

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

MAESTRÍA EN QUÍMICA APLICADA

TEMA:

EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICO DE EXTRACTOS DE HOJAS DE *Musa spp.* Y SU
IMPACTO EN LA OBTENCIÓN DE CELULOSA BACTERIAL

AUTOR:

Anita Lucía Cumbicus Bravo

DIRECTOR TFM: Fiallos Cárdenas Manuel Alejandro

MILAGRO, MAYO 2023

Ecuador

CARTA DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de grado presentado por la Sra. Lic. Anita Lucía Cumbicus Bravo, para optar el título de Magíster en Química Aplicada y que acepto tutoriar a la maestrante, durante la etapa de desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Milagro, a los 20 días del mes de septiembre de 2022.



Firmado electrónicamente por:

**MANUEL
ALEJANDRO
FIALLOS
CARDENAS**

Mgs. Fiallos Cárdenas Manuel Alejandro

0919525337

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Química Aplicada de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en este texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 2 días del mes de mayo de 2023

NOMBRE: CUMBICUS BRAVO ANITA LUCÍA

CÉDULA: 1103649172

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA**, presentado por **LIC. CUMBICUS BRAVO ANITA LUCÍA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICO DE EXTRACTOS DE HOJAS DE MUSA SPP. Y SU IMPACTO EN LA OBTENCIÓN DE CELULOSA BACTERIAL", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	60.00
DEFENSA ORAL	38.00
PROMEDIO	98.00
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado electrónicamente por:
0922079595
GUSTAVO ELIAS
MARTINEZ
VALENZUELA

MARTINEZ VALENZUELA GUSTAVO ELIAS
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
DENNY WILLIAM
MORENO CASTRO

Mgs MORENO CASTRO DENNY WILLIAM
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
LUIS FRANKLIN
MALDONADO HOLGUIN

Mgr. MALDONADO HOLGUIN LUIS FRANKLIN
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

“Los hombres que intentan algo y fracasan, son infinitamente mejores que aquellos que intentan no hacer nada y tienen éxito.” Lloyd Jones

Al término de este reto profesional, dedico mi trabajo investigativo:

Con amor infinito a Dios y especialmente a mis queridos padres José y Esperanza, porque siempre me han brindado su apoyo moral y me han inspirado a seguir mejorando profesionalmente. A ustedes les debo no solo la vida sino todo lo que puedo trascender como ser humano.

Con amor, a mi esposo Juan Carlos Argudo por creer en mi capacidad para cumplir con este reto. Sobre todo, porque ha sido mi compañero fiel durante todo el tiempo que han durado mis estudios y a pesar de las dificultades siempre se ha mantenido a mi lado siendo comprensivo y amoroso en aras de tener un mejor futuro como familia.

Con afecto, a mis amados hermanos y hermanas por su incondicional apoyo moral y comprensión que me impulsaron a ver cristalizadas mis aspiraciones.

Con cariño, a mis amigas, que de una u otra forma me motivaron e inspiraron a iniciar esta nueva aventura y a llegar a su feliz término.

Anita Cumbicus

AGRADECIMIENTOS

Dejo constancia de mis sinceros agradecimientos a:

La Universidad Estatal de Milagro (UNEMI) y en especial a su rector, Dr. Fabricio Guevara, por facilitarme el uso de sus laboratorios y que de esta forma se haya podido cumplir con la experimentación de mi tesis.

Los maestros de la Maestría en Química Aplicada de la facultad de Postgrados de la UNEMI por la generosidad en la transmisión de sus sabias enseñanzas, sembrando conocimientos valaderos para mi formación y ejercicio profesional.

Al MSc. Freddy Espinoza Carrasco, coordinador del Departamento de Postgrados de la Universidad Estatal de Milagro por su predisposición y apoyo a los maestrantes durante el desarrollo de los 18 meses que duró la maestría.

Particularmente expreso mi agradecimiento al PhD. Fiallos Cárdenas Manuel Alejandro, por sus oportunas y acertadas directrices y opiniones en el desarrollo de este trabajo investigativo y ser el gestor de la parte experimental. Sin su apoyo y confianza en mí, no hubiese podido realizar la experimentación y enfrentar este nuevo reto de aprendizaje cuyo resultado ha sido la culminación exitosa de la presente investigación que me permitirá graduarme de Magíster en Química Aplicada.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro
Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho de Autor del Trabajo realizado como requisito previo para la obtención de mi título de Cuarto Nivel, cuyo tema fue **Evaluación fisicoquímico de extractos de hojas de *Musa spp.* y su impacto en la obtención de celulosa bacterial** y que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Postgrado.

Milagro, 02 de mayo de 2023

NOMBRE: CUMBICUS BRAVO ANITA LUCÍA

CÉDULA: 1103649172

Índice General / Sumario

Introducción	1
Capítulo I: El problema de la investigación	4
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Delimitación del problema	5
1.3. Formulación del problema.....	5
1.4. Objetivo general.....	6
1.5. Objetivos específicos	6
1.6. Hipótesis	6
1.7. Justificación	7
1.8. Alcance y limitaciones.....	9
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	10
2.1. Antecedentes	10
2.1.1 Antecedentes históricos.....	10
2.1.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación	10
CAPÍTULO III: Diseño metodológico	24
3.1. Tipo y diseño de investigación	24
3.1.1. Investigación bibliográfica.....	24
3.1.2. Investigación experimental	24
3.1.3. Investigación cuantitativa.....	25
3.2. Metodología	25
3.2.1. Análisis de los extractos de hojas de <i>Musa spp.</i> mediante la determinación de su contenido de compuestos fenólicos, flavonoides, azúcares reductores, color y actividad antioxidante.	25
3.2.2. Estimación del rendimiento de producción de celulosa bacterial a partir de los distintos extractos de las hojas de <i>Musa spp.</i>	31
3.2.3. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la celulosa bacterial obtenida de los extractos de <i>Musa spp.</i> con mayor rendimiento mediante	

espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA).	32
CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados	34
4.1. Análisis de los extractos de hojas de <i>Musa spp.</i> mediante la determinación de su °Brix, pH, gravedad específica, azúcares reductores, color y tamizaje fitoquímico.	34
4.2. Estimación del rendimiento de producción de celulosa bacterial a partir de los distintos extractos de las hojas de <i>Musa spp.</i>	37
4.3. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la celulosa bacterial obtenida de los extractos de <i>Musa spp.</i> con mayor rendimiento mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA).	39
4.4. Verificación de las Hipótesis.....	41
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones	43
5.1. Conclusiones	43
5.2. Recomendaciones	44
ANEXOS.....	53
Anexo A: Fotografías en el proceso del proyecto.....	53
Anexo B: Equipos utilizados en el proceso de investigación.....	56

Índice de cuadros

Tabla 1. Diferentes estudios sobre obtención de celulosa bacterial	19
Tabla 2. Equipos y materiales utilizados en la obtención de los extractos de la hoja de banano y de plátano verde	25
Tabla 3. Equipos y materiales utilizados para la preparación el medio de cultivo con el EHB y EHV	31
Tabla 4. Propiedades física-químicas de las materias primas	34
Tabla 5. Valor parámetro cromático (CIELAB) de los extractos	35
Tabla 6. Fitoquímicos presente en los extractos de banano y plátano...	36
Tabla 7. Rendimiento de producción de nanocelulosa bacterial a distintas concentraciones de extracto de hoja de banano.....	37
Tabla 8. Rendimiento de producción de nanocelulosa bacterial a distintas concentraciones de extracto de hoja de plátano.....	38

Índice de figuras

Figura 1. Estructura de la celulosa.....	12
Figura 2. A) Representación de las estructuras I α y B) Representación de la estructura I β	12
Figura 3. Representación espacial de (A) celulosa I y (B) celulosa II ...	13
Figura 4. Estructura química de la celulos.....	14
Figura 5. La influencia del consorcio SCOBY en las propiedades promotoras de la salud del té fermentado.....	15
Figura 6. Andamios del tejido.....	22
Figura 7. Procesos de utilización de celulosa bacteriana en films de la industria alimentaria	23
Figura 8. Análisis de FTIR en nanocelulosa bacterial.....	39
Figura 9. Análisis de TGA en nanocelulosa bacterial.....	40
Figura 10. Micrográficas SEM de la celulosa bacteriana obtenida	40

Lista de Siglas / Acrónimos

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Musa spp: Variedad de especies dentro del género del banano y plátano.

UNCTAD: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.

SCOBY: Consorcio simbiótico entre bacterias y levaduras.

Lista de Abreviaturas

CB: Celulosa bacterial

EHB: Extracto de hoja de banano.

EHP: Extracto de hoja de plátano.

FTIR: Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

TGA: Análisis termogravimétrico

HS: Medio Hestrin-Schramm

NCC: Nanocristales de celulosa

NFC: Nanofibras de celulosa nanofibrilada

Resumen

La celulosa bacterial (CB) es un biopolímero de alta pureza y calidad utilizada en campos, como medicina, alimentación y biotecnología. En este contexto, se ha investigado la posibilidad de obtener CB a partir de extractos de hojas de *Musa spp.*, para aprovechar un recurso renovable y abundante en el Ecuador. Sin embargo, para lograr una producción eficiente y de alta calidad, es necesario analizar estos extractos fisicoquímicamente y evaluar su impacto en la obtención de celulosa bacterial. Este estudio busca la caracterización fisicoquímica de los extractos de hojas de *Musa spp.* y su influencia en la obtención de celulosa bacterial. Se procesaron hojas de banano y plátano en un trapiche para obtener su extracto, como fuente de carbono para formulación de medios fermentados por 14 días. Se midió °Brix, pH, densidad, conductividad, contenidos de azúcares reductores, salinidad de Haash, resistividad de Haash, color y rendimiento de la producción de celulosa bacterial de extractos y medios. El tamizaje fitoquímico fue positivo para flavonoides, carbohidratos, azúcares reductores, taninos, saponinas, alcaloides y fenoles. Se obtuvo mayores rendimientos de producción de nanocelulosa al 40% con el EHB con $0,275 \text{ (g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$ frente al EHV con $0,227 \text{ (g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$. Se corroboró la obtención celulosa bacterial por FTIR y TGA. Esta investigación se alinea con los principios de la economía circular y la bioeconomía, que promueven el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales. Este estudio contribuye al cumplimiento de los ODS al fomentar la producción de biopolímeros a partir de recursos renovables, pudiendo impactar significativamente en la industria y la sociedad en general.

Palabras clave: Nanocelulosa bacterial, extracto, hojas de banano y plátano verde.

Abstract

Bacterial cellulose (BC) is a biopolymer of high purity and quality used in fields such as medicine, food and biotechnology. In this context, the possibility of obtaining BC from *Musa spp.* leaf extracts has been investigated in order to take advantage of a renewable and abundant resource in Ecuador. However, to achieve efficient and high quality production, it is necessary to analyze these extracts physicochemically and evaluate their impact on obtaining bacterial cellulose. This study seeks the physicochemical characterization of *Musa spp.* leaf extracts and their influence on obtaining bacterial cellulose. Banana and plantain leaves were processed in a mill to obtain their extract as a carbon source for the formulation of fermented media for 14 days. The °Brix, pH, density, conductivity, reducing sugar content, Haash salinity, Haash resistivity, color and yield of bacterial cellulose production of extracts and media were measured. Phytochemical screening was positive for flavonoids, carbohydrates, reducing sugars, tannins, saponins, alkaloids and phenols. Higher yields of nanocellulose production at 40% were obtained with EHB with 0.275 (g*L-1h-1) versus EHV with 0.227 (g*L-1h-1). Bacterial cellulose was corroborated by FTIR and TGA. This research is aligned with the principles of circular economy and bioeconomy, which promote the efficient and sustainable use of natural resources. This study contributes to the fulfillment of the SDGs by promoting the production of biopolymers from renewable resources, which can have a significant impact on industry and society in general.

Keywords: Bacterial nanocellulose, extract, banana and green banana leaves.

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reporta que en 2020 se registró un incremento del 3,5% en la producción mundial de plátanos y bananos, alcanzando un total de 117 millones de toneladas, de las cuales el 90% se destinó al consumo interno en los países productores y el 10% restante se destinó a la exportación (Chamba et al., 2021). Además, en 2020 el valor total de las exportaciones de banano en todo el mundo fue de aproximadamente 14,700 millones de dólares estadounidenses, según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) (FAO, 2022). Los principales países productores de banano son Ecuador, Filipinas, Costa Rica, Colombia y Guatemala, y los principales importadores son Estados Unidos, la Unión Europea y China (Mayón, 2020). Aunque se registró una disminución en las exportaciones mundiales de banano en 2021, se espera que la demanda siga creciendo en el futuro debido a su importancia como alimento básico en muchas regiones tropicales y su popularidad en otros mercados internacionales (Masqués et al., 2021).

Ecuador es reconocido a nivel internacional por su capacidad de producción de plátano y banano, siendo estos cultivos una fuente importante de divisas para el país y fundamentales para el desarrollo económico de la región (Morales et al., 2020). En cuanto al plátano, se cultivan alrededor de seis millones de toneladas anualmente, con la mayoría destinada a la exportación. La Unión Europea es el principal destino, seguida por Estados Unidos y otros países (Ortega et al., 2010). Respecto al banano, Ecuador es el principal exportador a nivel mundial, con una capacidad de producción de 6,8 millones de toneladas, representando el 29% del mercado mundial según la FAO (FAO, 2022). A pesar de las dificultades que ha enfrentado la industria en los últimos años, Ecuador sigue siendo un actor importante en la producción de banano y plátano a nivel global (Sepúlveda et al., 2017). Es importante destacar que estos cultivos son fundamentales para la economía del país, ya que generan empleo y son una fuente importante de ingresos para miles de familias (Morales et al., 2020).

La producción de plátano es una actividad vital para las comunidades rurales de Ecuador, ya que les permite acceder a fuentes de empleo estables y a alimentos de calidad (UNCTAD, 2016). Sin embargo, los residuos que generan los cultivos de

Musáceas (Banano y Plátano) no son aprovechados eficientemente, lo que representa un potencial problema ambiental y económico para los bananeros (Solano et al., 2022). A través de la transformación de estas fibras naturales en productos con valor agregado, como la nanocelulosa, se promueve el concepto de bioeconomía (López et al., 2020). El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado y generando de paso vías de descontaminación y eliminación de residuos (Solano et al., 2022). La presente investigación busca mejorar el rendimiento de la producción de nanocelulosa a partir de la biomasa residual de las Musáceas, principalmente de los extractos de sus hojas (García, 2017).

