



*EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A PARTIR DE
VINAGRE DE MANZANA CASERO, CON Y SIN SCOPY, UTILIZANDO GUANÁBANA Y
CEBOLLA CABEZONA COMO SUSTRATOS*

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C 2025-01



*EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A PARTIR DE
VINAGRE DE MANZANA CASERO, CON Y SIN SCOBY, UTILIZANDO GUANÁBANA Y
CEBOLLA CABEZONA COMO SUSTRATOS*

Laura Alejandra Ardila Riaño
Luisa Fernanda Castillo Cuervo
Ally González Fernández

Dirigido por:

Asesor interno Lady Maricel Casallas Rodríguez
Asesor externo Loren Vanesa Firavitoba Rico

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C. 2025-01



EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A PARTIR DE
VINAGRE DE MANZANA CASERO, CON Y SIN SCOPY, UTILIZANDO
GUANÁBANA Y CEBOLLA CABEZONA COMO SUSTRATOS

APROBADA

JURADOS

Sonia Marcela Rosas Arango

Judith Elena Camacho Kurmen

ASESORES

Lady Maricel Casallas Rodriguez

Loren Vanesa Firavitoba Rico

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C 2025-01

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo con todo nuestro corazón a nuestras familias, pilares fundamentales en nuestro camino, y a todas las personas que nos brindaron su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. Especialmente, queremos dedicarlo a las niñas que una vez fuimos, aquellas que aún no podían imaginar el futuro brillante que les esperaba, y que hoy con orgullo y determinación, siguen escribiendo su propia historia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a nuestras asesoras, Lady Maricel Casallas Rodríguez y Loren Vanesa Firavitoba Rico, por guiarnos con paciencia, sabiduría y dedicación a lo largo de este proceso. Su compromiso, acompañamiento constante fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Esta tesis no solo lleva nuestro esfuerzo, sino también el reflejo de su entrega y pasión por la enseñanza. Gracias.

Laura: Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, por el profundo cariño que me han brindado, agradezco profundamente a mis padres, que me han entregado los frutos de su esfuerzo para lograr mis metas, gracias por la guía que me han dado para llegar a este punto de mi vida y por el ejemplo que siempre me han reflejado, agradezco a mis compañeras que han vivido las alegrías y las penas de este proceso junto a mí, gracias por la paciencia y a perseverancia con la que siempre me han acompañado,.

Luisa: A mi familia, especialmente a mis tías y mi abuela, porque gracias a su apoyo y amor incondicional, logré llegar a este punto. A mis compañeras de carrera, que con el tiempo se convirtieron en grandes amigas y las piezas clave, para poder levantarme cuándo el mundo se venía abajo. A mi pareja, Cristhian, por ser una persona admirable, cuya sabiduría, fortaleza y amor constante me acompañaron. Gracias por creer en mí cuando dudaba y por sostenerme cuando no supe cómo avanzar. Finalmente, gracias a mi mascota (Chata), que ahora habita el cielo, pero su amor silencioso y leal, fue luz y aliento en los días más oscuros. Este logro no es solo mío, sino también de quienes caminaron conmigo. Gracias.

Ally: Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi mamá y a mi hermano Andrés, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida y un apoyo incondicional desde el inicio de este camino. Su amor, paciencia y fe en mí han sido mi refugio y mi motor en los momentos más difíciles. A mis dos amores más grandes: Coco, que, aunque ya partió, sigue acompañándome con su recuerdo y amor eterno, y Nube, quien ha sido mi fiel compañera durante toda esta travesía. Su presencia me dio consuelo, alegría y fuerzas cuando más lo necesité. A mis amigas y compañeras de tesis, gracias por caminar a mi lado, por las risas, las lágrimas, las largas jornadas y por no dejarme caer. Sin ustedes, este logro no hubiera sido

posible. Y a todas las personas que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo incondicional y creyeron en mí, gracias por estar. Este sueño no habría cobrado vida sin su compañía y cariño.

TABLA DE CONTENIDO	6
RESUMEN:	7
OBJETIVOS	8
INTRODUCCIÓN	9
1. ANTECEDENTES	13
2. MARCO REFERENCIAL	14
2.1. CELULOSA BACTERIANA	14
2.1.1. <i>¿Qué es la celulosa bacteriana?</i>	14
2.1.2. <i>Biosíntesis de la celulosa bacteriana</i>	16
2.1.3. <i>Técnicas para la producción de celulosa bacteriana</i>	17
2.1.4. <i>Aplicaciones y usos de la celulosa bacteriana</i>	18
2.2. LA KOMBUCHA Y EL SCOBY	19
2.2.1 <i>¿Qué es la Kombucha?</i>	19
2.2.2 <i>¿Qué es el SCOBY?</i>	19
2.2.3 <i>Microorganismos presentes en el SCOBY</i>	20
2.3 SUSTRATOS ORGÁNICOS	24
2.3.1 <i>¿Qué es un Sustrato?</i>	24
2.3.2 <i>Sustratos orgánicos usados en la producción de celulosa bacteriana</i>	26
2.4 IMPACTO AMBIENTAL	26
2.4.1 <i>Desperdicios anuales en Colombia</i>	26
2.4.2 <i>Consecuencias ambientales</i>	27
2.4.3 <i>Desarrollo de alternativas sostenibles</i>	28
2.4.4 <i>Modelos económicos</i>	29
2.2.1 <i>Beneficios o impacto del uso de sustratos orgánicos como la guanaba y la cebolla cabezona</i>	30
3. DISEÑO METODOLÓGICO	30
3.1 UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA	30
3.1. HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES	31
3.2. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS	31
3.2.1. <i>Etapa preexperimental</i>	33
3.2.2. <i>Selección del sustrato (Etapa I)</i>	33
3.2.3. <i>Prueba experimental y análisis de resultados (Etapa II)</i>	34
4. RESULTADOS	38
4.1. SELECCIÓN DEL SUSTRATO (ETAPA I)	38
4.2. PRUEBA EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS (ETAPA II)	40
5. DISCUSIÓN	44
6. CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	49
ANEXOS	54

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CONTENIDO DE CELULOSA DE DIFERENTES FUENTES VEGETALES EN COMPARACIÓN CON LA CELULOSA BACTERIANA.	20
FIGURA 2. SÍNTESIS DE LA CELULOSA BACTERIANA	20
FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DEL CONSORCIO SCOPY	29
FIGURA 4. ECONOMÍA LINEAL VERSUS ECONOMÍA CIRCULAR.	34
FIGURA 5. DISEÑO METODOLÓGICO	37
FIGURA 6. RESUMEN DE LA INOCULACIÓN E INCUBACIÓN DE LOS MEDIOS DE AISLAMIENTO.	40
FIGURA 7. ELABORACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA.	43
FIGURA 8. COLONIAS AISLADAS EN MEDIO PDA Y SABOURAUD	45
FIGURA 9. PRIMERA CAPA DE CELULOSA BACTERIANA OBTENIDA POR CULTIVO	47
FIGURA 10. PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA POR CULTIVO	48
FIGURA 11. CELULOSA BACTERIANA PRODUCIDA POR CULTIVO	49

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL USO DE LA CELULOSA BACTERIANA EN DIFERENTES ÁREAS COMERCIALES. 20	
TABLA 2. INDICADORES ORGANOLÉPTICOS DEL SCOB	22
TABLA 3. GÉNEROS DE LOS MICROORGANISMOS PROBIÓTICOS AISLADOS EN LA KOMBUCHA	23
TABLA 4. AISLAMIENTOS DE MICROORGANISMOS EN CELULOSA BACTERIANA EN DIFERENTES ESTUDIOS	24
TABLA 5. PRODUCCIÓN DE VINAGRE DE MANZANA CASERO	36
TABLA 6. CONTENIDO DE LOS CULTIVOS PARA PRODUCIR CELULOSA BACTERIANA	39
TABLA 7. FRUTAS Y VERDURAS PRESELECCIONADAS COMO SUSTRATOS EXPERIMENTALES	41
TABLA 8. CONTENIDO EN MICRONUTRIENTES DE LOS SUSTRATOS DE FORMA INDIVIDUAL, SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.	41
TABLA 9. CONTENIDO EN AZÚCAR EN PORCENTAJE DE ALGUNAS FRUTAS Y VEGETALES	42
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE LAS COLONIAS AISLADAS	43
TABLA 11. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CELULOSA BACTERIANA PRODUCIDA	46



UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A PARTIR DE
VINAGRE DE MANZANA CASERO, CON Y SIN SCOPY, UTILIZANDO
GUANÁBANA Y CEBOLLA CABEZONA COMO SUSTRATOS

RESUMEN:

El impacto del hombre en el medio ambiente, tiene gran importancia en la actualidad, es por esta razón que el modelo de economía lineal actual no responde a las necesidades ambientales que demanda el planeta actualmente. La economía circular representa entonces una alternativa sostenible, dando un frente de acción a este estudio que se encuentra enfocado en el aprovechamiento de desechos orgánicos para producir celulosa bacteriana. El experimento exploró la producción de celulosa bacteriana a partir de desechos agrícolas de guanábana y cebolla cabezona, utilizando vinagre casero como base, evaluado con y sin suplemento de SCOPY. Se ajustó la presencia de SCOPY y el tipo de sustrato para observar su efecto en la producción de celulosa, midiendo el grosor y describiendo la textura de la celulosa producida. Las condiciones óptimas para la producción de Celulosa Bacteriana se observaron con la guanábana suplementada con SCOPY y vinagre casero (GVMS), la cual alcanzó un grosor máximo de 5 mm en la semana 7. En contraste, la guanábana sin suplemento (GVMNS) produjo 3 mm en la semana 7, mientras que la cebolla demostró ser un sustrato ineficaz: la variedad suplementada (CVMS) apenas formó una biopelícula inferior a 1 mm para el día 56, y la cebolla sin suplemento (CVMNS) no generó ninguna Celulosa bacteriana en 8 semanas. Estos hallazgos validan el potencial de la guanábana como recurso clave para nuevas aplicaciones renovables.

PALABRAS CLAVE: Economía Circular, Celulosa Bacteriana, Vinagre De Manzana, SCOPY, Guanábana, Cebolla Cabezona.

Laura Alejandra Ardila Riaño

Luisa Fernanda Castillo Cuervo

Ally González Fernández

Dirigido por:

Asesor interno Lady Maricel Casallas Rodríguez

Asesor externo Loren Vanesa Firavitoba Rico

15-04-2025

INTRODUCCIÓN

El impacto del hombre en el medio ambiente a través del tiempo ha tenido gran relevancia, desde aspectos positivos que permitieron el progreso de la civilización, hasta efectos nocivos e irreversibles, como la contaminación del entorno, la extinción de especies, el agotamiento de recursos o la destrucción de hábitats. El enfoque de desarrollo vigente, la economía lineal, que se sustenta en la abundancia de recursos y la continua producción de desechos, está acercándose a su límite. Durante años, el sistema económico y productivo ha ejercido una gran presión sobre los recursos naturales y el medio ambiente, lo que ha llevado a una inevitable escasez y contaminación (1).

Existen dos modelos económicos principales, uno de ellos la economía lineal que ha estado en vigencia desde la revolución industrial, la cual se fundamenta en tres fases: "tomar", "fabricar" y "desechar" (2). Frente a este modelo, en el que las materias primas se extraen, los bienes se producen, se consumen en los hogares y luego se desechan, es entendible que el mundo esté alcanzando los niveles de insostenibilidad actuales (1). En este modelo no se toman en cuenta los efectos negativos de la contaminación y la disminución de recursos en cada etapa de la cadena de producción. Por ello el modelo de economía lineal ya no es sostenible, por el impacto negativo en el ambiente (2). Como alternativa, emerge el modelo de economía circular, que se fundamenta en el principio de las tres R (Reducir, Reutilizar y Reciclar), aplicable a todas las fases del ciclo de vida de los productos y en estrategias de diseño sostenible (1). La supervivencia del planeta (y la de la humanidad) exige un cambio radical. En este escenario, una economía circular puede ser la nueva ola que marque el futuro (2).

En Colombia, según datos del DANE, se generan anualmente 24,8 millones de toneladas de residuos, de los cuales el 47 % se originan en los hogares (3). Dado que el sector hortofrutícola participa con el 20 % en la producción agrícola nacional, y en la última década ha experimentado un crecimiento sostenido, donde destacan los cultivos de banano, guanábana, piña, arveja, cebolla de bulbo y zanahoria (3). Se describe la cadena de consumo

de las frutas y verduras, como un modelo de economía lineal, empezando con la producción agropecuaria, postcosecha, almacenamiento, procesamiento industrial, distribución y consumo (1), en donde se genera pérdida y desperdicio “ya sea que los alimentos se descarten antes del consumo donde se pierde el alimento o después del consumo en donde se considera desperdicio” (4). Según Alzate y Orozco (4) la pérdida y el desperdicio de alimentos puede ser resultante del descarte de alimentos en aptas condiciones para consumir, pero que al no cumplir con condiciones organolépticas óptimas no son consumidas, o alimentos que están contaminados con microorganismos, incluyendo ejemplares que ya tienen un grado de maduración muy avanzado que los vuelven peligrosos para el consumo.

Esto se convierte en un problema ya que ambientalmente para la producción de alimentos se necesita el uso de energía y de varios recursos naturales como el agua y la tierra, los cuales terminan siendo desperdiciados cuando (4)os (4), por esta razón se aplican estrategias de economía circular para minimizar el desperdicio de alimentos aptos para consumo, por ejemplo “en Corabastos se producen 32087 toneladas de residuos sólidos en donde 2020 toneladas son donadas al banco de alimentos” (6), así mismo se reconoce otras estrategias como el compost hecho con residuos orgánicos (1).

Aun así, la cantidad de alimento que se pierden y desperdician es considerablemente alta “En América latina y el Caribe se generan 541000 toneladas de residuos sólidos diarios donde el 50% son residuos orgánicos” (4), a nivel nacional “en Colombia se pierde y se desperdicia 9,77 millones de toneladas al año de alimentos, en donde del 58% al 62% equivale a frutas y verduras, siendo la producción y la distribución los procesos que presentan un mayor porcentaje de pérdida” (4), (5).

Teniendo en cuenta lo anterior se infiere que el desperdicio y la pérdida de alimentos no es solo un problema a nivel de seguridad alimentaria, ya que no se están consumiendo alimentos que pueden aportar a la nutrición de la población, sino que también genera un impacto ambiental considerable a largo plazo, y que aunque existen estrategias para la recuperación de alimentos aptos para consumo, estas estrategias no se aplican de la misma forma en alimento de descarte no aptos para consumo, por estas razones es necesaria la aplicación de los principios de economía circular para dar una nueva vida útil a esos alimentos que se pierden y desperdician en la cadena de producción y consumo.

Se ha datado que el mayor porcentaje de pérdida se da después de la producción en donde se suma un porcentaje del 56% entre la distribución, almacenamiento y consumo (5), esto

indica que las zonas propicias para la aplicación de la economía circular son lugares donde se almacena y se distribuye estos alimentos, es así que la celulosa bacteriana se vuelve importante para aplicar los principios de la economía circular, empleando las frutas y verduras de descarte para generar un nuevo material con gran potencial para producir nuevos productos en la cadena de consumo.

Dentro de este contexto, el estudio de sustratos orgánicos provenientes de frutas y verduras adquiere relevancia no solo por su potencial aprovechamiento en distintas aplicaciones, sino también por su impacto en la producción de biopolímeros como la celulosa bacteriana. A partir del análisis del consumo y estudios previos, se seleccionaron la guanábana y la cebolla cabezona como sustratos de prueba, mientras que el banano y la zanahoria se emplearon como controles positivos, dado que según revisiones bibliográficas anteriores, el banano ofrece las necesidades nutricionales adecuadas para la producción de celulosa bacteriana cuando se puso a prueba (6). Mientras que la zanahoria, por ensayos propios realizados con anterioridad, también demostró resultados positivos en la producción de celulosa bacteriana. Se realizaron pre experimentos que permitieron evaluar la necesidad de pretratamientos y la producción de celulosa bacteriana en diferentes medios. En el primer pre experimento se observó que el pretratamiento con hipoclorito al 0.1 % afectaba negativamente el crecimiento de la celulosa, al eliminar los microorganismos presentes en el medio de cultivo. En el segundo pre experimento, se evaluó la producción de celulosa bacteriana, sin el uso de SCOBY, utilizando vinagre de manzana casero y diferentes tés comerciales (Té negro, té de manzanilla comercial y la planta completa), observándose resultados positivos únicamente en el vinagre de manzana. Estos hallazgos aportan información clave para el desarrollo de nuevos enfoques en la producción sostenible de biopolímeros a partir de residuos agroindustriales.

