



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERIA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Desarrollo de un material de envase con propiedades antimicrobianas partiendo de residuos del plátano del mercado Mayorista del cantón Riobamba

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Tuapanta Macas Cristina Carolina

Tutor:

Ing. Cristian Javier Patiño Vidal, PhD

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Cristina Carolina Tuapanta Macas, con cédula de ciudadanía 0605807916, autora del trabajo de investigación titulado: Desarrollo de un material de envase con propiedades antimicrobianas partiendo de residuos del plátano del mercado Mayorista del cantón Riobamba, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autora de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 25 de septiembre del 2025.



Cristina Carolina Tuapanta Macas

C.I: 0605807916

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Cristian Javier Patiño Vidal, PhD catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Desarrollo de un material de envase con propiedades antimicrobianas partiendo de residuos del plátano del mercado Mayorista del cantón Riobamba, bajo la autoría de Cristina Carolina Tuapanta Macas; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 25 días del mes de septiembre de 2025



Ing. Cristian Javier Patiño Vidal, PhD

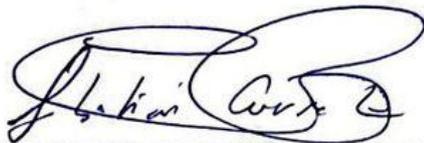
C.I: 1003967153

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

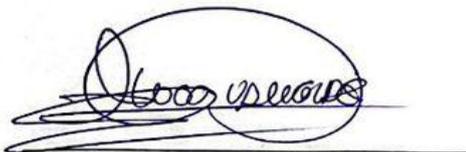
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Desarrollo de un material de envase con propiedades antimicrobianas partiendo de residuos del plátano del mercado Mayorista del cantón Riobamba, por Cristina Carolina Tuapanta Macas, con cédula de identidad número 0605807916, bajo la tutoría de Ing. Cristian Javier Patiño Vidal, PhD; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 25 de septiembre del 2025.

Mgs. Sebastian Alberto Guerrero Luzuriaga
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Víctor Hugo Valverde Orozco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. José Miranda Yuquilema
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **Cristina Carolina Tuapanta Macas** con CC: **0605807916**, estudiante de la Carrera **Agroindustria**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Desarrollo de un material de envase con propiedades antimicrobianas partiendo de residuos del plátano del mercado Mayorista del cantón Riobamba**", cumple con el **1%** de similitud y **7%** de textos potencialmente generados por la IA, de acuerdo al reporte del sistema Antiplagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 16 de septiembre de 2025



Ing. Cristian Javier Patiño Vidal, PhD.
TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación, en primer lugar, a Dios, quien me ha permitido avanzar y me ha guiado a lo largo de toda mi carrera. Agradezco profundamente la sabiduría y fortaleza que me ha brindado, recordando siempre que “todo lo puedo en Cristo que me fortalece” (Filipenses 4:13).

A mi madre, Martha Macas, mi mayor inspiración y ejemplo a seguir. Gracias, mamá, por tu amor incondicional y por estar siempre a mi lado en cada etapa de mi vida. Tus palabras de aliento y tus consejos han sido mi sostén en los momentos más difíciles. Gracias por enseñarme que, con fe en Dios, todo es posible.

Agradezco cada abrazo, cada noche en vela a mi lado, y, sobre todo, por ser la persona que siempre me impulsó a alcanzar mis sueños. Tu amor es el motor que impulsa mi vida y tu presencia ha hecho que este camino sea mucho más hermoso.

Esta tesis es para ti, con todo mi corazón.

A mis hermanos, Biviana Tuapanta y Michael Tuapanta, por su apoyo incondicional, cariño y comprensión durante todo este proceso. Su compañía y ánimo han sido un pilar fundamental para mí, y les agradezco profundamente por estar siempre presentes.

Al Ing. Victor Hugo Abarca, por su paciencia y apoyo constante a lo largo de este camino. También agradezco por recordarme que, con esfuerzo y dedicación, todo es posible, y por motivarme a culminar con éxito lo que un día inicié.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo, por la perseverancia y el esfuerzo invertidos en este proyecto, y por no rendirme ante las dificultades.

A todos ustedes, gracias por su amor, comprensión y por darme fuerzas cuando más lo necesitaba. Este logro es el reflejo del apoyo y la fe que han depositado en mí.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios, por concederme sabiduría, guiar mis pasos y permitirme alcanzar un objetivo más en mi vida.

Con especial afecto y gratitud, extiendo mi reconocimiento a mi madre, Martha Macas, por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento a lo largo de toda mi vida, y en particular, por nunca dejarme sola. De igual manera, agradezco a mis hermanos, Biviana y Michael, por su constante respaldo y compañía durante esta etapa.