Las hojas de banano y plátano, residuos de las Musáceas, han sido reconocidas como una fuente prometedora para la producción de nanocelulosa bacteriana (NCB). La razón es que las hojas de banano contienen azúcares reductores que pueden emplearse como sustrato para la fermentación bacteriana y la producción de NCB (Masqués et al., 2021). No obstante, es necesario investigar la eficacia de diversos extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de NCB.

La NCB es un material con propiedades mecánicas y térmicas excepcionales, lo que lo convierte en un recurso aplicable en diferentes sectores industriales, como la alimentación, farmacéutica, cosmética, textil, papelera y de materiales compuestos, entre otros (Behera et al., 2022a; Fiallos et al., 2021; Jacek et al., 2021). Por lo tanto, esta tesis de maestría se enfoca en evaluar la eficiencia de extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de NCB. Para esto, se llevará a cabo un estudio experimental que incluirá la obtención de extractos de hojas de *Musa spp.*, la evaluación de su composición química y la evaluación de su capacidad como medio para la producción de NCB.

Los resultados de esta investigación podrían tener un impacto positivo en la industria de producción de bananas y plátanos, al aprovechar eficientemente los residuos de las Musáceas y generar nuevas oportunidades de negocio, a la vez que contribuyen a la reducción de impactos ambientales negativos asociados con su disposición inadecuada. Además, esta investigación podría contribuir a los Objetivos

de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los relacionados con el consumo y la producción sostenible, la acción por el clima y la vida submarina.

La tesis de investigación consta de seis capítulos y un anexo. El primer capítulo presenta la introducción, donde se presenta el problema, se justifica la importancia del estudio y se establecen los objetivos de la investigación. El segundo capítulo es una revisión bibliográfica sobre la NCB, su producción y aplicaciones. El tercer capítulo describe los materiales y métodos utilizados para la obtención de los extractos de hojas de *Musa spp* y la producción de NCB. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos y su análisis estadístico. El quinto capítulo discute los resultados y su relación con la literatura previa. Finalmente, el sexto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones. En el anexo se incluye información adicional relevante para la investigación, como tablas de datos y figuras.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1. Planteamiento del problema

La producción sostenible de materiales avanzados se ha convertido en un tema de interés global debido a su potencial para reemplazar a los materiales convencionales, reducir la huella de carbono y minimizar los impactos ambientales negativos (Avila et al., 2019; Hodson, 2018). La nanocelulosa bacteriana (NCB) es un material avanzado que se ha destacado por sus excepcionales propiedades mecánicas y térmicas, lo que lo hace apto para su aplicación en una amplia variedad de sectores industriales, incluyendo la alimentación, farmacéutica, cosmética, textil, papelera y de materiales compuestos, entre otros (Masqués et al., 2021; Christoph y Munoz, 2015). Sin embargo, la producción comercial de NCB es aún incipiente debido a la falta de un suministro sostenible y económicamente viable de materias primas (Campo, 2017; Masqués et al., 2021).

En este contexto el aprovechamiento de residuos agrícolas para la producción de nanocelulosa bacteriana (NCB) se ha convertido en una alternativa prometedora en la industria de materiales (Maurat, 2014). Entre estos residuos, las hojas de banano y plátano de la familia de las Musáceas han sido identificadas como una fuente potencial para la producción de NCB debido a su alto contenido de azúcares reductores (Masqués et al., 2021). Sin embargo, la eficiencia de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de NCB aún no ha sido evaluada exhaustivamente.

Además, la producción de NCB es un proceso complejo y costoso que requiere la optimización de diversas variables, como la selección del microorganismo productor, el tipo de sustrato utilizado, la concentración de nutrientes, el tiempo de fermentación y la temperatura de cultivo (Haro et al., 2017; López et al., 2020). Por lo tanto, es necesario realizar estudios experimentales que permitan evaluar la eficiencia de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de NCB y establecer las condiciones óptimas para la producción a gran escala.

En este sentido, el problema de investigación de esta tesis de maestría es la falta de información sobre la eficiencia de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de NCB y la falta de conocimiento sobre las

condiciones óptimas de producción. Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la eficiencia de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de NCB y cuáles son las condiciones óptimas de producción? La respuesta a esta pregunta permitirá evaluar el potencial de los residuos de Musáceas para la producción de NCB y establecer una base para su producción a gran escala, lo que podría contribuir al desarrollo de la industria de materiales sostenibles y a la reducción de los impactos ambientales negativos asociados a la disposición inadecuada de residuos agrícolas.

1.2. Delimitación del problema

La delimitación del problema se sitúa en el ámbito geográfico de la ciudad de Milagro, específicamente en el recinto Tres Postes, durante el período de septiembre a diciembre de 2022. La población de interés está compuesta por las haciendas productoras de plátanos y bananos de la región, así como por los residuos generados por estas actividades.

Las variables que se consideran relevantes para el problema son:

- La eficiencia de diferentes extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de nanocelulosa bacterial.
- La composición química de los extractos de hojas de *Musa spp.*
- La capacidad de los extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de nanocelulosa bacterial.

1.3. Formulación del problema

El problema de estudio se centra en la siguiente pregunta: ¿Cuál es la relación entre la eficiencia de distintos extractos de hojas de *Musa spp.*, como medios para la producción de nanocelulosa bacterial y la composición química de los extractos, en las haciendas productoras de plátanos y bananos del recinto Tres postes de la ciudad de Milagro durante el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2022?

La población de estudio se circunscribe en el ámbito geográfico de la ciudad de Milagro en el recinto Tres postes, durante el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2022. En este contexto, se considera como población a las haciendas

productoras de plátanos y bananos de la región, así como a los residuos generados por estas haciendas.

Las variables del problema incluyen:

Variable independiente: eficiencia de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de nanocelulosa bacterial.

Variables dependientes: composición química de los extractos de hojas de *Musa spp.* y capacidad de los extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de nanocelulosa bacterial.

1.4. Objetivo general

Evaluar las propiedades fisicoquímicas de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medio para la obtención de nanocelulosa bacterial.

1.5. Objetivos específicos

- Analizar los extractos de hojas de *Musa spp.* mediante la determinación de su contenido de compuestos fenólicos, flavonoides, azúcares reductores, color y actividad antioxidante.
- Estimar el rendimiento de producción de celulosa bacterial a partir de los distintos extractos de las hojas de *Musa spp.*
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas de la celulosa bacterial obtenida de los extractos de *Musa spp.* con mayor rendimiento mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA).

1.6. Hipótesis

Hipótesis General

El rendimiento en la producción de nanocelulosa bacterial varía dependiendo del tipo de extracto de hoja de *Musa spp.* utilizada como fuente de carbono en el medio de cultivo.

Variable independiente: eficiencia de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de nanocelulosa bacterial.

Variables dependientes: composición química de los extractos de hojas de *Musa spp.* y capacidad de los extractos de hojas de *Musa spp.* como medios para la producción de nanocelulosa bacterial.

Hipótesis particulares

H1: La composición fisicoquímica de los extractos de hoja de banano y plátano es adecuada para la producción de nanocelulosa bacterial.

H2: La capacidad para la producción de nanocelulosa bacterial exhibe variabilidad en función de las distintas concentraciones de extractos de hojas de *Musa spp.* empleadas como fuente de carbono en la producción de nanocelulosa bacterial.

1.7. Justificación

El Ecuador, país eminentemente agrícola, cuenta con grandes extensiones de cultivos permanentes y transitorios, como banano, cacao, plátano, caña de azúcar, maíz y arroz. En 2014, la producción de residuos agrícolas superó los 10 millones de toneladas, incluyendo 4.5 millones de toneladas de residuos de banano y medio millón de toneladas de residuos de plátano (Ortiz et al., 2021). La conversión de estos residuos en productos de uso industrial, como la nanocelulosa, presenta una oportunidad interesante de explotación (Fiallos et al., 2022)

En este contexto, la creciente demanda de materiales más sostenibles que puedan reemplazar los polímeros a base de petróleo en aplicaciones tecnológicas más económicas y ambientalmente amigables, se están desarrollando procesos y materias primas. Los materiales a base de celulosa, como los compuestos de nanocelulosa, tienen un gran potencial para asumir este papel en el futuro debido a su naturaleza, disponibilidad, biodegradabilidad y excelentes propiedades mecánicas (Azeredo et al., 2017; El et al., 2022; Fiallos et al., 2021).

Este proyecto de investigación, titulado "Evaluación de distintos extractos de hojas de *Musa spp.* como medio para la producción de nanocelulosa bacterial"

propone una alternativa para el manejo y aprovechamiento de la biomasa residual de las musáceas en Ecuador. Este estudio tiene una importancia social y ambiental al enmarcarse en el cumplimiento del Objetivo 12 de la Producción y el Consumo Responsables para reducir la huella ambiental y proteger el medio ambiente.

Este estudio aporta información a la comunidad científica sobre la composición físico-química de las materias primas utilizadas para la preparación de los medios de producción de nanocelulosa bacterial, la valoración de la eficiencia de los procesos y el método detalladamente descrito para que sea aplicado en futuras investigaciones.

La justificación práctica de esta investigación radica en la importancia de la celulosa en el desarrollo de materiales nanométricos debido a sus extraordinarias propiedades cuando se encuentra en esa escala (Behera et al., 2022a; El et al., 2022; Fiallos et al., 2021; STATISTA, 2021).

La investigación beneficiará a los agricultores de las haciendas productoras de plátanos y bananos del recinto Tres Postes de la ciudad de Milagro, así como a las comunidades bananeras adyacentes, al proporcionar la información u orientación necesaria sobre el aprovechamiento de la hoja de banano.

Además, la nanocelulosa tiene un potencial importante en la industria alimentaria, farmacéutica, de materiales de construcción y en la fabricación de productos electrónicos (López et al., 2020; Serrano et al., 2017). Por lo tanto, los resultados de esta investigación pueden ser relevantes para el desarrollo de tecnologías sostenibles y la promoción del uso de materiales renovables en diversos sectores industriales.

En conclusión, esta investigación sobre la producción de nanocelulosa bacterial a partir de residuos de hojas de *Musa spp.* en Ecuador tiene una gran importancia social y ambiental, ya que contribuye al manejo y aprovechamiento de la biomasa residual de las musáceas, fomenta el desarrollo de materiales sostenibles y renovables, y puede generar una fuente de ingreso económico para los agricultores y sus familias. Además, los resultados pueden ser relevantes para el desarrollo de tecnologías sostenibles en diversos sectores industriales, así como para impulsar de los ODS.

1.8. Alcance y limitaciones

El alcance de esta investigación será la obtención de nanocelulosa bacteriana por fermentación y la optimización de su síntesis a través de la utilización de distintos extractos de las hojas de *Musas spp.* como componentes de los medios de cultivo utilizados.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra la dificultad para la adquisición de todos los reactivos necesarios en el Ecuador debiendo importar algunos de ellos con tiempo para su correspondiente uso.

No se encuentran limitaciones respecto a la materia prima debido a que las *Musáceas spp* se pueden obtener durante todas las estaciones del período de investigación.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1. Antecedentes

2.1.1 Antecedentes históricos

El Ecuador cuenta con importantes productos agrícolas, y entre ellos de los más significativos son el banano y plátano en sus distintas variedades (Haro et al., 2017; López et al., 2020); además, las planta de estas *Musáceas spp*, brindan multiplicidad de usos debido a que tanto las hojas como los tallos son ricos en fibra y celulosa pudiendo ser utilizadas como materia prima en la industria (Solano et al., 2022) como por ejemplo para la producción de nanocelulosa bacterial.

La producción de nanocelulosa bacteriana (NCB) se está convirtiendo en una opción cada vez más popular gracias a sus propiedades ambientalmente amigables. Por esta razón, se han llevado a cabo numerosas investigaciones en el campo de la producción de celulosa utilizando huéspedes microbianos con el fin de desarrollar métodos rentables y sostenibles para la producción de NCB a gran escala (Christoph y Muñoz, 2015; Jozala et al., 2016; López et al., 2020; Maurat, 2014; Ruiz et al., 2016). A pesar de los avances en la producción de NCB, el medio de cultivo sigue siendo uno de los mayores desafíos, ya que representa aproximadamente el 30% del costo total de producción (Masqués et al., 2021).

El desarrollo de materiales avanzados a partir de residuos agroforestales es muy importante debido a que además de darle un uso sustentable a un desecho y aminorar los problemas de contaminación ambiental que estos generan al medio ambiente, se pueden desarrollar nuevas tecnologías de producción, en cumplimiento al ODS 12 que promover el consumo y la producción sostenibles al transformar un desecho en un producto con valor agregado (Avila et al., 2019).

2.1.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.1.2.1. Cultivo de banano

Las plantas de banano representan algunas de las plantas herbáceas más grandes que existen en la actualidad, alcanzando algunas hasta 9 metros (30 pies) de altura (Torres et al., 2020). La gran hierba está compuesta por un tallo subterráneo modificado (rizoma), un falso tronco, una red de raíces y una gran espiga de flores (Ortega et al., 2010). El falso tronco es una agregación de la porción basal de las

vainas de las hojas; no es hasta que la planta está lista para florecer que un verdadero tallo crece a través de la vaina y cae de regreso hacia el suelo (Torres et al., 2020). Al final de este tallo crece un pedúnculo con muchas flores femeninas protegidas por grandes brácteas rojas y moradas. La extensión del tallo (esta parte se llama raquis) continúa su crecimiento hacia abajo, donde crece una flor masculina terminal. Las hojas tienen su origen en un pseudotallo y se despliegan para mostrar una lámina de hoja con dos mitades de lámina (Escuela Agrícola Panamericana, 2014).

Musa paradisiaca se reproduce tanto por procesos sexuales (semillas) como asexuales (chupones), utilizando medios asexuales cuando produce frutos estériles (no semillados). Otras características que distinguen a *Musa paradisiaca* incluyen hojas dispuestas en espiral, frutos como bayas, células productoras de látex presentes, 5 miembros connados y 1 miembro del whorl interno distinto, y un peciolo con una fila de canales de aire (Ancasi et al., 2016).

