o bibliometría, así como la realización de búsquedas utilizando palabras clave como título, autor y fecha. Los operadores son la base de la búsqueda y utilizan las herramientas de búsqueda para interrogar las bases de datos. Estas herramientas permiten combinar términos y conceptos para aumentar o reducir la cantidad de resultados de la búsqueda (Moreno, 2016).

Scopus es una base de datos de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas publicadas por Elsevier desde el año 2004. Incluye alrededor de 24.500 publicaciones seriadas (revistas, conferencias, series de libros de investigación) de más de 5000 editores en 140 países, incluidas revistas revisadas por pares de ciencias, tecnología, medicina y ciencia sociales incluidas artes y humanidades. Además, incluye una variedad de herramientas de análisis que ayudan a detectar tendencias por los temas clave, como análisis de resultados, análisis de citas, fuentes de búsqueda y comparación de revistas y perfiles de Scopus (Burnham, 2006).

En este mundo globalizado se ha generado una creciente y constante aparición de nueva información, que ha sido plasmada en una variedad de artículos y publicaciones. Debido al gran número de estos, la forma más simple y completa de utilizar dicha información es compilando publicaciones. Para satisfacer dicha necesidad, se han creado revisiones sistemáticas que tienen como objetivo desarrollar un diseño observacionales y retrospectivas que sintetizan los hallazgos de varias investigaciones y abre las puertas para continuar en la búsqueda de más información sobre el tema, donde se han publicado en los últimos años investigaciones que han sido publicadas. Permitiendo una revisión sistémica utilización de herramientas como bases de datos de *Web of Science* y Scopus (Escorcía, 2009).

4. Materiales y métodos

4.1 Tipo de estudio

El análisis de documentos es el tema del presente estudio. Compuesto por un análisis bibliométrico retrospectivo y descriptivo, seguido de un análisis sistemático realizado a través de la revisión de artículos publicados en el tema de estudio, durante los años 2020 a 2022, en las bases de datos Scopus.

4.2 Selección de los principales estudios que demuestren el potencial de producción de celulosa bacterial (CB) por *Gluconacetobacter* spp., empleando análisis bibliométrico

Con el fin de identificar los descriptores a emplear en la formulación de las ecuaciones de búsqueda, se realizó una exploración general del tema en el buscador Google académico para poder hacer una depuración, evidenciar las tendencias de búsquedas obtenidas, conocer quiénes son los autores reconocidos que han investigado y publicado sobre el tema, dónde se han realizado las investigaciones y qué cantidad de artículos han sido publicados en los últimos años.

Se estructuró una ecuación de búsqueda con la asociación de los descriptores seleccionados, con el fin de aplicar en la WoS Scielo, Redalyc, Springer y Scopus. En la ecuación estructurada se utilizaron los operadores booleanos (OR-AND-()), para relacionar los descriptores, que fueron indagados en el título, el abstract y las palabras clave. Se emplearon como filtros los años de interés (2020- 2022), y el tipo de documento (artículos resultados de investigación y de revisión de tema *-review*).

Con la información recolectada se identificaron las siguientes métricas:

- Productividad y tendencia por años. Producción de artículos de acuerdo con el autor.
- Filiación institucional de los autores.
- Frecuencia de citas recibidas por título.
- País de origen de los autores (países más productivos en publicación del tema).
- Principales tendencias de investigación.

4.3 Identificación de los principales estudios y del efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre la producción de celulosa bacterial

Se realizó una matriz con los artículos obtenidos y se consolidó en un archivo en Excel teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Sustrato utilizado.
- Componentes tradicionales del medio de cultivo o suplementos.
- Condiciones del cultivo (temperatura, pH, agitación (modo estático o dinámico)).
- Tipo de hidrólisis y concentración de azúcares y nitrógeno.
- Rendimiento y productividad de la Celulosa Bacteriana (CB).

4.4 Identificación de los principales estudios y del efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre las propiedades térmicas de la celulosa bacterial (CB)

La información consolidada se sistematizó y clasificó en una matriz en Excel teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Temperatura de producción de Celulosa Bacteriana (CB).
- Análisis termogravimétrico (TAG).
- Cristalinidad.
- Resistencia mecánica (Módulo Young).

Con la información obtenida en los numerales 4.3 y 4.4 se identificó la frecuencia de documentos que estaban relacionado con cada característica. Lo anterior con el fin de identificar las tendencias de los estudios analizados con relación a las variables evaluadas.

5. Resultados y discusión

5.1. Selección de los principales estudios que demuestren el potencial de producción de Celulosa Bacteriana (CB) por *Gluconacetobacter* spp., empleando análisis bibliométrico

A través de la búsqueda realizada en Google académico, se identificaron las palabras clave relacionadas en la Tabla 1, y que están asociadas a los artículos del tema de investigación.

Tabla 1. Palabras clave obtenidas de los resúmenes de los artículos de Google académico.

Español	Inglés
Celulosa bacteriana	Bacterial cellulose
Residuos industriales	Industrial waster
<i>Gluconacetobacter</i>	<i>Gluconacetobacter</i>
<i>Komagataeibacter</i>	<i>Komagataeibacter</i>

Con estos descriptores se construyeron ecuaciones que fueron aplicadas a bases de datos y buscadores, con el fin de identificar el número de documentos relacionados con la búsqueda. Los resultados obtenidos se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones evaluadas en las diferentes bases de datos y buscadores, con el número de documentos obtenidos.

N.	Base de datos	Ecuación	Número de documentos	Observaciones
1	Scopus	(celulosa) OR (cellulose) OR (celulosa AND bacteriana) AND (gluconacetobacter) AND (xylinum) OR (komagataeibacter)	59	Los documentos no coinciden con el tema
2	Springer	«(celulosa) O (celulosa) O (celulosa Y bacteriana) Y (gluconacetobacter) Y (xilina) O (komagataeibacter)»	80	Solo dos artículos coinciden con el tema vigente año 2020 /2021
3	Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("bacterial cellulose") AND TITLE-ABS-KEY (gluconacetobacter OR acetobacter OR komagataeibacter) AND TITLE-ABS-KEY (waste) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture) OR TITLE-ABS-KEY (agricultural AND material)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2023 AND (EXCLUDE (DOCTYPE , "cp") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "re"))	20	Los documentos coinciden con el tema
4	Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("bacterial cellulose") AND TITLE-ABS-KEY (gluconacetobacter OR acetobacter OR komagataeibacter) AND TITLE-ABS-KEY (waste) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture) OR TITLE-ABS-KEY (agricultural AND material)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2023 AND (EXCLUDE (DOCTYPE , "cp") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "re"))	57	La mayoría de los documentos coinciden con el tema

5	Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("bacterial cellulose") AND TITLE-ABS-KEY ("Gluconacetobacter xylinum" OR "Acetobacter xilinum" OR "Komagataeibacter xylinus") AND TITLE-ABS-KEY (waste) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture) OR TITLE-ABS-KEY (agricultural AND material)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2023 AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2023	8	Se perdieron los artículos con Gluconacetobacter y Acetobacter
6	Scielo	(TITLE-ABS-KEY ("bacterial cellulose") AND TITLE-ABS-KEY (gluconacetobacter OR acetobacter OR komagataeibacter) AND TITLE-ABS-KEY (waste) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture) OR TITLE-ABS-KEY (agricultural AND material)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2023 AND (EXCLUDE (DOCTYPE , "cp") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "re"))	0	Sin resultados
7	Scielo	(TITLE-ABS-KEY ("bacterial cellulose") AND TITLE-ABS-KEY (gluconacetobacter) AND TITLE-ABS-KEY (waste) OR TITLE-ABS-KEY (agriculture) OR TITLE-ABS-KEY (agricultural AND material)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2023 AND (EXCLUDE (DOCTYPE , "cp") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "re"))	0	Sin resultados
8	Web of Science	(("bacterial cellulose")AND(gluconacetobacter OR acetobacter OR komagataeibacter)AND(waste)AND(agricultural AND material))	11	Todos los artículos coinciden con el tema

Mediante este ejercicio se determinó trabajar con los resultados obtenidos de Scopus, con la ecuación 4 (Tabla 2). Con esta ecuación se obtuvieron 57 artículos.

5.1.1. Métricas de los resultados obtenidos en Scopus

A los resultados obtenidos con la ecuación 4, se les volvió a realizar una verificación manual de los documentos obtenidos, donde se corroboró la correspondencia entre el objeto de la investigación y el tema del artículo (depuración de información). Se identificó que dos artículos estaban por fuera de la búsqueda. De acuerdo con lo anterior, se verificó que el porcentaje de acierto de la ecuación en Scopus fue del 96,49%.

5.1.1.1. Productividad y tendencia por años:

De acuerdo con la búsqueda realizada en el rango de tiempo especificado, el comportamiento de producción de artículos en el tema se incrementó en el último año de la búsqueda 2022 (25 artículos) que corresponde al 43,85 % de los artículos, seguido del año 2021 (17 artículos) con el 29,82% y en el año 2020 (15 artículos) correspondientes al 26,31%. (Figura 1)

En la revisión y análisis de los diferentes títulos de los artículos de Scopus, se puede inferir que las investigaciones realizadas fueron sobre la producción de celulosa bacteriana a partir de residuos agrícolas y sus diferentes aplicaciones.