Luego de realizar los pre experimentos y determinar las condiciones iniciales para realizar los cultivos, se dio paso a la Etapa 1 del trabajo experimental, la cual se divide en dos fases. En la primera fase, se realiza la búsqueda bibliográfica, para determinar que no hubiesen registro de estudios previos donde se hiciera uso de ciertos residuos orgánicos de cocina (cebolla, espinaca, borrajó y guanábana) y a su vez consultar la composición química del fruto carnoso de dichos sustratos. Fue así que en la fase dos, se eligen los sustratos finales (cebolla cabezona y guanábana), por su porcentaje de azúcar y por no encontrar registro bibliográfico

en estudios previos. En la Etapa 2 del trabajo experimental, se dividió en tres fases que dieron respuesta a cada uno de los objetivos específicos. En la fase 1, se elaboró vinagre casero de manzana, el cuál fue destinado para el medio de producción de la celulosa bacteriana. En la fase 2, para determinar que se estaba trabajando con el consorcio microbiano ideal, se hizo un aislamiento microbiológico en paralelo con el SCOBY comercial, mediante los medios EMB, Sabouraud y MacConkey. De los cuales se obtuvo un crecimiento muy similar en cuánto a levaduras y la ausencia de contaminación. Finalmente, en la fase 3, se realizan los medios de producción (9 medios en total) poniendo a prueba el vinagre de manzana casero, con cada uno de los sustratos elegidos y se opta por suplementar algunos de estos medios con SCOBY, para garantizar la presencia del consorcio microbiano. A partir de esta metodología se obtuvo producción de celulosa bacteriana, la cual pudo ser medida en mm de grosor y el diámetro fue establecido por los recipientes que se utilizaron.

Este estudio se enmarca en el modelo de la economía circular, haciendo énfasis en el aprovechamiento de los residuos orgánicos que diariamente se desechan, de forma que, con estos, se logre realizar “los medios” necesarios, para la producción de celulosa bacteriana, teniendo en cuenta las características metabólicas del consorcio. Resaltando así, una vez más, las características fisicoquímicas, la importancia de este elemento natural y las diversas aplicaciones en las diferentes industrias. Se espera generar un cambio en la disposición de los desechos orgánicos que se generan a diario en los hogares, aprovechando estos desperdicios, al producir celulosa bacteriana y aportando a la disminución del impacto ambiental de estos residuos.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar la producción de celulosa bacteriana a partir de un medio en suspensión de vinagre de manzana casero con y sin SCOBY, utilizando residuos de cáscara y pulpa de la guanábana y cebolla cabezona, para determinar la cantidad de celulosa bacteriana producida, por medio de su grosor.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar la producción de celulosa bacteriana usando residuos de cáscara y pulpa de la guanábana y cebolla cabezona como componentes del sustrato.
2. Aislar microorganismos presentes en el medio de suspensión (vinagre de manzana casero) y el SCOBY a través del uso de los medios selectivos MacConkey, EMB, Sabouraud, PDA y MRS, para comparar el contenido microbiológico entre el SCOBY y el vinagre de manzana casero.
3. Determinar la cantidad de celulosa bacteriana producida en cultivos con vinagre de manzana casero con y sin SCOBY y los dos sustratos por medio del grosor de la celulosa.

1. ANTECEDENTES

La celulosa bacteriana es un material que ha acompañado a la humanidad desde hace muchos años, a continuación, en la **tabla 1**, se mencionan algunos de los acontecimientos más importantes relacionados con la celulosa bacteriana.

Tabla 1. Acontecimientos relacionados con la celulosa bacteriana

Año	Acontecimiento histórico o estudio	Resultados (rendimiento, condiciones de producción)
1644	Durante la dinastía Quin se usaba la celulosa bacteriana para producir la kombucha, una bebida fermentada que se empezó a consumir en la época, siendo conocido como la cura para la inmortalidad.	N/A
1886	J. Brown (7) realizó un estudio con celulosa bacteriana, trabajando con un fermento acético.	Se describe la capa de origen acético como la culpable de la producción del vinagre, por lo que es nombrada "planta del vinagre", la cual posteriormente se atribuye a la acción de un microorganismo nombrado como <i>Bacterium xylinum</i>
1900	La celulosa bacteriana utilizada para producir la kombucha se vendía como Mo-gu "hongo" tomando más adelante el nombre del hongo de la kombucha, (8).	N/A
1951	Kaushal y T. K. Walker (9) realizaban investigaciones con una bacteria aislada en una cervecería de vinagre en África oriental.	Se aisló <i>A. acetigenum</i> , y al cultivarla en tubos de ensayo con glucosa se obtuvo tras 10 días, la película de celulosa de aproximadamente 2 mm de grosor adherida tan firmemente al vidrio que el tubo podía invertirse sin derramar el contenido.
1953	La celulosa bacteriana comenzó a recibir mayor atención debido a sus características únicas, como su alta cristalinidad, pureza y estructura tridimensional reticulada (8).	N/A
1954	Schramm y Hestrim (10) realizaron una de las primeras investigaciones con <i>Bacterium xylinum</i>	Con el fin de optimizar la producción de celulosa bacteriana utilizando <i>Bacterium</i>

		xylinum, se crea el medio HS, que puede tener presentación líquida o sólida, obteniendo mejores resultados en medio líquido agitado.
--	--	--

Año	Acontecimiento histórico o estudio	Resultados (rendimiento, condiciones de producción)
1990	El hongo de la kombucha se empieza a comerciar como SCOBY a los Estados Unidos (8).	N/A
1995	Ya se usaba el cultivo estático y el cultivo en agitación como lo hizo Hiroshi Toyosaki (11) en compañía comparando la producción de celulosa en agitación y en cultivo estático.	Se aislaron un total de 2096 cepas; el aislamiento a partir de frutas fue particularmente eficiente. Se estimó la productividad de celulosa de 412 aislados mediante cultivo en dos medios diferentes, tanto en condiciones de agitación como estáticas. Se obtuvo una mayor acumulación de celulosa en los cultivos agitados utilizando un medio a base de licor de maceración de maíz y fructosa (11).
1998	Se empieza a comparar la celulosa vegetal con la celulosa bacteriana, resaltando la pureza de la celulosa bacteriana y sus posibles aplicaciones (12).	La celulosa bacteriana se diferencia de la vegetal por su mayor pureza, sin contener hemicelulosa, lignina o pectina, y por propiedades como alta capacidad de retención de agua y mayor resistencia mecánica (12).
2014	Valencia realizó la evaluación de algunos residuos agroindustriales como sustrato para la producción de celulosa bacteriana empleando <i>Gluconacetobacter medellinensis</i> (6)	Donde realizaron 3 medios de cultivo para cada sustrato utilizado (mango, piña y banano) utilizando 250g de fruta y 1000 ml de agua. La fermentación fue estática y se realizó con los residuos procesados con agua sin ajustar pH, ni °Brix. El medio se esterilizó a una temperatura entre 123°C - 127°C y presiones entre 17 - 20 psi por 20 min. Las membranas de celulosa bacteriana se purificaron con KOH al 5%. La producción se determinó por peso seco, después de 10 días a 28°C (6). El rendimiento producto obtenido - sustrato consumido fue de 3.2072g de celulosa seca/g de azúcares reductores (6).
2017	Baleta y Angelica ya evaluaban las aplicaciones de la celulosa bacteriana en la protección postcosecha de la guayaba (13)	Se realizaron medios con extracto de guayaba dulce y guayaba agria en las dos concentraciones 20% y 40%. la mejor concentración de extracto de guayaba dulce y guayaba agria correspondió al 40% en ambas especies, así mismo se notó que el mejor día para la obtención de las películas con un mínimo grosor concernió a los 7 días, donde se obtuvo películas de ~ 0,4 - 0,7 mm de grosor (13).

2018	<p>Ruiz realizó experimentos con la kombucha comparando diferentes sustratos como la glucosa, fructosa, maltosa y manitol para la producción de celulosa (14). Ese mismo año, Navarro evaluaba la producción de celulosa con jugo de arándano y manzana usando la bacteria <i>Gluconobacter xylinum</i> (15).</p>	<p>Las fuentes de carbono utilizadas fueron: sacarosa, fructosa, glucosa, maltosa, y manitol. Cada variación del medio HS mantuvo las mismas concentraciones de todos sus componentes y la fuente de carbono siempre se utilizó a una concentración de 20 g/L.</p> <p>El medio HS contenía 10% de una solución de inóculo. Y para asegurar la diversidad de bacterias y levaduras en la solución de inóculo, esta fue preparada de 5 variaciones de Kombucha en volumen equitativo.</p> <p>Según lo observado en este estudio, donde la glucosa obtuvo una mayor producción de celulosa, se ha sugerido generalmente que la glucosa se convierte más fácilmente en ácido glucónico y ácido ceto-glucónico que acelera su producción de celulosa ya que el proceso de síntesis es más directo.</p>
2022	<p>Victoriano en compañía estudiaron los efectos de la sacarosa en la síntesis de celulosa en la fermentación de la Kombucha (16).</p>	<p>Mediante el aislamiento de bacterias y levaduras presentes en la melaza de caña de azúcar, se identificaron algunas especies, donde el cocultivo de <i>Komagataeibacter sp. DS1MA.62A</i> y <i>B. bruxellensis</i> podría producir BC a partir de melaza suplementada con cafeína y tampón de acetato, con un rendimiento promedio de $27,7 \pm 1,83$ g/L.</p>
2023	<p>Jiménez utilizó la cáscara de café como sustrato para producir celulosa bacteriana (17), el mismo año Salazar produjo celulosa bacteriana a partir del suero de leche (18).</p>	<p>Jimenez evaluó dos concentraciones de 20 y 10 % de azúcar y 5 tratamientos de 0, 25, 50, 75 y 100 % de sustitución del té de cáscaras de café. Se realizó el análisis de varianza y los resultados indican que la mayor producción de celulosa fue con 10 % de azúcar y con una sustitución del 75 % de la infusión de cáscaras de café. Este tratamiento mostró un rendimiento quincenal de 25 % de producción de celulosa, con mejores propiedades de dureza y estructura firme respecto a los demás tratamientos (17).</p> <p>Mientras que Salazar, obtuvo una producción de celulosa bacteriana se en todos los medios evaluados con suero. Donde la mayor producción másica de la celulosa bacteriana fue en el tratamiento que contenía el 100% de suero de leche y nula en solo agua. El rendimiento de biomasa durante la fermentación está íntimamente relacionado con la naturaleza del sustrato y su concentración. A mayor concentración de suero mayor producción de CM en peso húmedo y peso seco (18).</p>

2023	Arbeláez y Sánchez produjeron un apósito de celulosa microbiana a partir de Kombucha como matriz liberadora de extractos fitoquímicos de café para la cicatrización de heridas (19).	Las celulosas bacterianas se purificaron (con solución NaOH al 0.5%), se realizó secado por liofilización y clasificaron en pH ácido, neutro y básico respectivamente. Se encontraron diferentes resultados dependiendo de cada pH. La celulosa bacteriana pH neutro fue la que presentó mejores propiedades fisicoquímicas que permiten unas condiciones de porosidad y factor de hinchamiento ideal para su impregnación y liberación en interacción con la herida en pH cercano a 7 (19)
------	--	---

2. MARCO REFERENCIAL|

2.1. Celulosa

2.1.1. ¿Qué es la celulosa?

La celulosa es la molécula biológica más abundante en la tierra y constituye la mayor parte de los biopolímeros presentes en el planeta, superando incluso a todos los demás en conjunto. Su estructura es lineal, compuesta por cadenas no ramificadas de 2000 a 14000 unidades de β -(1,4) glucosa, unidas entre sí por enlaces tipo puente de hidrógeno. Aunque es insoluble en agua, la celulosa exhibe regiones altamente ordenadas (cristalinas) y otras con un grado menor de ordenamiento. Este polímero biológico presenta varias formas cristalinas, lo que da lugar al polimorfismo de la celulosa (20).

En la actualidad, la celulosa se puede obtener de diversas fuentes:

De origen vegetal, derivada de plantas leñosas, lo cual es de gran importancia a nivel industrial, de organismos pertenecientes a diferentes reinos, incluidos *Fungi (Dictyostelium)*, *Monera (Agrobacterium, Rhizobium, Gluconacetobacter)* y *Animal (Tunicidae)*, mediante síntesis enzimática in vitro (20).

2.1.2. ¿Qué es la celulosa bacteriana?

La celulosa bacteriana es un polímero extracelular producido por bacterias de los géneros *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium* y *Sarcina*. Aunque su descubrimiento se remonta a 1886, fue en la segunda mitad del siglo XX cuando comenzó a recibir mayor atención debido a sus características únicas, como su alta cristalinidad, pureza y estructura tridimensional reticulada. Entre los productores más eficientes se encuentran las bacterias Gram-Negativas del género *Acetobacter*, especialmente *Acetobacter xylinum* (actualmente *Gluconacetobacter xylinus*), que se utilizan como modelos microbianos en estudios básicos y aplicados sobre este biopolímero (20).

Aunque su composición química es similar a la de la celulosa vegetal, presenta diferencias significativas en su conformación estructural y propiedades físicas, como se muestra en la **figura 1**. Una de las características más destacadas de la celulosa bacteriana es su alta pureza, en contraste con la celulosa vegetal, que a menudo está asociada con hemicelulosa y lignina (20). Esto la hace más resistente y reduce los costos de extracción y purificación (21).

Además de su pureza, la celulosa bacteriana exhibe un alto grado de cristalinidad (superior al 60 %) (20), lo que le da a la celulosa una resistencia a la presión, elasticidad y durabilidad. También tiene una alta capacidad de absorción de agua y una mayor área superficial debido al menor diámetro de las microfibrillas en comparación con la celulosa vegetal. Por otro lado, la celulosa bacteriana es metabólicamente inerte, no tóxica y no causa reacciones alérgicas al contacto, lo que la convierte en un material especialmente adecuado para aplicaciones biomédicas y cosméticas (21).

Figura 1. Contenido de celulosa de diferentes fuentes vegetales en comparación con la celulosa bacteriana.

Fuente	Composición (%)			
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Extracto
Bacteriana	98	0	0	0
Algodón	95	2	1	0.4
Henequén	78	4.8	13	4
Ixtle	73	4.8	17	2
Madera	43-47	23-35	16-24	2-8
Bagazo	40	30	20	10

Nota: figura tomada de (21)

2.1.3. Biosíntesis de la celulosa bacteriana

La celulosa bacteriana es un biopolímero extracelular que cumple diferentes funciones biológicas los cuales se muestran en la **figura 2**.

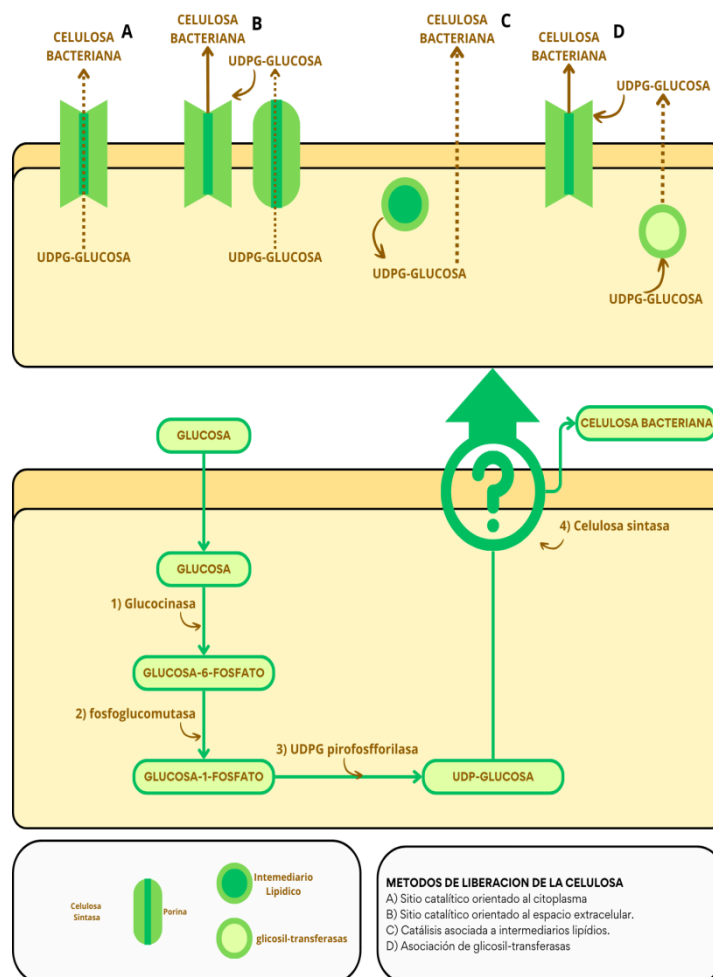
La **figura 2** explica el mecanismo biológico para la síntesis de celulosa bacteriana en el género *Acetobacter*, empezando con el ingreso de la glucosa en la bacteria donde la enzima glucocinasa “liasa” fosforila el hidrato de carbono dando como resultado la glucosa-6-fosfato, este resulta en glucosa-1-fosfato por la enzima fosfoglucomutasa “enzima isomerasa”, finalmente por acción de la enzima UDPG pirofosforilasa “enzima transferasa” se obtiene la UDP-glucosa. En la segunda fase el complejo enzimático Celulosa Sintasa, sintetiza la celulosa y suelta extracelularmente en forma de sub-fibrilla de 1.5 nm, donde por

acumulación se formará la microfibrilla y finalmente la fibrilla con unos 1- 9 nm. El mecanismo de liberación de la celulosa al medio extracelular aún no está claro, pero se han definido cuatro posibles modelos como se evidencia en la **figura 2**.