Mi sincero agradecimiento al Ing. Victor Hugo Abarca, por su compañía, paciencia, apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso académico.

Al Ing. Cristian Javier Patiño Vidal, PhD., cuyo conocimiento, paciencia y disposición han sido fundamentales para la culminación de este proyecto de investigación.

Extiendo mi gratitud al Ing. Marcelo Patiño, por su apoyo constante, paciencia, motivación y colaboración durante el desarrollo experimental de este trabajo.

A la Dra. Ana Mejía, le agradezco profundamente por su orientación, apoyo permanente y su genuino compromiso con mi desarrollo académico y personal a lo largo de mi trayectoria universitaria.

A mis amigos María Barahona y Mario, les agradezco por su amistad incondicional, apoyo sincero y constante ánimo durante toda la etapa universitaria, así como a todos mis amigos que me acompañaron en este camino.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo y a la Universidad Mayor de San Simón por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE GENERAL.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN.....	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	14
1.1. Antecedentes.....	14
1.2. Problema.....	15
1.3. Justificación.....	16
1.4. Objetivos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Estado de Arte	18
2.2. Fundamentos Teórico	20
2.2.1. Contaminación de alimentos	20
2.2.2. Materiales de envase.....	20
2.2.3. Películas y recubrimientos biodegradables.....	20
2.2.4. Polímeros biodegradables.....	21
2.2.5. Celulosa	21
2.2.6. Polisacáridos.....	21
2.2.7. Polietilenglicol (PEG)	21
2.2.8. Ácido poliláctico.....	22

2.2.9. Agentes antimicrobianos	22
2.2.10. Etil lauroil arginato	22
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	23
3.1 Tipo de Investigación.	23
3.2 Diseño de la investigación.....	23
3.2.1 Variables	23
3.2.2 Tratamiento de la materia prima.....	23
3.2.3 Extracción de la celulosa	24
3.2.4 Desarrollo de la película antimicrobiana	24
3.2.5 Evaluación microbiana de las películas	25
3.3 Técnicas de Recolección de Datos	25
3.3.1 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR-ATR)	25
3.3.2 Actividad antimicrobiana.....	25
3.4 Población de Estudio y Tamaño de Muestra	25
3.5 Procesamiento de datos	26
3.6 Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos.....	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Obtención de la celulosa.....	27
4.1.1 Rendimiento del proceso	27
4.1.2 Análisis FTIR-ATR	28
4.2 Obtención del material de envase antimicrobiano.....	29
4.3 Análisis FTIR-ATR	31
4.4 Actividad antimicrobiana	33
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
5.1 Conclusiones.....	36
5.2 Recomendaciones	36
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 1. Resultados del proceso de obtención de la celulosa.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2. Actividad antimicrobiana de las películas activas frente a S. aureus y E. coli... </i>	<i>34</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Espectro FTIR-ATR de celulosa</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2. Concentraciones de celulosa y PLA del material antimicrobiano</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3. Fotografía del material antimicrobiano de LAE al 10 % (A) y 20% (B)</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4. Espectros FTIR de Ethyl Lauroyl Arginate (LAE).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5. Espectros FTIR de Ácido poliláctico (PLA)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6. Espectros FTIR de la interacción de la película con los componentes</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7. Evaluación capacidad antimicrobiana mediante discos de difusión con LAE. 34</i>	
<i>Figura 8. Extracción de la celulosa.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 9. Blanqueamiento de la celulosa</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10. Obtención del material de envase antimicrobiano</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11. Evaluación capacidad antimicrobiana mediante discos de difusión con LAE 45</i>	

RESUMEN

Ante el impacto ambiental ocasionado por el uso masivo de plásticos provenientes de fuentes fósiles para el envasado de alimentos, es necesario el desarrollo de nuevas alternativas más amigables con el medio ambiente como películas biodegradables activas. En este contexto, la presente investigación se enfocó en la obtención de un material de envase antimicrobiano a partir de residuos de plátano provenientes del mercado Mayorista del cantón Riobamba. Para ello, se extrajo celulosa de los raquis de plátano mediante procesos alcalinos y de blanqueo, y posteriormente se combinó con ácido poliláctico (PLA) y etil lauroil arginato (LAE) para la elaboración del material final. Se utilizaron dos concentraciones de LAE al 10 y 20%. Los materiales de envase se obtuvieron mediante el método de disolución-evaporación (casting). Se evaluaron las propiedades estructurales mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR-ATR) y la actividad antimicrobiana frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* mediante el método de disco por difusión. Se aplicó un diseño experimental bifactorial para analizar la influencia del tipo de bacteria y la cantidad de LAE en la actividad antimicrobiana. La efectiva extracción de la celulosa fue determinada mediante un análisis FTIR-ATR, cuyo rendimiento resultó en un 64%. Asimismo, los grupos funcionales de la celulosa, PLA y LAE también fueron identificados en las películas antimicrobianas mediante el análisis FTIR-ATR. Los ensayos de actividad antimicrobiana mostraron que las películas que contenían LAE al 10 y 20% inhibieron el crecimiento de *E. coli* y *S. aureus*, con halos de inhibición entre 2,6 y 2,9 cm.