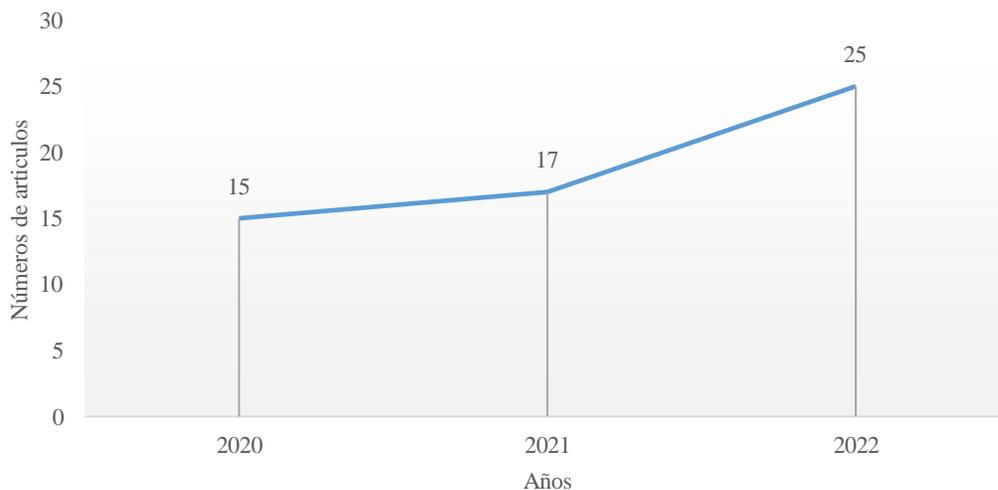


Figura 1. Distribución del número de artículos de acuerdo con el año de publicación. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

5.1.1.2. Producción de artículos de acuerdo con el autor:

En el indicador de autores que tienen el mayor número de artículos publicados en Scopus en el tema de producción de celulosa bacteria (CB), se identifica que 15 autores tienen dos producciones asociadas con la producción de celulosa bacteriana (CB) por *Gluconacetobacter* spp., a partir de residuos agrícolas en el rango de tiempo de 2020 al 2022.

Es importante resaltar que estos autores participan como coautores de artículos en común. Por ejemplo, para el año 2021 el artículo con más coautores fue “Characterization of *Komagataeibacter* isolate reveals new prospects in Waste Stream Valorizationue for Bacterial Cellulose Production” en el cual participaron Rissanen ,Guizelini, Losoi, Santala y Mangayil (Cannazza et al., 2021), seguido del artículo “Characterization of a novel bacterial cellulose producer for the production of eco-friendly piezoelectric-responsive films from a minimal medium containing waste carbon” donde participaron Mangayil, Rissanen, Pammo, Guizelini ,Losoi, Sarlin, Tuukkanen y Santala (Mangayil et al., 2021). Se aprecia que los documentos comparten autores, lo cual permite evidenciar la colaboración de los equipos de investigación que han ejecutado la investigación y su publicación.

5.1.1.3 Filiación institucional de los autores:

La institución que ha apoyado mayormente este tipo de investigaciones ha sido *National Nature Science Foundation of China* NSFC (figura 2), presentando seis documentos publicados. Este resultado se puede relacionar con la producción de artículos por país (Figura 2) en donde China presenta 12 artículos publicados de los cuales seis están vinculados a NSFC y las publicaciones atribuidas a los autores Yang y sus compañeros de investigación cuenta con cuatro artículos publicados presentado por la China (Figura 2).

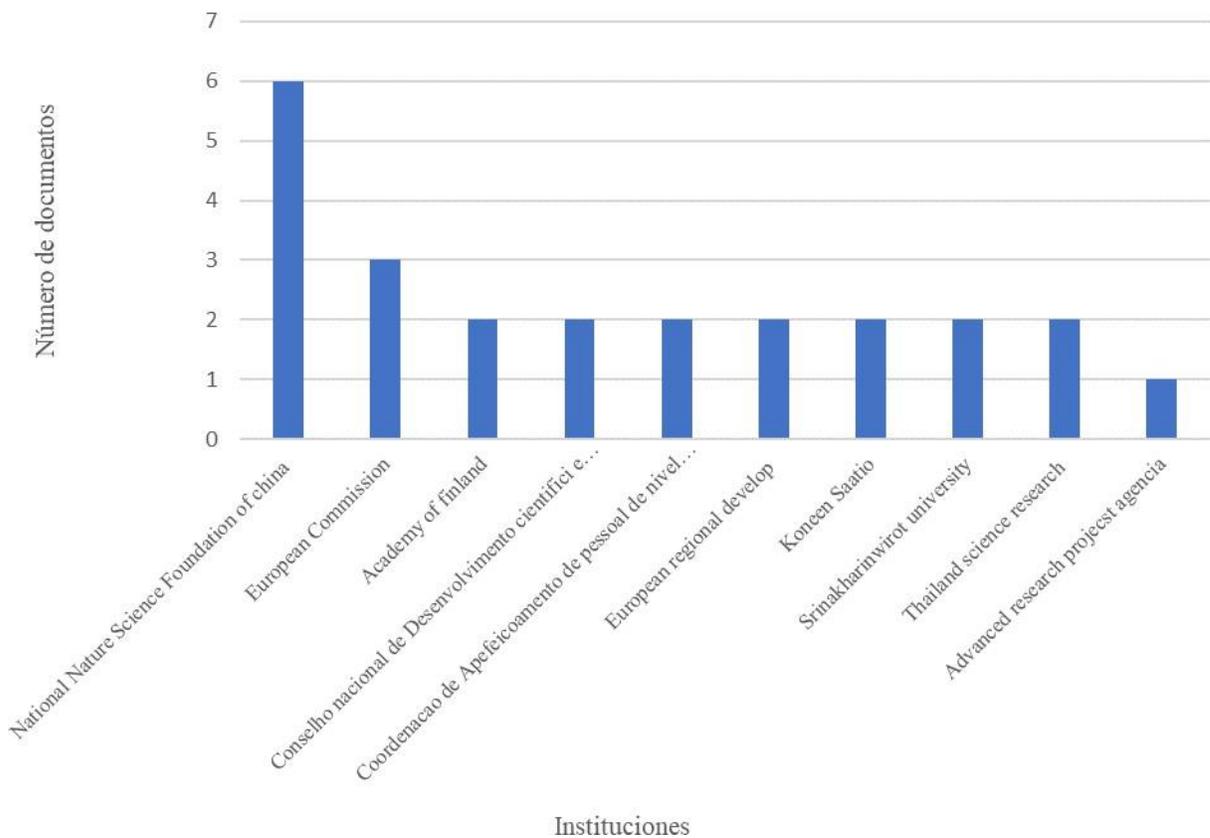


Figura 2. Filiación institucional de los autores (10 principales instituciones). Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023

5.1.1.4 País de origen de los autores (países más productivos en publicación del tema):

En la Figura 2, se observan los 10 países de procedencia de autores, con mayor producción de artículos en celulosa bacteriana con *Gluconacetobacter* spp. China es el país que tiene más publicaciones en el tema (12), seguido de Brasil e Indonesia con 7 y 5 publicaciones respectivamente.

Luego de realizar un análisis detallado se evidenció que hay una relación entre la producción de artículos y autores por país, debido a que en China presenta la mayor producción de artículos atribuidos a Yang y sus compañeros de investigación contando con cuatro artículos publicados de los 12 que presenta China (figura 3).

Con respecto a Brasil, que es el segundo país en presentar mayor número de publicaciones en el tema contando con siete documentos, se pudo identificar que la tendencia de la investigación es la producción de celulosa bacteriana a partir del procesamiento de residuos industriales (Albuquerque et al., 2021; Souza et al., 2021) (Figura 3).

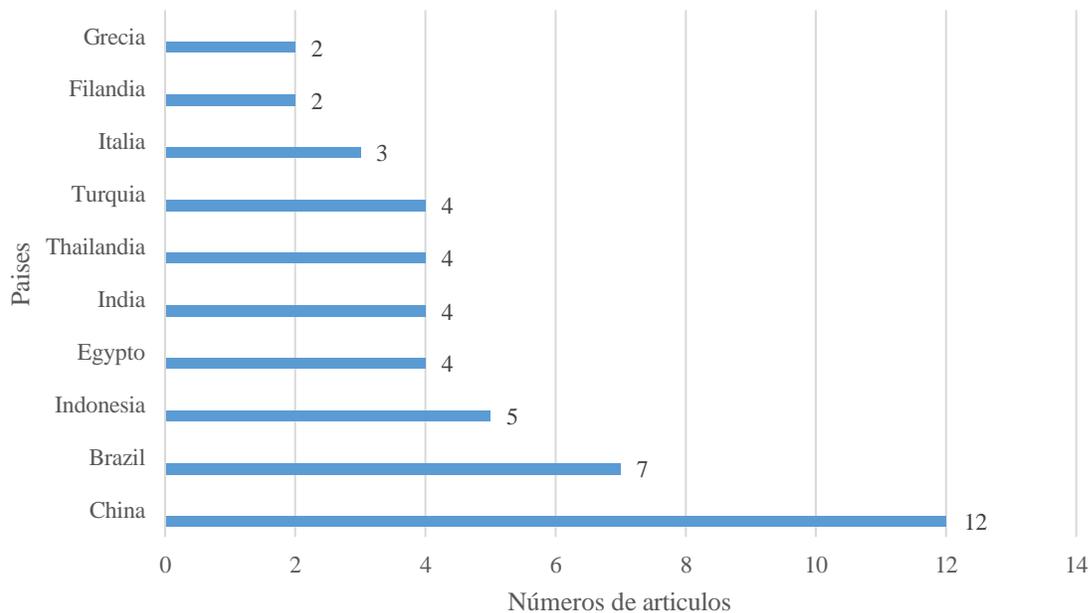


Figura 3. Países de procedencia de los autores con mayor producción de artículos (10 países de mayor producción). Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

5.1.1.5 Principales tendencias de investigación:

En la Figura 4, se presentan las áreas de aplicación de la producción de celulosa bacteriana, evidenciando que el área de ciencias de los materiales es la que más se basa en este tipo de investigaciones con un 21,8 %, seguido de bioquímica y biología molecular (13,6%), e ingeniería química (10,9%). Con esto se puede apreciar las diferentes aplicaciones que tienen la producción de celulosa bacteriana, no solo en el área de agricultura también, sus aplicaciones se extienden a diferentes tendencias de investigación relacionadas con las estructuras y propiedades de la ciencia de materiales.