2.1.4. Técnicas para la producción de celulosa bacteriana

Existen dos técnicas principales utilizadas para la producción de celulosa bacteriana: el cultivo estático y el cultivo agitado. En el cultivo estático, las bacterias crecen en una superficie líquida sin movimiento, lo que resulta en la formación de una biopelícula o celulosa gruesa sobre la superficie del medio de cultivo. Esta técnica produce celulosa con una estructura densa y homogénea (10).

Figura 2. Síntesis de la celulosa bacteriana



Nota: figura de autoría propia.

Por otro lado, el cultivo agitado implica el movimiento continuo del medio de cultivo, lo que promueve la formación de celulosa en forma de esferas o gránulos dispersos en el

líquido. La celulosa obtenida mediante el cultivo agitado tiende a tener una morfología más porosa y menos densa en comparación con la producida en condiciones estáticas (10).

Schramm y Hestrim, realizaron uno de los primeros trabajos sobre producción de celulosa bacteriana, en este estudio se encontró que, para que se pueda obtener una celulosa de mejor calidad al momento de su producción es necesario proporcionar los nutrientes necesarios para su óptimo crecimiento. Asegurando de mantener un equilibrio de la población en la interfase aire-líquido, como lo son una fuente de oxígeno que permita a los microorganismos aerobios estrictos estar cerca a la fase gaseosa, una fuente de nitrógeno (levadura, polipeptona, peptona, sulfato de amonio y caseína hidrolizada), y una fuente de carbono (glucosa, sacarosa y fructosa) (10).

En estudios posteriores Dudman demostró que al usar glicerol como fuente de carbono se aumentaba en un 40% la producción de celulosa (22). se decidió utilizar desechos orgánicos que contaran con una adecuada fuente de carbono para así reutilizarlos y no perder la cadena de producción asegurando que los recursos naturales que se usaron en su cultivo puedan ser reutilizados e integrados a una economía circular (10).

2.1.5. Aplicaciones y usos de la celulosa bacteriana

Debido a las características físicas de la celulosa y a la posibilidad de moldear sus características por medio de las condiciones de cultivo (21), la celulosa bacteriana se ha vuelto un material prometedor en muchas industrias descritas en la **tabla 1**.

Tabla 1. Investigaciones relacionadas con el uso de la celulosa bacteriana en diferentes áreas comerciales.

Área	Estudios
Alimentos	Elaboración de envases para alimentos con polímero (pHBV) reforzado con celulosa bacteriana obtenida de la Kombucha(9) Elaboración de capa comestible para alargar vida útil de la guayaba (13)
Moda	Creación de calzado, cartera y collar de celulosa bacteriana Jiménez. (23)
Salud	Elalución de la acción de la celulosa bacteriana con amoxicilina-ácido clavulánico contra <i>Staphylococcus aureus</i> , para tratamiento de quemados (Flores et al., 2021). Producción de apósitos para la cicatrización de heridas a partir de celulosa bacteriana con extractos fitoquímicos del café (19) Producción de celulosa bacteriana con nanopartículas de oro y plata para aplicaciones antimicrobianas (25) Elaboración de películas con protección UV con celulosa bacteriana (22) El desarrollo de andamiajes biodegradables y biocompatibles con celulosa bacteriana, para la ET cardiovascular (26) Apósitos comerciales a base de celulosa bacteriana, para reducir significativamente el dolor y promover la curación de diferentes heridas (27)
Otros	Elaboración de macetas con celulosa bacteriana producida por SCOBY (28) Uso de la celulosa bacteriana para la recuperación y mejora de documentos antiguos (29) Celulosa bacteriana como sustituto a materiales como el cuero animal o plástico a nivel artesanal (30)

2.2. La Kombucha y el SCOBY

2.2.1 ¿Qué es la Kombucha?

La Kombucha es una bebida fermentada a partir de té verde o té negro con una mezcla de azúcar, estos se fermentan con la ayuda de bacterias y levaduras. Según la historia la kombucha se origina en Manchuria, ubicada al noreste de China. Se cree que su nombre proviene del término japonés “kombu-cha” que significa "té de alga". La fermentación de esta bebida dura 7 a 20 días bajo condiciones aeróbicas. La kombucha se caracteriza por su sabor ácido con notas frutales, resultado de su riqueza en ácidos orgánicos y dióxido de carbono. Este perfil organoléptico distintivo es posible gracias a la actividad de una comunidad simbiótica de microorganismos conocida como SCOBY el cual es fundamental en la transformación de los ingredientes iniciales. El té negro suministra los nutrientes necesarios para que las bacterias del SCOBY prosperen y realicen la fermentación que convierte el té en kombucha. La apariencia turbia de la kombucha se debe a la presencia de sólidos suspendidos, que incluyen microorganismos, así como moléculas grandes como proteínas, polifenoles y fibras de celulosa, todos productos del proceso de fermentación (31).

2.2.2 ¿Qué es el SCOBY?

El SCOBY (acrónimo de “Symbiotic Colony Of Bacteria and Yeast” o Colonia Simbiótica de Bacterias y Levaduras) es una biopelícula gelatinosa formada por un gran compendio de levaduras y bacterias que se desarrollan en la superficie del té donde se está dando la fermentación (31).

El SCOBY es una biopelícula de celulosa derivada de fermentaciones previas, estas fermentaciones se pueden ver presentes en la elaboración de vinagres en una manera artesanal y del té al momento de preparar la bebida kombucha. El SCOBY, o también conocido como "madre de la kombucha", es una capa fina y gelatinosa de celulosa que se forma durante la fermentación. Contiene bacterias y levaduras que trabajan en conjunto para convertir el té en kombucha, esto debido a que cuenta con ciertas propiedades físicas que permiten su durabilidad, crecimiento e identificar la calidad del producto, cómo se puede evidenciar en la **tabla 2**. El SCOBY cumple varias funciones:

- Cultivo iniciador: Se utiliza para iniciar una nueva tanda de kombucha.
- Barrera protectora: El biofilm del SCOBY protege la kombucha de bacterias externas no deseadas.
- Fermentación: Las bacterias y levaduras del SCOBY fermentan el té, ácido acético y otros compuestos que le dan a la kombucha su sabor característico y sus propiedades.

Un SCOBY saludable se caracteriza por presentar ciertos indicadores organolépticos que reflejan un proceso de fermentación adecuado. Como se observa en la **tabla 2**, en cuanto al olor, un aroma avinagrado es señal de que la fermentación está ocurriendo correctamente, mientras que un olor desagradable o mohoso puede ser indicio de contaminación o descomposición. El aspecto visual también ofrece pistas importantes: un SCOBY sano muestra un color claro, sin manchas oscuras ni signos de moho, a diferencia de uno en mal estado, que puede presentar manchas, moho o alteraciones en el color. Finalmente, la textura del SCOBY debe ser firme y gelatinosa; si se percibe blanda, viscosa o se desintegra con facilidad, es probable que esté deteriorado. Estos indicadores permiten evaluar de forma sencilla y rápida la condición del SCOBY (31,32).

Tabla 2. Indicadores organolépticos del SCOBY

Indicadores de un SCOBY saludable	Indicadores de un SCOBY en mal estado
Olor avinagrado: Indica que la fermentación está funcionando correctamente.	Olor desagradable o mohoso: Puede indicar contaminación o descomposición.
Aspecto: Color claro, sin manchas oscuras o moho.	Aspecto: Manchas oscuras, moho o cambios de color.
Textura: Firme y gelatinosa.	Textura: Blanda, desintegrada o viscosa.

Nota: Tabla sintetizada de (31).

Para concluir, el SCOBY es un componente esencial para la elaboración de kombucha. Es importante mantenerlo en buen estado para garantizar una bebida segura y de calidad.

La composición microbiana de la kombucha varía según el cultivo, el clima, la geografía, las cepas de levaduras y bacterias presentes, así como la matriz de fermentación. De este mismo modo, la presencia de antioxidantes depende en gran medida de las cepas y bacterias presentes.

2.2.3 Microorganismos presentes en el SCOBY

En condiciones aeróbicas los microorganismos presentes en el SCOBY son capaces de convertir el azúcar y el té negro en ácidos como el acético, glucurónico y glucónico, 14 aminoácidos, vitaminas, polifenoles y enzimas hidrolíticas, dentro del consorcio microbiológico del SCOBY, se pueden encontrar alrededor de 17 géneros de bacterias ácido-acéticas, entre las cuales podemos encontrar *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Gluconacetobacter* y *Komagataeibacter*. Entre estas, *Acetobacterxylinum* (ahora *Gluconacetobacterxylinus*), considerada por su capacidad para producir la mayor cantidad de celulosa. *Acetobacter* y *Gluconobacter* al ser usadas en la producción comercial de vinagre, son las responsables del sabor avinagrado.

Tabla 3. Géneros de los microorganismos probióticos aislados en la Kombucha

Bacterias	Levaduras
<i>Lactobacillus sp.</i>	<i>Candida boidinii</i>
<i>kefiranofaciens sp.</i>	<i>Dekkera bruxellensis</i>
<i>Satsumensis sp.</i>	<i>Kluyveromyces marxianus</i>
<i>Leuconostoc sp.</i>	<i>Lachancea fermentati</i>
<i>Leutococcus sp.</i>	<i>Saccharimyces ludwiggi</i>
<i>Bifidobacterium sp.</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>Propionibacterium sp.</i>	<i>Saccharomyces bisporus</i>
<i>Oneococcosi sp.</i>	<i>Saccharomyces uvarum</i>
<i>Acetobacter sp.</i>	<i>Torulopsis sp</i>
<i>Gluconoacetobacter sp.</i>	<i>Wallemiazebi</i>
<i>Komagataeibacter sp.</i>	
<i>Tantichaeroenia sp.</i>	
<i>Sakaeratensis sp.</i>	
<i>Allobaculum sp.</i>	

Nota: Tabla sintetizada de (33)

Las levaduras como *Saccharomyces sp.*, *Zygosaccharomyces kombuchaensis*, *Torulopsis sp.*, *Pichia sp.*, *Brettanomyces sp* interactúan en una relación simbiótica y son capaces de inhibir el crecimiento de bacterias contaminantes o patogénicas. Las levaduras contribuyen inmensamente en el proceso de fermentación alcohólica en la producción del té. Durante este proceso, las levaduras convierten los azúcares del té en etanol, así como en compuestos variados como ésteres, alcoholes superiores y aldehídos que llevan un papel importante en la caracterización de las propiedades organolépticas. (31,34)

Las levaduras y bacterias presentes en el SCOBY interactúan de forma cooperativa. Las levaduras se encargan de fermentar los azúcares presentes en el té a etanol y las bacterias se encargan de pasar el etanol a ácido acético y celulosa bacterina (31,32). Este biofilm tiene propiedades antisépticas otorgadas por el etanol producido por las levaduras, lo que protege a la kombucha de microorganismos externos, permitiendo así la oxigenación necesaria para que las bacterias aeróbicas puedan realizar su metabolismo y darle sabor y probióticos a la bebida. (14,35)

Las condiciones óptimas para la fermentación de la kombucha, permiten el crecimiento y la proliferación de las bacterias, estas se encuentran a una temperatura que oscila entre 25 a 30 °C, con un pH de 5 a 6,5 (36).

También se encuentran bacterias ácido-lácticas relacionadas en la fermentación de la leche y se reconoce su papel como creadoras de probióticos junto con otros microorganismos como se ve en la **tabla 3** (33). Sin embargo, su presencia es inconsistente porque no siempre están o están en bajas cantidades, igualmente la variedad de microorganismos presentes en la celulosa bacteriana depende del aislado ya que como se evidencia en la **tabla 4**, se identifican diferentes grupos de microorganismos en diferentes celulosas bacterianas.

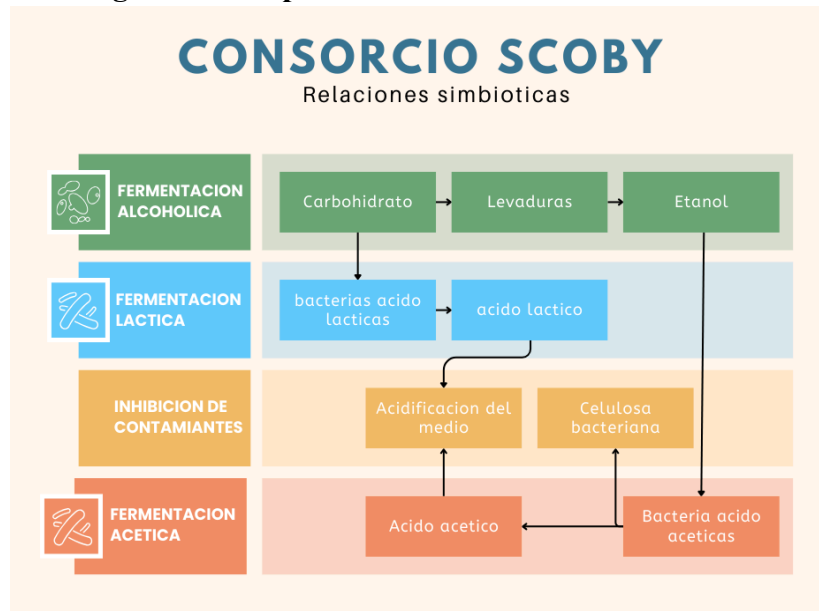
Tabla 4. Aislamientos de microorganismos en celulosa bacteriana en diferentes estudios

Estudio	Bacterias	Levaduras
Gordillo Herrera 2018 (37)	<i>Gluconobacter</i> spp. (3 cepas) <i>Bacillus</i> spp. <i>Gluconobacter oxydans</i> <i>Stenotrophomonas</i> (2 cepas) <i>maltophiliasp</i> <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> No identificadas 2	<i>Meyerozyma guilliermondii</i> (5 cepas) <i>Zygosaccharomyces bailii</i> <i>Zygosaccharomyces parabailii</i> (9 cepas) No identificadas 1
Maciuca, Sánchez Y Menéndez. 2022 (33)	<i>Oenococcus oeni</i> <i>Bacillus cereus</i> (2 cepas) <i>Bacillus simplex</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus megaterium</i>	No se aíslan
Guzman. 2021 (38)	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> (9 aislados) <i>Weissellaviridiscens</i> (1 aislado) <i>Gluconobacter oxydans</i> (7 Aislados) <i>Staphylococcus hominis</i> (11 aislados) <i>Staphylococcus epidermis</i> (1 aislado)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (12 aislados) <i>Hanseniaspora opuntiae</i> (11 aislados) <i>Lachancea fermentati</i> (12 aislados) <i>Pichia manshurica</i> (1 aislado) <i>Debaryomyces hansenii</i> (2 aislados) <i>Cryptococcus flavescens</i> (2 aislados)

El SCOBY juega un papel fundamental en el crecimiento y producción de celulosa, ya que alberga los microorganismos responsables de la fermentación y aprovechamiento de los nutrientes suministrados en el medio de cultivo. La combinación de un medio líquido adecuado, como el vinagre de manzana casero, junto con fuentes de carbono como azúcares y carbohidratos de frutas y verduras, permite la síntesis eficiente de celulosa con propiedades óptimas para distintas aplicaciones. Comprender y mejorar este proceso es clave para la producción sostenible de celulosa bacteriana (11).

Como ya se ha demostrado en varios estudios el SCOBY está compuesto por diferentes grupos de microorganismos en donde encontramos levaduras, bacterias ácido-acéticas y ocasionalmente bacterias ácido-lácticas (33,37,38), estos microorganismos no solo conviven de forma simbiótica, sino que también su acción en conjunto genera un medio ideal para la producción de celulosa bacteriana, así como se observa en la **figura 3**.

Figura 3. Comportamiento del consorcio SCOBY



Nota: figura de autoría propia

La actividad del consorcio inicia con las levaduras que metabolizan los azúcares presentes en el medio, produciendo etanol como residuo, este residuo es aprovechado por las bacterias ácido acéticas que lo metabolizan generando ácido acético como residuo el cual acidifica el medio volviéndolo selectivo para bacterias ácido tolerantes, lo que evita la contaminación con otros microorganismos no deseados, lo que permite que las bacterias ácido acéticas productoras de celulosa puedan prosperar y generar el biofilm (34). Respecto a las bacterias ácido-lácticas se resalta que la presencia del ácido láctico es en sí un desecho de estas bacterias, que mejora la producción de la celulosa bacteriana ya que ayuda en la acidificación del medio (38).

2.3 Sustratos orgánicos

2.3.1 ¿Qué es un Sustrato?

En microbiología, un sustrato es la superficie biótica o abiótica en donde vive y se desarrollan los microorganismos (30), un ejemplo de sustrato son los medios de cultivo tradicionales usados en microbiología. En la producción de celulosa bacteriana, se utilizan medios de cultivo específicos tales como el desarrollado por Hestrim y Schramm (Medio H-S), a partir de este medio de cultivo se han desarrollado investigaciones y modificaciones en variables como la fuente de carbono, fuente de nitrógeno y el pH, cómo lo indicaron

Carreño, Caicedo, & Martínez, en 2012 (20). Sin embargo, las fuentes de carbono como el manitol, glicerol, glucosa, entre otros, tienen altos costos en el mercado lo que puede limitar la producción de celulosa bacteriana a escala industrial y por consiguiente su aplicabilidad comercial. Estos costos de producción de la celulosa bacteriana se pueden reducir significativamente por el uso de medios de cultivo no definidos o complejos en los que se incorporan residuos agroindustriales o de alimentos, como lo indicaron Kurosomi, Sasaki, Yamashita, & Nakanura, en 2009 (6).