Palabras claves: biopolímero, inocuidad, microorganismos, plástico, valorización

ABSTRACT

Considering the environmental impact caused by the massive use of fossil-based plastics for food packaging, it is imperative to develop new, more environmentally friendly alternatives, such as active biodegradable films. In this context, the present research focused on developing an antimicrobial packaging material derived from banana residues sourced from the Wholesale Market in Riobamba Canton. For this purpose, cellulose was extracted from banana rachis through alkaline and bleaching processes and subsequently combined with polylactic acid (PLA) and ethyl lauroyl arginate (LAE) to produce the final material. Two concentrations of LAE were tested, 10% and 20%. The packaging materials were obtained using the solution-casting method. Structural properties were evaluated by Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR-ATR), and antimicrobial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* was assessed using the disk diffusion method. A two-factor experimental design was employed to investigate the effects of bacterial type and control substrate composition on antimicrobial activity. The results showed that the yield of the cellulose extraction process was 64%. FTIR-ATR analysis confirmed the effective extraction of cellulose and the incorporation of LAE into the films by identifying the functional groups associated with these compounds. Antimicrobial activity tests revealed that films containing 10% and 20% LAE inhibited the growth of *E. coli* and *S. aureus*, with inhibiting halos ranging from 2.6 to 2.9 cm in diameter.

Keywords: Biopolymer, safety, microorganisms, plastic, valorization.



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1. Antecedentes

El desarrollo de materiales biodegradables ha tomado relevancia en las últimas décadas debido a la creciente preocupación por el impacto ambiental negativo de los plásticos provenientes de fuentes fósiles. Desde mediados del siglo XX, la producción de plásticos derivados del petróleo ha experimentado un crecimiento exponencial, impulsado por su versatilidad y bajo costo (Vanaraj et al., 2025). Sin embargo, su durabilidad y resistencia a la degradación han generado graves problemas ambientales tales como la acumulación de residuos en ecosistemas terrestres y marinos (Jaso, 2020).

Dado que cada año, más de 8 millones de toneladas de plástico ingresan a los océanos, formando grandes acumulaciones como el Gran Parche de Basura del Pacífico, que supera 1 millón de kilómetros cuadrados. El Mediterráneo, con el 1% del agua global, concentra el 7% de los microplásticos. La contaminación del espacio térrero por la presencia de microplásticos es 4 y 23 veces mayor que la contaminación del espacio marítimo (ECODES, 2019). En este contexto, la búsqueda de alternativas más amigables con el ambiente, como la obtención de polímeros biodegradables a partir de residuos orgánicos se ha convertido en una prioridad para ciertos grupos de interés (Thomas et al., 2023).

En los últimos años, los residuos agrícolas han emergido como una fuente prometedora para la obtención de polímeros biodegradables, como la celulosa. Estos polímeros pueden ser utilizados en la fabricación de materiales de envase de alimentos. La celulosa es un polisacárido abundante en la naturaleza. La celulosa es otro polisacárido presente en gran cantidad en la naturaleza, y está presente en una gran variedad de subproductos vegetales, incluidos los residuos del plátano.

La celulosa cuenta con propiedades mecánicas y químicas adecuadas para ser transformada en envases de alimentos que sean completamente biodegradables (Zambrano et al., 2021). Por otro parte, la incorporación de agentes antimicrobianos a los recubrimientos y envases para alimentos se ha propuesto como una táctica eficaz para incrementar la vida útil de los alimentos, así como evitar la degradación de los mismos (Martínez Ferrer, 2022).

En base a lo mencionado anteriormente, la utilización de los desechos de plátano para la extracción de celulosa y la síntesis de materiales de envasado antimicrobiano es una forma novedosa de solucionar la problemática de la contaminación plástica.

Asimismo, este método también aporta a la reducción de la cantidad de desechos orgánicos que se generan en los mercados locales, como el Mercado Mayorista del cantón Riobamba. Investigaciones recientes demuestran que la combinación de celulosa con compuestos antimicrobianos permite obtener materiales funcionales para el envasado de alimentos (Nasri et al., 2021).