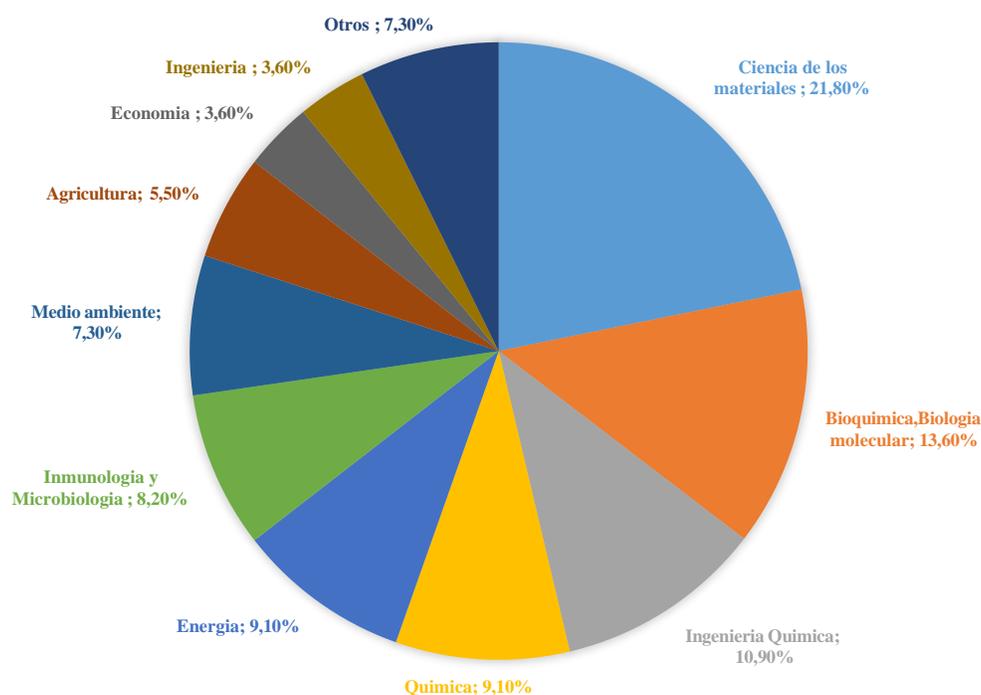


Figura 4. Principales tendencias de investigación. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

5.1.1.6 Frecuencia de citas recibidas por título:

En la Tabla 3 se pueden evidenciar los 10 títulos más citados y publicados en Scopus. Se resaltan los tres artículos con mayor número de citas: “Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams”(Tsouko et al., 2020) con 41 citas, seguido de “ Ex situ development and characterization of green antibacterial bacterial cellulose-based composites for potential biomedical applications” (Fatima et al., 2022) y “Preparation and characterization of bacterial cellulose produced from fruit and vegetable peels by *Komagataeibacter hansenii* GA2016” (Güzel, 2020) con 38 y 36 citas, respectivamente. Los temas en los tres primeros artículos se centran en la producción de celulosa bacteriana (CB) a partir de residuos de frutas y sus posibles aplicaciones. Los años de publicación de los tres artículos más citados, fueron 2020 y 2022.

Tabla 3. Títulos de los 10 artículos más citados. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

N.	Artículos	N. Citaciones
1	Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams	41
2	Ex situ development and characterization of green antibacterial bacterial cellulose-based composites for potential biomedical applications	38
3	Preparation and characterization of bacterial cellulose produced from fruit and vegetable peels by <i>Komagataeibacter hansenii</i> GA2016	36
4	Production and characterization of <i>Gluconacetobacter xylinus</i> bacterial cellulose using cashew apple juice and soybean molasses	32
5	Production of a bacterial cellulose/poly(3-hydroxybutyrate) blend activated with clove essential oil for food packaging	23
6	Production and characterization of bacterial cellulose obtained by <i>Gluconacetobacter xylinus</i> utilizing the by-products from Baijiu production	22
7	Atmospheric cold plasma-assisted pineapple peel waste hydrolysate detoxification for the production of bacterial cellulose	21
8	A whole-cell immobilization system on bacterial cellulose for the paracetamol-degrading <i>Pseudomonas moorei</i> KB4 strain	19
9	Development of biocomposites based on bacterial cellulose reinforced delignified rice husk-PVA plasticized with glycerol	17
10	Production of bacterial cellulose by <i>Komagataeibacter xylinus</i> using mango waste as alternative culture medium	10

Dentro de estos resultados de la revisión bibliométrica se permite apreciar que los países China y Brasil son los que han realizado más estudios publicados en la producción de celulosa bacteriana (CB) a partir de residuos aprovechables, mostrando las condiciones del cultivo necesarias para su productividad, rendimiento y estabilidad térmica y mostrando sus aplicaciones en diferentes campos de las industrias.

5.2. Identificación del efecto de las fuentes nutricionales y condiciones de cultivo sobre la producción de celulosa bacteriana

Posteriormente a la búsqueda de los artículos, se realizó una matriz con la información recuperada a partir de Scopus y de la depuración manual realizada teniendo en cuenta los criterios descritos en el numeral 4.3, se seleccionaron 55 documentos a partir de los cuales se realizó el análisis sistemático respectivo.

5.2.1. Sustratos empleados para obtención de celulosa bacteriana

Los principales sustratos empleados en la obtención de celulosa bacteriana fueron: residuos agrícolas de frutas 30,90%, residuos agrícolas de semillas y hojas 16,36%, medios sintéticos 10,90% y aguas residuales 10,90% (Tabla 4).

Tabla 4. Sustratos empleados en la obtención de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Sustratos	Número de artículos	Referencias
Residuos agrícolas de frutas	17	Singhaboot,(2022);Ammaret al., (2022);Calderón(2022);Padmanabhan et al.,(2022);Kaur(2022);Chaiyachet et al.,(2022b);Akintundeet al.,(2022);Lotfy et al.,(2021);Santosoet al.,(2021);Suryanto (2021);Tsoukoet al.,(2020);Žuret al.,(2020);Souza et al., (2020);Ch ng Chia Hui et al., (2020).
Residuos agrícolas semillas y hojas	9	Kamalet al.,(2022);Oh&Lee,(2022);Niet al.,(2022); Fatimaet al.,(2022);Sundaramet al.,(2021);Asgher et al., (2020);Lu et al., (2020).
Medio sintéticos	6	Kang et al.,(2022);H. Ma et al., (2022);(Gupte et al., 2021);Albuquerque et al.,(2021);Camargoet al.,(2020);Žur et al., (2020).
Aguas residuales	6	Srikandace et al., (2022);Sar, (2022);Sari et al., (2022);Qiao et al., (2021);Souza (2021);Arfa, (2021);He et al., (2020).
Té kombucha	4	Subbiahdosset al.,(2022);Anguluriet al.,(2022);Leona rskiet al.,(2022);Liet al.,(2021);Cannazza et al.,(2021);Nguyen et al.,(2021);Mangayil et al., (2021);Fleury et al., (2020);Revin et al., (2020).
Residuos industriales	4	
Otros	3	Abdelraof et al.,(2022);Wu et al.,(2022);Efthymiou et al., (2022);Greser (2022); X. Ma et al., (2021);Saleh et al., (2021);Kumar et al., (2021)
Vinagres y licor	2	
Residuos proteicos	2	
Residuos de cocina	2	
Total		55

Como residuos agrícolas de frutas empleados como sustrato se utilizó la manzana y el mango con un 12,94%, seguido del plátano y la piña con un 9,70%. Entre los residuos agrícolas de semillas y hojas se reporta el empleo de sustratos como el bagazo de caña, la melaza de caña y el café con proporciones iguales de 12,22%. El principal medio de cultivo empleado para el aislamiento del microorganismo productor de celulosa bacteriana fue el agar estándar Hestrin Schramm (HS), el cual fue reportado en el 66,66%, seguidos de otros sustratos como es el té de kombucha, zumo de tomate, guayaba, residuos de pera. Para la producción de celulosa bacteriana a escala industrial se empleó principalmente un sustrato elaborado a partir de residuos agroindustriales provenientes de frutas y hojas (48,14% de los trabajos analizados), seguido de sustratos elaborados a partir de residuos varios (cascara de huevo, manitol, residuos de confitería, residuos de cocina, lactosuero, vinaza, efluentes) con un 20,37%. Finalmente, se encontró el uso de medios sintéticos en el 18,51% de los trabajos (Tabla 5). De acuerdo a lo anterior es conveniente utilizar los residuos agrícolas provenientes de frutas como una fuente de carbono alternativo ya que son adecuados para la formulación de medios de cultivos por sus bajos costos y productividad sostenible con mayor rendimiento y las características del biopolímero son similar a la de los medios de cultivos convencionales. Sin embargo, en la revisión sistemática realizadas se utilizaron algunos materiales que presentaron una mayor productividad comparándolo con los medios convencionales y que pueden ser una alternativa para aumentar el rendimiento y productividad tales como hidrolizado enzimático de mazorca de maíz complementado con fuentes de nitrógeno y fosfato, CSM (zumo de manzana de anacardo y melazas de soja) y CYE (zumo de manzana de anacardo con extracto de levadura), componentes de azúcar de los residuos líquidos de tamarindo en conserva (LWT) y

mango en conserva (LWM), Agua de lavado de arroz (RW) y aguas residuales del procesado de Tofu(TW) complementado con glutamato sódico, agua Residual del aceite de oliva(OOMW) enriquecido con extracto de levadura y peptona.

Tabla 5. Medios cultivos (sustratos) para producción de Celulosa Bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Medios de cultivos de producción (sustrato de)	Números de artículos	Referencias
Residuos agroindustriales de frutas y hojas	26	Singhaboot(2022);Kamalet al.,(2022);Ammaret al.,(2022);Calderón (2022);Fatimaet al.,(2022);Padmanabhan et al., (2022);Kaur (2022);Chaiyachet et al., (2022b);Akintunde et al., (2022);Lotfy et al., (2021);Santoso et al., (2021);Suryanto, (2021);Tsouko et al., (2020);Güzel (2020).
Residuos varios (cascara de huevo, manitol, residuos de confitería, residuos de cocina, lactosuero, vinaza, efluentes)	11	Abdelraof et al., (2022);Wu et al., (2022);Oh, (2022);Efthymiou et al., (2022);Nie et al., (2022);Srikandace et al.,(2022);Sar, (2022);Sari et al.,(2022);Cannazza et al., (2021);Qiao et al., (2021);Saleh et al., (2021);Kumar et al., (2021).
Medios de cultivo sintéticos	10	Kang et al., (2022);(H. Ma et al., 2022);(Gupte et al., 2021);(Albuquerque et al., 2021);(Camargo et al., 2020);(Žur et al., 2020); Mangayil et al., (2021).
Cultivo de Kombucha	4	(Subbiahdoss et al., 2022);Anguluriet al.,(2022);Leonarski et al., (2022); Li et al., (2021);
Vinagres	4	Greser,(2022);(X. Ma et al., 2021);(Rasooly Garmaroody et al., 2022); Žur et al., (2020).
Total	55	

5.2.2. Temperatura y pH del medio de cultivo o sustrato empleado para la producción de celulosa bacteriana

La temperatura de aislamiento del microorganismo productor de celulosa bacteriana osciló entre 25 y 30°C en el 93,54% de los trabajos. En el 3,22% de los trabajos, la temperatura estuvo entre 31 y 35°C. Este reporte se realizó a partir de 31 documentos que indicaron el valor de temperatura (Tabla 6).