Algunos microorganismos que producen celulosa bacteriana se encuentran de manera natural en frutas y vegetales en descomposición. Estos microorganismos pueden metabolizar glucosa, azúcar, glicerol y otros sustratos orgánicos, excretando celulosa pura que forma una "película" en la superficie. En los últimos años, muchos estudios se han enfocado en desarrollar medios de fermentación económicos para producir celulosa bacteriana; por ejemplo, utilizando zumos de frutas, ya que se puede sustituir el azúcar necesario por residuos alimentarios ricos en azúcares, logrando excelentes resultados de crecimiento, a menudo superiores a los obtenidos con azúcar de mesa. La celulosa bacteriana puede sintetizarse a partir de casi cualquier materia orgánica, especialmente residuos de frutas y hortalizas. Esto no solo proporciona una fuente de producción económica que se ajusta a una economía circular local, sino que también puede conferir a la celulosa bacteriana propiedades superficiales especiales mediante la aplicación de tintes naturales o diferentes texturas (2).

La selección de los sustratos adecuados para la producción de celulosa bacteriana fue un factor determinante en la optimización del proceso fermentativo. En el presente estudio se seleccionaron la pulpa y una porción de la cáscara de guanábana, así como la cebolla cabezona, como principales fuentes de nutrientes. Esta elección se fundamentó en sus propiedades químicas y en el potencial impacto que podrían ejercer sobre el crecimiento de los microorganismos presentes tanto en la madre del vinagre como en el SCOBY. Se priorizó el uso de la pulpa debido a su alto contenido de azúcares, mientras que la inclusión de la cáscara respondió al interés por aprovechar integralmente el residuo, en concordancia con principios de economía circular. La guanábana fue seleccionada por ser una fruta nacional y por la falta de estudios previos que evalúen su potencial en la producción de celulosa bacteriana. Esta elección se alineó con el objetivo de fomentar una economía circular, promoviendo el aprovechamiento de los desechos orgánicos que pudieran contener los nutrientes esenciales para el crecimiento de los microorganismos responsables de la síntesis

de celulosa. Por otro lado, la cebolla fue incluida en el experimento debido a su contenido de nutrientes con propiedades antimicrobianas, por su capacidad para inhibir el crecimiento de diversas bacterias, por lo que se propuso evaluar si también podría afectar el crecimiento de levaduras en la fermentación. Por lo tanto, el objetivo de su inclusión fue analizar su efecto en el SCOBY, determinando si su presencia actuaba como un inhibidor de la actividad de las levaduras y, por consiguiente, influía en la fermentación y producción de celulosa bacteriana.

2.3.2 Sustratos orgánicos usados en la producción de celulosa bacteriana

En el 2014, se realizó un estudio donde se determinó la producción de celulosa bacteriana a partir de *Gluconacetobacter medellinensis*, mediante residuos agroambientales, dónde se tuvo en cuenta el uso del banano y otras frutas. Luego de evaluar sustrato por sustrato y teniendo en cuenta el comportamiento metabólico del género *Gluconacetobacter*, quien primero debe hidrolizar la sacarosa en el periplasma de la célula para convertirla en fructosa y glucosa, se resaltó la eficacia del banano en la producción de celulosa bacteriana por la considerable cantidad de estos dos azúcares, comparados con otros sustratos los cuales sólo contenían sacarosa, haciendo el proceso un poco más complejo (6). Por ello el banano fue el candidato perfecto para ser el control positivo en el presente estudio. También se tuvo en cuenta para la producción eficiente de celulosa bacteriana, que los sustratos orgánicos como frutas y verduras deben presentar un alto contenido de azúcares simples (glucosa, fructosa o sacarosa), así como nutrientes esenciales como nitrógeno, potasio y vitaminas del complejo B. Además, es ideal que estos residuos sean fácilmente fermentables y tengan un pH ligeramente ácido o ajustable. Estas condiciones favorecen el crecimiento del consorcio bacteriano y la síntesis de celulosa de buena calidad en menor tiempo (6).

2.4 Impacto ambiental

2.4.1 Desperdicios anuales en Colombia

Se estima que un tercio de todos los alimentos producidos a nivel mundial se pierden o se desperdician, lo que se traduce en pérdidas económicas sustanciales que no solo afectan a los productores, sino también a los consumidores y a las naciones, y pone en riesgo la estabilidad de los medios de vida y la economía (39). Cada año, se generan alrededor de 2.010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales. De mantenerse el ritmo actual de crecimiento, esta cifra podría ascender a 3.400 millones de toneladas para el año 2050 (40). Entre los desechos más comunes se encuentran los restos de alimentos (frutas y verduras) que son los

productos más afectados por esta problemática. De las 10.434.327 toneladas disponibles al año, se pierden o desperdician 6.081.134 toneladas, lo que representa un 58 % del total. Dentro de este desperdicio, 1.699.910 toneladas provienen de los supermercados, tiendas de barrio, plazas de mercado y hogares, lo que equivale al 28 % de los productos dañados (41).

En Colombia, con una oferta nacional disponible de alimentos de 28,5 millones de toneladas, se pierden y se desperdician un total de 9,76 millones de toneladas, lo cual equivale al 34% del total. Esto significa que, por cada tres toneladas de comida, una termina en la basura (41). El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) reporta una producción anual de 24,8 millones de toneladas de residuos, de los cuales el 47 % proviene de los hogares (40). Donde las familias perciben el desperdicio únicamente como lo que no se consume en el plato, sin considerar otros factores como la caducidad de los productos antes de ser utilizados (42). Además, se estima que cada habitante genera, en promedio, 515 kilogramos de desechos al año. A pesar de estos volúmenes, la tasa de reciclaje en el país alcanzó apenas un 11,82 % en 2019 (40).

Datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios indican que en 2020 la disposición diaria de residuos sólidos en el país fue de 32.580 toneladas, lo que representó un aumento del 0,89 % con respecto a 2019. Ocho ciudades concentraron el 45,23 % de estos desechos: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Soacha y Soledad (43).

Otro de los factores que contribuyen a esta problemática, es la sobreproducción en el sector agropecuario, ya que no existen planes adecuados que equilibren la oferta y la demanda. Además, la falta de infraestructura vial y rutas de transporte en buen estado impide el traslado eficiente de los alimentos. En algunos casos, los agricultores prefieren descartar sus cosechas debido a los altos costos asociados con su recolección y distribución (42).

2.4.2 Consecuencias ambientales

El desperdicio de alimentos no solo representa un problema social y económico, sino que también tiene un fuerte impacto ambiental. Cada vez que un alimento se pierde, no solo se desaprovechan los recursos utilizados para producirlo, sino que también se generan consecuencias negativas para el planeta.

Cuando los desechos orgánicos terminan en los vertederos, contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, representando entre un 8 % y un 10 % del total generado por los sistemas agroalimentarios. Este proceso no solo acelera el cambio climático, sino que también compromete la sostenibilidad de los ecosistemas y la estabilidad

en la producción de alimentos (39).

Además, la producción agrícola demanda grandes cantidades de recursos: 34 % de la tierra y 70 % del agua dulce a nivel global. Por lo tanto, cada alimento desperdiciado implica también la pérdida de estos valiosos insumos. A medida que el cambio climático genera fenómenos extremos como lluvias torrenciales o sequías prolongadas, el riesgo para los cultivos aumenta, afectando la seguridad alimentaria y agravando la crisis del hambre (42). Si a esto se suman los elevados niveles de pérdida de biodiversidad, el desafío para garantizar un equilibrio sostenible se vuelve aún más crítico (42).

2.4.3 Desarrollo de alternativas sostenibles

Para mitigar el impacto ambiental del desperdicio de alimentos y la generación de residuos, es fundamental avanzar hacia modelos de producción y consumo más sostenibles. En este contexto, el aprovechamiento de los desechos y el reciclaje han tomado mayor relevancia en los últimos años, reflejando un cambio positivo en la manera en que se gestionan los residuos en el país.

Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, la cantidad de materiales reciclados en Colombia ha mostrado un crecimiento significativo. En 2018 se aprovecharon 974.039 toneladas, en 2019 la cifra aumentó a 1.407.785 toneladas, y en 2020 alcanzó 1.903.269 toneladas gracias al trabajo de 494 prestadores del servicio público de aseo. Este avance evidencia una mayor adopción del reciclaje en la fuente y la implementación de estrategias más eficientes para la reutilización de materiales (43).

En línea con estos esfuerzos, en 2019 se lanzó la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC), que busca dejar atrás el modelo tradicional de producción lineal y promover un enfoque circular. Esta iniciativa propone innovaciones como la valorización de residuos, el cierre de ciclos de materiales, la extensión de la vida útil de los productos y el uso de herramientas digitales para mejorar la gestión de residuos. Su objetivo es maximizar el valor agregado de los sistemas productivos y urbanos en términos económicos, ambientales y sociales, impulsando la transformación hacia prácticas más sostenibles (44).

La implementación de esta estrategia no solo responde a un compromiso ambiental, sino que también forma parte del Plan Nacional de Desarrollo “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, que plantea la necesidad de producir conservando y conservar produciendo. Este cambio de paradigma representa un desafío para la sociedad, ya que implica optimizar el uso

de los recursos teniendo en cuenta la capacidad de regeneración de los ecosistemas y fomentando un uso circular de los materiales, el agua y la energía (44).

Este enfoque innovador ha cambiado la manera en que se conciben los residuos; hoy no se habla de basura, sino de recursos potenciales que pueden convertirse en insumos para nuevos productos. El reciclaje no solo reduce la presión sobre los ecosistemas, sino que también genera oportunidades económicas, permitiendo dar una segunda vida a materiales como el plástico, el cartón y los residuos orgánicos, que pueden transformarse en fertilizantes para suelos degradados (43).

Estos avances han sido respaldados por diversas políticas nacionales, como el Conpes 3874 de 2016, que establece la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. La consolidación de un modelo de economía circular en Colombia representa un paso clave hacia una gestión más eficiente y responsable de los recursos, garantizando una mayor sostenibilidad para las futuras generaciones (43).

2.4.4 Modelos económicos

A lo largo de la historia, los sistemas económicos han evolucionado en función de las necesidades de producción y consumo de la sociedad. Durante mucho tiempo, el modelo predominante ha sido el de economía lineal, caracterizado por un enfoque de extracción, producción, consumo y descarte, en el que los recursos naturales son explotados sin una gestión eficiente de su ciclo de vida. Sin embargo, el impacto ambiental y la creciente escasez de materias primas han impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles. En este contexto, la economía circular surge como una propuesta innovadora que replantea la forma en que se diseñan, fabrican y utilizan los bienes, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la regeneración de materiales. Este cambio de paradigma no solo busca minimizar la generación de desechos, sino también optimizar el aprovechamiento de los recursos, generando beneficios tanto ambientales como económicos (1). Este enfoque (economía circular) se centra en la reutilización de recursos naturales. Además, al ser biodegradables, estos sustratos generan menos residuos contaminantes durante el proceso de producción. Permite generar valor a partir de materiales que usualmente se desechan, representando una oportunidad económica para agricultores y productores de la industria alimentaria. Promoviendo así un ciclo de vida más sostenible para los productos, donde los desechos se transforman en insumos para nuevos procesos productivos (1)

Figura 4. Economía lineal versus economía circular.



Nota: Figura tomada de (1)

En la **figura 4** se compara la lógica de la economía lineal con la de la economía circular, resumiéndola en cuatro etapas clave. La primera etapa incluye los recursos naturales y el entorno que proporciona las materias primas para los procesos productivos. Estos recursos se transforman en bienes y servicios que luego pasan a la fase de consumo, donde se usan un tiempo antes de descartarlos. En cada etapa se generan residuos que se eliminan, incineran, depositan en el suelo o envían a rellenos sanitarios (1).

2.2.1 Beneficios o impacto del uso de sustratos orgánicos como la guanaba y la cebolla cabeza

Tradicionalmente, la celulosa bacteriana se produce a partir de medios de cultivo costosos, que contienen como fuente de carbono glucosa y otras fuentes de nutrientes, resultando en elevados costos de producción, lo que limita la utilización de este material. Por tanto, el empleo de fuentes de carbono económicas y micronutrientes es una estrategia interesante para superar esta limitación, aumentando la competitividad de este material (6). En este contexto, se han explorado alternativas más sostenibles como el uso de residuos agrícolas, entre ellos la guanábana y la cebolla cabeza, debido a su alto contenido de glucosa, lo que las convierte en sustratos adecuados para sustituir fuentes comerciales en la producción de celulosa bacteriana.

El uso de sustratos orgánicos como la guanábana y la cebolla cabeza para la producción de celulosa tiene varios beneficios e impactos positivos. Estos materiales, que son desechos como residuos agroindustriales, se convierten en recursos valiosos para la producción de celulosa, reduciendo la acumulación de desechos y promoviendo la reutilización. Los

residuos orgánicos como la guanábana y la cebolla cabezona contienen micro y macronutrientes que son procesados eficientemente para obtener celulosa, manteniendo una mejor calidad.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Universo, población y muestra

Este estudio experimental exploró la producción de celulosa bacteriana a partir de desechos agrícolas de guanábana y cebolla cabezona, pertenecientes al universo de restos orgánicos domésticos.

La población abarcó la totalidad de cáscaras y pulpa de estas frutas y verduras generadas en una semana en un entorno doméstico, desechadas por madurez avanzada o descomposición. De esta población, se seleccionó una muestra representativa de 40 gramos de cada tipo de desecho (guanábana “cáscara y pulpa” y cebolla cabezona “cáscara y pulpa”), utilizados como parte del sustrato en dos medios de cultivo: vinagre de manzana casero (pH 4.0) y vinagre casero (pH 4.0) suplementado con SCOBY comercial.

3.1. Hipótesis, variables e indicadores

La hipótesis central de esta investigación plantea que en ausencia de SCOBY el vinagre de manzana casero, combinado con el uso de guanábana (cáscara y pulpa) y cebolla cabezona (cáscara y pulpa) como parte del sustrato, puede producir celulosa bacteriana. Con el fin de comprobar la hipótesis, se diseñó un experimento controlado, donde se manipularon las variables independientes (presencia de SCOBY y tipo de sustrato) para observar su efecto sobre la variable dependiente: la cantidad de celulosa bacteriana producida. Para evaluar los resultados, se establecieron indicadores cuantitativos, siendo el principal la masa de celulosa bacteriana producida, medida en miligramos, después de un período de fermentación controlado (temperatura: 25-30°C, pH: 4, aireación: aerobiosis). Adicionalmente, se considerarán indicadores secundarios como el grosor (medido en milímetros) y la textura de la celulosa obtenida, para caracterizar cualitativamente el producto final. Estos indicadores permitirán determinar con claridad el efecto del vinagre de manzana casero, sin SCOBY, y los sustratos vegetales sobre la cantidad de celulosa bacteriana producida.

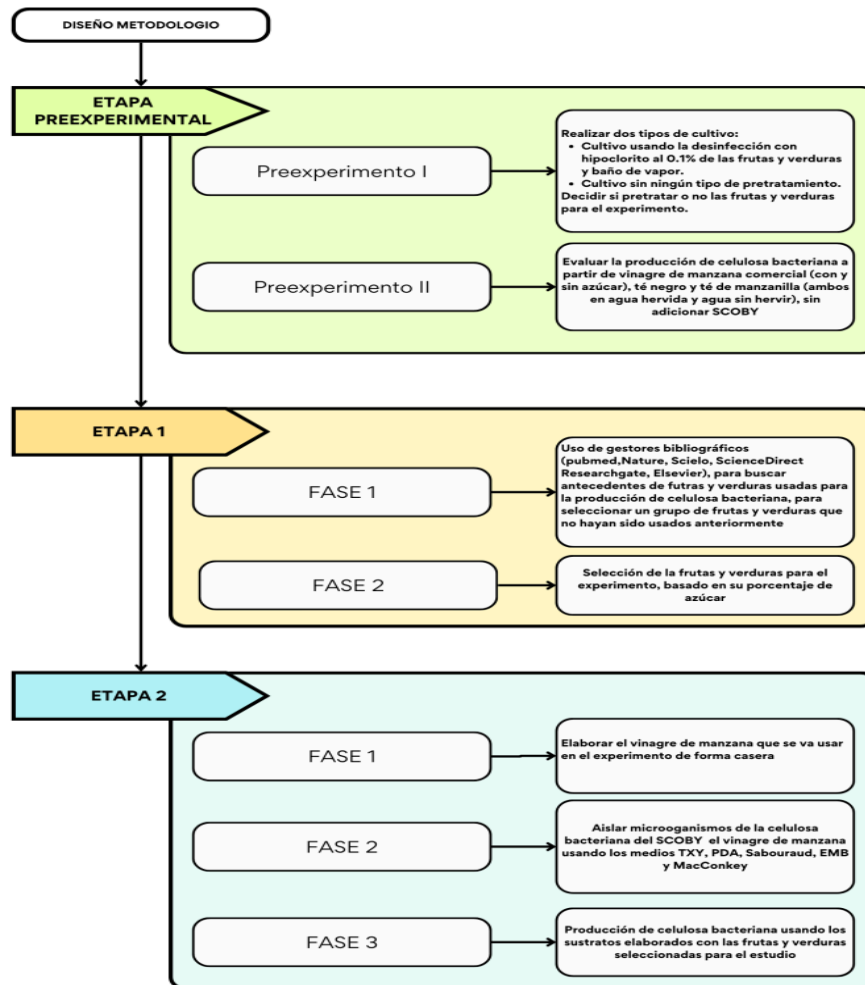
Tabla de variables.