Por otra parte, otra investigación ha llevado a cabo la fabricación de películas a partir de materiales naturales como el almidón, el quitosano, la celulosa, así como de residuos provenientes de la industria agrícola, han evidenciado que estas películas poseen una notable capacidad de entrecruzamiento molecular. Esta característica les confiere una estructura más resistente y estable. Además, estas películas presentan propiedades de barrera muy favorables, lo que las hace especialmente útiles para la conservación de alimentos, ya que pueden protegerlos eficazmente contra factores externos como la humedad, el oxígeno y otros agentes que podrían deteriorar su calidad (Arévalo Niño et al., 2017).

1.2. Problema

En la última década, el uso excesivo de plástico se ha convertido en un problema global, ya que la cantidad de residuos generados son alarmantes y superan la capacidad de los sistemas de tratamiento y reciclaje existentes (Parker, 2024). Este hecho se debe a que el plástico es un material duradero, maleable y en muchos casos es de un solo uso. Por lo tanto, la gran mayoría de estos empaques no reciben un tratamiento adecuado y terminan acumulándose en vertederos, contaminando ríos, mares y suelos, y afectando gravemente al medio ambiente (UNEP, 2021).

Por otra parte, comunidades costeras son amenazadas por la contaminación de plásticos en playas y mares, por lo tanto, la obtención de productos del mar se ve reducida. Según la Agenda 2030 de Naciones Unidas, aproximadamente más de tres mil millones de personas dependen de la biodiversidad marina y costera para subsistir. El problema se intensifica cuando los países desarrollados envían toneladas de desechos plásticos, sin previo tratamiento adecuado, lo cual contamina territorios, dañan ecosistemas y exponen a trabajadores a sustancias tóxicas peligrosas al procesar o quemar estos materiales (ECODES, 2019).

La gestión de residuos aún presenta deficiencias en numerosos países europeos, lo que facilita que los desechos plásticos terminen en el entorno natural. Cuando estos plásticos ingresan al medio ambiente, su alta resistencia y durabilidad hacen que permanezcan allí durante siglos. Este hecho incrementa las posibilidades de que los ecosistemas estén expuestos a estos residuos, y, en consecuencia, aumenta el riesgo de interacción, ingestión y efectos perjudiciales en las cadenas alimentarias (Horton y Barnes, 2020).

Por otro lado, la generación de residuos orgánicos es una consecuencia natural de muchas actividades humanas. La generación de estos residuos es inevitable debido a la creciente demanda de alimentos, y su gestión y adecuado manejo debe ser considerada debido a los riesgos ambientales que representan (Katheem et al., 2016).

En Ecuador se generan 13.652,5 t/día de residuos sólidos, de las cuales el 85,2 % se recolectó de manera no diferenciada y el 14,8 % de forma diferenciada; dentro de esta última, el 63 % provino de la región Sierra, mientras que el 64,8 % de la recolección no diferenciada correspondió a la región Costa. De las 2.022,6 t/día diferenciadas, el 55,8 % fueron residuos inorgánicos, concentrándose en la Sierra el mayor aporte de esta fracción con el 65,3 %. En

2021, a nivel regional, el 61,3 % de los GADM de la Sierra dispusieron en rellenos sanitarios, frente al 29,8 % en la Costa (ECODES, 2019).

Sin embargo, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2025 menciona que existe la posibilidad de recuperar insumos mediante el tratamiento biológico de residuos, por ejemplo, se puede extraer compuestos tales como: pectina, celulosa, lípidos, metano, ácidos orgánicos, nutrientes, entre otros.

A pesar de que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GAD) han desarrollado mecanismos para ejecutar una gestión adecuada en clasificar los desechos, los avances en el territorio aún son insuficientes (Aguilar, 2025). De los 221 GAD del territorio ecuatoriano, un 80% de los desechos desemboca los residuos en botaderos a cielo abierto, quebradas, riberas de ríos, y solo un 20% define los residuos en rellenos sanitarios manuales, mecanizados, y compartidos (Ministerio del Ambiente, 2020).

En general, la industria alimentaria en respuesta a la problemática del manejo de residuos y excedentes orgánicos ha desarrollado una serie de estrategias innovadoras para su reutilización y asegurar un uso sostenible. Entre estas iniciativas tenemos el desarrollo de materiales de envase para alimentos funcionales que ayudan a la sostenibilidad ambiental. Estas estrategias, incluyen el desarrollo un material de envase con propiedades antimicrobianas a partir de la extracción de polímeros naturales como la celulosa que proviene de residuos orgánicos del plátano (González y Reyes, 2022).