En la etapa de producción de celulosa bacteriana la temperatura osciló entre 25 y 30°C en el 94,73% de los documentos; en el 2,63% se reportó entre temperaturas inferiores a 25°C y superiores a 35°C. Igualmente, este análisis se realizó a partir de 38 documentos que indicaban el valor de temperatura (Tabla 6). La temperatura óptima de crecimiento del microorganismo para la etapa de aislamiento y producción es de 25 a 30 °C, para tener una mayor productividad y rendimiento.

Tabla 6. Rango de temperatura para aislamiento de microorganismo y producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Etapa	Rango de temperatura	Números de artículos	Referencias
Aislamiento	25 a 30°C	29	Subbiahdoss et al., (2022);Singhaboot et al., (2022);Anguluri et al.,(2022);Kang et al., (2022);Leonarski et al., (2022);Efthymiou et al., (2022);Nie et al.,(2022);Greser,(2022);Padmanabhan et al., (2022);H. Ma et al., (2022);Chaiyachet et al., (2022b);Sar (2022);Lotfy et al., (2021);Li et al., (2021);Cannazza et al., (2021);X. Ma et al., (2021);Nguyen et al., (2021); Santoso et al., (2021);Padmanabhan et al;(2022);Souza(2021);Saleh et al;(2021); Sundaram et al ;(2021);Mangayil et al;(2021);Camargo et al; (2020);Asgher et al;(2020);Fleury et al;(2020);Souza et al;(2020);Revin et al;(2020);Moukamnerd et al;(2020). Guzel (2020). Calderón(2022).
	31 a 35°C	1	
	< 25°C	1	
Producción	25 a 30°C	36	Abdelraof et al., (2022);Subbiahdoss et al., (2022);Singhaboot et al., (2022);Kamal et al., (2022);Anguluri et al., (2022);Kang et al., (2022);Leonarski et al.,(2022);Nie et al., (2022);Calderón (2022);Fatima et al., (2022);Padmanabhan et al., (2022);Chaiyachet et al., (2022b);Akintunde et al., (2022);Sar, (2022); Efthymiou et al., (2022);Li et al., (2021);Cannazza et al., (2021);X. Ma et al., (2021);Albuquerque et al., (2021);Fatima et al;(2022);Saleh et al;(2021);Suryanto (2021); Mangayil et al;(2021); Arfa (2021); Camargo et al;(2020);He et al;(2020); Lu et al;(2020);Hui et al;(2020). Kumar et al;(2021). Asgher et al (2020).
	< 25°C	1	
	>35°C	1	

Solo en 14 documentos se reportó el pH del medio de cultivo en el que se realizó el aislamiento del microorganismo productor de celulosa bacteriana. El pH del medio de cultivo para el aislamiento del microorganismo productor de celulosa bacteriana osciló entre 5 a 7 unidades de pH en el 71,42% de los trabajos, seguido del 21,42% que reportaron valores entre 2,0 a 4,9 unidades de pH (Tabla 7). Igualmente, solo en 28 documentos se reportó el rango de pH en la producción de celulosa bacteriana. De acuerdo con lo anterior, en el 71,42% de los trabajos se reportó un rango de pH entre 5,0 y 7,0, seguido del 28,57% de documentos que utilizaron un rango de pH entre 2,0 y 4,9 (Tabla 7). Los valores óptimos de pH en los medios de cultivos para la etapa de aislamiento y de producción oscila entre 5 a 7 para tener buen desarrollo el microorganismo.

Tabla 7. pH de medios de cultivos para aislamiento y producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Etapa	Rango de pH	Números de artículos	Referencias
Aislamiento	5,0 - 7,0 2,0 - 4,9 > 7,0	10 3 1	Kamal et al., (2022);Singhaboot(2022);Kang et al.,(2022);Leonarskiet al.,(2022);Efthymiou et al.,(2022);Greser(2022);Fatima et al., (2022);Ammaret al.,(2022);Padmanabhan et al., (2022);Nguyen et al., (2021). Padmanabhan et al., (2022)Cannazza et al., (2021); Souza(2021). Derazshamshir et al;(2020).
Producción	5,0 – 7,0 2,0 - 4,9	20 8	Abdelraof et al.,(2022);Singhaboot et al., (2022);Ammar et al., (2022);Akintunde et al., (2022);Qiao et al;(2021);Saleh et al;(2021); Sundaram et al ; (2021);Arfa (2021); Hui et al;(2020);Revin et al;(2020);Moukamnerd et al;(2020). Srikandace et al., (2022);Sar(2022);X. Ma et al., (2021); Souza (2021);Suryanto (2021); Mangayil et al;(2021);Kumar et al(2021).

5.2.3. Días de incubación y condiciones del medio de cultivo para producción de celulosa bacteriana

En el análisis realizado se apreciaron diferentes días de incubación empleados para la producción de celulosa bacteriana. El rango con mayor porcentaje de estudios referenciados corresponde a 1-3 días (56%), seguido de 4-5 días (24%) y finalmente 6-7 días (12%). Estos datos fueron analizados a partir de 25 documentos que presentaron los días de incubación en la etapa de aislamiento del microorganismo (Tabla 8). En la etapa de producción los días de incubación para la obtención de celulosa bacteriana oscilan entre 5 a 10 días en un 69,44% de los estudios, seguido del rango de 11 a 15 días en un 16,66% de reportes. Lo anterior basado en 36 documentos que indicaban los días de incubación en la etapa de escalamiento de producción (Tabla 8).

Se observó que el efecto de los días de incubación empleados en la producción de celulosa bacteriana influye en la producción; debido a que entre más días de incubación tiene una alta tasa de producción y engrosamiento de la película.

Tabla 8. Días incubación del medio de cultivo para producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Etapa	Días de incubación	Números de artículos	Referencias
Aislamiento	1 a 3	14	Abdelraof et al;(2022); Subbiahdoss et al;(2022); Singhaboot et al;(2022);Kamal et al;(2022);Ammar et al;(2022);Nie et al;(2022);Akintundeetal;(2022);Sar(2022);Lotfy et al;(2021);Ma et al;(2021);Nguyen et al;(2021);Mangayil et al;(2021); Kumar et al;(2021);Camargo et al;(2020).
	4 a 5 6 a 7 > 7	6 3 2	Singhaboot(2022);Anguluri et al; (2022);Ma et al;(2022);Chaiyachet et al; (2022);Asgher et al;(2020); Gupte et al;(2021). Oh(2022);Greser(2022);Calderon(2022);Kaur(2022);Sundaram et al;(2022). Srikandare et al; (2022);Li et al;(2021).
Producción	5 a 10 11 a 15 1 a 3 16 a 21 > 21	25 6 2 2 1	Singhaboot et al;(2022); Kamal et al;(2022); Anguluri et al; (2022);Kang et al;(2022); Ammar et al;(2022);Leonarski et al;(2022);Fatima et al;(2022); Akintunde et al;(2022);Sar(2022); Lotfy et al;(2021); Li et al;(2021);Cannazza et al;(2021); Ma et al;(2021); Gupte et al;(2021);Albuquerque et al;(2021);Santoso et al;(2021);Qiao et al;(2021); Souza (2021);Saleh et al;(2021); Mangayil et al;(2021);Kumar et al;(2021);He et al;(2020);Moukamnerd et al;(2020). Singhaboot(2022); Nie et al;(2022);Sari et al;(2022); Nguyen et al;(2021); Camargo et al;(2020);Lu et al;(2020). Abdelraof et al;(2022); Chaiyachet et al; (2022). Oh(2022); Calderon(2022). Subbiahdoss et al;(2022).

Las condiciones del medio de cultivo para la producción de celulosa bacteriana en la fermentación pueden ser en cultivos agitados o estáticos, la producción de CB depende directamente del crecimiento de las bacterias, un aporte de oxígeno (modo agitado) aumenta la población celular presentando una mayor productividad reduciendo el costo de fabricación; adicionalmente un aporte excesivo provoca la pérdida de sustrato por oxidación, hay probabilidad de mutación de células hacia variantes que no generan celulosa y se presenta alta turbulencia estas tensiones mecánicas generada por el flujo de líquido propende a formar gránulos irregulares en las películas de CB. El modo estático (ausencia de oxígeno) es poco aplicable a la producción industrial; debido a que tiempo de cultivo es prolongado lo cual impacta en la productividad, la CB creada en la superficie del medio de cultivo es beneficioso para aplicaciones biomédicas y farmacéuticas.

En la revisión de los artículos las condiciones del medio de cultivos fueron en condiciones estáticas de incubación para el 76,31% de los estudios, seguidos de condiciones de agitación del medio de cultivo con el 23,68% de los estudios.