Tipo de variable	Variable	Descripción	Unidades de medida/ Categoría
Variables Independientes	presencia de SCOBY	Factor que se manipula para observar su efecto. Se evalúa si la ausencia de SCOBY influye en la producción de celulosa bacteriana	Presencia/ Ausencia
	Tipo de sustrato	La composición del medio de cultivo utilizado para la fermentación	Guanabana, cebolla, vinagre de manzana y SCOBY.
Variable dependiente	Cantidad de celulosa bacteriana producida	Resultado principal medido para determinar el efecto de las variables independientes	Milímetros (mm)
Variables controladas	Temperatura de fermentación	Rango de temperatura constante	25-30°C
	Ph del medio	Nivel de acidez constante	4.0
	Aireación	Condición de oxígeno en ambiente de producción	Aerobiosis
Indicador secundario	Textura de celulosa bacteriana	Características cualitativas de la celulosa producida	cualitativo (descriptivo)

3.2. Técnicas y procedimientos

El proyecto experimental se estructuró en tres etapas distintas, representadas en la **figura 5**, donde se evidencia la etapa preexperimental, seguida por la Etapa I y la Etapa II. Cada una de estas etapas se diseñó con propósitos específicos, todos ellos contribuyendo al objetivo general del experimento.

Figura 5. Diseño metodológico



La ejecución de cada etapa se llevó a cabo empleando técnicas adaptadas a las necesidades particulares de cada sección, las cuales se detallarán a continuación:

3.2.1. Etapa preexperimental

Cumple con el objetivo de identificar la necesidad de realizar un pretratamiento en frutas y verduras de descarte para eliminar la flora acompañante, como paso preparatorio para la producción de celulosa bacteriana. Además, cumple el objetivo de seleccionar el líquido base óptimo (vinagre de manzana, té negro o té verde) para el medio de cultivo, que permita la producción de celulosa bacteriana sin la suplementación de SCOBY. Las técnicas y procedimientos detallados en el anexo 1 y 2.

3.2.2. Selección del sustrato (Etapa I)

Fase 1. Preselección de grupo de frutas y verduras

Cumple con el objetivo de clasificar los desechos orgánicos, entre aquellos documentados como sustratos en la producción de celulosa bacteriana, diferenciando aquellos sin antecedentes de uso en este contexto. Se usaron técnicas como el uso de herramientas tecnológicas para la búsqueda bibliográfica mediante palabras clave.

Para el procedimiento se emplearon bases de datos científicas y académicas en línea (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar), utilizando una selección de palabras clave, considerando términos específicos (celulosa bacteriana, desechos agroindustriales, SCOBY) y generales relacionados con la producción de celulosa bacteriana y los desechos orgánicos (celulosa, producción, frutas, verduras, bacterias, Kombucha).

De forma que se logra descartar frutas y verduras con antecedentes de uso en la producción de celulosa bacteriana y generar una lista de frutas y verduras sin antecedentes en este contexto.

Fase 2. Selección de la fruta y verdura para el estudio.

Cumple con el objetivo de comparar el contenido de micronutrientes de diferentes frutas y verduras, con el fin de seleccionar los sustratos experimentales adecuados para la producción de celulosa bacteriana. Se usaron técnicas como la revisión bibliográfica, análisis comparativo y selección basada en datos.

Para el procedimiento se realizó una búsqueda bibliográfica para recopilar información respecto a los micronutrientes que contiene cada una de las frutas y verduras de la lista elaborada anteriormente, para la selección de la fruta y verdura y los controles que se usaron en el experimento se tuvo en cuenta la investigación de Valencia (6), en donde se resalta la importancia de las altas cantidades de azúcares para la producción de celulosa bacteriana, y se eligió como controles una fruta y una verdura con antecedentes satisfactorios en la producción de celulosa bacteriana, y como parte del sustrato experimental se eligió la fruta y verdura con mayor porcentaje de azúcares.

3.2.3. Prueba experimental y análisis de resultados (Etapa II)

Fase 1. Producción de vinagre:

Cumple con el objetivo de elaborar vinagre de manzana para su uso en la producción de celulosa bacteriana, usando técnicas de experimentación.

Para el procedimiento se tuvo cuenta los resultados de la etapa preexperimental II evidenciado en el Anexo II, se eligió el vinagre como medio base para el sustrato de producción, debido a que el vinagre de manzana casero es una base de cultivo idóneo para la

producción de celulosa bacteriana sin necesidad de ser suplementado con SCOBY. Esta característica simplifica el proceso, eliminando la necesidad de mantener un SCOBY viable y permitiendo la producción de celulosa a partir de vinagre casero, cuya elaboración se detalla en la **tabla 5**. Para confirmar su viabilidad, se midió el pH del vinagre tras 14 días de fermentación y se evaluó la producción de celulosa bacteriana sin SCOBY siguiendo el procedimiento realizado en la etapa preexperimental evidenciado en el Anexo II.

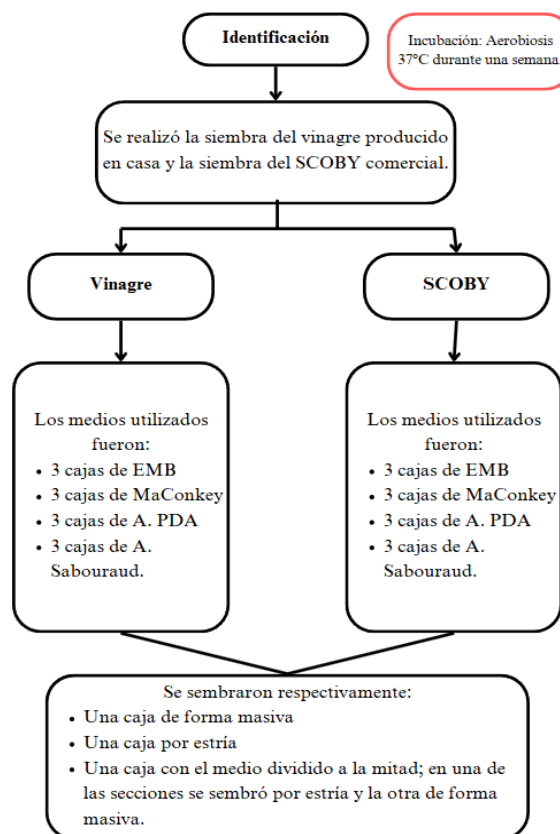
Tabla 5. Producción de vinagre de manzana casero

<p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none">-Cinco manzanas rojas maduras-Vinagre de manzana comercial-Agua
<p>Procedimiento:</p> <p>Se maceran en un mortero de madera las manzanas, hasta obtener una consistencia de puré. Se agregó un volumen de agua equivalente a la mitad del volumen del macerado, con el fin de humedecer el remanente.</p> <p>En un recipiente se agregó el resultado del paso 2, junto con 10 ml de vinagre de manzana comercial.</p> <p>Se homogeneizó y se incubó a temperatura ambiente, protegido de la luz por 14 días</p>

Fase 2. Aislamiento de microorganismos de la celulosa bacteriana en el SCOBY y el vinagre de manzana casero:

Cumple con el objetivo de comparar los aislamientos de microorganismos obtenidos en cultivos de SCOBY y vinagre de manzana casero, con el fin de evaluar la calidad microbiológica del vinagre producido, usando técnicas como el uso de medios selectivos, lectura al microscopio y análisis comparativo.

Figura 6. Resumen de la inoculación e incubación de los medios de aislamiento.



Para el procedimiento se tuvo en cuenta la variedad microbiológica del SCOBY y se realizó el aislamiento de bacterias y levaduras, para evaluar la presencia de estos microorganismos en el vinagre de manzana casero en comparación con el SCOBY. Las muestras utilizadas para el cultivo se describen a continuación: para la muestra de SCOBY se compró un Kit de Kombucha, de Luzacal Lote: 9974, el cual incluye el SCOBY como cultivo iniciador, de este SCOBY se extrajeron 3 viales de 1.5ml; para la muestra de vinagre de manzana casero, se extrajeron 3 viales de 1.5ml del vinagre previamente elaborado y filtrado.

Ambas muestras se sembraron en medio MacConkey, EMB, Sabouraud, PDA, como se indica la **figura 6**, la incubación se realizó en aerobiosis a 37 °C por una semana.

Fase 3. Producción de la celulosa bacteriana utilizando los sustratos seleccionados

Cumple con el objetivo de evaluar la producción de celulosa bacteriana usando residuos de cascara y pulpa de la guanábana y la objetivo cebolla cabezona usando técnicas como la elaboración de medios de cultivo, realización de un experimento controlado y medición cuantitativa.

Para el procedimiento se elaboró los medios de cultivos necesarios para la producción de celulosa bacteriana, como se indica en la **figura 7** y la **tabla 6**, incluyendo control negativo, controles positivos, y los sustratos experimentales: El primer cultivo es un control negativo (vinagre blanco sin adición de ningún sustrato). Del segundo al quinto cultivo fueron controles positivos, dos con vinagre casero (uno con banano y el otro con zanahoria) y dos con vinagre de manzana casero suplementado con SCOBY (uno con banano y otro con zanahoria). Estos controles fueron seleccionados respectivamente por la eficiencia en estudios previos como lo hizo Arteaga Valencia en el 2014 (6) y ensayos propios previos al trabajo experimental.

Tabla 6. Contenido de los cultivos para producir celulosa bacteriana

	Tipo de medio base	Fruta o Verdura	
		Tipo	Madures
Cultivo 1 (Control - VB)	Vinagre blanco	Ninguno	N/A
Cultivo 2 (Control + BVMS)	Vinagre de manzana suplementado	Banano	Firmeza: Blando, se hunde fácilmente al presionar.
Cultivo 3 (Control + BVMNS)	Vinagre de manzana no suplementado	Banano	Aroma: Dulce y fuerte, muy fragante. Color de la pulpa: Amarillo claro a cremoso, uniforme Color de la cáscara: Amarillo brillante con pequeñas manchas marrones (pecas)
Cultivo 4 (Control + ZVMS)	Vinagre de manzana suplementado	Zanahoria	Firmeza: Flexible o gomosa Textura: Arrugada
Cultivo 5 (Control + ZVMNS)	Vinagre de manzana no suplementado	Zanahoria	Color de la pulpa: Naranja oscuro con algunas manchas oscuras
Cultivo 6 (GVMS)	Vinagre de manzana suplementado	Guanábana	Firmeza: Blanda al tacto en la mayoría de la superficie, las espinas se desprenden fácilmente Aroma: Aroma fuerte, dulce y muy fragante
Cultivo 7 (GVMNS)	Vinagre de manzana no suplementado	Guanábana	Color de la pulpa: Blanco cremoso, con hebras negras o amarillentas. Color de la cáscara: Verde amarillento o verde claro, con algunas zonas más oscuras.
Cultivo 8 (CVMS)	Vinagre de manzana suplementado	Cebolla	Color de la pulpa: Blanco cremoso con tintes amarillentos en el centro.
Cultivo 9 (CVMNS)	Vinagre de manzana no suplementado	Cebolla	Firmeza de la pulpa: Blanda al tacto en la mayoría de la superficie Cáscara: Seca, crujiente y sin manchas

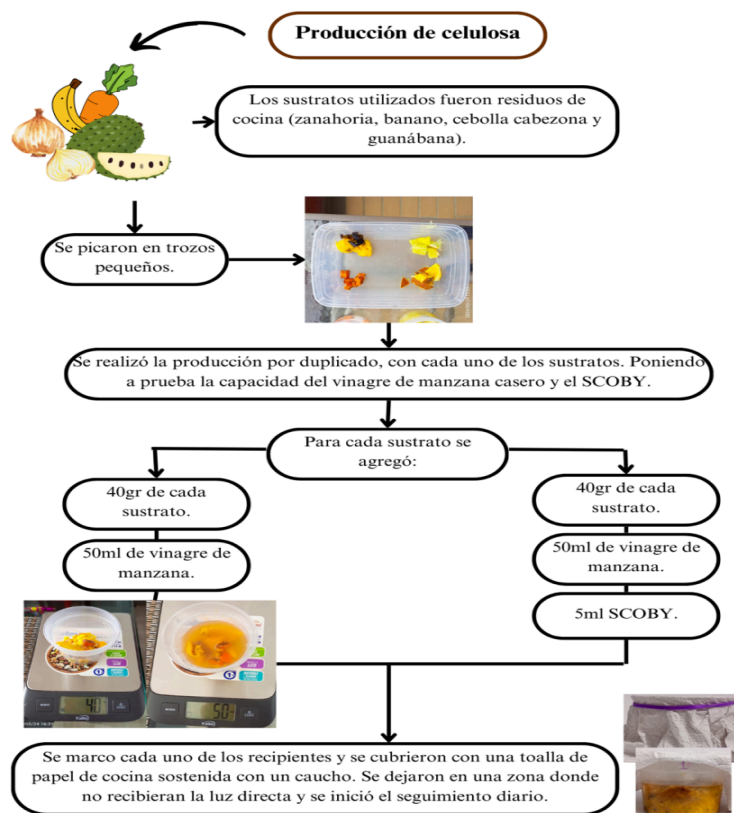
Nota. De las frutas y verduras se utilizaron desechos de cáscara y pulpa de cada una.

Del sexto al noveno cultivo son sustratos experimentales, dos con vinagre casero (uno con guanábana “cáscara y pulpa”, y otro con cebolla cabezona “cáscara y pulpa”) y dos con vinagre de manzana casero suplementado con SCOBY (uno con guanábana “cáscara y

pulpa”, y otro con cebolla cabezona “cáscara y pulpa”).

Los cultivos fueron nombrados y marcados, como se observa en la **tabla 6**, de forma que la primera letra hace referencia al sustrato utilizado (C: Cebolla, B: banano, Z: Zanahoria, G: Guanábana), las siguientes iniciales al tipo de vinagre utilizado (VB: Vinagre blanco, VM: Vinagre de manzana) y la última letra (S: SCOBY) indica si es suplementado con SCOBY o no.

Figura 7. Elaboración de medios de cultivo para la producción de celulosa bacteriana.



La fermentación se llevó a cabo a temperatura ambiente (25-30°C), en aerobiosis y protegido de la luz (almacenado en una alacena cerrada, cubierto con una servilleta), a un pH de 4.0, en un entorno doméstico (apartamento de uno de los investigadores). Se realizó un monitoreo diario de la temperatura, registrando las variaciones que oscilaron entre 25 y 30 °C durante las 8 semanas que duró el experimento, Evidenciado en el **anexo 5**. Estas condiciones buscan simular condiciones accesibles para la producción. Para evaluar la producción de celulosa bacteriana se realizó la medición de su grosor en milímetros de la celulosa bacteriana

producida semana a semana, usando una regla.

4. RESULTADOS

4.1. Selección del sustrato (Etapa I)

Fase 1. Preselección de grupo de frutas y verduras.

Posterior a la revisión de cada uno de estos artículos revisados se generó la lista presente en la **tabla 7**.

Tabla 7. Frutas y verduras preseleccionadas como sustratos experimentales

Frutas	Verduras
Guanábana	Cebolla cabezona
Borujo	Espinaca
Banano (control +)	Zanahoria (control +)

Respecto a la importancia de los elementos se elaboró una evaluación social evidenciada en el anexo 4.

Fase 2. Selección de la fruta y verdura para el estudio

La información de los micronutrientes y porcentaje de azúcar de la pulpa de cada elemento de la lista se observa en la **tabla 8** y **tabla 9**.

Tabla 8. Contenido en micronutrientes de la pulpa de los sustratos de forma individual, según sus características químicas.

Micronutrientes (mg/L)	Banano	Manzana	Guanábana	Borojó	Zanahoria	Cebolla	Espinaca
Fósforos total	67.09	11	27	27	40	29	49
Calcio	17.065	6	14	51	30	25	99
Magnesio	27.854	5	21	21	12.4	10	79
Potasio	582.951	107	278	300	280	146	558
Sodio	3.379	1	14	23	87	3	79
Zinc	0.695	0.04	0.1	0.7	0.24	0.17	0.53
Proteínas	1.04 g	0.26 g	1g	2.6g	0.94g	1.3%	2.9g
pH	4.3 - 5.0	3.53	3.1 - 5.1	2.73	5.71	5 - 5.8	5.5 - 6.8

Nota: Tabla sintetizada de (45–50)

Tabla 9. Contenido de la pulpa en azúcar en porcentaje de algunas frutas y vegetales

Frutas	Contenido de azúcar (%)	Verduras	Contenido de azúcar (%)
Banano (control +)	12,82	Zanahoria (control +)	4,74
Manzana	10,31	Cebolla	4,24
Guanábana	13.5	Espinaca	3.6
Borojón	10		

Nota: Tabla sintetizada de (1)

Respecto al porcentaje de azúcar las frutas debido a su gran porcentaje en comparación con las verduras, dentro de las frutas, el banano que es uno de los controles contiene uno de los porcentajes más altos de azúcar (12,82 %) y la guanaba es la que mayor porcentaje de azúcar tiene (13.5 %), dentro de las verduras, la zanahoria que es uno de los controles contiene el porcentaje más alto de glucosa (4,74%) seguida por la cebolla cabezona (4,24%). Por lo que siguiendo la investigación de Valencia (6), se seleccionó a la guanábana y a la cebolla cabezona para la elaboración del sustrato, para producir celulosa bacteriana bajo el porcentaje de azúcar contenido en estos sustratos.