En el caso de la especie de banano y plátano, su clasificación taxonómica se ubica en el Reino Plantae, Subdominio Tracheobionta, Superdivisión Spermatophyta, División Magnoliophyta, Clase Liliopsida, Subclase Zingiberidae, Orden Zingiberales, Familia Musaceae, Género *Musa* y Especie *paradisiaca* (Escuela Agrícola Panamericana, 2014). Es importante mencionar que el género *Musa* se compone de diferentes especies que se utilizan para la producción de frutas comestibles, como el banano y el plátano (Ortega et al., 2010). La especie *paradisiaca* es específicamente utilizada para la producción de plátanos, mientras que otras especies como la *Musa acuminata* son utilizadas para la producción de bananos (Torres, 2020).

2.1.2.2. Celulosa

La celulosa es un polisacárido compuesto por largas cadenas lineales de β -(1 \rightarrow 4)-D-glucopiranosas, que le confieren insolubilidad en agua. Se conocen seis estructuras cristalinas distintas de celulosa: celulosa I, II, III, IIII, IVI y IVII (Masqués et al., 2021). Sin embargo, solo las variedades I y II se encuentran en la naturaleza, mientras que las demás se obtienen mediante transformaciones químicas o tratamientos térmicos (Ruiz et al., 2016). La Figura 1, muestra la estructura de la celulosa formada por nanofibras de celulosa, que son una cadena de moléculas de celulosa de forma tubular alargada teniendo una marcada relación de aspecto longitud-diámetro (Quintero et al., 2022).

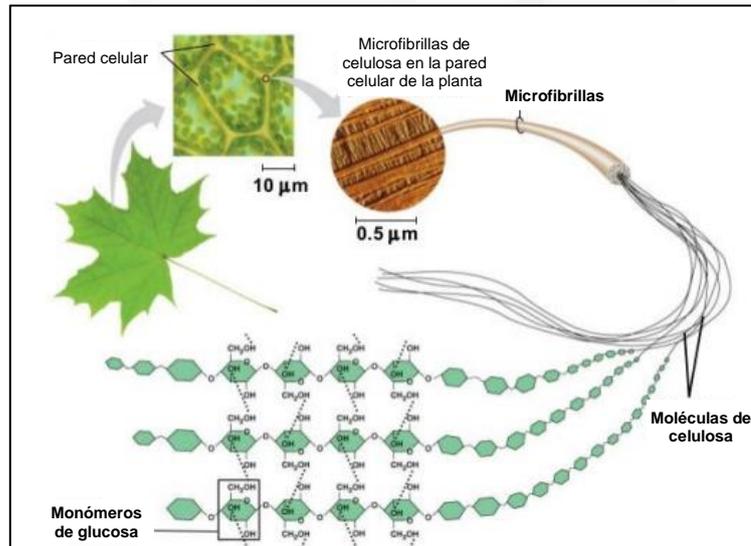


Figura 1: Estructura de la celulosa. Tomado de García, (2017).

La celulosa I se divide en dos formas: α y β . La α es sintetizada por bacterias y algas, mientras que la celulosa β es la forma predominante en las plantas (A. García, 2017). Ver Figura 2. Por su parte, la celulosa II es la más cristalina y estable termodinámicamente, y se puede obtener tanto de la naturaleza como por regeneración y mercerización de la celulosa I (Venson, 2019).

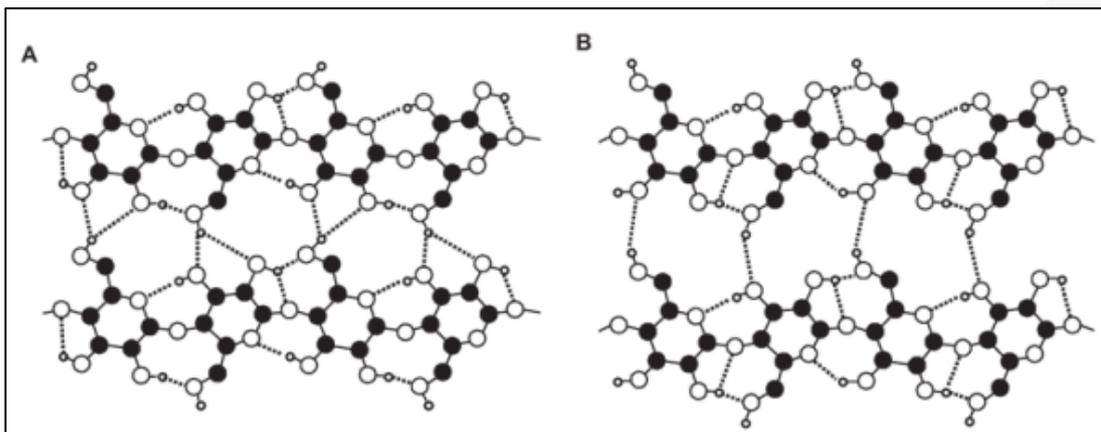


Figura 2: A) Representación de las estructuras α y B) Representación de la estructura β . Tomado de García, (2017).

La celulosa I tiene una estructura tridimensional en forma de espiral, en la que las cadenas de glucosa se disponen en capas planas y paralelas. Las cadenas de glucosa se encuentran unidas mediante puentes de hidrógeno intra e intercatenarias, formando una estructura compacta y altamente cristalina. Por otro lado, la celulosa II tiene una estructura más compleja, en la que las cadenas de glucosa se disponen en

dos capas, una en forma de espiral y otra en forma de zigzag. Las capas están unidas mediante enlaces de hidrógeno intercatenarias, lo que resulta en una estructura aún más cristalina y estable que la celulosa I. Ver Figura 3.

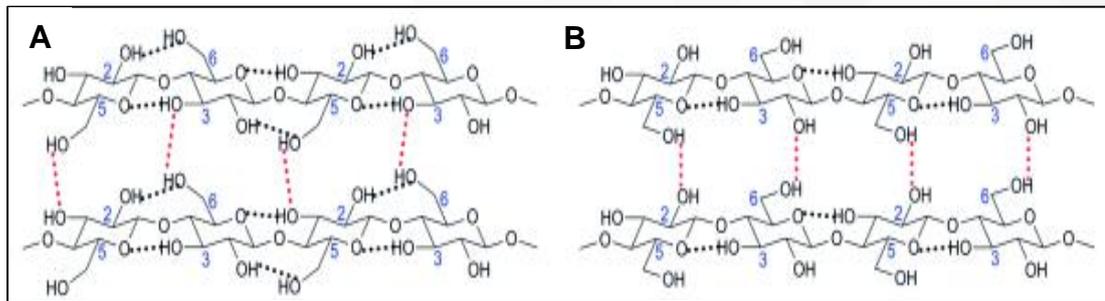


Figura 3: Representación espacial de (A) celulosa I y (B) celulosa II. Tomado de (A. García, 2017).

2.1.2.3. Nanocelulosa

La nanocelulosa es un componente esencial de la celulosa natural, el polímero renovable más abundante en la Tierra, que se encuentra en la biomasa de plantas y ciertas especies bacterianas (Kamal et al., 2022). En la naturaleza, la nanocelulosa se presenta como una forma de celulosa microfibrilla, rodeada por otros biopolímeros como la lignina y la hemicelulosa (Jacek et al., 2021).

El término nanocelulosa se refiere a un material que tiene al menos una de sus dimensiones en el rango nanométrico. La celulosa se puede modificar a escalas nanométricas por diferentes métodos y obtener nanocelulosa (Avila et al., 2019). Las nanocelulosas se clasifican en tres subcategorías principales con la base de sus dimensiones, funciones y métodos de preparación, que a su vez dependen principalmente de la fuente celulósica y en las condiciones de procesamiento. Se usa la clasifican en nanocristales de celulosa (NCC) y nanofibras de celulosa nanofibrilada (NFC) (Behera et al., 2022b). Otro tipo de nanocelulosa es la nanocelulosa bacteriana (NCB) que se sintetiza con un método de abajo hacia arriba a partir de glucosa por una familia de bacterias, referido como *Gluconoacetobacter xylinus* (Abdul et al., 2014) (Avila et al., 2019).

2.1.2.4. Nanocelulosa bacteriana

El término “nanocelulosa” o “celulosa bacteriana”, hace referencia a un polímero nanofibrilar obtenido por el crecimiento bacteriano compuesto de unidades de glucosa unidas por enlaces β (1 \rightarrow 4) que forman fibras de 10 a 100 nm de diámetro y de más

de una micra de longitud, de tal manera que forma una estructura reticular tridimensional formando una biopelícula de celulosa (Masqués et al., 2021).

La celulosa bacteriana es un biopolímero obtenido por fermentación con diversos microorganismos (Venson, 2019). El microorganismo más eficiente para su producción es la *Gluconacetobacter xylinus sucrofermentans* (Jozala et al., 2016).

La celulosa bacteriana se diferencia del resto de celulosas existentes por su pureza, lo que la hace uno de los biopolímeros más atractivo por sus múltiples aplicaciones. Además de su pureza (Masqués et al., 2021), sus principales propiedades son la biocompatibilidad (Troya, Adriana, 2019), no toxicidad (Castro et al., 2022a) y tamaño de fibras nanométricas. El bajo rendimiento y productividad obtenido de celulosa bacteriana dificultan su producción a gran escala requiriéndose desarrollar y optimizar las condiciones de cultivo que mejoren su rendimiento (García, 2017).

Una de las características más específicas de la celulosa es que hay tres grupos hidroxilos en cada uno de sus monómeros. En la Figura 4, se observa la capacidad de estos grupos hidróxido para formar enlaces de hidrógeno desempeña un papel muy importante en la formación de empaquetamientos fibrilares y semicristalinos que rigen las propiedades físicas de estos materiales altamente cohesivos.

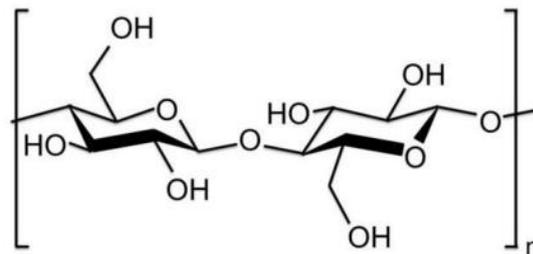


Figura 4: Estructura química de la celulosa. Tomado de Moya, J (2019).

2.1.2.5. Organismos productores de celulosa

La tunicina celulosa, un polisacárido estructural, es producida no solo por plantas, sino también por tunicados como *Microcosmus sulcatus*, *Halocynthia roretzi*, *Ciona intestinalis*, *Styela plicata* y *Ascidia sp* (Kamal et al., 2022). Estos organismos producen cristales de celulosa en forma de varillas. Además, algunas algas verdes, como *Cladophora*, *Chaetomorpha* y *Rhizoclonium* de la clase *Siphonocladales*, y

Valonia, *Dictyosphaeria*, *Siphonocladus* y *Boergesenia* de la clase *Cladophorales*, también son capaces de producir celulosa (Zabed et al., 2016).

Adicionalmente, la celulosa se puede producir mediante la actividad de *Trichoderma sp.* y *Aspergillus sp.* en el tratamiento previo de la biomasa a base de celulosa. También se ha encontrado celulosa en la pared celular de *Saprolegnia monoica*. Múltiples bacterias aerobias gramnegativas no patógenas, como *Sarcina*, *Rhizobium* y *Komagataeibacter*, pueden producir celulosa en forma de un gel blanco espeso. Cabe destacar que el cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY, por sus siglas en inglés) presente en bebidas fermentadas como el té kombucha, también es capaz de producir celulosa bacteriana. En la Figura 5 se muestran imágenes de los distintos microorganismos que conforman este consorcio.

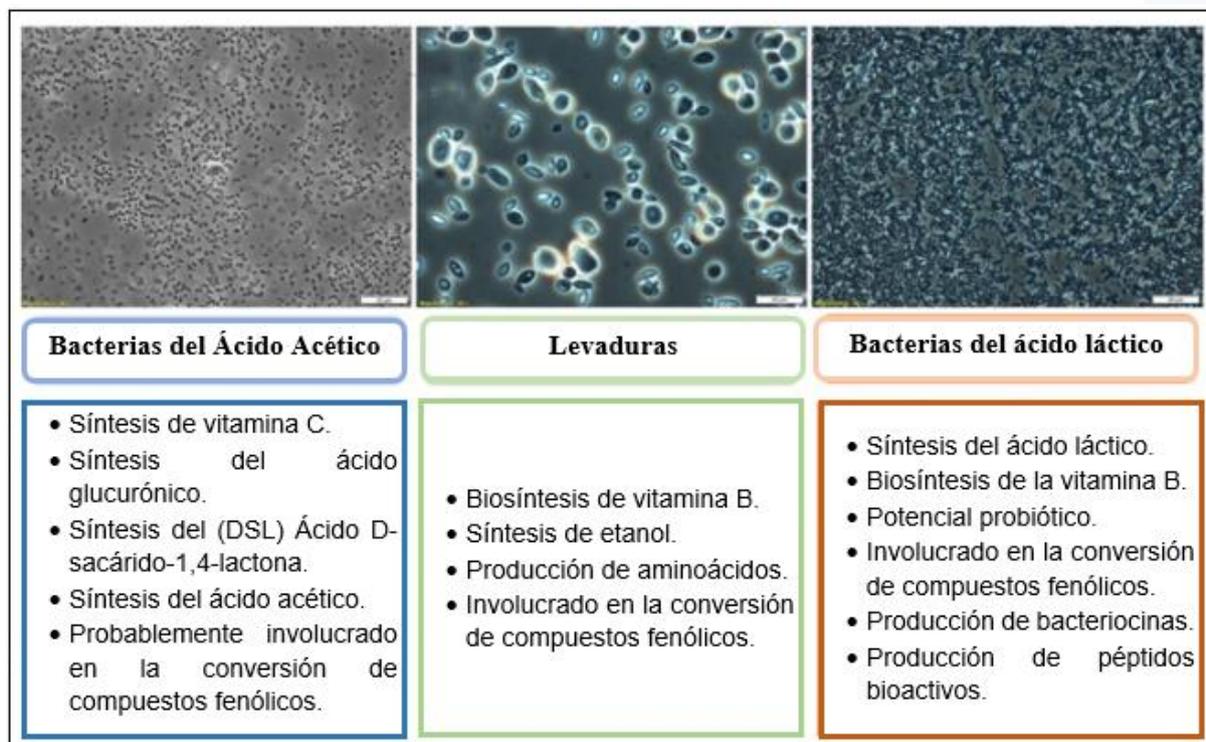


Figura 5: La influencia del consorcio SCOBY en las propiedades promotoras de la salud del té fermentado Antolak et al., (2021).