5.2.4. Tipo de hidrólisis

La biosíntesis y purificación de la celulosa bacteriana se realiza mediante una hidrólisis que puede ser ácida, alcalina o enzimática, estos métodos se utilizan para eliminar esas impurezas de la celulosa después de la fermentación, basados en componentes ácidos, alcalinos o enzimas. Los cristales de celulosa son hidrolizados, por las endoglucanasas que convierten las partes amorfas de las cadenas largas de celulosa en fragmentos de celulosa más pequeños. La hidrólisis ácida aumenta la cristalinidad, potencial zeta y la neutralización, lo que permite la producción de cristalinos con una alta estabilidad térmica. En contraste, la hidrólisis alcalina produce celulosa con estructuras cristalinas nativas que no tienen grupos funcionales con carga eléctrica, lo que da como resultado nanocristales poco cargados y/o no sulfatados. La hidrólisis enzimática los nanocristales reportan con mejores propiedades térmicas, mecánicas, más uniformes; se utiliza para disminuir procesos de impacto medioambientales.

En la revisión de los artículos los tipos de hidrólisis más usado fue la alcalina con un 74,50 % equivalente a 38 documentos, seguida de la hidrólisis enzimática con un 15,68%, (8 artículos) y la hidrólisis ácida con un 9,80% (5 artículos).

5.2.5. Productividad y rendimiento de la celulosa

El efecto de las condiciones de operación del cultivo influye en la productividad y rendimiento de la CB, estos pueden ser afectados por diferentes factores como son el microorganismo, medio de fermentación, la temperatura, pH del medio de fermentación empleado y la condición del cultivo. Esta última es de gran importancia la capacidad de producción debido a que la fermentación estática representa muy buena estabilidad, pero es limitada en la productividad y la fermentación agitada se puede escalar fácilmente industrialmente, pero aumenta la posibilidad de contaminación por bacterias no productoras de celulosa y reduce el rendimiento.

En la revisión de los artículos el porcentaje promedio de productividad fue de 13,18% con un rendimiento promedio de celulosa del 7,57g/L en los residuos agrícolas de frutas como plátano, mango, manzana y piña Ammar et al., (2022); Calderón, (2022); Kaur, (2022); Santoso et al., (2021); Singhaboot (2022); Singhaboot et al., (2022); Suryanto (2021).

Para los residuos agrícolas provenientes de semillas y hojas el porcentaje de productividad fue de 59 %. Este resultado contrasta con el estudio de Souza, en él se compararon varios métodos de cultivo con la adición de etanol al sustrato, con el cual se alcanzó un rendimiento de 11,08g/L (tabla 9) (Souza, 2021).

Para los residuos industriales el porcentaje de productividad fue de 11% y el rendimiento 8,2g/l (Tabla 9).

Tabla 9. Productividad y rendimiento de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Sustratos	Microorganismos	Productividad %	Rendimiento g/L d	Referencias
Bagazo de caña	<i>Acetobacter xylinum</i>	32	3,8	Asgher et al., (2020)
Melaza de caña	<i>Komagataeibacter rhaeticus</i> , <i>sucrofermentans</i> , <i>hansenii</i>	----	1,69	Revin et al., (2020); Souza, (2021)
Café	<i>Komagataeibacter rhaeticus</i>	59	5,24	Souza (2021)
Té Kombucha	<i>Komagataeibacter sucrofermentans</i> , <i>rhaeticus</i> , <i>hansenii</i> , <i>xylinus</i>	38	1,84	Akintunde et al., (2022); Anguluri et al., (2022); Leonarski et al., (2022); Li et al., (2021), Mangayil et al., (2021); Nguyen et al., (2021); Revin et al., (2020); Subbiahdoss et al., (2022)
Mango	<i>Komagataeibacter xylinus</i> , <i>rhaeticus</i> , <i>Acetobacter xylinum</i>	25	0,85,6,60, 1,20 y 6,32	Calderón, (2022); García-Sánchez & Robledo, 2020; Singhaboot, (2022); Singhaboot et al., (2022) Calderón (2022); García-Sánchez (2020); Singhaboot (2022); Singhaboot et al. (2022)
Manzana	<i>Komagataeibacter hansenii</i> , <i>xylinus</i> <i>Acetobacter</i> genus, y <i>Gluconacetobacter xylinus</i>	-----	9,49 ,6,66 y 3,75	Kaur (2022); Nguyen et al., (2021)
Plátano	<i>komagataeibacter nataicola</i> , <i>Komagataeibacter sp</i> , <i>Acetobacter xylinum</i>	12,7 y 6,14	1,6, 0,89 y 0,89	Akintunde et al., (2022); Moukamnerd et al., s.f.; Singhaboot (2022)
Piña	<i>Komagateibacter xylinus</i> , <i>Acetobacter xylinum</i>	15,19	3,82, 43,80	Chia Hui et al. (2020); Santoso et al., (2021)
Hidrolizados lignocelulósicos	<i>Komagataeibacter spp</i>	----	2,4	Cannazza et al., (2021)
Residuos de cerveza	<i>Gluconacetobacter hansenii</i>	----	5,5	Fleury et al., (2020)
Residuos de destilería	<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	6,05	7,05	He et al., (2020)
Vinagres de uva y manzana	<i>Komagataeibacter maltaceti</i> , <i>nataicola</i>	8,06	1,15	Greser (2020)
Vinagre de pera	<i>Komagataeibacter intermedius</i>	46,15	10,94	Ma et al., (2021)

Otros	<i>Gluconacetobacter</i> <i>Xylinum</i> , y <i>Komagataeibacter</i> <i>sucrofermentans</i>	6,52	3,76	Abdelraof et al., (2022); Efthymiou et al., (2022); Wu et al., (2022)
-------	---	------	------	---

La biotecnología puede utilizarse para convertir los residuos en producto valiosos como la celulosa bacteriana (CB), que se pueden transformar en varios materiales útiles pero su producción a escala industrial está limitada por su alto costo del medio de cultivo o sustrato. En la revisión realizada se evaluaron diferentes residuos como sustratos, identificación de fuentes nutricionales y condiciones de cultivo (días de incubación, temperaturas, pH, modo operación) para evaluar su rendimiento y productividad en la obtención de celulosa bacteriana (CB). Los productores más eficientes son las bacterias del género *Gluconoacetobacter* en especial la especie *xylinus* que a partir de medio de cultivo que contenga los nutrientes necesarios como carbono (sacarosa, glucosa, manitol), nitrógeno (peptona, hidrolizado de caseína), macronutrientes (extracto de levadura) y micronutrientes (fosfato disódico) estos favorecen al desarrollo del microorganismo.

5.3. Análisis del efecto de las fuentes nutricionales y de las condiciones de cultivo sobre las propiedades térmicas de la celulosa bacterial

En esta etapa del trabajo se realizó el análisis a partir de la información recuperada de Scopus teniendo en cuenta los criterios descritos en el numeral 4.4, para lo cual se seleccionaron 55 documentos a partir de los cuales se realizó el análisis respectivo.

5.3.1 Temperatura producción Celulosa Bacteriana (CB)

En cuanto a la temperatura utilizada en la producción de celulosa bacteriana (CB), en los estudios analizados se empleó una temperatura entre 28 y 30°C, lo que equivale a un 20,75% y 67,92% de los documentos respectivamente. Los menores porcentajes se apreciaron con la temperatura de 20°C (5,66%) y temperatura ambiente (5,66%) (Tabla 10).

Tabla 10. Condiciones de temperatura del cultivo para producción de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Temperatura °C	Número de artículos	Referencias
30	36	Abdelraof et al., (2022);Singhaboot et al., (2022);Kamal et al., (2022);Kang et al., (2022);Leonarski et al.,(2022);Oh hae(2022);Nie et al., (2022);Greser (2022);Calderón (2022);Fatima et al., (2022);Kaur (2022);Chaiyachet et al., (2022b);Akintunde et al., (2022);(Sar, 2022); Efthymiou et al., (2022);Li et al., (2021);Cannazza et al., (2021);Ma et al., (2021);Lotfy et al;(2021);Albuquerque et al., (2021);Li et al;(2021);Nguyen et al;(2021);Qiao et al;(2021);Souza (2021);Fatima et al;(2022);Saleh et

		al;(2021);Suryanto (2021); Mangayil et al;(2021); Arfa (2021); Camargo et al;(2020); Lu et al;(2020);Hui et al;(2020);Saleh et al;(2021);Sundaram et al;(2021); Kumar et al;(2021);Asgher et al;(2020);Guzel (2020);Souza et al;(2020);Moukamnerd et al;(2020).
28	11	Subbiahdoss et al., (2022); Anguluri et al., (2022);Rasooly et al;(2022); Padmanabhan et al., (2022);Gupte et al;(2021);Santoso et al;(2021);Guzel(2020);Fleury et al;(2020); He et al;(2020);Ch ng Chia et al;(2020);Revin et al;(2020).
20	3	Ammar et al;(2022);Zur et al;(2020); Gupte et al;(2021).
Temperatura ambiente	3	Srikandare et al;(2022);Sari et al;(2022);Arfa (2021)

5.3.2 Análisis termogravimétrico (TGA)

Este análisis estudia los cambios en el peso de una muestra mientras ésta se calienta o enfría a una temperatura controlada y los cambios se controlan continuamente, para observar la estabilidad térmica (la resistencia del material a una temperatura determinada), las estabilidades oxidativas (la tasa de absorción del oxígeno en el material), así como las propiedades de composición de la muestra (cargas, resinas polimérica, disolventes).

En la revisión y análisis realizados en los artículos se observó que la rampla de temperatura para el análisis termogravimétrico para la celulosa bacteriana (CB) fue la siguiente: el rango de temperatura entre 200 y 400°C se reportó en el 55,17% de los documentos, seguido del rango entre 300 y 900 °C el cual se utilizó en el 17,94% de los estudios. Lo anterior se estimó en 21 artículos que reportaron el rango de temperatura en que se realizó el análisis termogravimétrico (Tabla 11).

El efecto de esta variable es de gran importancia en el mecanismo de descomposición de CB en diferentes aplicaciones en especial las medicas; esta prueba es crucial para el uso de materiales biomédicos porque proporciona un análisis útil de su desempeño y propiedades clínicas; además permite conocer la degradación hidrolítica, la capacidad de aislamiento, la contracción, la expansión, almacenamiento, la reacción al calor, el residuo y el componente mineral, las propiedades mecánicas, fase cristalina y amorfa.