4.2. Prueba experimental y análisis de resultados (Etapa II)

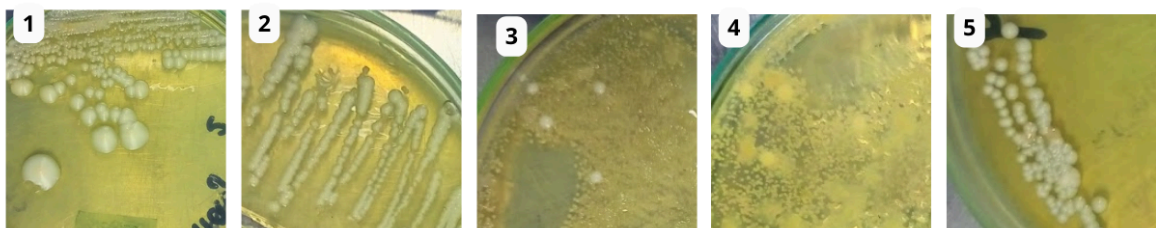
Fase 1. Producción de vinagre

Tras 14 días de fermentación, el medio alcanzó un pH de 4.0, y se observó la generación de celulosa bacteriana después de 21 días. Estos resultados confirman que el vinagre elaborado presenta una acidez adecuada y además, proporciona un medio favorable para la producción de celulosa bacteriana.

Fase 2. Aislamiento de microorganismos de la celulosa bacteriana en el SCOBY y el vinagre de manzana casero.

Tras una semana de incubación, se clasificaron las colonias y se designaron con un número seguido de una letra (S para SCOBY y V para vinagre), y las tres primeras letras del nombre del medio en el que se obtuvo la colonia. En total, se identificaron cinco colonias, como se muestra en la **figura 8** y se detalla en la **tabla 10**.

Figura 8. Colonias aisladas en medio PDA y Sabouraud



(1,2) VINAGRE EN MEDIO SABOURAUD
 (3) SCOBY EN MEDIO SABOURAUD
 (4) VINAGRE EN MEDIO PDA
 (5) SOBY EN MEDIO SABOURAUD

Se observó un crecimiento no significativo en los medios para mesófilos, y cinco colonias en los medios para levaduras, donde por medio de la verificación microscópica con tinción de Gram, se observó prevalencia de levaduras, evidenciado en el Anexo 3.

De las seis colonias aisladas, tres provenían del cultivo de SCOBY y las otras tres del cultivo de vinagre de manzana casero.

Tabla 10. Características fenotípicas de las colonias aisladas

COLONIA	TAMAÑO	FORMA	BORDE	CONSISTENCIA	ELEVACIÓN	COLOR	SUPERFICIE
1V.SAB	Grande	Redonda	Lisa	Creмоса	Convexa	Blanca	Lisa
2V.SAB	Mediana	Irregular	Filamentoso	Creмоса	Convexa	Beige	Lisa
3S.SAB	Pequeña	Redonda	Liso	Creмоса	Convexa	Beige	Lisa
4V.PDA	Pequeña	Irregular	Filamentoso	Creмоса	Plana	Beige	Rugosa
5S.SAB	Mediana	Redonda	Lobulado	Creмоса	Convexa	Beige	Lisa

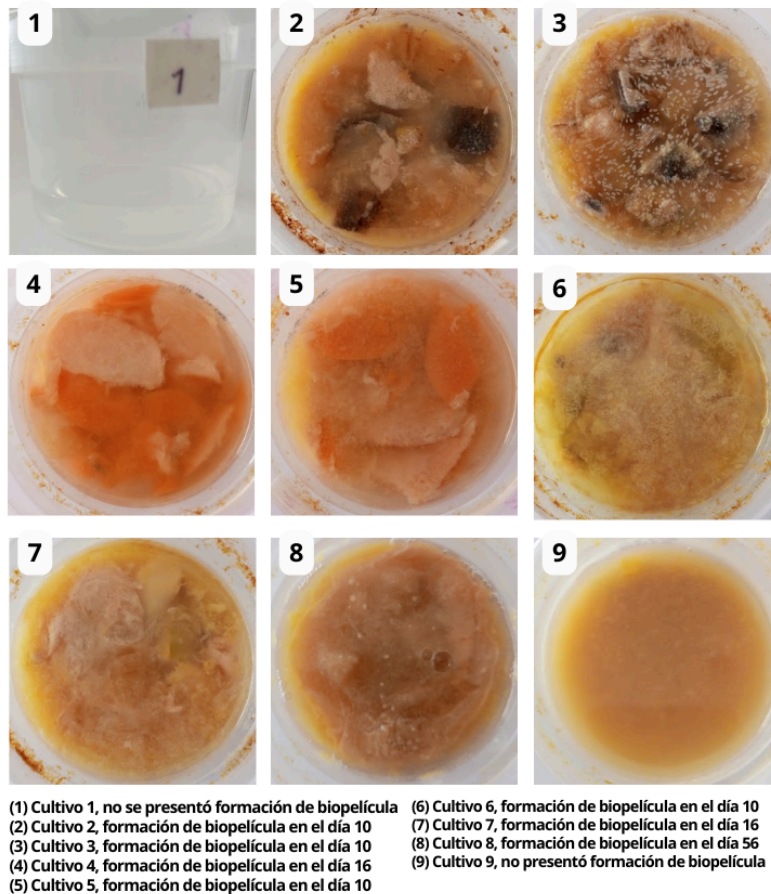
El crecimiento se produjo en medios selectivos para levaduras. Las diferencias físicas entre las colonias de SCOBY y las de vinagre no fueron significativas. Asimismo, el análisis microscópico, evidenciado en el Anexo 3, reveló similitudes, lo que sugiere que la calidad microbiológica del vinagre casero es similar a la del SCOBY.

Fase 3. Producción de la celulosa bacteriana utilizando los sustratos seleccionados

Durante la segunda semana de producción, se comenzó a observar la formación de la biopelícula en algunos de los controles y muestras, como se muestra en la **figura 9**. Sin embargo, no fue hasta la tercera semana que la biopelícula alcanzó un milímetro (1 mm) de

altura, lo que permitió su medición. A partir de ese momento, se midió el crecimiento de la celulosa semanalmente hasta completar la octava semana como se evidencia en la **figura 10**.

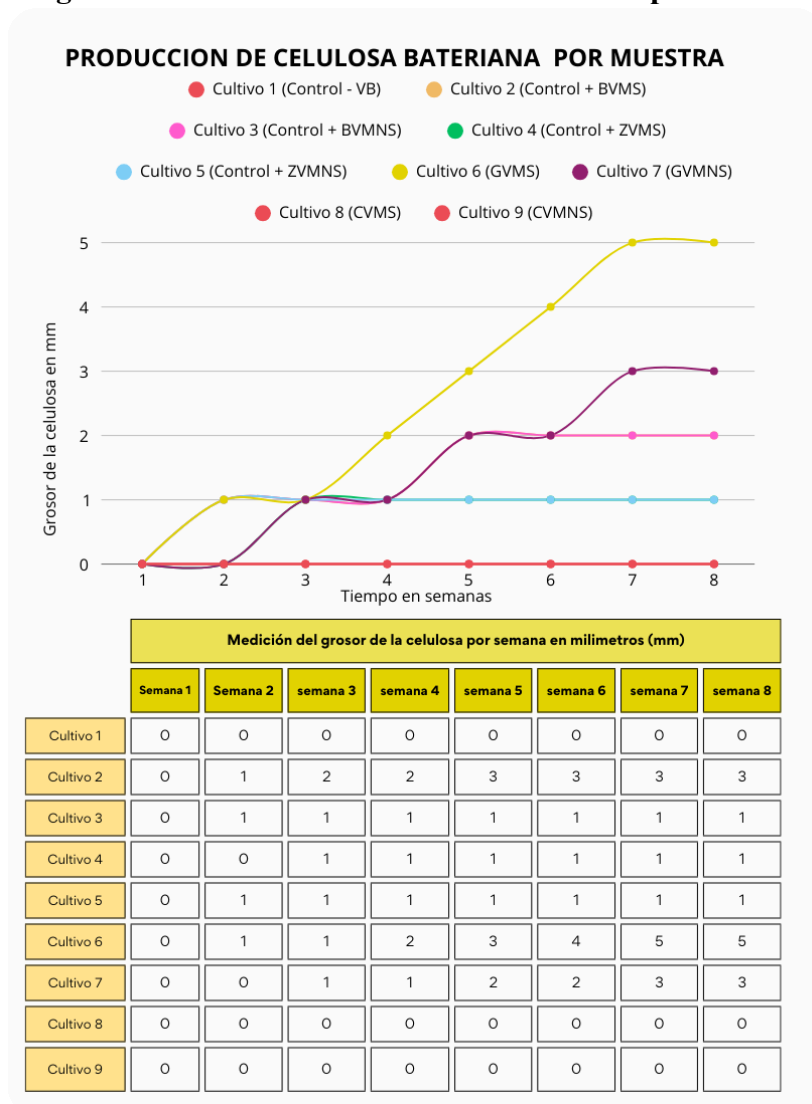
Figura 9. Primera capa de celulosa bacteriana obtenida por cultivo



Como se evidencia en la **figura 10**, se obtuvo celulosa bacteriana en la mayoría de cultivos, con la notable excepción de los cultivos Cultivo 1 (Control - VB) y 9 (CVMNS).

El SCOBY como suplemento dentro de los controles, el cultivo 2 (Control + BVMS), que combinaba banano y vinagre de manzana casero suplementado con SCOBY, se destacó por generar la celulosa bacteriana de mayor grosor. En contraste, el cultivo 3 (Control + BVMNS), con la misma combinación, pero sin suplementación de SCOBY, produjo sólo 1 milímetro de celulosa. Los cultivos 4 y 6, que utilizaban zanahoria, presentaron una producción de 1 milímetro, sin diferencias significativas entre la suplementación con SCOBY o no.

Figura 10. Producción de celulosa bacteriana por cultivo



EL SCOBY como suplemento, en cuanto a la guanábana, el cultivo 6 (GVMS), suplementado con SCOBY, resultó en 5 milímetros de celulosa, mientras que el cultivo 7 (GVMNS), sin suplementación, produjo 3 milímetros, lo que indica un efecto positivo del SCOBY. Los cultivos 8 y 9, con cebolla cabezona, no mostraron producción de celulosa durante las 8 semanas, aunque el cultivo 8 (CVMS) presentó una película fina de celulosa, menor a un milímetro de grosor.

La guanábana como fruta experimental suplementada, en el cultivo 6 (GVMS) en comparación con su control, cultivo 2 (Control + BVMS), se puede evidenciar inicialmente que ambos cultivos presentan producción de celulosa bacteriana a partir de la segunda semana, alcanzando el máximo de producción en la semana 5 con 3mm de grosor en el cultivo 2 (Control + BVMS) y en la semana 7 con 5mm de grosor en el cultivo 6 (GVMS).

La guanábana como fruta experimental con el cultivo 7 (GVMNS) en comparación con su control, cultivo 3 (Control + BVMNS), se puede evidenciar inicialmente que el control positivo presenta producción de celulosa bacteriana en la semana 2, una semana antes en comparación con el cultivo 7 (GVMNS), alcanzando el máximo de producción en la semana 1 con 1mm de grosor en el cultivo 3 (Control + BVMNS) y en la semana 7 con 3mm de grosor en el cultivo 7 (GVMNS).

La cebolla como fruta experimental suplementada, en el cultivo 8 (CVMS) en comparación con su control, Cultivo 4 (Control + ZVMS), se puede evidenciar inicialmente que el control positivo presenta producción de celulosa bacteriana en la semana 3, alcanzando el máximo de producción en la semana 3 con 1mm de grosor, en comparación con el cultivo 8 (CVMS), que forma una biopelícula de menos de 1mm de grosor en el día 56.

La cebolla como fruta experimental, en el cultivo 9 (CVMNS) en comparación con su control, cultivo 5 (Control + ZVMNS), se puede evidenciar inicialmente que el control positivo presenta producción de celulosa bacteriana en la semana 2, alcanzando el máximo de producción en la semana 1 con 1mm de grosor, en comparación con el cultivo 9 (CVMNS), que no produce ninguna biopelícula durante las 8 semanas del experimento.

La celulosa obtenida presenta distintas características físicas, como su textura y color, según el sustrato utilizado como se observa en la **figura 11** y la **tabla 11**. En el control con banano, la celulosa fue rígida en el medio sin SCOBY, mientras que en el medio con SCOBY resultó más elástica. En el caso del control con zanahoria, la celulosa obtenida en el medio sin SCOBY fue más gelatinosa, mientras que en el medio con SCOBY se generó una celulosa seca y resistente.

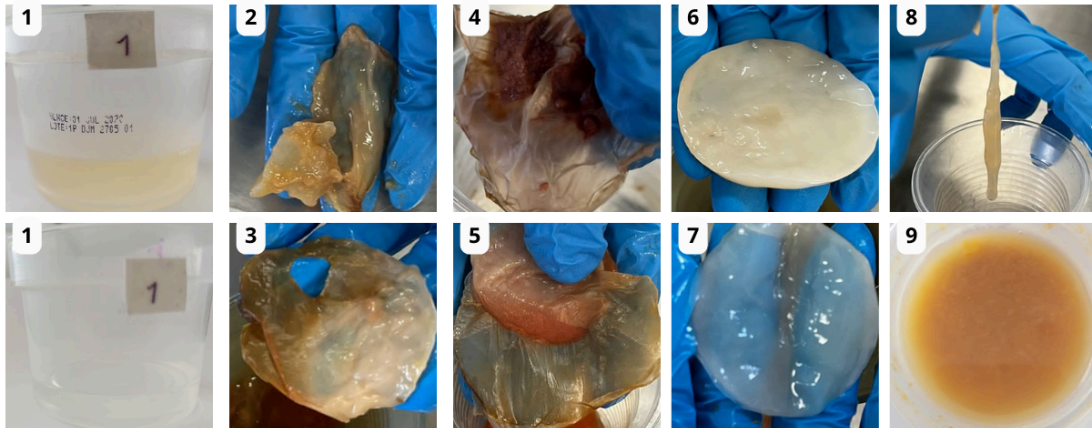
Tabla 11. Características físicas de la celulosa bacteriana producida

	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	Cultivo 4	Cultivo 5	Cultivo 6	Cultivo 7	Cultivo 8	Cultivo 9
Color	N/A	Naranja	Naranja	Rojizo	Rojizo	Blanco	Blanco	Naranja	N/A
Textura	N/A	Gelatinosa	Gelatinosa	Fibrosa	Fibrosa	Gelatinosa	Gelatinosa	Gelatinosa	N/A
Rigidez	N/A	Flexible *	Flexible *	Rígida **	Rígida **	Flexible *	Flexible *	Flexible *	N/A

Nota. *Se dobla con mínima resistencia y puede adoptar diversas formas sin romperse.

****Cede un poco a la presión, pero recupera su forma rápidamente.**

Figura 11. Celulosa bacteriana producida por cultivo



((1) Control 1, "Negativo"; (2) Control 2, "Positivo Fruta"; (3) Control 3, "Positivo Fruta"; (4) Control 4, "Positivo Verdura"; (5) Control 5, "Positivo Verdura"; (6) Muestra 1, "Guanábana + Vinagre + SCOBY"; (7) Muestra 2, "Guanábana + Vinagre"; (8) Muestra 3, "Cebolla + Vinagre + SCOBY"; (9) Muestra 4, "Guanábana + Vinagre"

Por otro lado, la muestra con guanábana produjo una celulosa blanca, sin la pigmentación anaranjada observada en los demás medios. La celulosa obtenida en el medio con SCOBY fue más gruesa y menos transparente que la del medio sin SCOBY; Sin embargo, en ambos casos se caracterizó por ser gelatinosa, húmeda y flexible. Finalmente, en el medio con cebolla, solo se obtuvo celulosa en presencia de SCOBY, formando una capa gelatinosa y resistente.