Asimismo, la incorporación de compuestos antimicrobianos en el diseño de estos materiales obteniendo la capacidad de inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos, favoreciendo a la prolongación de vida útil en los alimentos y mejorando su seguridad. De esta manera, la industria da un valor agregado a los residuos orgánicos contribuyendo así a la reducción contaminación orgánica.

1.3. Justificación

Los plásticos biodegradables y de origen biológico representan una alternativa para avanzar hacia una industria plástica alimenticia más sostenible, reemplazando progresivamente a los plásticos derivados del petróleo. Al emplear recursos renovables, estos materiales ayudan a reducir la acumulación de residuos en vertederos, facilitan el reciclaje de materiales no renovables y contribuyen a la protección ambiental.

A diferencia de los extensos tiempos de degradación de los plásticos convencionales, los plásticos biodegradables pueden descomponerse en dióxido de carbono (CO₂) y agua en tiempos entre 20 a 180 días bajo condiciones adecuadas (Moshood et al., 2022). Por otra parte, se presenció que bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* (mango) y *Musa paradisiaca* (plátano) pueden degradarse significativamente en un período de 1 a 4 semanas (Sernaqué et al., 2020).

Por otra parte, demostraron que estos biopolímeros podían degradarse en distintas condiciones medioambientales en semanas, lo que demuestra el potencial de estos materiales para una descomposición relativamente rápida en el medio ambiente (Amin et al., 2019).

En la presente investigación se desarrolló una película polimérica a partir de celulosa extraída de residuos orgánicos de plátano (tallos y cáscaras) recolectados en los contenedores del mercado mayorista de Riobamba, provincia de Chimborazo. La celulosa se seleccionó como materia prima por ser renovable y abundante en residuos agroindustriales, además de presentar biodegradabilidad y biocompatibilidad adecuadas para aplicaciones de envasado alimentario (Ai et al., 2021). Para optimizar las propiedades funcionales y la procesabilidad de la película, la celulosa se formuló en combinación con ácido poliláctico (PLA), un polímero biobasado derivado de azúcares fermentados que ofrece buena procesabilidad (inyección, extrusión, film casting), transparencia y propiedades mecánicas y térmicas comparables a polímeros petroquímicos; PLA es asimismo no tóxico y compostable en condiciones industriales (Rajendran et al., 2024). Finalmente, la matriz polimérica fue complementada con el surfactante catiónico antimicrobiano etil-lauroil-arginato (LAE) para conferir actividad antimicrobiana al material.

De esta manera, la película resultante es capaz de inhibir eficazmente el crecimiento de microorganismos. Este aspecto es fundamental en la industria alimentaria, ya que contribuye significativamente a garantizar la seguridad y salud del consumidor, y prolongar la vida útil de los productos envasados.

1.4. Objetivos

General

Desarrollar un material de envase con propiedades antimicrobianas partiendo de residuos del plátano del mercado Mayorista del cantón Riobamba.

Específicos

- Extraer celulosa a partir de los residuos del plátano verde/maduro del mercado Mayorista del cantón Riobamba.
- Obtener un material de envase antimicrobiano a partir de celulosa y un surfactante catiónico.
- Evaluar las propiedades antimicrobianas del material de envase de alimentos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Estado de Arte

Shimizu et al. (2018) evaluaron diferentes pretratamientos químicos (ácido, alcalino y con peróxido) para mejorar la accesibilidad de la celulosa y el rendimiento de glucosa en pseudotallos de banano. En esta investigación, los pretratamientos severos con NaOH al 25% (p/v) y H₂SO₄ al 25% (v/v) lograron los mayores rendimientos de glucosa 85% y 82%, respectivamente luego de la hidrólisis enzimática.

Además, se observó que el pretratamiento alcalino fue más efectivo en la eliminación de lignina y hemicelulosa, aumentando la accesibilidad de la celulosa. Este estudio posiciona al pseudotallo de banano como una materia prima prometedora para la producción de biocombustibles.

En otra investigación se realizó ensayos de dos rutas químicas para la extracción de fibras de celulosa: tratamiento alcalino con NaOH al 30% (p/v) y tratamiento con H₂O₂ al 8% (p/v). Los resultados indicaron que el tratamiento alcalino fue más efectivo en la remoción de lignina y hemicelulosa y que el tratamiento con peróxido tuvo un mayor rendimiento debido a la presencia de residuos no degradados.

Cabe mencionar que, si bien ambos tratamientos produjeron fibras con características cristalográficas similares, las obtenidas mediante el tratamiento alcalino mostraron mayor fibrilosis. Estos resultados permiten enfatizar el potencial de los pseudotallos de banano para su uso en la industria de papel (Johana-Restrepo et al., 2022).