Tabla 11. Rango de temperatura de análisis termogravimétrico de celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Tempertura °C análisis termogravimétrico	Número de artículos	Referencias
200 a 400	16	Kang et al;(2022);Leonarski et al;(2022);Nie et al;(2022);Calderon(2022);Srikandace et al;(2022);Sarietal;(2022);Lotfyet al;(2021);Nguyen et al;(2021);Albuquerque et al;(2021);Sundaram et al;(2021);Mangayil et al;(2021);Kumar et al;(2022);Fleury et al;(2020); Garcia (2020);Souza et al;(2020);Moukamnerd et al;(2020).

300 a 900	5	Abdelraof et al;(2022);Qiao et al;(2021);Camargo et al;(2020);Guzel (2020); He et al;(2020).
-----------	---	--

5.3.3 Temperatura de degradación y estabilidad termica

La temperatura de degradación y la estabilidad térmica reportada en los artículos que se revisaron indicaron que la temperatura de degradación más reportada se encuentran en un rango de 340 a 550°C (Tabla 12) y la temperatura con mayor estabilidad térmica fue de 359°C, donde ocurre la pirolisis de la CB que esta asociada con la descomposición, deshidratación y degradación de la glucosa (García-Sánchez & Robledo, 2020; Kang et al., 2022) (Tabla 13).

Tabla 12. Temperatura de degradación de la celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Sustratos	Temperatura degradación °C	Referencias
Medio sintético, cáscaras de frutas, Residuos de Mango.	340 a 360	García-Sánchez (2020); Güzel (2020); Kang et al., (2022)
Lactosuero, Efluente de la refinería de aceite de soja, Agua Residual del aceite de oliva, Rizoma de flor de loto	415 a 550	Kumar et al., (2021); Nie et al., (2022); Qiao et al., (2021); Sar (2022)
Residuos líquidos de yuca, Medio sintético	600 a 800	Camargo et al., (2020); Sari et al., (2022)

Tabla 13. Estabilidad térmica en la celulosa bacteriana. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Sustratos	Estabilidad termica °C	Referencias
Medio sintético	359,8	Kang et al., (2022)
Plátano descompuesto Té de kombucha Hidrolizado enzimático de mazorca de maíz (CC)	353	Akintunde et al., (2022)
Residuos de cáscara de piña (PPWH)	309	Santoso et al., (2021)
Residuos líquidos de yuca(NdC)	300	Sari et al., (2022)

5.3.4 Cristanilidad

El grado de cristanilidad con un rango entre 100 y 80 % se obtuvo en el 71,42 % de los documentos analizados (Albuquerque et al., 2021; Anguluri et al., 2022; He et al., 2020; Wu et al., 2022), seguido de un rango de cristanilidad del 79 al 60 % reportada en el 28,57% de los trabajos (Arfa, 2021; Efthymiou et al., 2022; Li et al., 2021; Lotfy et al., 2021). Esta información se extrajo a partir de 14 documentos que reportaron dicha información (Tabla 14).

Las capas gelatinosas formadas de glucosa que se disponen y se unen con enlaces de hidrógenos, así como fuerzas de Van der Waals, determinan la macro-estructura de las propiedades

térmicas de la celulosa bacteriana (CB). Cuando el agua entre las capas se elimina, se forman nuevos enlaces hidroxilos entre capas adyacentes y se forman láminas con una la cristalinidad es superior al 60%. Finalmente, el material se ha convertido en una estructura reticulada, con muchos enlaces intramoleculares que le dan una alta resistencia mecánica tanto en seco como en húmedo.

Tabla 14. Grado de Cristalinidad obtenidos en la celulosa bacteriana con diferentes sustratos. Búsqueda realizada en Scopus. Marzo 13 de 2023.

Sustratos	% Cristalinidad	Referencias
Residuos de confitería (CW)	96	Efthymiou et al., (2022)
Té de Kombucha	93,12	Anguluri et al., (2022)
Rizoma de flor de loto	90,5	Nie et al., (2022)
Té de Kombucha Residuos de acerola	89,05	Leonarski et al., (2022)
Oxido de grafeno	88,15	Wu et al., (2022)
Cáscaras de pepino Cáscaras de melón Cáscaras de kiwi	86,61	Güzel (2020)
Extracto de cáscara de naranja Piel de Naranja Pulpa de Naranja	85,31	Padmanabhan et al., (2022)
Residuos de destilería (DEH)	85,15	He et al., (2020)
Zumo de manzana Melazas de soja	82	Souza et al., (2020)
Residuos de cáscara de piña (PPWH)	79,4	Santoso et al., (2021)
Medio sintético	76,5	Gupte et al., (2021)
Guayaba descompuesta Residuos proteicos (suero de queso)	75,7	Lotfy et al., (2021)
Residuos de mango	69,95	García-Sánchez (2020)
Té de Kombucha Residuos de cocina	69,34	Li et al., (2021)
Té de Kombucha (KBC) Suero agrio Zumo de manzana	57,02	Nguyen et al., (2021)
Residuos harina de semillas de sésamo (SSM) Residuos harina de colza (RSM) Residuos harina de semillas de algodón (CSM)	52,6	Sundaram et al., (2021)

En la revisión realizada se evaluaron las variables de las condiciones térmicas (temperatura degradación, estabilidad térmica y cristalinidad) donde se observó que la determinación de estas influye en la integridad, funcionalidad estructural de la celulosa bacteriana y en las aplicaciones del biomaterial; las cualidades biológicas como son la biocompatibilidad, biodegradabilidad y estabilidad del material son críticos en aplicaciones biomédicas y estas están determinadas en varios

factores como cristalinidad está asociado al proceso de degradación de la CB, en consecuencia, una mayor cristalinidad representa una cadena polimérica más fuerte, menos flexible y una mayor estabilidad térmica y una menor capacidad de absorción de agua del material.

Conclusiones

A partir del análisis bibliométrico, se pudo evidenciar que en China y Brasil se realizaron mayor cantidad de estudios en producción de celulosa bacteriana (CB) a partir de residuos para su aprovechamiento, con aplicaciones en ciencias de los materiales, bioquímica e ingeniería química fueron. El 2022 fue el año donde se evidenció la mayor publicación de artículos en Scopus. La institución donde los autores reportaron más filaciones es National Nature Science Foundation of China (NSFC) institución destinada a promover y financiar la investigación básica y la investigación aplicada en China.

Se pudo determinar que la producción de celulosa bacteriana, depende estrechamente del método de cultivo (estático o agitado), de las fuentes de carbono y de nitrógeno, del pH y de la temperatura. El medio de cultivo más utilizado para el aislamiento del microorganismo *Gluconacetobacter* spp. es el agar estándar Hestrin Schramm (HS), el sustrato más utilizado para la producción de celulosa fue el realizado a base de residuos agrícolas de frutas, residuos agrícolas de semillas y de hojas debido a la presencia de las fuentes de carbono, nitrógeno y otros macros y micro nutrientes que favorecieron el crecimiento del microorganismo y la producción de celulosa bacteriana.

Se evidencia que las condiciones de cultivo son un factor determinante para la obtención de CB, por esta razón se comprueba la necesidad de seguir teniendo en cuenta estos parámetros durante la producción a escala industrial, que de acuerdo con los estudios consultados sugieren como mínimo una temperatura de incubación entre 25 a 30°C, un rango de pH óptimo entre 5,0 y 7,0, con 5 a 10 días de incubación y en condiciones estáticas para alcanzar rendimientos promedios de 7,57g/L y productividad de 13,18% con residuos agrícolas de frutas.

Finalmente, se evidenció que la CB generada a partir de residuos de frutas y de residuos agrícolas mostró una mejor porosidad, capacidad de absorción de agua y capacidad de retención de agua que la celulosa vegetal. Además, las propiedades mecánicas, térmicas y fisiológicas fueron mejores evidenciando temperaturas degradación $\geq 340^{\circ}\text{C}$, las cuales son iguales y superiores a las obtenidas con medios sintéticos y su estabilidad térmica fue muy similar a los medios sintéticos (353 a 300°C) con un grado de cristalinidad del 96 al 69 %, conformando una estructura única de red reticulada tridimensional, que le confiere una serie de ventajas como superficies extensas, permeabilidad líquido/gas y naturaleza transparente. Estas características distintivas hacen de la celulosa bacteriana un material muy especial para demostrar su superioridad en aplicaciones biomédicas, industrias alimentos, industria textil, industria papelera, industria electrónica, industrias cosméticas, cuidado personal y productos químicos domésticos.

Recomendaciones

Se recomienda el desarrollo de fermentación a partir de sustratos de residuos agrícolas de frutas y los residuos agrícolas de semillas y hojas, con cepas productoras de celulosa bacteriana (CB) de alto rendimiento, reactores y equipos automatizados para la producción a gran escala y así mejorar la eficacia y rendimiento de producción industrial.

Promover estudios para promover el usos de celulosa bacteriana(CB) para explorar nuevos usos y permitir mantener la competitividad en el mercado comercial a diferencia a las nanofibras de celulosa vegetal.

Referencias bibliográficas

Abdelraof, M., Farag, M. M., Al-Rashidy, Z. M., Ahmed, H. Y. A., El-Saied, H., & Hasanin, M. S. (2022).

Green Synthesis of Bioactive Hydroxyapatite/Cellulose Composites from Food Industrial Wastes.

Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 32(12), 4614-4626.

<https://doi.org/10.1007/s10904-022-02462-2>

Akintunde, M. O. (2022). Bacterial Cellulose Production from agricultural Residues by two

Komagataeibacter sp. Strains. *Bioengineered*, 13(4), 10010-10025.

<https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2062970>

Albuquerque, R. M., Meira, H. M., Silva, I. D., Silva, C. J. G., Almeida, F. C. G., Amorim, J. D., Vinhas, G. M.,

Costa, A. F. S., & Sarubbo, L. A. (2021). Production of a bacterial cellulose/poly(3-

hydroxybutyrate) blend activated with clove essential oil for food packaging. *Polymers and*

Polymer Composites, 29(4), 259-270. <https://doi.org/10.1177/0967391120912098>

Ammar, G. A. G., Saleh, A. K., Taha, T. H., El-Zawawy, W. K., & Abdel-Fattah, Y. R. (2022). Developed

applicability of a bacterial cellulose matrix as a gelling substitute for plant tissue culture media.