5. DISCUSIÓN

Uno de los resultados más relevantes del presente estudio fue la producción de celulosa en ambos medios evaluados: tanto en el vinagre de manzana sin SCOBY como en el medio con SCOBY. Aunque se observó generación de celulosa en ausencia de SCOBY, los rendimientos más altos y la mejor calidad del biopolímero se lograron en presencia de SCOBY. Este hallazgo se alinea con lo reportado por diversos autores, quienes destacan el papel fundamental del consorcio microbiano presente en el SCOBY(51). En contraste, la producción observada en el vinagre de manzana sin SCOBY puede atribuirse a la presencia residual de bacterias ácido-acéticas que sobreviven en el ambiente ácido del vinagre, aunque en menor cantidad y diversidad que en el SCOBY. La literatura indica que, si bien el vinagre puede contener microorganismos activos, estos no presentan la misma eficiencia en la formación de celulosa como el consorcio simbiótico del SCOBY (51), Estos resultados obtenidos subrayan la importancia de la sinergia entre levaduras y bacterias ácido acéticas como un factor determinante en la producción ya que la capacidad de las levaduras para

generar etanol, es a su vez es el sustrato clave para las bacterias ácido acéticas productoras de celulosa, estableciendo un ciclo metabólico altamente eficiente (34).

En este estudio, el vinagre de manzana se presenta como una alternativa viable debido a su accesibilidad y facilidad de producción. además, como se evidenció en este estudio, el uso de diferentes frutas o verduras afecta las cualidades físicas de la celulosa bacteriana, esto puede deberse a las diferentes composiciones químicas y contenidos de micronutrientes de cada uno de ellos, por lo que la elección del medio de cultivo es un factor crítico, ya que influye directamente en las propiedades y características de la celulosa bacteriana producida, por lo que si bien el medio HS es adecuado para la producción de celulosa bacteriana, Gonzales (51) teniendo en cuenta este estudio se resalta la flexibilidad en la elección del medio, ya que se pueden emplear otros compuestos que favorezcan el crecimiento bacteriano. Asimismo, Gonzales (51) menciona la capacidad activa del SCOBY y su medio de cultivo para inhibir la intrusión de microorganismos externos, fenómeno que fue comprobado en el presente estudio. En los aislamientos realizados, se evidenció la ausencia de contaminación, lo que sugiere que las características fisicoquímicas del medio, como su acidez, desempeñan un papel crucial en la protección contra agentes externos (51). Además, se confirma la importancia de las levaduras en la producción de celulosa bacteriana (34–36) al generar etanol esencial para las bacterias ácido-lácticas(33,37,38), sin embargo, su acción no es directa en la síntesis de celulosa.

La guanábana demostró ser un sustrato prometedor para la producción de celulosa bacteriana, tanto en su forma suplementada como no suplementada. En el caso de la guanábana suplementada, el cultivo suplementado alcanzó un grosor máximo de 5 mm en la semana 7, superando significativamente los 3 mm en la semana 5 del control, este hallazgo sugiere que la suplementación en el cultivo de guanábana favorece una mayor producción de celulosa, lo que podría ser de interés para aplicaciones industriales que requieren un mayor rendimiento del biopolímero, la producción tardía del máximo grosor en el cultivo suplementado podría indicar un uso más eficiente de los nutrientes a lo largo del tiempo. Por otro lado, la guanábana no suplementada, inició la producción en la semana 3 y alcanzó un grosor máximo de 3 mm en la semana 7. A pesar de un inicio más lento, la guanábana sin suplementar logró una mayor producción final que su control, lo que resalta su potencial como fuente de carbono para la síntesis de celulosa, incluso sin aditivos adicionales, se resalta que el banano el cual en la investigación realizada por Valencia (6) se muestra como el

mejor sustrato para la producción de celulosa bacteriana, en este caso bajo las condiciones de este estudio, se muestra como un sustrato más adecuado para la producción de celulosa bacteriana. A diferencia de la guanábana, la cebolla presentó resultados menos favorables en la producción de celulosa bacteriana, en el caso de la cebolla suplementada, el cultivo de cebolla suplementada solo logró formar una biopelícula de menos de 1 mm de grosor en el día 56 (semana 8), esta marcada diferencia sugiere que la cebolla en este contexto no solo no mejora la producción de celulosa, sino que podría inhibir un crecimiento bacteriano y la síntesis de celulosa. Con la cebolla no suplementada no se produjo ninguna biopelícula durante las 8 semanas del experimento. Este resultado contundente indica que la cebolla, en su forma no suplementada, no es un sustrato adecuado para la producción de celulosa bacteriana en las condiciones experimentales dadas.

A pesar de que el vinagre de manzana casero sin suplementar con SCOBY presenta una diversidad de levaduras similar al SCOBY, los mejores resultados se obtuvieron con el vinagre suplementado con SCOBY. Esta diferencia se relaciona con lo evidenciado en otros escritos donde se menciona que las bacterias ácido-acéticas, con su alta diversidad de géneros y especies productoras de celulosa (33,38) son determinantes en el proceso. Teniendo esto en cuenta, se plantea la hipótesis de que el microorganismo productor de celulosa presente en el vinagre difiere del encontrado en el SCOBY, lo cual explicaría la superioridad de este último en la producción de celulosa bacteriana.

La selección de los sustratos y los controles en este estudio se realizó teniendo en cuenta el contenido de micronutrientes de las frutas y verduras. Se optó por el banano y la zanahoria como controles debido a su alto contenido de glucosa y fructosa, azúcares que son rápidamente asimilados por microorganismos ácido-acéticos y levaduras, como lo mencionó Valencia en su estudio. Estos azúcares simples favorecen el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos presentes en la fermentación, optimizando la producción de celulosa (6). Además, el banano contiene otros micronutrientes esenciales que pueden contribuir a un ambiente más favorable para la síntesis de celulosa. Estas características hacen del banano una opción ideal como control positivo para evaluar su potencial en la producción de biopolímeros, como la celulosa, en comparación con otras fuentes de carbono (2,51). Este enfoque permite seleccionar sustratos con la composición nutricional adecuada, lo que influye directamente en el rendimiento bacteriano y la eficiencia de la bioproducción. Una eficaz hidrólisis en el periplasma celular asegura la correcta asimilación de

monosacáridos, lo que mejora el crecimiento de los microorganismos y la producción de celulosa (6).

Se obtuvo celulosa descrita como flexible y resistente, en los diferentes medios, se confirman las características estructurales que presenta la celulosa en un medio estático frente a uno en agitación. Esto concuerda con lo reportado por Gonzales (51), quien destacó un mayor índice de cristalinidad en la celulosa obtenida en condiciones estáticas. Dicho resultado sugiere que este método de producción permite generar una estructura más ordenada y compacta, lo que confiere al material una mayor resistencia. El tiempo de producción de celulosa se observó a partir de la segunda semana, el cual se ajusta a lo establecido por Hornung quien dice que el tiempo de crecimiento adecuado es entre 10 y 30 días (52).

Desde una perspectiva ambiental, la economía circular se ha posicionado como el modelo más adecuado para mitigar el impacto generado por el enfoque lineal de producción, caracterizado por la acumulación de desechos sin un manejo sostenible. En respuesta a esta problemática, en 2019, Colombia implementó la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) (44), cuyo propósito es optimizar el uso de los recursos y minimizar la generación de residuos. En este contexto, el presente estudio contribuye a este modelo al promover el aprovechamiento de residuos de cocina y destacar el papel de la celulosa bacteriana como un material biodegradable y compostable. Según González(51), la celulosa bacteriana se degrada en condiciones aeróbicas mediante la acción de microorganismos como levaduras, mixobacterias y eubacterias, facilitando su descomposición en el suelo y promoviendo la entrada de nutrientes en el ciclo del suelo. Adicionalmente, este proceso también ocurre en el rumen de los herbívoros, lo que refuerza su potencial como recurso sostenible en la gestión de residuos y la recuperación de suelos (51).

6. CONCLUSIONES

Se confirmó la viabilidad de utilizar vinagre casero como medio de cultivo para la producción de celulosa bacteriana. El crecimiento exitoso en este medio alternativo demuestra su potencial para reemplazar medios de cultivo convencionales, reduciendo costos y promoviendo el uso de recursos locales.

Los medios que presentan una actividad microbiológica óptima que favorece una mejor

condición son aquellos que están suplementados con SCOBY. El uso de SCOBY en el medio de cultivo aporta una comunidad microbiana activa y equilibrada, capaz de iniciar rápidamente el proceso fermentativo. Esta comunidad facilita la adaptación y crecimiento de los microorganismos presentes en el vinagre de manzana casero. Además, la presencia del SCOBY permite una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes presentes en los sustratos, promoviendo la actividad de los microorganismos responsables de la síntesis de celulosa bacteriana.

La formación de celulosa bacteriana a partir de guanábana y cebolla cabezona está fuertemente influenciada por la composición química de cada sustrato. La guanábana se identificó como una fuente adecuada de carbohidratos fermentables, especialmente glucosa y fructosa, además de ácidos orgánicos y vitamina C, lo que favorece el crecimiento del consorcio microbiano y permitió obtener celulosas de 5 y 3 milímetros de grosor. En contraste, la cebolla cabezona presenta compuestos con actividad antimicrobiana, como alicina, tiosulfatos y el compuesto fenólico quercetina, que pueden inhibir la síntesis de celulosa. Estos efectos negativos sugieren evitar su uso en el medio de cultivo, o bien aplicar pretratamientos como hervido, fermentación o remojo para reducir la concentración de estos compuestos. Además, se observó que las características físicas de la celulosa bacteriana varían según el medio de cultivo, lo que indica que es posible modular sus propiedades manipulando las condiciones del entorno de crecimiento.

La guanábana se posiciona como el sustrato superior para la producción de celulosa bacteriana alcanzando un grosor máximo de 5 mm en la semana 7, superando a todos los demás cultivos. En contraste, la cebolla demostró ser un sustrato fallido, produciendo menos de 1 mm y la no suplementada sin generar ninguna biopelícula, lo que sugiere su baja o nula capacidad para favorecer este proceso.

Este estudio tiene implicaciones significativas para la producción sostenible de celulosa bacteriana. La celulosa obtenida a partir del medio fermentado con guanábana destacó visualmente por su alta calidad. A diferencia de otros medios, este produjo una celulosa de color blanco, sin la pigmentación anaranjada que se observó en las demás muestras. Además, la celulosa extraída en el medio con SCOBY presentó una estructura más gruesa y menos transparente que la del medio sin SCOBY. No obstante, en ambos casos, el material se caracterizó por su textura gelatinosa, húmeda y flexible.

Es especialmente relevante mencionar el uso integral del desecho de guanábana (incluyendo tanto la cáscara como la pulpa) lo que no solo contribuye a una economía circular, sino que también potencia el valor agregado del residuo orgánico, transformándolo en un biomaterial con propiedades útiles. Esta práctica sostenible promueve el aprovechamiento total del fruto, minimizando desperdicios y generando un impacto positivo tanto en lo ambiental como en lo económico.

En función de los resultados obtenidos, se recomienda investigar más a fondo la optimización del medio de cultivo, considerando la concentración de carbohidratos, la temperatura y la selección de sustratos orgánicos, con el objetivo de maximizar el rendimiento y la calidad de la celulosa bacteriana. Asimismo, se sugiere explorar las diversas aplicaciones de la celulosa bacteriana producida a partir de sustratos orgánicos, incluyendo su uso en biomedicina, materiales de construcción y envases biodegradables.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Benavides S, Quiroga F, Arias R. Transformacion productiva con crecimiento inclusivo. 2022;
2. Salvador A. Diseño de un nuevo material sostenible a partir de celulosa bacteriana de residuos orgánicos de producción local en un marco de economía circular. [Internet]. [Madrid]: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ; 2021 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://oa.upm.es/68779/>
3. DNP (departamento Nacional de Planeacion). Guía Nacional para la adecuada separación de residuos sólidos. 2022.
4. Alzate T, Orozco D. Pérdida y desperdicio de alimentos. Problema que urge solución. Perspectivas en Nutrición Humana. 2021 Dec 20;23(2):133–9.
5. Manrique O. EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA POR *Acetobacter xylinum* IFO EN PRESENCIA DE MELAZA DE CAÑA BAJO CONDICIONES ESTÁTICAS Y/O DE FLUJO DE AIRE INTERMITENTE. 2013.
6. Valencia L. EVALUACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA EMPLEANDO *Gluconacetobacter medellinensis*. 2014.
7. Brown J. Adrian. XLIII-On an Acetic Ferment which form Cellulose. 1886.
8. HISTORIA DE LA KOMBUCHA - [Internet]. [cited 2024 Jul 8]. Available from: <https://filgut.es/historia-de-la-kombucha/>
9. Kaushal R, Walker TK. Formation of Cellulose by Certain Species of *Acetobacter*. Vol. 44, Industr. Engng Chem. (Anal. ed.). 1951.
10. Hestrin S, Schramm H. Synthesis of Cellulose by *Acetobacter xylinum* 2. PREPARATION OF FREEZE-DRIED CELLS CAPABLE OF POLYMERIZING GLUCOSE TO CELLULOSE*. Vol. 58, J. gen. Phy8iol. The Johns Hopkins Press. Sacktor, B; 1954.
11. Toyosaki H, Naritomi T, Seto A, Matsuoka M, Tsuchida T, Yoshinaga F. Screening of Bacterial Cellulose-producing *Acetobacter* Strains Suitable for Agitated Culture. *Biosci Biotechnol Biochem*. 1995;59(8):1498–502.
12. Raines J, Farah LF. Production and application of microbial cellulose. Vol. 59. 1998.
13. Cerpa A. DESARROLLO DE UNA PELÍCULA COMESTIBLE A BASE DE CELULOSA BACTERIANA COMO RECUBRIMIENTO EN LA VIDA POSTCOSECHA DE LA GUAYABA DULCE (*Psidium guajava*) Y GUAYABA AGRIA (*Psidium friedrichstahlianum*). 2017.
14. Hernández L. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA DE KOMBUCHA [Internet]. UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR; 2018 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://recursosbiblio2.url.edu.gt/tesiseortiz/2018/02/02/Hernandez-Lisbeth.pdf>
15. Navarro zurita. OBTENCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A PARTIR DE *Gluconacetobacter* sp. MEDIANTE FERMENTACIÓN DE EXTRACTOS DE FRUTAS DE DESCARTE. Lima; 2018.
16. Victoriano N, Salvador A, Soto B, Morán P, Diaz A, Arcila L, et al. Isolation and Screening of Microbial Isolates from Kombucha Culture for Bacterial Cellulose Production in Sugarcane Molasses Medium. *KnE Life Sciences*. 2020 Feb 11;

17. Augusta D, Sánchez J, Stalin J, Sornoza M, Carlos J, Chango T. Obtención de celulosa bacteriana a base de kombucha por sustitución de té negro por té de cáscara de café [Internet]. 2021. Available from: <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqdhttps://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd>
18. Salazar-Manzanares M, Márquez-Reyes J, Rodríguez-Romero B, Méndez-Zamora G, Luna-Maldonado A, Treviño-Garza M. Aprovechamiento de suero de leche para producción de celulosa microbiana. Vol. 8. 2023.
19. PRODUCCIÓN DE CELULOSA MICROBIANA A PARTIR DE KOMBUCHA PARA USO POTENCIAL EN LA FABRICACIÓN DE APÓSITOS CON LIBERACIÓN DE EXTRACTOS FITOQUÍMICOS DE CAFÉ PARA LA CICATRIZACIÓN DE HERIDA. 2023;
20. Carreño L, Caicedo L, Martínez C. Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. *ing cienc* [Internet]. 2012;8(16):307–35. Available from: <http://www.eafit.edu.co/ingciencia>
21. Chávez J, Martínez S, Contreras M, Escamilla Edgardo. CELULOSA BACTERIANA EN GLUCONACETOBACTER XYLINUM: BIOSÍNTESIS Y APLICACIONES [Internet]. 2004. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43270103>
22. Vázquez M, Velazquez G, Cazón P. UV-Shielding films of bacterial cellulose with glycerol and chitosan. Part 2: Structure, water vapor permeability, spectral and thermal properties. *CYTA - Journal of Food*. 2021;19(1):115–26.
23. Jiménez-Sánchez YY. APLICACIÓN DE LA CELULOSA BACTERIANA EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS: UN CAMINO A LA SUSTENTABILIDAD. *DISEÑO ARTE Y ARQUITECTURA*. 2021 Dec 22;(11):41–57.
24. Flores A, Velez D, Velez A, Rosas O. Administración de Amoxicilina-Ácido clavulánico mediante celulosa bacteriana [Internet]. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica*; 2021. Available from: <https://memoriascnib.mx/index.php/memorias/article/view/934/536>
25. Jessica M. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA Y ORO IMPREGNADAS EN CELULOSA BACTERIANA CON APLICACIÓN ANTIMICROBIANA. 2018.
26. Fooladi S, Nematollahi MH, Rabiee N, Iravani S. Bacterial Cellulose-Based Materials: A Perspective on Cardiovascular Tissue Engineering Applications. *ACS Biomater Sci Eng* [Internet]. 2023 Jun 12 [cited 2024 Aug 11];9(6):2949–69. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37146213/>
27. He W, Wu J, Xu J, Mosselhy DA, Zheng Y, Yang S. Bacterial Cellulose: Functional Modification and Wound Healing Applications. *Adv Wound Care (New Rochelle)* [Internet]. 2021 Nov 1 [cited 2024 Aug 11];10(11):623. Available from: </pmc/articles/PMC8392072/>
28. Morales R. Desarrollo de un prototipo de molde para macetas biodegradables a partir de celulosa bacteriana SCOPY (Symbiotic Colony of Bacteria and Yeast) [Internet]. 2018. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.11777/3845http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>
29. De Ingeniería D, Gestión Y, Ambiental FY, Santos SM, Dios DE, Carlos J, et al. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID APLICACIÓN DE LA CELULOSA BACTERIANA A LA RESTAURACIÓN DEL PATRIMONIO BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL EN PAPEL.
30. Tayeb AH, Amini E, Ghasemi S, Tajvidi M. Cellulose Nanomaterials-Binding Properties and Applications: A Review. *Molecules* [Internet]. 2018 Oct 18 [cited 2024 Aug 11];23(10). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30340374/>