2.1.2.6. Condiciones de crecimiento para la obtención de nanocelulosa bacterial

Diversas investigaciones han ilustrado que *G. xylinus* tiene la capacidad de crecer y producir celulosa en una variedad de sustratos. Por esto es muy importante la composición óptima del medio para el crecimiento bacteriano y la producción de celulosa. El medio estándar utilizado para el cultivo de NCB, es el medio Hestrin-

Schramm (HS) (El et al., 2022) . Los principales factores que afectan al crecimiento de la bacteria y a la producción de celulosa son:

- **Fuente de carbono**

En la producción de celulosa bacteriana, se requiere una fuente de carbono que sirva como precursor para la síntesis de glucosa a través de la gluconeogénesis. Es importante destacar que la elección de la fuente de carbono adecuada puede tener un impacto significativo en la eficiencia del proceso de síntesis de celulosa (Tsouko et al., 2020).

En este sentido, el manitol se presenta como una fuente de carbono más eficiente que otras opciones para la generación de UDP-glucosa, necesario para la síntesis de celulosa. Debido a su alta solubilidad y estabilidad química, el manitol es capaz de proporcionar una mayor cantidad de carbono disponible para la síntesis de glucosa en comparación con otras fuentes de carbono (Behera et al., 2022a).

Asimismo, se ha demostrado que la utilización de manitol como fuente de carbono puede mejorar la calidad de la celulosa bacteriana producida, debido a que el uso de otras fuentes de carbono puede generar subproductos que pueden afectar la estructura y propiedades de la celulosa final. Por lo tanto, la selección cuidadosa de la fuente de carbono es esencial para optimizar el proceso de producción de celulosa bacteriana y obtener un producto de alta calidad (A. García, 2017).

- **Fuente de nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento esencial para la síntesis de proteínas en el metabolismo celular, constituyendo del 8% al 14% de la masa de células secas de bacterias (Kamal et al., 2022; Tsouko et al., 2020). En la producción de celulosa bacteriana, existen diversas fuentes de nitrógeno disponibles, tales como el extracto de levadura, la peptona, el sulfato de amonio, la polipeptona y la caseína hidrolizada, ya sea utilizadas de manera individual o combinada. Entre las diversas opciones, la peptona en combinación con el sulfato de amonio o la caseína hidrolizada han demostrado ser adecuadas para la síntesis de celulosa (Cheng et al., 2017; Dourado et al., 2016).

Por otro lado, la adición de metionina durante el cultivo de *A. xylinus* ha sido asociada con una mayor tasa de crecimiento durante el período de cultivo temprano, una disminución en el tiempo de retardo y un aumento en la velocidad de producción de celulosa (Jozala et al., 2016; Kamal et al., 2022).

- pH

Según Li et al., (2022), el rango de pH óptimo para la producción de celulosa por *Gluconacetobacter xylinus* es 4-7. Jozala et al., (2016) consideraron que un pH por debajo de 7 era posible la producción de celulosa bacteriana mientras que El-Naggar et al., (2022) demostró un pH 4-6 como óptimo para la producción de celulosa.

- Temperatura

García (2017), también refiere que algunos autores han observado que la máxima producción de celulosa tanto para glucosa como para sacarosa, se logra a 30°C. A 25°C y 35°C las producciones son similares en sí, pero menores que a 30°C, mientras a 40°C no existe crecimiento del microorganismo y, consecuentemente, no se presenta producción de celulosa. El rango de temperatura óptimo es de 28- 30°C aunque la producción se puede llevar a cabo entre 20-35°C.

- Disponibilidad de oxígeno

La formación de celulosa se produce en la interfase de la película aire/celulosa y no en la interfase medio/celulosa. El oxígeno es un factor importante para la producción de celulosa (Jozala et al., 2016). Watanabe y Yamanaka descubrieron que la concentración de oxígeno afecta tanto a la producción de celulosa como al rendimiento de la membrana formada. La celulosa cultivada bajo una menor concentración de oxígeno tiene menos ramificaciones que la celulosa cultivada bajo una concentración de oxígeno más alta (A. García, 2017; Jozala et al., 2016).

2.1.2.7. Obtención de bioproductos a partir de la biomasa residual del banano

Varias partes de *M. paradisiaca* se han utilizado para diversos fines medicinales. Tradicionalmente se ha utilizado para antidepresivos, antibacterianos, antihipertensivos, antiulcerogénicos, urolitiasis, laxantes, antihelmínticos. Este conocimiento indígena, transmitido de generación en generación en diversas partes del mundo, ha contribuido significativamente al desarrollo de diferentes sistemas de medicina tradicional, así como ha ayudado en la exploración de diferentes plantas medicinales para encontrar la base científica de sus usos tradicionales.

Existen estudios previos en donde se ha utilizado la biomasa residual producto del procesamiento del plátano y del banano para su revalorización. Así, Solano y et al (2022) en su artículo “Anaerobic biodigestion of musaceae residues: Ecuador case” propone la obtención de biogás mediante digestión aeróbica de los residuos orgánicos

del plátano y del banano. Esta propuesta surge como una alternativa para la revalorización de la biomasa ya que la mayoría de estos residuos producidos por las Musáceas se quedan en campo como el pseudotallo u hojas que se descomponen por la acción microbiana y posteriormente se incorporan al suelo. Sin embargo, los residuos de plátano contienen una buena cantidad de lignocelulosas con un 34,10% lo que es la pulpa y 5,39% en la cascara, que pueden ser aprovechadas para la generación de energía. El residuo lignocelulósico del banano puede ser utilizado para la producción de bioetanol, biogás, ácidos orgánicos, entre otros (Romero et al., 2017; Solano et al., 2022).

2.1.2.8. Producción de nanocelulosa bacteriana mediante distintas fuentes de carbono

Fiallos et al., (2021) también abordaron la obtención de bioproductos en su estudio en donde analizaron la influencia de los atributos de calidad de las hojas de banano en la concentración de sus azúcares reductores y su uso como fuente de carbono para la producción de nanocelulosa bacteriana (BNC) utilizando un cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY). SCOBY es un consorcio microbiano que incluye levadura, bacterias del ácido acético (AAB) y bacterias del ácido láctico (LAB)(Morán y Quimís, 2022). Además, SCOBY funciona bien en diferentes medios, como jugos de frutas, licor de maíz y medios que contienen polifenoles a costos relativamente bajos. Se utiliza como cultivo iniciador, junto con el té negro o verde, para preparar el té de Kombucha (KT). Además, se utilizan como fuente de nitrógeno para la fermentación (Fiallos et al., 2021). Esta investigación permitirá contrastar la producción y el rendimiento de NCB de acuerdo con los tiempos de fermentación, el medio utilizado, la acidez y el azúcar empleado en la preparación de los medios.

La investigación “Evaluación de las propiedades físico químicas y actividad antioxidante de una bebida fermentada a base de kombucha y extracto de hoja de banano” de Morán y Quimís (2022) aporta de sobre manera a esta investigación al utilizar como biomasa residual el extracto de la hoja de banano y como fermento la kombucha, con la variante de que la obtención de la nanocelulosa no es el fin mismo de la investigación sino la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante de una bebida fermentada a base de kombucha y extracto de hoja de banano (Morán y Quimís, 2022).

Los compuestos bioactivos presentes en la Kombucha pueden provenir del té (compuestos fenólicos, polisacáridos, vitaminas, minerales, aminoácidos), como de la actividad metabólica de los microorganismos involucrados en la fermentación de esta bebida. Los compuestos bioactivos obtenidos con la participación de microorganismos incluyen polifenoles (resultantes de la actividad metabólica de SCOBY), ácidos orgánicos, vitaminas, enzimas, proteínas como las bacteriocinas. Los beneficios finales dependen del material vegetal, así como del consorcio de microorganismos utilizados para la fermentación (Antolak et al., 2021). En la Tabla 1, se muestra la obtención de celulosa bacterial a partir de distintos medios.

Tabla 3. Diferentes estudios sobre obtención de celulosa bacterial

Microorganismos	Fuente de carbono	Fuente de nitrógeno	T (°C)	pH	Tiempo (días)	Rendimiento (g/l)	Referencia
<i>Gluconacetobacter xylinus</i> ATTC 53524	sacarosa	Extracto de levadura Peptone	30	5		3.83	(Mikkelsen et al., 2009)
<i>Gluconacetobacter hansenii</i> UAC 09	sacarosa	-	-	-	14	7.47	(Rani et al., 2011)
<i>G. xylinus</i> ATCC 10245	melaza	jarabe de maíz	30		6	4.70	(El-Saied et al., 2008)
<i>G. hansenii</i> PJK KCTC 10505BP	glucosa	Caldo de fermentación de cerveza	30	5	14	13.95	(Ha et al., 2008)
<i>Gluconacetobacter</i> sp.4B-2	sacarosa	Extracto de levadura Peptone	30	6–7	8	11.98	(Pourramezan et al., 2009)
<i>G. xylinus</i> ATCC 23770	Hidrolizado de paja de trigo	Extracto de levadura Peptone	30	5	11	15.40	(Hong et al., 2011)
<i>Acetobacter xylinum</i> ATCC 23769	glucosa	Extracto de levadura Peptone	30	3.5	15	15.28	(Ha & Park, 2012)
<i>G. xylinus</i> BCRC 12334	glucosa	Extracto de levadura Peptone	30	6	7	10.38	(Wu y Liu, 2012)
<i>G. xylinus</i> ATCC 23770	Hidrolizado de tela de algodón	Extracto de levadura Peptone	30	-	7–14	10.80	(Hong et al., 2012)
<i>Gluconacetobacter Xylinus</i> ATCC 23770	Hidrolizado de fibra	Extracto de levadura Peptone	30	5	7	11.00	(Cavka et al., 2013)

<i>Gluconacetobacter xylinus</i> ATCC 13693	glucosa	Extracto de levadura Peptone	28	6	7	16.32	(Keshk y Sameshima, 2006a)
---	---------	------------------------------	----	---	---	-------	----------------------------

Fuente: Obtenido de (Li et al., 2022)

2.1.2.9. Aplicaciones de la nanocelulosa

Los materiales a base de celulosa, debido a su naturaleza, disponibilidad, biodegradabilidad, y excelentes propiedades mecánicas, cuentan con gran demanda. La nanocelulosa tiene una amplia variedad de aplicaciones, dependiendo del rango de las propiedades físicas del producto generado. Estas propiedades se ven afectadas principalmente por el proceso de producción utilizado y por la composición de la lignocelulósica biomasa (Venson, 2019).

Las cadenas de las moléculas de nanocelulosa están en forma tubular alargada teniendo una marcada relación de aspecto longitud-diámetro. La tendencia o magnitud típica del diámetro es de 10 a 20 nanómetros y la de su longitud es de 10 veces o más la de su diámetro, esta propiedad geométrica de la molécula la hace muy sensible a diferentes campos de aplicación (Moon et al., 2011; Salas et al., 2014; Avila et al., 2019).

El estudio de Maurat (2014) comparó la Celulosa con otros polisacáridos, determinando que debido a su alto grado de polimerización, a las interacciones fuertes y regulares entre cadenas y a la organización de las fibras, es insoluble en agua y en la mayoría de solventes orgánicos; además, la celulosa es insoluble en álcalis fuertes; es un material que interactúa con los tejidos vivos de forma segura; es biodegradable y reciclable (Henriksson, 2009; Maurat, 2014).

La nanocelulosa de origen bacteriano (NCB) ha despertado gran interés en potenciar su producción, debido a sus características, tales como: su cristalinidad (Molina, 2018), pureza química (libre de lignina y hemicelulosa) (Jozala et al., 2016), su carácter hidrófilo, alta relación de aspecto, elevada resistencia a la tracción, porosidad, estructura nanofibrilar y biocompatibilidad (Azeredo et al., 2017), que favorecen la aplicación de la NCB en diversos sectores tales como: alimentos, (Christoph y Muñoz, 2015; Ruiz et al., 2016); papel, utilizada para restaurar documentos o como papel de alta calidad y papel de seguridad (Quintero et al., 2022); construcción debido a que soporta altas temperaturas, tiene propiedades de barrera, grado de cristalinidad, características de reología y excelentes propiedades

mecánicas (Troya, 2019); textil, en la producción de pieles y textiles artificiales y como material de alta absorción acuosa debido a su bajo costo, peso ligero, renovabilidad, así como la dimensión a escala nanométrica (Jenol et al., 2022); en biomédica, para el cuidado de la piel, los cosméticos y el cuidado terapéutico y protector que estimulan las funciones de la piel como la cicatrización, la termorregulación y la inmunidad (Meftahi et al., 2022) porque los materiales de nanocelulosa han demostrado tener una excelente biocompatibilidad, absorción, retención de agua, transparencia óptica, baja inmunogenicidad, baja toxicidad y características quimio-mecánicas, al mismo tiempo, es un material de costo relativamente bajo con alta disponibilidad y capacidad de renovación que lo hacen un biopolímero atractivo para el uso en ingeniería de tejidos (Castro et al., 2022b); electrónica, aplicada en la elaboración de electrodos (Moya, J., 2018), sensores eléctricos y electrónicos y dispositivos; materiales, empleada como reforzante en materiales compuestos, propiedades de barrera, empaques para alimentos (Molina, 2018); tratamiento de aguas, usada en los procesos de purificación de aguas residuales y ultrafiltración de aguas (Christoph y Muñoz, 2015).

El principal campo de aplicación de NCB es en el sector biomédico, debido al alto coste de producción y preparación que tiene esta nanocelulosa además de las inmejorables propiedades que posee. El mercado global para la nanocelulosa en 2017 fue de 97 billones de dólares para este tipo de aplicaciones. La celulosa bacteriana tiene propiedades óptimas para este campo como una gran resistencia mecánica en estado húmedo, gran permeabilidad para líquidos y gases, insolubilidad en medios acuosos, totalmente biocompatible y no presenta toxicidad en el cuerpo humano.

Según García (2017), la principal aplicación biomédica está dirigida a los “andamios” para los tejidos o del tissue scaffolds, fabricados en nanocelulosa y que presentan propiedades como una baja citotoxicidad, una alta biocompatibilidad y una alta porosidad, además de proporcionar un ambiente cell-friendly que facilite y estimule la proliferación de las células del tejido dañado (Castro et al., 2022b). Ver Figura 6.