Perez y Sánchez (2020) utilizaron el mismo sistema de extracción con otro método. En las investigaciones de estos autores, también se compararon dos métodos de extracción de celulosa, uno tradicional y otro acelerado. El método acelerado permitió obtener nanofibras de celulosa con una extracción significativamente mayor de lignina: 1,84%, mientras que el método tradicional dio microfibras con un mayor contenido de lignina residual: 4,69%. Ambos métodos podrían caracterizarse y diferenciarse con éxito mediante microscopía electrónica de barrido.

Entre los métodos consultados en el proceso de extracción de celulosa también se encuentran los métodos alcalino y Kraft. Los métodos utilizan NaOH y NaOH + Na₂S respectivamente, los estudios mostraron que el método alcalino fue más eficiente en términos de simplicidad de reacción y menor uso de reactivos, mientras que una fuente débil de álcali utilizada para el proceso de Kraft en combinación con el método de pulpeado produjo fibras más resistentes.

Ambos métodos incluyen procesos de blanqueo a menos que se especifique lo contrario en los métodos de los diferentes autores estudiados. Según este trabajo, se debe seleccionar el tipo de método de extracción de celulosa dependiendo de la naturaleza del residuo descompuesto (Cabascango y Arteaga, 2021).

Dos estudios se centraron en el desarrollo de películas antimicrobianas basadas en quitosano enriquecidas con LAE. Haghighi et al. (2020) elaboro películas antimicrobianas combinando quitosano con poli(vinil) alcohol y diferentes concentraciones de LAE 1 al 10% (m/v), y evaluaron sus propiedades microestructurales, físicas, ópticas, mecánicas y antimicrobianas.

Por otro lado, Blanch et al., (2015) desarrollaron películas exclusivamente a base de quitosano con concentraciones de LAE de 1%, 5% y 10%, enfocándose en la evaluación de su actividad antimicrobiana y su aplicación en la conservación de pechugas de pollo frescas. En cuanto a resultados, aunque se observó grietas en la superficie y menor cohesión, las películas con 10% de LAE redujo sus propiedades estructurales, aunque su potencial antimicrobiano no fue afectado.

Además, la investigación realizada por, Blanch et al. (2015) ocupo una película con 5% logrando buen equilibrio en sus propiedades, obteniendo flexibilidad, transparencia y efectividad antimicrobiana, ya que lograron reducir en gran cantidad la carga microbiana en productos avícolas durante la etapa de almacenamiento. Ambos estudios destacaron el potencial del LAE como agente que brinda funcionalidad antimicrobiana a los materiales plásticos. Haghighi et al. (2020) concluyó que los materiales se pueden usar en aplicaciones generales de envasado de alimentos con una mezcla de polímeros, mientras que Blanch et al. (2015) priorizaron la conservación de productos frescos específicos, como el pollo, demostrando una mayor eficacia antimicrobiana en condiciones prácticas de almacenamiento.

Además, evaluó la extracción de celulosa de pseudotallos y pinzotes de banano en cuatro etapas: hidrólisis ácida, cloración, extracción alcalina y blanqueo. Con pH 8,4 y NaOH al 20%, las fibras de pinzote alcanzaron su rendimiento máximo en 27,2%, mientras que las pseudotallos dieron un 25,2%, con una fracción significativa de lignina y hemicelulosa. Un pH de 9,2 y NaOH al 20% mejor el peso molecular 89,07 Daltons. La celulosa del pinzote mostró mayor estabilidad térmica y pureza, destacando este proceso como una alternativa sostenible para valorizar residuos (Canché et al., 2005).

Los estudios sobre la extracción de celulosa a partir de hojas de maíz y paja de arroz valorizaron dichos residuos agrícolas mediante métodos químicos. Los autores emplearon hidrólisis ácida y etanol para obtener celulosa cristalina de hojas de maíz, logrando índices de cristalinidad de 53,35% y 45,2%, respectivamente. El método ácido fue más eficiente en la eliminación de lignina y hemicelulosa, aunque se recomendó un blanqueo adicional para mejorar la pureza. Este estudio destacó el potencial de las hojas de maíz como fuente no maderable de celulosa (Paucara et al., 2023).

Otro estudio se centró en la obtención de pulpa de celulosa a partir de *Agave salmiana* mediante dos métodos: pulpeo alcalino (NaOH) y Organosolv (CH₃COOH). En el método alcalino, se emplearon concentraciones de NaOH 4 al 12% (m/v), Na₂CO₃ 1 al (2,5% m/v) y Na₂SO₄ (0,2 al 1% m/v), con tiempos de proceso entre 24 y 72 horas y velocidades de agitación entre 300 y 900 rpm.