31. Kombucha y SCOBY: Una comunidad microbiana al servicio de tu salud - Eduvita [Internet]. [cited 2024 Jun 22]. Available from: <https://www.eduvitaweb.com/kombucha-scooby/>
32. Kombucha y Scoby: Fermentos de té al servicio de tu salud [Internet]. [cited 2024 Aug 15]. Available from: <https://www.eduvitaweb.com/kombucha-scooby/>
33. Maciua O, Sánchez J, Menéndez E. AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS PRESENTES EN BEBIDAS PROBIÓTICAS: EL CASO DE LA KOMBUCHA. 2022;
34. Mayser P, Fromme S, Leitzmann G, Gründer K. The yeast spectrum of the “tea fungus Kombucha.” *Mycoses* [Internet]. 1995 [cited 2024 Jul 8];38(7–8):289–95. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8559192/>
35. Bishop P, Pitts ER, Budner D, Thompson-Witrick KA. Kombucha: Biochemical and microbiological impacts on the chemical and flavor profile. *Food Chemistry Advances*. 2022 Oct 1;1.
36. Júnior JC da S, Meireles Mafaldo Í, de Lima Brito I, Tribuzy de Magalhães Cordeiro AM. Kombucha: Formulation, chemical composition, and therapeutic potentialities. *Curr Res Food Sci*. 2022 Jan 1;5:360–5.
37. Gordillo M. Aislamiento y caracterización de bacterias y levaduras a partir del consorcio de microorganismos denominado KOMBUCHA. 2018.
38. Guzmán M. “Resistencia de microorganismos aislados de kombucha a condiciones del tracto gastrointestinal in vitro.” 2021.
39. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Que los esfuerzos y recursos invertidos en la producción de alimentos no terminen en la basura [Internet]. 2024 [cited 2025 Feb 21]. Available from: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/Guia_Residuos%20Solidos_Digital.pdf
40. Nacional Planeación D DE, Alberto Bula Torres Beatriz Giraldo Castaño Bibiana Guerra de los Ríos Edna Liliana Morales Sierra Diseño diagramación Lisandro Hernández Aponte R, Vivienda M DE, Territorio Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible Superintendencia De Servicios Públicos Domiciliarios Comisión De Regulación De Agua Potable Y Saneamiento Básico CY. Guía nacional para la adecuada separación de residuos sólidos 2022.
41. Departamento Nacional de Planeación. <https://2022.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-a-l-a%C3%B1o.aspx>. 2016 [cited 2025 Feb 21]. Colombianos botan 9,76 millones de toneladas de comida al año. Available from: <https://2022.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-a-l-a%C3%B1o.aspx>
42. Juan Martín Murillo Herrera. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/en-colombia-se-pierden-9-7-millones-de-toneladas-de-alimentos-al-ano-589900>. 2023. Colombia desperdicia 9,7 millones de toneladas de alimentos anuales.
43. Minambiente. <https://www.minambiente.gov.co/hoy-no-se-habla-de-basura-sino-de-residuos-que-son-insumos-para-productos-minambiente/>. 2022. Hoy no se habla de basura, sino de residuos que son insumos para productos: Minambiente.
44. Minambiente. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>. Estrategia Nacional de Economía Circular.

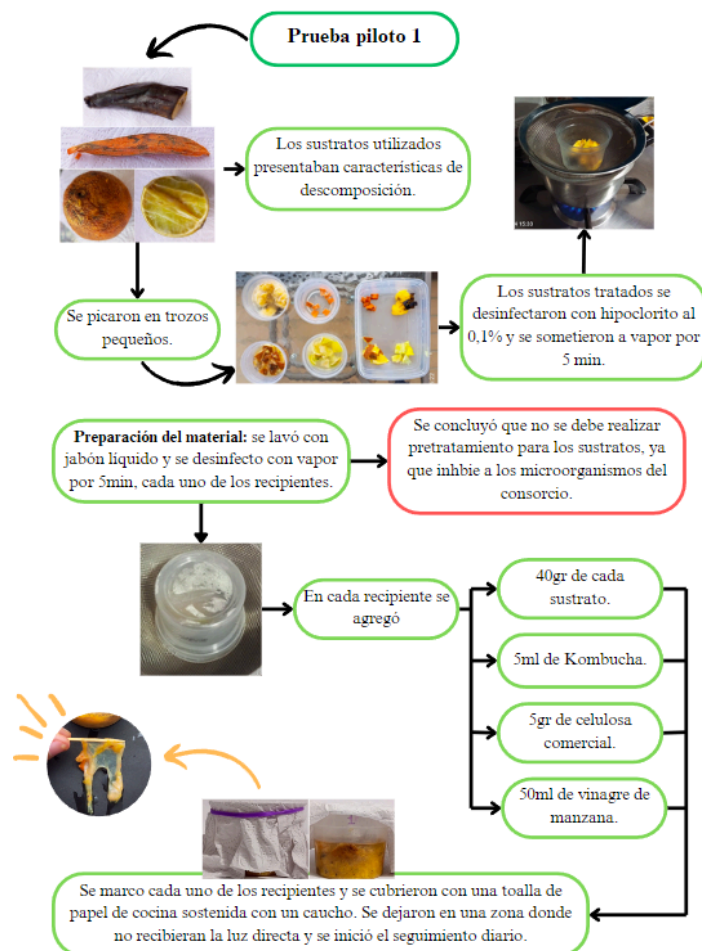
45. https://es.wikipedia.org/wiki/Annona_muricata [Internet]. 2024. Annona muricata.
46. FEN. Fundación Española de la nutrición. Micronutrientes Manzana.
47. FEN. Fundación Española de la nutrición. Micronutrientes de la cebolla.
48. FEN. Fundación Española de la nutrición. Fr u t a s.
49. FEN. Fundación Española de la nutrición. Composición nutricional [Internet]. [cited 2025 Mar 23]. Available from: <https://fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/espincas.pdf>
50. FEN. Fundación Española de la nutrición. Micronutrientes de la espinaca.
51. Gonzalez SA. Diseño de un nuevo material sostenible a partir de celulosa bacteriana de residuos orgánicos de producción local en un marco de economía circular. 2021.
52. Hornung M. OPTIMISING THE PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE IN SURFACE CULTURE. 2010.

ANEXOS

ANEXO 1. PREEXPERIMENTOS

PREEXPERIMENTO I

La prueba se llevó a cabo entre el 24 de mayo del 2024 y el 02 de junio de 2024, donde en la última fecha se observó un crecimiento satisfactorio de celulosa en los sustratos no tratados. Para determinar la necesidad de realizar un pretratamiento a los sustratos, para ello se utilizó hipoclorito al 0,1% (1000ppm).



Se realizaron dos medios de producción, uno con el sustrato tratado y otro con sustrato sin tratar. Los sustratos no se dividieron uno por uno para el medio de producción, sino que se agruparon en un solo sustrato. Los sustratos utilizados fueron: Zanahoria, plátano, limón,

naranja. Todos en condiciones de descomposición

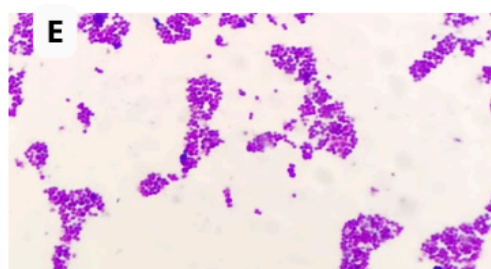
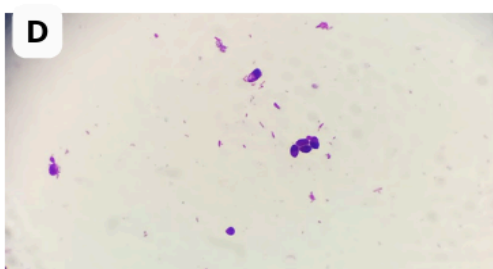
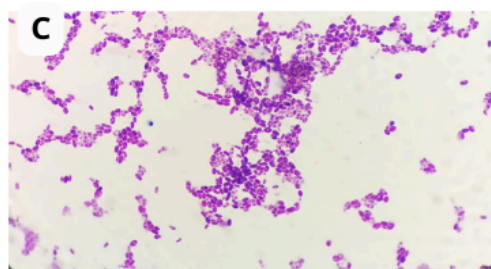
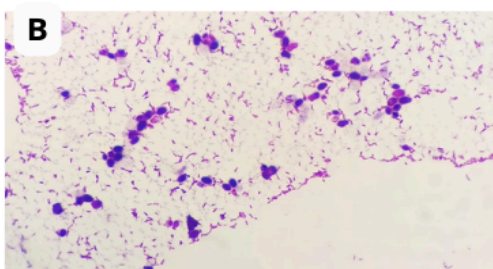
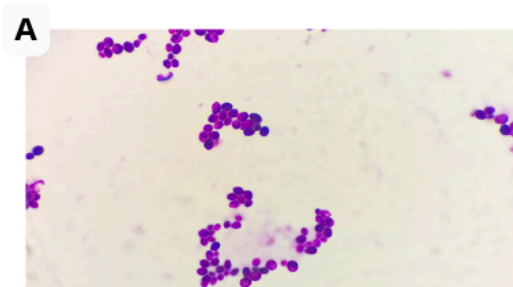
PREEXPERIMENTO II

Se realizó el procedimiento en las diferentes casas de los integrantes, lo que aportó a la variabilidad de la temperatura. El inicio y el seguimiento del proceso se llevó a cabo entre el 20 de junio y el 9 de julio para el té de manzanilla y el vinagre de manzana comercial. Mientras que para el té negro el seguimiento se detuvo el 6 de julio, dado que el medio se contaminó

El objetivo fue Identificar si la celulosa bacteriana, se puede originar del te negro, de manzanilla o el vinagre de manzana, sin utilizar el SCOBY (materia madre). Se realizó el procedimiento en las diferentes casas de los integrantes, lo que aportó a la variabilidad de la temperatura. El inicio y el seguimiento del proceso se llevó a cabo entre el 20 de junio y el 9 de julio para el té de manzanilla y el vinagre de manzana comercial. Mientras que para el té negro el seguimiento se detuvo el 6 de julio, dado que el medio se contaminó. El proceso se evidencia en la siguiente tabla:

Té de manzanilla	
Se realizaron 2 recipientes que contenían manzanilla (la planta aromática completa) y adicional, té de manzanilla comercial disuelto en el agua, junto con el azúcar.	Se realizaron 2 recipientes que contenían únicamente manzanilla (la planta aromática completa) y el agua con azúcar.
En el recipiente 1 se utilizó agua a temperatura ambiente; a los pocos días se contaminó. En el recipiente 2 se utilizó agua hervida; no se evidenciaron cambios en el medio.	En el recipiente 3 se utilizó agua a temperatura ambiente; a los pocos días se observó una delgada capa transparente en la superficie. En el recipiente 4 se utilizó agua hervida; no se evidenciaron cambios en el medio.
Vinagre de manzana comercial	Té negro
Se realizaron 2 recipientes: Uno de ellos contenía 100 ml de vinagre de manzana comercial más una cucharada de azúcar; no presentó cambios significativos. El otro recipiente sólo contenía 100 ml de vinagre de manzana comercial, sin azúcar; luego de unos días se evidenció una delgada capa transparente en la superficie que se deshizo al finalizar la prueba.	Se realizaron 2 recipientes: Uno de ellos contenía 100mL de agua a temperatura ambiente, junto con el té negro y dos cucharadas de azúcar. El otro recipiente contenía 100mL de agua hervida, junto con el té negro y dos cucharadas de azúcar. Ambos medios se contaminaron a los pocos días, sin algún cambio significativo.

**ANEXO 3. COLORACION DE GRAM, CLONIAS AIALADAS DEL SCOPYY EL
VINAGRE**



**A) COLONIA 2V.SAB B) COLONIA 3V.SAB
C) COLONIA 4V.SAB D) COLONIA 5V.PDA E) COLONIA 6S.SAB**

COLONIA	MORFOLOGÍA	AFINIDAD	AGRUPACIÓN CELULAR
1V.SAB	Levaduriforme	Positivo	Racimo
2V.SAB	Levaduriforme	Positivo	Racimo
	Bacilos	Negativo	Dispersos
3V.SAB	Levaduriforme	Variable	Racimo
4V.PDA	Levaduriforme	Positivo	Racimo
	Bacilos	Negativo	Dispersos
5S.SAB	levaduriforme	Negativo	Racimo

**ANEXO 4. PRODUCCIÓN, APLICACIONES E IMPORTANCIA DE LOS
SUSTRATOS PRESELECCIONADOS**

	Producción y consumo en Colombia	Aplicaciones e importancia
Guanabana	El número total de hectáreas sembradas, según la Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol), es de 5.000. Estos datos se asemejan a los presentados en la última Encuesta Nacional Agropecuaria, donde se estableció que el cultivo de guanábana representaba 1,6% de la producción frutal nacional (, n.d.).	Las hojas tienen aplicaciones medicinales, siendo utilizadas para tratar paperas, insomnio y nerviosismo, y también se preparan en forma de té para aliviar resfriados (, n.d.). También se usa en la prevención de diversas enfermedades (actualmente en investigación por sus posibles efectos anticancerígenos) (, n.d.) .
Banano	Se cultiva en regiones tropicales y subtropicales. En Colombia, el plátano tiene gran relevancia alimentaria y es el cultivo permanente más común en las economías campesinas (35).	Es un componente esencial de la dieta colombiana, con un consumo per cápita de alrededor de 155 kg al año. (35) .
Borojó	Para el año 2018 se sembraron 2461,5 hectáreas y se produjeron 16 246 toneladas con un rendimiento promedio de 6,6 toneladas por hectárea (36) .	Valor medicinal, empleándose para tratar problemas bronquiales, controlar la hipertensión, cicatrizar heridas, mejorar la visión, combatir la anemia y tratar afecciones renales. También se le atribuyen propiedades afrodisíacas, sugiriendo que puede aumentar la potencia sexual (36).
Zanahoria	La zanahoria procedente de Cundinamarca proviene de municipios localizados en las sábanas centro y occidental: Subachoque, Zipaquirá, Mosquera, Facatativá, Madrid y Cota. El alimento es despachado casi en su totalidad a Bogotá, en donde se recibe el 94,38% de la carga (, 2023)	La zanahoria es una de las hortalizas más producidas y consumidas a nivel mundial (2023). Su alto contenido de agua es beneficioso para la salud de la piel, el sistema inmune, la vista, el crecimiento y durante el embarazo (38).

<p>Espinaca</p>	<p>De acuerdo a las Evaluaciones Agropecuarias Nacionales (EVA, 2016), registró las 5.808 toneladas (t) en total. Así, en primer lugar, el departamento de Cundinamarca reportó una participación del 81,16 % (39) .</p>	<p>Es rica en vitaminas, incluyendo la vitamina K, que es crucial para la coagulación sanguínea, ácido fólico, que juega un papel en el desarrollo del material genético (39). Cualidades sedantes, analgésicas y antioxidantes. Además, ayuda a prevenir la arteriosclerosis, reducir el colesterol y mejorar la circulación sanguínea (39).</p>
<p>Cebolla cabezona</p>	<p>De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) del DANE de 2016, Colombia produjo 196.920 toneladas de cebolla de bulbo o cabezona en 2015, con un rendimiento promedio anual de 21,4 toneladas por hectárea. El departamento de Boyacá fue el mayor productor, alcanzando 107.567 toneladas, seguido por Cundinamarca (40)</p>	<p>Cualidades saborizantes y terapéuticas, que han aumentado su empleo en la alimentación, la medicina y la industria, incluyendo su uso en productos deshidratados y conservas (38,40). Son imprescindibles en cualquier plato, junto con el precio tan asequible en el mercado (41).</p>

ANEXO 5. CONTROL DE TEMPERATURA DURANTE EL EXPERIMENTO

CONTROL DIARIO TEMPERATURA AMBIENTAL							
SEMANA 1	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
°C	19.1	19.5	20.0	19.4	19.1	18.5	19.0
SEMANA 2	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
SEMANA 3	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
°C	19.6	19.8	18.2	18.2	19.0	20.0	19.3
SEMANA 4	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
°C	19.7	20.4	19.6	19.9	20.3	19.0	19.1
SEMANA 5	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
°C	19.5	20.7	19.4	19.0	20.3	20.1	20.4
SEMANA 6	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
°C	20.0	19.5	19.5	19.7	20.1	20.1	20.0
SEMANA 7	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
°C	20.0	20.3	20.1	20.4	20.2	20.0	20.0
SEMANA 8	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
°C	20.2	20.4	20.1	20.2	19.6	20.6	20.3