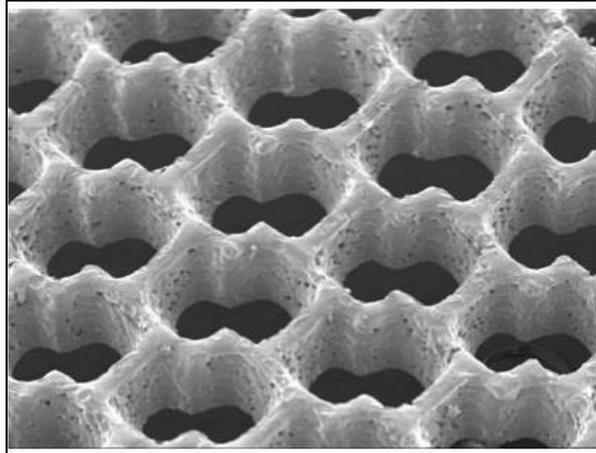


Figura 6: Andamios del tejido. Tomado de García, (2017).

La nanocelulosa es utilizada como excipiente de fármacos orales que facilitan la liberación prolongada del fármaco y por otro lado disminuyen la velocidad de desintegración del comprimido en el organismo para alcanzar órganos diana. La nanocelulosa para uso farmacéutico se presenta en forma de microesferas, hidrogeles y membranas.

La nanocelulosa por su alta cristalinidad, resistencia a la tracción, capacidad de absorción de agua, buena permeabilidad, biocompatibilidad, resistencia a la degradación y una baja solubilidad puede resultar ventajosa para materiales de tejido cutáneo (A. García, 2017). Los beneficios de estos productos son alivio inmediato del dolor, estrecha adhesión a la herida, disminución de la incomodidad después de la cirugía, reducción de la tasa de infección, facilidad de inspección de la herida (transparencia), cicatrización más rápida y retención de exudados mejorada, desprendimiento espontáneo después de la reepitelización y reducción del tiempo y los costos del tratamiento por el contrario uno de sus inconvenientes es la limitación elástica en zonas de gran movilidad (Castro et al., 2022).

La NCB tiene su uso principal en la fabricación del papel (M. A. López et al., 2020) como un aglutinante para la mejora considerable de la resistencia y durabilidad de la pulpa del papel. La incorporación de 5% de celulosa bacteriana con pasta de madera durante la formación de hojas de papel mejora significativamente la retención de caolín, resistencia y propiedades de resistencia al fuego en comparación con las hojas de papel producidas sin la incorporación de celulosa bacteriana (Quintero et al., 2022).

Otra aplicación de la NCB según lo menciona García (2017), es el envasado de alimentos, por ejemplo, los films para aplicaciones de envasado de alimentos que

se observan en la Figura 7. También está libre de hemicelulosa y lignina, reduciendo los costos de purificación y los daños ambientales derivados del uso de productos químicos agresivos. BC se utiliza para formar películas diferentes (Troya, 2019).

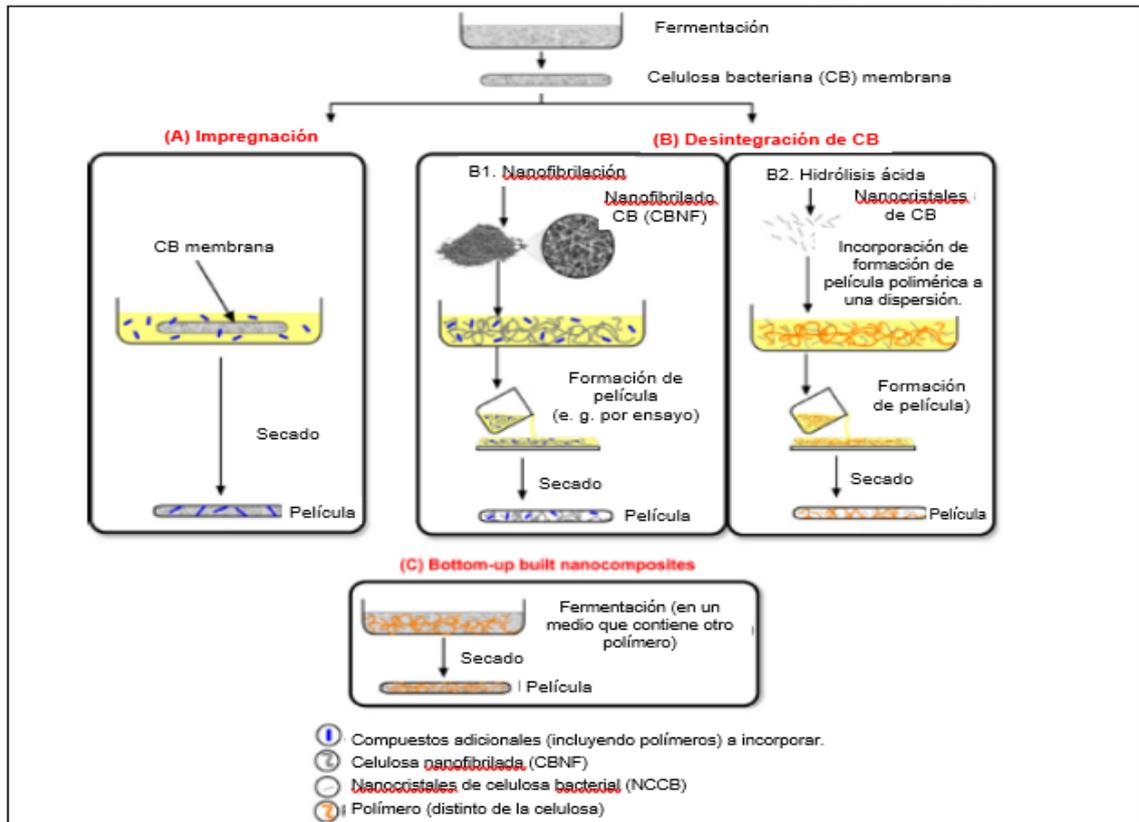


Figura 7. Procesos de utilización de celulosa bacteriana en films de la industria alimentaria. Tomado de Azevero et al., (2017)

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio es de diseño mixto, ya que utiliza tanto métodos cualitativos como cuantitativos para describir y medir las variables en diferentes momentos del proceso de investigación. Su objetivo es evaluar el uso de distintos extractos de hojas de *Musa spp* como medio para la producción de nanocelulosa bacteriana, con el fin de determinar el medio que mejora el rendimiento de la producción de nanocelulosa bacteriana. Se trata de una investigación pura o básica, ya que busca generar conocimiento sobre un tema nuevo, que servirá como base para futuras investigaciones aplicadas. A su vez, también es una investigación fundamental, ya que es esencial para el desarrollo de la ciencia.

En cuanto a su enfoque gnoseológico, el estudio es de tipo explicativo, ya que busca ir más allá de la simple descripción de los fenómenos y establecer las regularidades generales y esenciales que rigen su dinámica y desarrollo. El estudio se realiza en un ambiente de laboratorio, con un control riguroso de las variables y una precisión en el registro de las relaciones entre ellas.

Respecto a su diseño, se trata de una investigación experimental, ya que se manipula intencionalmente la variable independiente para analizar su influencia en el rendimiento y las características de la nanocelulosa obtenida. Además, se utiliza un enfoque transeccional con orientación temporal correlacional-causal.

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron los siguientes tipos de metodología de investigación:

3.1.1. Investigación bibliográfica

Mediante la revisión bibliográfica se revisaron diferentes estudios sobre la elaboración producción de nanocelulosa bacteriana, sus aplicaciones y obtención a partir de biomasa residual con la finalidad conocer qué tipos de variables y métodos se han utilizado para su producción.

3.1.2. Investigación experimental

En el transcurso de la experimentación se determinaron las variables a emplear y su influencia en la producción y formulación de los medios a partir de los extractos de *Musáceas spp*.

3.1.3. Investigación cuantitativa

El uso de extractos de hojas de banano y plátano en la producción de nanocelulosa bacteriana es un tema que requiere de un enfoque cuantitativo en la investigación debido a la necesidad de medir y cuantificar el rendimiento y la producción de nanocelulosa en relación con los diferentes extractos utilizados. La investigación cuantitativa permite la recolección de datos numéricos y estadísticos que son necesarios para medir la efectividad de los distintos tratamientos.

3.2. Metodología

3.2.1. Análisis de los extractos de hojas de *Musa spp.* mediante la determinación de su contenido de compuestos fenólicos, flavonoides, azúcares reductores, color y actividad antioxidante.

3.2.1.1. Obtención del extracto de la hoja de *Musáceas spp.*

Se compraron las hojas de banano y de verde a un proveedor de una finca en que cultivan banano orgánico ubicadas en el recinto Tres Postes. Se lavaron todas las hojas, se pesaron, posteriormente se extrajo la nervadura de las hojas y se volvió a pesar para luego triturarlas con ayuda de un trapiche.

Los extractos de la hoja de banano (EHB) y de la hoja de verde (EHV) se pesaron, se filtró utilizando doble filtro de lienzo, se midió el volumen y se pasteurizó durante 60 min a 150°C en una autoclave vertical. Los EHB y EHV pasteurizados se reservaron en frascos ámbar en una nevera a 6°C, para ser analizados posteriormente. Todo este proceso realizó por aproximadamente 5 horas. Todos los materiales utilizados en este proceso se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Equipos y materiales utilizados en la obtención de los extractos de la hoja de banano y de plátano verde.

Equipos y materiales	Cantidad
Trapiche para la molienda	1
Filtro de lienzo	2
Balanza digital colgante	1
Balanza analítica	1

Probeta de 1000 mL	2
Vaso de precipitación de 3000 mL	2
Balde grande plástico	1
Fundas de plástico	10
Cuchillo	2
Medidor de grados brix	1
Frascos de vidrio ámbar	4
Frascos de vidrio	4
Autoclave vertical	1
Refrigeradora	1
Plástico para envolver (rollo)	1
Rollo de papel aluminio	1
Multímetro	1
Hojas de banano	12
Hojas de plátano verde	31

Fuente: Cumbicus, 2023

3.2.1.2. Determinación de °Brix en los extractos de banano y plátano

Los °Brix son una unidad de medida utilizada para cuantificar la cantidad de sólidos disueltos en una solución líquida. Estos grados se definen como el porcentaje de masa de sacarosa en una solución acuosa, expresado en términos de peso. Es decir, son un indicador de la concentración de azúcares y otros sólidos disueltos en una solución. Son comúnmente utilizados en la industria de alimentos y bebidas para medir la calidad y uniformidad de los productos, tales como jugos, néctares, mermeladas y vinos, entre otros (Lam et al., 2021).

La medición de los sólidos disueltos en extractos de hoja de banano y plátano es un proceso importante para evaluar su calidad. Para realizar esta tarea se utiliza un refractómetro, un instrumento comúnmente utilizado para medir los °Brix en soluciones líquidas. Este instrumento se basa en el principio de la refracción de la luz, donde la cantidad de refracción depende de la cantidad de sólidos disueltos en la solución.

Para llevar a cabo este proceso, es necesario preparar los extractos de hoja de banano y plátano y dejarlos enfriar a temperatura ambiente. Una vez enfriados, se

debe transferir una pequeña cantidad de la muestra a la placa del refractómetro y cerrar la tapa del instrumento. La lectura del refractómetro se toma a través de la escala graduada en °Brix, y se registra el valor obtenido para cada muestra. Este proceso permite evaluar de manera precisa la concentración de sólidos disueltos en los extractos de hoja de banano y plátano, y así, determinar su calidad.

3.2.1.3. Determinación de la densidad de los extractos de banano y plátano

Para la determinación de la densidad de los extractos de banano y plátano, se empleó el uso de un picnómetro. Este instrumento es utilizado para medir la relación entre la masa y el volumen de una muestra líquida. Para ello, se pesó el picnómetro vacío y se registró su masa. Luego, se llenó el picnómetro con la muestra líquida y se volvió a medir la masa total del picnómetro con la muestra. La diferencia de masa entre el picnómetro vacío y lleno se utilizó para determinar el volumen de la muestra líquida (Talens, 2020).

Posteriormente, se calculó la densidad de la muestra mediante la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde ρ : densidad; m: masa, y V: volumen

Este proceso es importante para evaluar la calidad de los extractos de banano y plátano, ya que la densidad puede ser un indicador de la concentración de sólidos disueltos y otros componentes presentes en la muestra líquida.

3.2.1.4. Determinación de pH

El pH se midió con un potenciómetro previamente calibrado, determinado según la NTE INEN 389.

3.2.1.5. Determinación de conductividad en los extractos de banano y plátano

La medición de la conductividad en los extractos de banano y plátano es útil para determinar la cantidad de iones presentes en la solución, lo que a su vez puede indicar la presencia de sales y otros compuestos iónicos. La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la concentración de iones en una solución y se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). En el caso de los extractos de banano y plátano, la conductividad puede ser utilizada como indicador de la calidad y madurez

de los frutos, ya que la cantidad de iones y sales en la solución puede variar en función de la madurez y estado de los frutos.

Además, la medición de la conductividad puede ser útil para determinar la presencia de contaminantes y otros compuestos no deseados en los extractos, lo que puede afectar la calidad y la seguridad de los productos finales.

3.2.1.6. Determinación de contenido de azúcares reductores.

La determinación de los azúcares reductores en extractos de hoja de banano y plátano es un proceso importante para evaluar la calidad de estos extractos. El método DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico) es un método comúnmente utilizado para la determinación de azúcares reductores (Lam et al., 2021). Este método se basa en la capacidad de los azúcares reductores para reducir el reactivo DNS y formar un complejo de color rojo intenso que se puede medir a través de la espectrofotometría (Deshavath et al., 2020).

Para llevar a cabo este proceso, se deben preparar los extractos de hoja de banano y plátano y dejarlos enfriar a temperatura ambiente. Una vez enfriados, se debe transferir una alícuota de la muestra a un tubo de ensayo y agregar una solución de DNS previamente preparada. A continuación, se debe mezclar bien la muestra con la solución DNS y calentar el tubo de ensayo en un baño de agua hirviendo durante 5 minutos. Después de calentar, el tubo de ensayo debe enfriarse rápidamente en un baño de agua fría durante 5 minutos y luego diluir la muestra con agua destilada.

Para medir la cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra, se debe medir la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 540 nm utilizando un espectrofotómetro. Para ello, se debe comparar la absorbancia de la muestra con la absorbancia de una solución patrón de glucosa para calcular la cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra (Lam et al., 2021).

El nivel de glucosa en cada uno de los extractos de *Musáceas spp* se midió mediante el uso de un glucómetro de los utilizados para medir el nivel de glucosa en la sangre de los seres humanos y utilizando gotas del extracto para su respectiva medición (Attaallah et al., 2021).