En este método Organosolv, se utilizaron las siguientes concentraciones y reactivos: CH₃COOH 40 al 80% (m/v), HCl 0,5 al 1,5% (m/v) y agua 20 al 60% (m/v), con intervalos de tiempo entre 1 a 3 horas y velocidades de agitación similares. Los ensayos se realizaron en reactores de 500 mL con control de temperatura y agitación.

Por otra parte el rendimiento de pulpa fue mayor con el método Organosolv, alcanzando hasta 39,27%, mientras que el método alcalino presentó rendimientos más bajos de 22,01%. Las condiciones óptimas para el método alcalino incluyeron 12% de NaOH, 2,5% de Na₂CO₃, 0,2% de Na₂SO₄, y un tiempo de 24 horas. Para el método Organosolv, las mejores condiciones fueron 60% de agua, 80% de CH₃COOH, 0,5% de HCl, y un tiempo de 6 horas. Los resultados destacan la influencia de las concentraciones químicas y el tiempo en el rendimiento, siendo el método más eficiente (Jiménez et al., 2017).

2.2. Fundamentos Teórico

2.2.1. Contaminación de alimentos

Un contaminante alimentario puede ser biológico, químico o físico, siendo los biológicos los más frecuentes. Estos contaminantes pueden ingresar a los alimentos en cualquier etapa de la cadena de suministro, desde la producción hasta el consumo, y volverlos inseguros. Entre los principales contaminantes biológicos se encuentran bacterias como *S. aureus*, *Salmonella*, *E. coli*, *Listeria monocytogenes*. Los contaminantes químicos incluyen pesticidas, metales pesados y sustancias químicas ajenas a los alimentos (Crozier et al., 2020)

2.2.2. Materiales de envase

Los materiales de envases tradicionales generalmente son constituidos de poliamida, polipropileno, tereftalato de polietileno, alcohol vinílico de etileno, poliestireno y cloruro de polivinilo. Estos polímeros convencionales son adecuados para la producción de materiales de embalaje debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Por lo tanto, el incremento del empleo de polímeros naturales como polisacáridos y proteínas, a menudo en combinación con otros componentes naturales (lípidos, fosfolípidos, surfactantes o nanopartículas naturales) para la fabricación de materiales biodegradables (Sani et al., 2021).

2.2.3. Películas y recubrimientos biodegradables

Un recubrimiento biodegradable es una capa delgada y transparente que se aplica sobre los alimentos, generalmente por inmersión, para proteger su calidad y funcionar como empaque. Por otro lado, una película biodegradable es una lámina sólida que envuelve el producto.

Tanto las películas como los recubrimientos biodegradables ayudan a mantener la frescura y prolongar la vida útil de frutas y vegetales, ya que actúan como barreras semipermeables que reducen la pérdida de agua y el intercambio de gases, disminuyendo así la respiración y el deterioro microbiano. Además, estos materiales limitan la migración de

humedad y solutos, ofreciendo una alternativa eficaz para conservar alimentos frescos y comestibles, similar al efecto de las atmósferas modificadas (Umaña, 2011).

2.2.4. Polímeros biodegradables

Los plásticos pueden ser biodegradables o no, dependiendo de su capacidad para descomponerse completamente en CO₂ y H₂O gracias a microorganismos. Ambos tipos pueden fabricarse a partir de recursos naturales o fósiles. Entre los polímeros biodegradables de origen natural se encuentran el PLA, los polihidroxialcanoatos (PHA) y polisacáridos modificados, mientras que entre los biodegradables derivados del petróleo están el policaprolactona (PCL), poli(succinato de butileno) (PBS) (Riera y Palma, 2018).

2.2.5. Celulosa

La celulosa, obtenida principalmente de la madera y el algodón, es el polisacárido funcional más abundante en la naturaleza. Tanto la celulosa como sus derivados, como la metilcelulosa, la hidroxipropilmetilcelulosa y la carboximetilcelulosa, se han utilizado ampliamente para fabricar películas biodegradables. Estas películas, especialmente las hechas con carboximetilcelulosa, presentan buenas propiedades mecánicas y solubilidad en agua (Alizadeh-Sani et al., 2021).

2.2.6. Polisacáridos

Diversos polisacáridos de origen animal o artificial, entre los que destacan el almidón, la celulosa, la quitina, el quitosano y las gomas hidrocoloides, han sido ampliamente empleados como materiales base en la elaboración de películas biodegradables destinadas al envasado de alimentos.