Cellulose, 29(14), 7883-7900. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04757-6>

Anguluri, K., La China, S., Brugnoli, M., Cassanelli, S., & Gullo, M. (2022). Better under stress: Improving

bacterial cellulose production by *Komagataeibacter xylinus* K2G30 (UMCC 2756) using adaptive

laboratory evolution. *Frontiers in Microbiology*, 13, 994097.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994097>

Arfa, N. (2021). Characterization of Bacterial Cellulose Produced by *Acetobacter xylinum* Strain LKN6

Using Sago Liquid Waste as Nutrient Source. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 24(3), 335-

344. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2021.335.344>

- Asgher, M., Nasir, I., Khalid, N., & Qamar, S. A. (2020). Development of biocomposites based on bacterial cellulose reinforced delignified rice husk-PVA plasticized with glycerol. *Journal of Polymer Research*, 27(11), 347. <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02314-y>
- Blanco ,F. G, S., S. P. (2020). Current progress on the production, modification, and applications of bacterial cellulose. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(3), 397–414. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1713721>
- Brandao. (2022). *Análisis filogenómicos y comparativos apoyan la reclasificación de especie de Komagataeibacter como nuevos miembros de Novacetimonas gen.nov.* International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.
- Brown, M. (2001). *Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications.* <https://doi.org/10.1007/0-306-48404-8>
- Burnham, J. (2006). *Scopus database: A review.* BioMed Central.
- Calderón, S. (2022). Isolation and partial characterization of *KOMAGATAEIBACTER* sp. SU12 and optimization of bacterial cellulose production using *MANGIFERA INDICA* extracts. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(6), 1482-1493. <https://doi.org/10.1002/jctb.6839>
- Camargo, M. S. A., Cercal, A. P., Silveira, V. F., Mancinelli, K. C. B., Gern, R. M. M., Garcia, M. C. F., Apati, G. P., Dos Santos Schneider, A. L., & Pezzin, A. P. T. (2020). Evaluation of Wet Bacterial Cellulose Degradation in Different Environmental Conditions. *Macromolecular Symposia*, 394(1), 2000149. <https://doi.org/10.1002/masy.202000149>
- Cannazza, P., Rissanen, A. J., Guizelini, D., Losoi, P., Sarlin, E., Romano, D., Santala, V., & Mangayil, R. (2021). Characterization of Komagataeibacter Isolate Reveals New Prospects in Waste Stream Valorization for Bacterial Cellulose Production. *Microorganisms*, 9(11), 2230. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9112230>

- Chng Chia Hui, Abd Rahman Mohd Redza, Muhamad Ida Idayu, Pa'e Norhayati, & Abang Zaidel Dayang Norulfairuz. (2020). Optimization of Bacterial Cellulose Production from Pineapple Waste using Different Fermentation Method. *Chemical Engineering Transactions*, 78, 559-564.
<https://doi.org/10.3303/CET2078094>
- Chaiyachet, O. A., Wongtham, K., & Sangkasame, K. (2022a). Bacterial cellulose production from *Komagataeibacter xylinus* TISTR 1011 and *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 using yam bean juice as a nutrient source. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 68(5), 225-231. <https://doi.org/10.2323/jgam.2022.05.002>
- Chaiyachet, O. A., Wongtham, K., & Sangkasame, K. (2022b). Bacterial cellulose production from *Komagataeibacter xylinus* TISTR 1011 and *Komagataeibacter nataicola* TISTR 975 using yam bean juice as a nutrient source. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 68(5), 225-231. <https://doi.org/10.2323/jgam.2022.05.002>
- Derazshamshir, A., Göktürk, I., Tamahkar, E., Yılmaz, F., Sağlam, N., & Denizli, A. (2020). Phenol removal from wastewater by surface imprinted bacterial cellulose nanofibres. *Environmental Technology*, 41(24), 3134-3145. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1600043>
- Efthymiou, M.-N., Tsouko, E., Pateraki, C., Papagiannopoulos, A., Tzamalís, P., Pispas, S., Bethanis, K., Mantala, I., & Koutinas, A. (2022). Property evaluation of bacterial cellulose nanostructures produced from confectionery wastes. *Biochemical Engineering Journal*, 186, 108575.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108575>
- El-Saied. (2008). *Production And caracterización of economical bacterial cellulose*.
- Escorcia. (2009). *Análisis bibliométrico de los artículos originales publicados en la revista Universitas Scientiarum (1987-2007)*. UNIVERSITAS SCIENTIARUM.

- Euze'by. (2013). *List of new names and new combinations previously effectively, but not validly, published* (149). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. DOI 10.1099/ijs.0.049312-0
- Fatima, A., Yasir, S., Ul-Islam, M., Kamal, T., Ahmad, Md. W., Abbas, Y., Manan, S., Ullah, M. W., & Yang, G. (2022). Ex situ development and characterization of green antibacterial bacterial cellulose-based composites for potential biomedical applications. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 5(1), 307-321. <https://doi.org/10.1007/s42114-021-00369-z>
- Fleury, B., Abraham, E., De La Cruz, J. A., Chandrasekar, V. S., Senyuk, B., Liu, Q., Cherpak, V., Park, S., Ten Hove, J. B., & Smalyukh, I. I. (2020). Aerogel from Sustainably Grown Bacterial Cellulose Pellicles as a Thermally Insulative Film for Building Envelopes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(30), 34115-34121. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c08879>
- García-Sánchez, M. E., & Robledo, J. R. (2020). Producción de celulosa bacteriana por *Komagataeibacter xylinus* utilizando desperdicio de mango como fuente de carbono alternativa. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2). <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio743>
- González, E. (2021). Elaboración de matrices de celulosa con propiedades antimicrobianas para su aplicación en periodoncia. *Revista Mexicana de Periodontología*, 12(1-3), 7-11. <https://doi.org/10.35366/102953>
- Greser. (2022). Optimization and physicochemical characterization of bacterial cellulose by *Komagataeibacter nataicola* and *Komagataeibacter maltaceti* strains isolated from grape, thorn apple and apple vinegars. *Archives of Microbiology*, 204(8), 465. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03083-6>
- Gupte, Y., Kulkarni, A., Raut, B., Sarkar, P., Choudhury, R., Chawande, A., Kumar, G. R. K., Bhadra, B., Satapathy, A., Das, G., Vishnupriya, B., & Dasgupta, S. (2021). Characterization of nanocellulose

- production by strains of *Komagataeibacter* sp. Isolated from organic waste and Kombucha. *Carbohydrate Polymers*, 266, 118176. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118176>
- Güzel. (2020). Preparation and characterization of bacterial cellulose produced from fruit and vegetable peels by *Komagataeibacter hansenii* GA2016. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1597-1604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.049>
- He, F., Yang, H., Zeng, L., Hu, H., & Hu, C. (2020). Production and characterization of bacterial cellulose obtained by *Gluconacetobacter xylinus* utilizing the by-products from Baijiu production. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 43(5), 927-936. <https://doi.org/10.1007/s00449-020-02289-6>
- Kalender. (2021). OPTIMIZATION OF BACTERIAL CELLULOSE PRODUCTION FROM SUGAR BEET MOLASSES BY *GLUCONACETOBACTER XYLINUS* NRRL B-759 IN STATIC CULTURE. *Cellulose Chemistry and Technology*, 55(9-10), 1051-1060. <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2021.55.90>
- Kamal, T., Ul-Islam, M., Khan, S. B., Bakhsh, E. M., & Chani, M. T. S. (2022). Development of plant extract impregnated bacterial cellulose as a green antimicrobial composite for potential biomedical applications. *Industrial Crops and Products*, 187, 115337. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115337>
- Kang, Y., Xiao, J., Ding, R., Xu, K., Zhang, T., & Tremblay, P.-L. (2022). A two-stage process for the autotrophic and mixotrophic conversion of C1 gases into bacterial cellulose. *Bioresource Technology*, 361, 127711. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127711>
- Kaur. (2022). Production of Bacterial Cellulose by *Acetobacter tropicalis* Isolated from Decaying Apple Waste. *Asian Journal of Chemistry*, 34(2), 453-458. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2022.23598>

- Kumar, V., Sharma, D. K., Sandhu, P. P., Jadaun, J., Sangwan, R. S., & Yadav, S. K. (2021). Sustainable process for the production of cellulose by an *Acetobacter pasteurianus* RSV-4 (MTCC 25117) on whey medium. *Cellulose*, 28(1), 103-116. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03519-6>
- Leonarski, E., Cesca, K., Pinto, C. C., González, S. Y. G., De Oliveira, D., & Poletto, P. (2022). Bacterial cellulose production from acerola industrial waste using isolated kombucha strain. *Cellulose*, 29(14), 7613-7627. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04743-y>
- Li, Z.-Y., Azi, F., Ge, Z.-W., Liu, Y.-F., Yin, X.-T., & Dong, M.-S. (2021). Bio-conversion of kitchen waste into bacterial cellulose using a new multiple carbon utilizing *Komagataeibacter rhaeticus*: Fermentation profiles and genome-wide analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.077>
- Lotfy, V. F., Basta, A. H., Abdel-Monem, M. O., & Abdel-Hamed, G. Z. (2021). Utilization of bacteria in rotten Guava for production of bacterial cellulose from isolated and protein waste. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100076>
- Lu, T., Gao, H., Liao, B., Wu, J., Zhang, W., Huang, J., Liu, M., Huang, J., Chang, Z., Jin, M., Yi, Z., & Jiang, D. (2020). Characterization and optimization of production of bacterial cellulose from strain CGMCC 17276 based on whole-genome analysis. *Carbohydrate Polymers*, 232, 115788. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115788>
- Ma, H., Li, X., Lou, J., Gu, Y., Zhang, Y., Jiang, Y., Cheng, H., & Han, W. (2022). Strong Bacterial Cellulose-Based Films with Natural Laminar Alignment for Highly Sensitive Humidity Sensors. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(2), 3165-3175. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c20163>
- Ma, X., Yuan, H., Wang, H., & Yu, H. (2021). Coproduction of bacterial cellulose and pear vinegar by fermentation of pear peel and pomace. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 44(11), 2231-2244. <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02599-3>