3.2.1.7. Salinidad de Haash

La salinidad de Haash (%) se puede medir en extractos de plantas y se utiliza

como una medida de la concentración de sales disueltas en una solución. La salinidad de Haash se puede medir en una amplia variedad de muestras, incluyendo extractos de plantas, agua de riego, suelo y otros medios acuosos.

En el caso de los extractos de plantas, la medición de la salinidad de Haash puede ser útil para determinar la cantidad de sales disueltas que se han extraído de la muestra y puede ser una medida importante de la calidad de la muestra.

3.2.1.8. Resistividad de Haash

La resistividad de Haash, se puede utilizar para medir la salinidad en extractos de plantas. La resistividad y la conductividad son inversamente proporcionales, por lo que, si se mide la resistividad de un extracto de planta, se puede calcular su conductividad. La medición de la salinidad es importante en la evaluación de la calidad de los extractos de plantas, ya que puede afectar su capacidad para ser utilizados en diferentes aplicaciones.

La salinidad puede influir en la estabilidad de los extractos, su capacidad para disolverse en diferentes medios y su capacidad para ser utilizados como ingredientes en productos alimentarios y farmacéuticos. Por lo tanto, la medición de la salinidad ya sea mediante la resistividad de Haash o la conductividad, es una herramienta importante en la evaluación de la calidad de los extractos de plantas.

3.2.1.9. Tamizaje fitoquímico del extracto de banano y plátano

El tamizaje fitoquímico es una técnica analítica de tipo cualitativo que se utiliza para identificar la presencia o ausencia de diferentes compuestos químicos en una muestra de origen vegetal, como en el caso del extracto de hoja de banano y plátano en etanol. La metodología para llevar a cabo esta técnica comprende tres etapas: la preparación del extracto, la preparación de las soluciones reactivas y la prueba de tamizaje fitoquímico y la interpretación de los resultados.

En la primera etapa, se obtuvo el extracto de hoja de banano y plátano en etanol a través de una técnica de extracción con solventes, donde las hojas secas se maceraron en etanol y se filtró la mezcla para obtener el extracto. Posteriormente, se evaporó el etanol para concentrar la muestra.

En la segunda etapa, se prepararon diferentes soluciones reactivas que permiten la detección de la presencia de distintos compuestos químicos en la

muestra, tales como flavonoides, carbohidratos, azúcares reductores, taninos, saponinas, alcaloides y fenoles. Cada solución reactiva tiene una reacción específica para cada tipo de compuesto.

En la tercera etapa, se llevó a cabo la prueba de tamizaje fitoquímico, donde se agregó una pequeña cantidad del extracto de hoja de banano y plátano en etanol a cada una de las soluciones reactivas. Si el compuesto está presente, se producirá una reacción característica, como un cambio de color o la formación de un precipitado.

3.2.1.10. Determinación del color de los extractos de plátano y banano

La determinación del color de los extractos de hoja de banano y plátano se lleva a cabo mediante el sistema CIELAB, que implica la medición de tres parámetros: L^* , a^* y b^* .

El parámetro L^* indica la claridad o luminosidad del color, con un rango de valores que va desde el negro (0) hasta el blanco (100). Por su parte, el parámetro a^* representa la variación de color entre el verde ($-a^*$) y el rojo ($+a^*$), mientras que el parámetro b^* representa la variación de color entre el azul ($-b^*$) y el amarillo ($+b^*$).

Para realizar la medición del color, es necesario contar con un espectrofotómetro que permita la conversión de los valores de reflectancia a los valores CIELAB y que esté correctamente calibrado para la medición en el rango de longitud de onda visible.

El proceso para determinar el color de los extractos de hoja de banano y plátano implica preparar las muestras, colocar una muestra de extracto sobre una superficie blanca, realizar la medición del color con el espectrofotómetro, anotar los valores L^* , a^* y b^* obtenidos, compararlos con los valores de referencia y, finalmente, interpretar los resultados para determinar si hay alguna diferencia significativa en el color entre las muestras.

Es importante seguir los mismos procedimientos y condiciones de medición para asegurar una comparación adecuada de los resultados, ya que el color puede variar en función de varios factores como la variedad de la fruta, la etapa de madurez de la hoja o el método de extracción utilizado.

3.2.2. Estimación del rendimiento de producción de celulosa bacterial a partir de los distintos extractos de las hojas de *Musa spp.*

3.2.2.1. Preparación de medios de cultivo a base de kombucha y los extractos de hoja de banano (EHB) y de hoja de plátano verde (EHV).

Se preparó 51 frascos de vidrio de 145mL en la autoclave vertical para garantizar la ausencia bacterias en los mismos. Posteriormente, para iniciar la fermentación, se añadió de 1 a 10% del SCOBY de Kombucha previamente fermentado (Chakravorty et al., 2016), en cada uno de los frascos de vidrio. Se cubrió cada frasco con papel aluminio para garantizar las condiciones de oxígeno y proteger de insectos o contaminación de la microbiota, el biorreactor (fermentación tradicional) (Moran y Quimis, 2022). Se dejaron los frascos con el SCOBY y los EHB y EHV a una temperatura de 30 °C para la fermentación (Antolak et al., 2021).

El SCOBY se adquirió en una tienda en línea ubicada en Daule. Según Morán y Quimis, (2022), el SCOBY, generalmente contiene levaduras de las especies *Saccharomyces spp.*, *Zygosaccharomyces spp.* y *Brettanomyces bruxellensis*, bacterias del ácido acético de la especie *Komagataeibacter spp* y bacterias del ácido láctico. Los equipos y materiales utilizados se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Equipos y materiales utilizados para la preparación el medio de cultivo con el EHB y EHV

Equipos/materiales/reactivos	Cantidad
Agua destilada (L)	3
Extracto de levadura (g)	15
Pectona (g)	15
Bifosfato de sodio (g)	8,1
Ácido cítrico (g)	3,45
Fiola de 1L	1
Scooby de Kombucha (g)	54
Extracto de banano (g)	810
Extracto de hoja de verde (g)	10
Frascos de vidrio de 145mL	54
Autoclave	1

Glucómetro digital	1
Potenciómetro	1
Balanza analítica	1
Rollo de papel aluminio	1
Pipeta de 10mL	1
Espátula	1
Pliego de papel periódico para etiquetar	3

Fuente: Cumbicus, 2023

3.2.3. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la celulosa bacterial obtenida de los extractos de *Musa spp.* con mayor rendimiento mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA).

3.2.3.1. Análisis de celulosa bacterial por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia FTIR utiliza radiación infrarroja para analizar la interacción de la muestra con la luz infrarroja. La técnica se basa en la absorción de la radiación por los enlaces químicos presentes en la muestra, lo que proporciona información sobre su estructura química y composición molecular (Aroca y Estrada, 2015).

Para realizar el análisis de celulosa bacteriana por FTIR, se prepara una muestra de la celulosa bacteriana en forma de película delgada y se coloca en un dispositivo de análisis FTIR. Se irradia la muestra con radiación infrarroja y se mide la cantidad de radiación que es absorbida por los enlaces químicos de la celulosa bacteriana (Troya, 2019).

Los espectros resultantes muestran picos característicos correspondientes a las vibraciones moleculares de los enlaces químicos presentes en la muestra. Cada pico representa un tipo de enlace químico específico y proporciona información sobre la estructura molecular de la celulosa bacteriana (López et al., 2007.).

3.2.3.2. Análisis de celulosa bacterial por análisis termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico (TGA) permitirá medir la variación de la masa de la celulosa bacterial en función de la temperatura. Esto se logra mediante el

calentamiento controlado de la muestra en un ambiente sin oxígeno, mientras se mide la pérdida de masa de la muestra en función de la temperatura (García y Mora, 2019). La celulosa bacterial es una biomasa que se degrada térmicamente en una serie de etapas, cada una asociada con la liberación de diferentes productos volátiles (Masqués, Silvia et al., 2021). El TGA permite identificar y caracterizar estas etapas de degradación térmica, y determinar la cantidad de celulosa bacterial presente en la muestra en función de la pérdida de masa observada en cada etapa (E. G. J. García & Mora, 2019). Esta técnica es muy útil para determinar la pureza de la celulosa bacterial y para comparar la estabilidad térmica de diferentes muestras (Aroca y Estrada, 2015).

CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados

4.1. Análisis de los extractos de hojas de *Musa spp.* mediante la determinación de su °Brix, pH, gravedad específica, azúcares reductores, color y tamizaje fitoquímico.

En este estudio se evaluó la cantidad de sólidos solubles totales, pH, azúcares reductores, conductividad y resistividad en extractos de musáceas, cuyos valores se muestran en la Tabla 4. Se encontró que el EHB presentó una mayor cantidad de sólidos solubles que el EHV, debido a la degradación de los azúcares acumulados en el almidón, sobre todo de los principales constituyentes de los sólidos solubles que son la glucosa, fructosa y sacarosa. Además, se observaron diferencias en los valores de pH, siendo más ácido el EHB en comparación con el EHV. La medida de azúcares reductores varió en los extractos de las musáceas, siendo más alto el nivel de azúcares en el EHB que en el EHV. También se observó mayor conductividad en el EHV y mayor salinidad en el EHB.

Tabla 4. Propiedades física-químicas de las materias primas

Muestras	°Brix	ρ	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Azúcar reductor (g/L)	Sólidos totales disueltos (g/L)	Salinidad de Haash (%)	Resistividad de Haash (Ω/cm)
EHB	5	1,02	4,92	16,90	19,60	9,54	9,96	59,20
EHV	4	1,02	5,32	20,63	18,00	12,38	12,86	47,00

Nota: EHB: Extracto de hoja de banano; EHP: Extracto de hoja de plátano; ρ : Densidad (g/L).
Fuente: Cumbicus, 2023.

Una mayor conductividad en un extracto indica que hay una mayor cantidad de iones presentes en la solución, lo que puede deberse a la presencia de sales disueltas o ácidos y bases. El extracto de hoja de plátano presenta una mayor conductividad que el extracto de hoja de banano, lo que sugiere una mayor cantidad de iones presentes en la solución. Esto puede ser consecuencia de la presencia de sales disueltas o compuestos ácidos y básicos en mayor cantidad en el extracto de hoja de plátano.

La salinidad de Haash es una medida de la conductividad eléctrica de una solución, que se correlaciona con la cantidad de sales disueltas presentes en la muestra. En este caso, el extracto de hoja de plátano presenta una salinidad de Haash más alta (12,86%) que el extracto de hoja de banano (9,96%). Esto puede deberse a

varias razones, como la composición química de cada hoja, el tipo y cantidad de sales presentes en el suelo donde crecen las plantas, así como las condiciones de cultivo y cosecha. Es posible que el extracto de hoja de plátano contenga más sales disueltas debido a una mayor absorción de nutrientes del suelo o una mayor acumulación de sales en la planta debido a un clima más seco.

La resistividad de Haasch en los extractos de hoja de banano y de plátano puede variar debido a las diferentes propiedades químicas y estructurales de los compuestos presentes en cada extracto. Estos pueden tener diferentes perfiles de compuestos, incluyendo diferentes niveles de humedad, diferentes concentraciones de azúcares, proteínas, lípidos y otros componentes. Cada uno de estos compuestos puede afectar la conductividad eléctrica del extracto.

Tabla 5. Valor parámetro cromático (CIELAB) de los extractos

EXTRACTO	L*	a*	b*	Chroma	Hue
EHB	27,32	0,49	-0,35	0,60	324,03
EHP	27,28	0,54	0,03	0,54	6,64

L*: luminosidad; a*: rojez; b*: amarillez; Chroma: $(a^2 + b^2)^{0,5}$; Hue: $\tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)^2$

Fuente: Cumbicus, 2023

Según el análisis CIELAB. Ver Tabla 5, Los valores de L*, a*, y b* en el sistema de color CIELAB se utilizan para describir las características de color de un objeto. L* indica la claridad del color (desde el negro al blanco), a* indica la cantidad de verde o rojo en el color (desde el verde al rojo) y b* indica la cantidad de azul o amarillo en el color (desde el azul al amarillo).

En cuanto a los valores de Chroma y Hue, Chroma se refiere a la saturación del color y Hue se refiere a la tonalidad del color.

En el caso del extracto de hoja de banano, los valores de L*, a* y b* indican que el color es relativamente oscuro (L*=27,32), y tiene una ligera tendencia hacia el verde (a*=0,49) y el amarillo (b*=-0,35). El valor de Chroma es bajo (0,60), lo que indica que el color es poco saturado. El valor de Hue (324,03) indica que el color se encuentra en la zona de tonalidad azul-verde.

Por otro lado, en el caso del extracto de plátano, los valores de L*, a* y b* son muy similares a los del extracto de hoja de banano, lo que indica que el color es relativamente oscuro (L*=27,28) y tiene una ligera tendencia hacia el verde (a*=0,54)

y el amarillo ($b^*=0,03$). El valor de Chroma es bajo (0,54), lo que indica que el color es poco saturado. El valor de Hue (6,64) indica que el color se encuentra en la zona de tonalidad amarilla.

Es decir, los valores CIELAB indican que tanto el extracto de hoja de banano como el extracto de plátano tienen colores similares, pero con ligeras diferencias en su tonalidad y saturación.

El tamizaje fitoquímico es una técnica que se utiliza para detectar la presencia de diferentes grupos de compuestos químicos en extractos de plantas. En el caso de los extractos de banano y plátano, el tamizaje fitoquímico indicó la presencia de flavonoides, carbohidratos, azúcares reductores, taninos, saponinas, alcaloides y fenoles. Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, astringentes, antifúngicas, antibacterianas, analgésicas, estimulantes y alucinógenas, entre otras. Esto sugiere que las plantas de banano y plátano contienen una variedad de compuestos químicos que podrían tener efectos beneficiosos para la salud. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el tamizaje fitoquímico solo detecta la presencia de estos compuestos, pero no proporciona información sobre su cantidad o actividad biológica real. Por lo tanto, se requiere de más investigaciones para determinar la cantidad y la actividad biológica de estos compuestos en los extractos de banano y plátano. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Fitoquímicos presente en los extractos de banano y plátano

Fitoquímicos	Extracto en etanol	
	Banano	Plátano
Flavonoides	Positivo	Positivo
Carbohidratos	Positivo	Positivo
Azúcares reductores	Positivo	Positivo
Taninos	Positivo	Positivo
Saponinas	Positivo	Positivo
Alcaloides	Positivo	Positivo
Fenoles	Positivo	Positivo

Fuente: Cumbicus, 2023

4.2. Estimación del rendimiento de producción de celulosa bacterial a partir de los distintos extractos de las hojas de *Musa spp.*

La fuente de carbono juega un papel crucial en la producción de nanocelulosa bacterial (NCB) a partir de biomasa residual, ya que la disponibilidad y calidad de la fuente de carbono afecta directamente la producción y propiedades del material resultante. La NCB es un material biodegradable y renovable con diversas aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y electrónica, lo que la convierte en un material de gran interés científico y tecnológico.

Sin embargo, la composición de la biomasa residual puede variar significativamente según su origen y tratamiento previo, lo que puede afectar la producción y propiedades de la NCB. Por lo tanto, es importante seleccionar cuidadosamente la fuente de carbono adecuada para maximizar la producción y las propiedades deseadas de la NCB.

En este contexto, esta investigación evaluó el rendimiento de la producción de NCB a partir del extracto de hoja de banano en diferentes concentraciones y tiempos de incubación. Los resultados mostraron que el extracto de hoja de banano al 40 % v/v produjo los mayores rendimientos de NCB después de 7 y 14 días de incubación. Ver Tabla 7. Este hallazgo sugiere que el extracto de hoja de banano puede ser una fuente de carbono efectiva para la producción de NCB a partir de biomasa residual y podría tener implicaciones importantes para la producción a gran escala de este material prometedor.

Tabla 7. Rendimiento de producción de nanocelulosa bacterial a distintas concentraciones de extracto de hoja de banano

EHB (%)	Té verde (%)	Inoculo (%)	Tiempo días	Volumen (mL)	Peso NCB (g)	Rendimiento (g*L ⁻¹ *h ⁻¹)
20	80	10	7	100	1,23	0,073
40	60	10	7	100	4,11	0,245
60	40	10	7	100	3,56	0,212
80	20	10	7	100	4,02	0,239
20	80	10	14	100	3,21	0,096
40	60	10	14	100	9,23	0,275
60	40	10	14	100	8,54	0,254
80	20	10	14	100	8,67	0,258

Fuente: Cumbicus, 2023

Además, este estudio evaluó por primera vez el uso del extracto de hoja de plátano como fuente de carbono para la producción de NCB. Los resultados mostraron que, al igual que con el extracto de hoja de banano, los mayores rendimientos de NCB se obtuvieron con una concentración del 40 % v/v de extracto de hoja de plátano después de 7 y 14 días de incubación. Sin embargo, los rendimientos obtenidos con el extracto de hoja de plátano fueron inferiores a los obtenidos con el extracto de hoja de banano.

Este resultado puede deberse a la composición química diferente de los extractos de hoja de plátano y hoja de banano, lo que puede afectar la disponibilidad de carbono y otros nutrientes para las bacterias productoras de NCB. Además, la variación en la composición química de los extractos puede influir en el rendimiento. Por lo tanto, se requiere más investigación para comprender completamente los efectos de diferentes fuentes de carbono en la producción de NCB y optimizar las condiciones de cultivo para maximizar la producción y las propiedades del material.

Tabla 8. Rendimiento de producción de nanocelulosa bacteriana a distintas concentraciones de extracto de hoja de plátano

EHP (%)	Té verde (%)	Inoculo (%)	Tiempo días	Volumen (mL)	Peso NCB (g)	Rendimiento (g*L ⁻¹ *h ⁻¹)
20	80	10	7	100	1,05	0,063
40	60	10	7	100	3,1	0,185
60	40	10	7	100	2,16	0,129
80	20	10	7	100	3,22	0,192
20	80	10	14	100	2,11	0,063
40	60	10	14	100	7,63	0,227
60	40	10	14	100	7,44	0,221
80	20	10	14	100	7,37	0,219

Fuente: Cumbicus, 2023

4.3. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la celulosa bacterial obtenida de los extractos de *Musa spp.* con mayor rendimiento mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA).

4.3.1. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

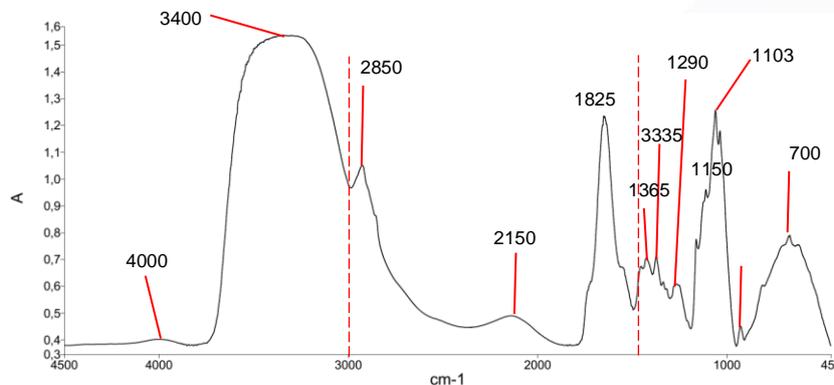


Figura 8. Análisis de FTIR en nanocelulosa bacterial.

Fuente: Cumbicus, 2023

Los espectros obtenidos mostraron bandas NCB típicas, que son el pico ancho ubicado en la región de 3200–3400 cm^{-1} , que corresponde a vibraciones de estiramiento de los grupos OH de la celulosa, mientras que el pico alrededor de 2900 cm^{-1} está relacionado con el estiramiento CH. El pico a 1634 cm^{-1} se atribuye a la flexión OH del agua adsorbida. Los picos que aparecieron entre 1055 y 1049 cm^{-1} corresponden al estiramiento de CO en C3; CC estiramiento; y CO estirando en C6. La banda de 896 cm^{-1} se atribuye al estiramiento de COC en β (1,4) glucosídico. Finalmente, el pico a 658 cm^{-1} se observa a partir del enlace C-OH fuera de las vibraciones planas. Los espectros muestran picos definidos correspondientes al perfil de celulosa I.

4.3.2. Análisis termogravimétrico (TGA)

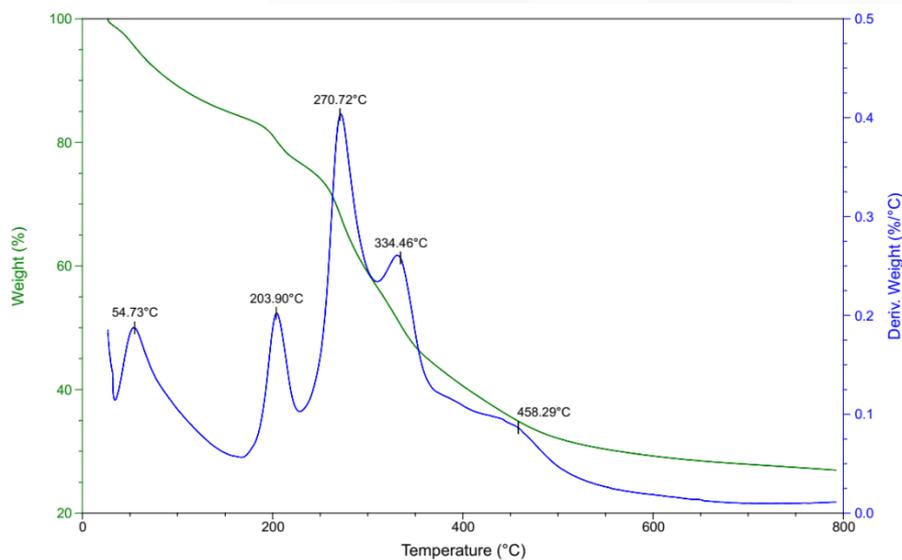


Figura 9. Análisis de TGA en nanocelulosa bacteriana.

Fuente: Cumbicus, 2023

Se observa en el espectro TGA que la película BNC pierde masa alrededor de los 100 °C. Esto podría deberse a la evaporación de la humedad presente en la muestra. La pirólisis de NCB biosintetizados presenta el pico más alto a 334.46 °C; este resultado está dentro de lo reportado por diferentes estudios.

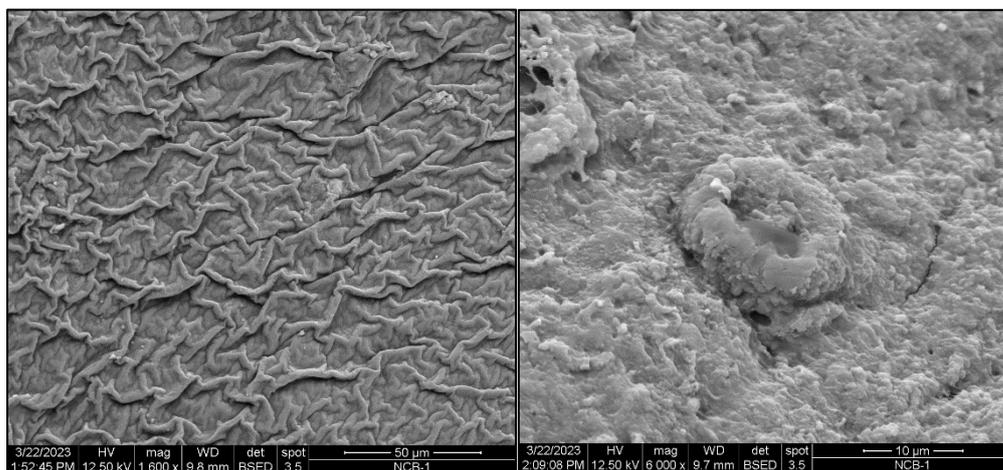


Figura 10. Micrografías SEM de la celulosa bacteriana obtenida.

En la figura 10, La morfología superficial de las capas secas de celulosa bacteriana se muestra en las micrografías SEM, donde puede observarse, a 5.000 aumentos en todos los casos, la red ultrafina de nanofibras de celulosa. Se muestra en estas microfotografías cómo el tratamiento térmico elimina las células bacterianas de la capa.

4.4. Verificación de las Hipótesis

Hipótesis General: La variabilidad en el rendimiento de producción de nanocelulosa bacterial está influenciada por el tipo de extracto de hoja de *Musa spp.* utilizado como fuente de carbono en el medio de cultivo.

La hipótesis general fue verificada en este estudio, ya que se determinó que la producción de nanocelulosa bacterial varía significativamente con los distintos extractos de hojas de *Musa spp.* de las haciendas productoras de plátanos y bananos del recinto Tres Postes de la ciudad de Milagro durante el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2022. Se encontró que el rendimiento en la producción de nanocelulosa bacterial fue mayor con el extracto de la hoja de banano en comparación con el extracto de la hoja de plátano verde. Es importante destacar que se logró obtener nanocelulosa bacterial utilizando ambos extractos, lo que sugiere que ambas fuentes de carbono pueden ser utilizadas para la producción de nanocelulosa bacterial, pero se debe considerar el tipo de extracto de hoja de *Musa spp.* para maximizar el rendimiento. En la Tabla 7 y 8, se puede verificar que el rendimiento vario dependiendo del tipo de extracto y de las concentraciones en el medio de cultivo.

H1: La composición fisicoquímica de los extractos de hoja de banano y plátano es adecuada para la producción de nanocelulosa bacterial.

La investigación permitió comprobar que la hipótesis H1 es verdadera, en tanto que se logró obtener nanocelulosa bacterial utilizando los extractos de hoja de banano y plátano. No obstante, se observó una variación en el rendimiento de producción, lo que indica que la composición fisicoquímica de los extractos de hoja de banano y plátano no es uniforme y puede afectar el proceso de producción de nanocelulosa bacterial. Es necesario profundizar en el análisis de los resultados obtenidos para determinar las posibles causas de esta variabilidad y su impacto en la calidad y cantidad de la nanocelulosa bacterial producida.

H2: La capacidad para la producción de nanocelulosa bacterial exhibe variabilidad en función de las distintas concentraciones de extractos de hojas de *Musa spp.* empleadas como fuente de carbono en la producción de nanocelulosa bacterial.

La evidencia experimental obtenida en esta investigación demuestra que la hipótesis H2 es verdadera, puesto que se ha observado que la capacidad para la producción de nanocelulosa bacteriana varía significativamente en función de las distintas concentraciones de extractos de hojas de *Musa spp.* utilizadas como fuente de carbono en el medio de cultivo. Los resultados indican que la producción de nanocelulosa bacteriana aumenta de manera proporcional a la concentración de extracto de hojas, pero solamente hasta un 40% de extracto, después del cual se observa una disminución en la producción de nanocelulosa bacteriana a medida que la concentración del extracto de hojas aumenta. Estos hallazgos son relevantes para la optimización de la producción de nanocelulosa bacteriana y podrían tener implicaciones en la mejora de la eficiencia de los procesos industriales relacionados con la producción de esta biomasa.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Del análisis fitoquímico de los extractos de hojas de *Musa spp.* se determinó que tanto en el extracto de hoja de banano como en el de hoja de plátano verde, existe la presencia de flavonoides, carbohidratos, azúcares reductores, taninos, saponinas, alcaloides y fenoles.
- Utilizando como fuente de carbono el extracto de hoja de banano al 40% v/v se obtuvo mayor cantidad de celulosa bacterial con un valor de 9,23 gramos a diferencia de los 7,63 gramos obtenidos con el extracto de la hoja de verde al 40% v/v, pudiendo inferir que la producción de este polímero se relaciona directamente con la cantidad de azúcares reductores en las musáceas, ya que según los análisis expuestos el extracto de banano tiene mayor riqueza de estos compuestos químicos.
- El mayor rendimiento de la celulosa bacterial se obtuvo a la concentración del 40% v/v del extracto de las musáceas y luego de 14 días de incubación.
- Se obtiene un mayor rendimiento en la producción de nanocelulosa bacterial al 40% a partir del extracto de la hoja de banano con una producción de 0,275 ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) a diferencia del extracto de la hoja de plátano en donde se determinó una producción de 0,227 ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), pudiendo deberse a la presencia de azúcares reductores como fuente de carbono y otros nutrientes para las bacterias productoras de nanocelulosa bacterial.
- Mediante los análisis de FTIR y TGA se corroboró que el producto obtenido con las musáceas corresponde a nanocelulosa bacterial y, por tanto, se puede producir celulosa bacterial a partir de biomasa residual como las *Musáceas spp.*

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda, seguir analizando las propiedades fisicoquímicas de los extractos de las distintas variedades de *Musa spp.* mediante otros métodos cuantitativos como por ejemplo espectrofotometría, espectroscopía de masas, espectroscopía de absorción, HPLC, cromatografía, etc.
- Evaluar nuevas formulaciones para la obtención de nanocelulosa bacteriana utilizando el envés de las hojas de variedades de *Musa spp.* para establecer el rendimiento en la obtención de este biopolímero a partir de otra estructura de la planta que también es desechada al ambiente.
- Que se investiguen las aplicaciones de la nanocelulosa obtenida a partir de la biomasa residual de las hojas de *Musa spp.* a fin de contribuir con el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales.