- Machado, R. T. A. (2016). Komagataeibacter rhaeticus as an alternative bacteria for cellulose production. *Laboratório de Biopolímeros e Biomateriais (BIOPOLMAT), Centro Universitário de Araraquara*.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.049>
- Mangayil, R., Rissanen, A. J., Pammo, A., Guizelini, D., Losoi, P., Sarlin, E., Tuukkanen, S., & Santala, V. (2021). Characterization of a novel bacterial cellulose producer for the production of eco-friendly piezoelectric-responsive films from a minimal medium containing waste carbon. *Cellulose*, 28(2), 671-689. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03551-6>
- Moreno. (2016). : El análisis informacional como estrategia para el fortalecimiento de la sociedad del conocimiento. *Fundación Universitaria Los Libertadores*.
- Navya,P.V., V. G. (2022). Bacterial cellulose: A promising biopolymer with interesting properties and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.056>
- Nguyen, H. T., Saha, N., Ngwabebhoh, F. A., Zandraa, O., Saha, T., & Saha, P. (2021). Kombucha-derived bacterial cellulose from diverse wastes: A prudent leather alternative. *Cellulose*, 28(14), 9335-9353. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04100-5>
- Nie, W., Zheng, X., Feng, W., Liu, Y., Li, Y., & Liang, X. (2022). Characterization of bacterial cellulose produced by Acetobacter pasteurianus MGC-N8819 utilizing lotus rhizome. *LWT*, 165, 113763. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113763>
- Niyazbekova, Zh. T., Nagmetova, G., & Kurmanbayev, A. (2018). AN OVERVIEW OF BACTERIAL CELLULOSE APPLICATIONS. *Biotechnology. Theory and practice*.
<https://doi.org/10.11134/btp.2.2018.3>
- Oh, H. (2022). A Study on the Production and Quality Characteristics of Bacterial Cellulose Film Using Coffee By-Products. *Food Engineering Progress*, 26(3), 195-202.
<https://doi.org/10.13050/foodengprog.2022.26.3.195>

- Padmanabhan, S. K., Lionetto, F., Nisi, R., Stoppa, M., & Licciulli, A. (2022). Sustainable Production of Stiff and Crystalline Bacterial Cellulose from Orange Peel Extract. *Sustainability*, *14*(4), 2247.
<https://doi.org/10.3390/su14042247>
- Pang, M., Huang, Y., Meng, F., Zhuang, Y., Liu, H., Du, M., Ma, Q., Wang, Q., Chen, Z., Chen, L., Cai, T., & Cai, Y. (2020). Application of bacterial cellulose in skin and bone tissue engineering. *European Polymer Journal*, *122*, 109365. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109365>
- Pepicelli, M., Binelli, M. R., Studart, A. R., Rühls, P. A., & Fischer, P. (2021). Self-Grown Bacterial Cellulose Capsules Made through Emulsion Templating. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *7*(7), 3221-3228. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00399>
- Pogorelova, N., Rogachev, E., Digel, I., Chernigova, S., & Nardin, D. (2020). Bacterial Cellulose Nanocomposites: Morphology and Mechanical Properties. *Materials*, *13*(12), 2849.
<https://doi.org/10.3390/ma13122849>
- Qiao, N., Fan, X., Hu, S., Zhang, X., Wang, L., Du, Y., Wang, L., Zhang, X., & Yu, D. (2021). Bacterial cellulose as an oleaginous yeast cell carrier for soybean oil refinery effluent treatment and pyrolysis oil production. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, *44*(4), 661-671.
<https://doi.org/10.1007/s00449-020-02476-5>
- Rasooly Garmarody, E., Esmaeili Jafarzadeh, A., & Kermanian, H. (2022). SPENT BLACK LIQUOR AS AN ALTERNATIVE CARBON SOURCE FOR THE SYNTHESIS OF BACTERIAL CELLULOSE. *Cellulose Chemistry and Technology*, *56*(7-8), 749-756.
<https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2022.56.66>
- Revin, V. V., Liyas'kina, E. V., Sapunova, N. B., & Bogatyreva, A. O. (2020). Isolation and Characterization of the Strains Producing Bacterial Cellulose. *Microbiology*, *89*(1), 86-95.
<https://doi.org/10.1134/S0026261720010130>
- Ryngajłto, M. (2020). *Towards control of cellulose biosynthesis by Komagataeibacter*.

- Saleh, A. K., El-Gendi, H., Ray, J. B., & Taha, T. H. (2021). A low-cost effective media from starch kitchen waste for bacterial cellulose production and its application as simultaneous absorbance for methylene blue dye removal. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
<https://doi.org/10.1007/s13399-021-01973-1>
- Santoso, S. P., Lin, S.-P., Wang, T.-Y., Ting, Y., Hsieh, C.-W., Yu, R.-C., Angkawijaya, A. E., Soetaredjo, F. E., Hsu, H.-Y., & Cheng, K.-C. (2021). Atmospheric cold plasma-assisted pineapple peel waste hydrolysate detoxification for the production of bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 175, 526-534. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.169>
- Sar. (2022). Potential use of olive oil mill wastewater for bacterial cellulose production. *Bioengineered*, 13(3), 7659-7669. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2050492>
- Sari, A. K., Majlan, E. H., Loh, K. S., Wong, W. Y., Alva, S., Khaerudini, D. S., & Yunus, R. M. (2022). Effect of acid treatments on thermal properties of bacterial cellulose produced from cassava liquid waste. *Materials Today: Proceedings*, 57, 1174-1178.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.130>
- Schoch, et al. (2020). *Base de datos de taxonomia del NCBI*. NCBI Taxonomy.
- Singhaboot. (2022). High Performance of Bacterial Strain Isolated from Bio-Extract for Cellulose Production. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 45(4), 1161-1175.
<https://doi.org/10.47836/pjtas.45.4.18>
- Singhaboot, P., Phanomarpornchai, A., Phuangsi, C., Boonthongtho, K., & Kroeksakul, P. (2022). The Potential of Liquid Waste from the Fruit Preserves Production Process as a Low-cost Raw Material for the Production of Bacterial Cellulose. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 45(4), 1125-1136. <https://doi.org/10.47836/pjtas.45.4.16>
- Soon, & Eun Joo Shin. (2020). The Nanofication and Functionalization of Bacterial Cellulose and Its Applications. *MDPI*. <https://doi.org/10.3390/nano10030406>

Souza. (2021). Kinetic Study of a Bacterial Cellulose Production by *Komagataeibacter Rhaeticus* Using Coffee Grounds and Sugarcane Molasses. *Materials Research*, 24(3), e20200454.

<https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2020-0454>

Souza, E. F., Furtado, M. R., Carvalho, C. W. P., Freitas-Silva, O., & Gottschalk, L. M. F. (2020). Production and characterization of *Gluconacetobacter xylinus* bacterial cellulose using cashew apple juice and soybean molasses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 285-289.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.180>

Srikandace, Y., Apriyana, A. Y., Zahrad, S. A., Ramdhani, W., Asri, P. P. P., Andriani, D., Abdullah, A. H. D., Syampurwadi, A., Satoto, R., & Karina, M. (2022). Bacterial Cellulose Production by *Komagataeibacter xylinus* Using Rice-washed Water and Tofu Processing Wastewater with the Addition of Sodium Glutamate. *Fibers and Polymers*, 23(5), 1190-1196.

<https://doi.org/10.1007/s12221-022-4729-4>

Subbiahdoss, G., Osmen, S., & Reimhult, E. (2022). Cellulosic biofilm formation of *Komagataeibacter* in kombucha at oil-water interfaces. *Biofilm*, 4, 100071.

<https://doi.org/10.1016/j.biofilm.2022.100071>

Sundaram, M. K., Nehru, G., Tadi, S. R. R., Katsuno, N., Nishizu, T., & Sivaprakasam, S. (2021). Bacterial cellulose production by *Komagataeibacter hansenii* utilizing agro-industrial residues and its application in coffee milk stabilization. *Biomass Conversion and Biorefinery*.

<https://doi.org/10.1007/s13399-021-01867-2>

Suryanto, H. (2021). Nanofibrillation of Bacterial Cellulose Using High-Pressure Homogenization and Its Films Characteristics. *Journal of Renewable Materials*, 9(10), 1717-1728.

<https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015312>

- Szymczak, I., Pietrzyk-Brzezińska, A. J., Duszyński, K., & Ryngajłło, M. (2022). Characterization of the Putative Acylated Cellulose Synthase Operon in *Komagataeibacter xylinus* E25. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(14), 7851. <https://doi.org/10.3390/ijms23147851>
- Torgbo. (2020). Biodegradation and thermal stability of bacterial cellulose as biomaterial: The relevance in biomedical applications. *Polymer Degradation and Stability*, 179, 109232. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109232>
- Tsouko, E., Maina, S., Ladakis, D., Kookos, I. K., & Koutinas, A. (2020). Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams. *Renewable Energy*, 160, 944-954. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.108>
- Vyazovkin, S., Koga, N., & Schick, C. (2018). *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry, v.6, Recent Advances, Techniques and Applications*.
- Wu, D., Li, X., Zhang, Y., Alfred, M., Yang, H., Li, Z., Huang, F., Lv, P., Feng, Q., & Wei, Q. (2022). Strong and robust cellulose-based enzymatic membrane with gradient porous structure in dynamically catalytic removal of sulfonamides antibiotics. *Journal of Hazardous Materials*, 439, 129676. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129676>
- Zhong, C. (2020). Industrial-Scale Production and Applications of Bacterial Cellulose. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 605374. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.605374>
- Żur, J., Piński, A., Michalska, J., Hupert-Kocurek, K., Nowak, A., Wojcieszynska, D., & Guzik, U. (2020). A whole-cell immobilization system on bacterial cellulose for the paracetamol-degrading *Pseudomonas moorei* KB4 strain. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 149, 104919. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.104919>



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia
PBX (6)8 93 30 50 - www.ucm.edu.co