Bibliografía

- Antolak, H., Piechota, D., & Kucharska, A. (2021). Kombucha Tea—A Double Power of Bioactive Compounds from Tea and Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts (SCOBY). *Antioxidants*, *10*(10), Art. 10. <https://doi.org/10.3390/antiox10101541>
- Aroca Chica, M. J., & Estrada Ramírez, P. E. (2015). *Estudio comparativo de la celulosa obtenida a partir del pseudotallo de banano con la obtenida de bagazo de la caña de azúcar, empleando la misma metodología* [BachelorThesis, Universidad de Guayaquil. Facultad Ciencias Químicas]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8920>
- Attaallah, R., Elfadil, D., & Amine, A. (2021). Screening study of enzymatic inhibition of medicinal plants for the treatment of diabetes using a glucometer biosensor approach and optical method. *Journal of Herbal Medicine*, *28*, 100441. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100441>
- Avila-Akerberg, V., González-Martínez, T., Rodríguez-Soto, C., & Valencia Korosi, D. (2019). *Biodiversidad, servicios ecosistémicos y los objetivos del desarrollo sostenible en México*.
- Azeredo, H. M. C., Rosa, M. F., & Mattoso, L. H. C. (2017). Nanocellulose in bio-based food packaging applications. *Industrial Crops and Products*, *97*, 664-671. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.013>
- BANANO - Perfil de INFOCOMM*. (2016).
- Behera, B., Laavanya, D., & Balasubramanian, P. (2022a). Techno-economic feasibility assessment of bacterial cellulose biofilm production during the Kombucha fermentation process. *Bioresource Technology*, *346*, 126659. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126659>
- Behera, B., Laavanya, D., & Balasubramanian, P. (2022b). Techno-economic feasibility assessment of bacterial cellulose biofilm production during the Kombucha fermentation

- process. *Bioresource Technology*, 346, 126659.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126659>
- Campo, J. (2017). *Materiales avanzados para una sociedad sostenible*.
<https://digital.csic.es/handle/10261/183515>
- Castro-Ramos, A., Ramírez-Luna, F., & Susano-Hernández, X. E. (2022a).
NANOCELULOSA: UN MATERIAL CON POTENCIAL EN EL TRATAMIENTO
DE HERIDAS EN LA PIEL. *RD-ICUAP*, 8(23), Art. 23.
- Castro-Ramos, A., Ramírez-Luna, F., & Susano-Hernández, X. E. (2022b).
NANOCELULOSA: UN MATERIAL CON POTENCIAL EN EL TRATAMIENTO
DE HERIDAS EN LA PIEL. *RD-ICUAP*, 8(23), Art. 23.
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D., &
Gachhui, R. (2016). Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics.
International Journal of Food Microbiology, 220, 63-72.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>
- Chamba, L. M. A., Montoya, A. N. C., Granda, A. del C. V., & Quezada, T. X. S. (2021).
Evolución en las exportaciones de banano e impacto del desarrollo económico,
provincia de El Oro 2011—2020, pre-pandemia, pandemia; aplicando series de tiempo.
Polo del Conocimiento, 6(8), Art. 8. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i8.2936>
- Cheng, Z., Yang, R., Liu, X., Liu, X., & Chen, H. (2017). Green synthesis of bacterial cellulose
via acetic acid pre-hydrolysis liquor of agricultural corn stalk used as carbon source.
Bioresource Technology, 234, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.131>
- Christoph, R., & Munoz, R. (2015). *Nanocelulosa—Primeros pininos en El Salvador*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2389.2328>
- Deshavath, N. N., Mukherjee, G., Goud, V. V., Veeranki, V. D., & Sastri, C. V. (2020). Pitfalls
in the 3, 5-dinitrosalicylic acid (DNS) assay for the reducing sugars: Interference of

- furfural and 5-hydroxymethylfurfural. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 180-185. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.045>
- Dourado, F., Fontão, A., Leal, M., Cristina Rodrigues, A., & Gama, M. (2016). Chapter 12— Process Modeling and Techno-Economic Evaluation of an Industrial Bacterial NanoCellulose Fermentation Process. En M. Gama, F. Dourado, & S. Bielecki (Eds.), *Bacterial Nanocellulose* (pp. 199-214). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63458-0.00012-3>
- El-Naggar, N. E.-A., El-Malkey, S. E., Abu-Saied, M. A., & Mohammed, A. B. A. (2022). Exploration of a novel and efficient source for production of bacterial nanocellulose, bioprocess optimization and characterization. *Scientific Reports*, 12(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22240-x>
- Escuela Agrícola Panamericana. (2014). *Seminario enfoques prácticos de Taxonomía Vegetal*. <https://bdigital.zamorano.edu/items/c6de4163-bfa9-4443-8228-fbc2b13ab552>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura). (2022). *Banano—Análisis del Mercado 2021*.
- Fiallos-Cárdenas, M., Pérez-Martínez, S., & Ramirez, A. D. (2022). Prospectives for the development of a circular bioeconomy around the banana value chain. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 541-555. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.014>
- Fiallos-Cárdenas, M., Ramirez, A. D., Pérez-Martínez, S., Romero Bonilla, H., Ordoñez-Viñan, M., Ruiz-Barzola, O., & Reinoso, M. A. (2021). Bacterial Nanocellulose Derived from Banana Leaf Extract: Yield and Variation Factors. *Resources*, 10(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/resources10120121>
- Gabriela, A.-E. R., Ricardo, M.-T. J., Juan, F.-C. N., & Israel, M.-G. (2016). *Determinación un mejor medio de cultivo en la fase de establecimiento para la propagación in vitro*

- de plátano (Musa paradisiaca L) Determination better culture medium in the establishment phase for the in vitro propagation of banana (Musa paradisiaca L).* 7(2).
- García, A. (2017). *Optimización de la biosíntesis de nanocelulosa bacteriana por fermentación* [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/115472>
- García, E. G. J., & Mora, K. R. (2019). *Producción de nanofibrillas de celulosa a partir de raquis de banano.*
- Haro-Velasteguí, A. J., Borja-Arévalo, A. E., & Triviño-Bloisse, S. Y. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Domino de las Ciencias*, 3(2), Art. 2.
<https://doi.org/10.23857/dc.v3i2.435>
- Hodson de Jaramillo, E. (2018). Bioeconomía: El futuro sostenible. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(164), 188-201.
<https://doi.org/10.18257/raccefyn.650>
- Jacek, P., Silva, F. A. G. S. da, Dourado, F., Bielecki, S., & Gama, M. (2021). Optimization and characterization of bacterial nanocellulose produced by *Komagataeibacter rhaeticus* K3. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100022.
<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100022>
- Jenol, M. A., Norrrahim, M. N. F., & Nurazzi, N. M. (2022). 17—Nanocellulose nanocomposites in textiles. En S. M. Sapuan, M. N. F. Norrrahim, R. A. Ilyas, & C. Soutis (Eds.), *Industrial Applications of Nanocellulose and Its Nanocomposites* (pp. 397-408). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89909-3.00002-X>
- Jozala, A. F., de Lencastre-Novaes, L. C., Lopes, A. M., de Carvalho Santos-Ebinuma, V., Mazzola, P. G., Pessoa-Jr, A., Grotto, D., Gerenutti, M., & Chaud, M. V. (2016).

- Bacterial nanocellulose production and application: A 10-year overview. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(5), 2063-2072. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7243-4>
- Kamal, T., Ul-Islam, M., Fatima, A., Ullah, M. W., & Manan, S. (2022). Cost-Effective Synthesis of Bacterial Cellulose and Its Applications in the Food and Environmental Sectors. *Gels*, 8(9), Art. 9. <https://doi.org/10.3390/gels8090552>
- Lam, H.-H., Nguyen, T.-M.-T., Do, T.-A.-S., Dinh, T.-H., & Dang-Bao, T. (2021). Quantification of total sugars and reducing sugars of dragon fruit-derived sugar-samples by UV-Vis spectrophotometric method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 947(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/947/1/012041>
- Li, G., Wang, L., Deng, Y., & Wei, Q. (2022). Research progress of the biosynthetic strains and pathways of bacterial cellulose. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 49(1), kuab071. <https://doi.org/10.1093/jimb/kuab071>
- López, G. I. B., Veleza, L., Barrios, J. A. A., Villegas, M. M. H., Alcudia, R. E. R., Durán, M. S. C., Romero, J. P., Romero, C. A. P., Sánchez, S. C., Muñoz, L. P., & Wyrick, R. M. (s. f.). *Proceso innovador de la hoja de la caña de azúcar para obtención de celulosa: Biodesechables*.
- López, M. A., Pionce, M. C., Bravo, J. A., Vera, E. D., & Riera, M. A. (2020). RESIDUOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*) como materia prima alternativa en la elaboración de pape. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 8(1), 35-46.
- Masqués, Silvia, Marín. Patricia, Martirani, Sophie, & Pacheco, Daniel. (2021, diciembre 29). *PRODUCCIÓN DE NANOCELULOSA BACTERIANA*. DIGITAL.CSIC. https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://digital.csic.es/bitstream/10261/285664/1/ES2888002B2_Nanocelulosa.pdf

- Maurat, D. E. C. (2014). Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa. *J. Chem. Inf. Model*, 77.
- Mayón Mendoza, G. M. (2020). *Análisis de la Variación de las Exportaciones de Banano Ecuatoriano en el Periodo 2014-2018*. [Thesis]. <http://biblioteca.uteg.edu.ec/xmlui/handle/123456789/1128>
- Molina Ramírez, C. A. (2018). *Escalado de la producción de nanocelulosa bacteriana empleando la bacteria K. medellinensis y como sustrato residuos agroindustriales procedentes del departamento del Magdalena-Colombia* [DoctoralThesis, Escuela de Ingenierías]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4466>
- Morales, E. L. Á., Córdova, S. A. L., Bravo, M. L. S., & Macías, B. L. C. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal of business and entrepreneurial studie*, 4(2), Art. 2. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.78>
- Morán Sevillano, K. J., & Quimís Latorre, D. G. (2022). *Evaluación de las propiedades físico químicas y actividad antioxidante de una bebida fermentada a base de kombucha y extracto de hoja de banano* [BachelorThesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/65351>
- Ortega, N., Korneva, S., Ruiz, O., Santos, E., & Peralta, E. (2010). *Obtención de multimeristemas y callos de diferentes variedades de banano y plátano (musa spp.) a partir de “meristemas apicales” y “scalps”*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10971>
- Ortiz-Ulloa, J. A., Abril-González, M. F., Pelaez-Samaniego, M. R., & Zalamea-Piedra, T. S. (2021). Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa spp.*) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18741-18753. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09755-4>

- Quintero, C., García, L., Glumcher, I., Ingold, F., Lage, F., & Schertz, R. (2022). *Producción de nanocelulosa para su aplicación en la industria papelera*. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/35163>
- Romero, H., Gadway, K., & Castillo, A. (2017). Potencial biotecnológico y bioeconómico de residuos lignocelulósicos de la agroindustria del banano. *Conference Proceedings (Machala)*, 1(1), Art. 1. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/141>
- Ruiz-Hitzky, E., Aranda, P., Darder, M., & González del Campo, M. del M. (2016). *Composite material of nanocellulose and fibrous clays, method of production and use thereof*. <https://digital.csic.es/handle/10261/136014>
- Sepúlveda, W. S., Ureta, I., Hernández, G. A., & Solorzano, G. K. (2017). CONSUMO DE PLÁTANO EN ECUADOR: HÁBITOS DE COMPRA Y DISPONIBILIDAD A PAGAR DE LOS CONSUMIDORES. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 10(4), Art. 4. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p995-1014>
- Serrano, J., Mejía, W., Ortiz, J., Sánchez, A., & Zalamea, S. (2017). *Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a Partir de Biomasa en el Ecuador*.
- Solano-Apunte, A., Ponce-Saltos, W., & Zambrano-Gavilanes, F. (2022). BIODIGESTION ANAEROBICA DE RESIDUOS DE MUSACEAS: CASO ECUADOR. *Biotempo*, 19(1), Art. 1. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i1.4803>
- STATISTA. (2021). *Nanocellulose market value globally 2020*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1192542/global-nanocellulose-market-size/>
- Talens Oliag, P. (2020). *Determinación experimental de densidad y porosidad en alimentos sólidos y líquidos*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/144736>
- TESIS IQ_Moran Kevin & Quimis Latorre—21 septiembre 2022—VFR.docx. (2022, septiembre). Google Docs.

https://docs.google.com/document/d/1Mi189Y1r8FW6ub1bywOGRBKmTf-cNkVi/edit?usp=embed_facebook

Torres-Cabrera, D. (2020). *Respuesta morfo-agronómica y organoléptica de cinco cultivares de banano (Musa spp.) en condiciones de campo*. 20(1).

Troya, Adriana. (2019, febrero). *Investigación teórico-experimental sobre las aplicaciones de nanocelulosa en la obtención de materiales de construcción*.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/167032>

Tsouko, E., Maina, S., Ladakis, D., Kookos, I. K., & Koutinas, A. (2020). Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams. *Renewable Energy*, 160, 944-954.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.108>

Venson, D. I. (2019). *Nanocelulosa y nanotecnología: Preparación, análisis y aplicación. Oportunidades en investigación*.

Zabed, H., Sahu, J. N., Boyce, A. N., & Faruq, G. (2016). Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 751-774.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.038>

Anexos

Anexo A. FOTOGRAFÍAS EN EL PROCESO DEL PROYECTO



Figura A1. Pesado de las hojas limpias de *Musa spp.*



Figura A2. Obtención de la nervadura de *Musa spp.*



Figura A3. Obtención del extracto de *Musa spp.*



Figura A4. Extracto de *Musa spp.*



Figura A 5. Medición de propiedades fisicoquímicas de extractos de *Musa spp.*



Figura A 6. Formulación de los medios

ANEXO B: EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN



Figura B1. Autoclave vertical



Figura B2. Trapiche



Figura B3. Refractómetro



Figura B4. Potenciómetro



Figura B 5. Glucómetro

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