Estos compuestos, de origen natural, presentan estructuras moleculares variadas, lo que influye directamente en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las películas resultantes. Por ejemplo, la capacidad para formar películas, resistencia mecánica, permeabilidad al vapor de agua y a los gases, así como la transparencia y la flexibilidad, pueden variar considerablemente según el tipo de polisacárido utilizado (Alizadeh-Sani et al., 2019).

2.2.7. Polietilenglicol (PEG)

El PEG es un polímero formado por unidades repetidas de etilenglicol, conocido por su versatilidad y propiedades ajustables. Su composición le otorga funciones tales como: solubilizante, emulsionante, estabilizador y portador de compuestos. El PEG es seguro y aprobado por organismos como la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) y las normas chinas para su uso en alimentos y recubrimientos. Además, este compuesto destaca por mejorar la solubilidad y estabilidad de fármacos. Aunque generalmente es considerado inerte y no tóxico, su seguridad puede variar según su peso molecular y concentración (Gong et al., 2024).

2.2.8. Ácido poliláctico

El PLA es un polímero biodegradable de origen biológico que se presenta como una opción viable frente a los plásticos tradicionales en envases alimentarios. No obstante, su uso se ve restringido porque es sensible al agua y tiende a degradarse por hidrólisis en ambientes húmedos o al contacto con líquidos, lo que limita su aplicación en el almacenamiento de alimentos (Gerometta et al., 2019).

Por otra parte, el PLA es un polímero con características termoplásticas alifáticas lineales de gran uso en la industria de envase de alimentos. Debido a que es un material con ventajas biodegradables, compostables y seguras, así como por sus propiedades similares a la de los polímeros convencionales como el tereftalato de etileno (PET), se ha convertido en una de las principales alternativas en la industria agroalimentaria (Patiño Vidal et al., 2023)

2.2.9. Agentes antimicrobianos

Los agentes antimicrobianos son sustancias, naturales o sintéticas, capaces de inhibir el crecimiento o destruir microorganismos como bacterias, virus, hongos o parásitos. Según la literatura científica, estos compuestos incluyen antibióticos, antivirales, antifúngicos y antiparasitarios, y se clasifican de acuerdo con su espectro de acción, mecanismo bioquímico y estructura química. Su función principal es combatir infecciones al interferir en procesos vitales de los microorganismos, como la síntesis de la pared celular, la replicación del ADN o la síntesis de proteínas. Los agentes antimicrobianos pueden ser bactericidas, que destruyen las bacterias, o bacteriostáticos, que detienen su crecimiento y reproducción (Treviño y Molina, 2022)

2.2.10. Etil lauroil arginato

El LAE es un surfactante catiónico derivado de aminoácidos, obtenido a partir de L-arginina, ácido láurico y etanol. El LAE es un compuesto estable con baja toxicidad, sintetizado mediante esterificación y condensación, que destaca por su fuerte actividad antimicrobiana contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo mohos, levaduras, bacterias grampositivas y gramnegativas. Su eficacia como conservante alimentario se ha revelado igualmente impresionante, incluso en concentraciones extremadamente bajas (Nerin et al., 2016).

Por otro lado, el LAE es un surfactante catiónico, conocido por ser uno de los agentes antimicrobianos más potentes entre las nuevas alternativas en los aditivos alimentarios. Posee un amplio espectro de acción contra bacterias, levaduras y mohos. Estas propiedades se atribuyen a su acción sobre las membranas celulares de los microorganismos (Higueras-Contreras et al., 2025).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de Investigación.

La investigación realizada fue tipo experimental y cuantitativo ya que se desarrolló un material de envase con propiedades antimicrobianas, utilizando residuos de plátano recolectados en el mercado Mayorista del cantón Riobamba. El estudio también mantuvo un enfoque cualitativo por la revisión bibliográfica realizada, donde se recopiló información relevante sobre la elaboración de películas antimicrobianas a partir de celulosa y un surfactante catiónico.

En la fase cuantitativa, se realizaron experimentos dentro del laboratorio para desarrollar las películas y evaluar sus propiedades. La elaboración del material de envase antimicrobiano y la evaluación de su funcionalidad se realizó en el laboratorio del Grupo de Investigación de Inocuidad y Valorización de Residuos (INVAGRO) de la Universidad Nacional de Chimborazo. Los análisis físicos y estructurales del material se llevaron a cabo en los laboratorios de Química Instrumental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. De este modo, la investigación integró tanto el análisis teórico como la experimentación práctica.

3.2 Diseño de la investigación

En este estudio se analizaron las propiedades antimicrobianas de películas elaboradas a partir de celulosa extraída de residuos de plátano, a las que se incorporó el surfactante catiónico LAE. La variable independiente fue la concentración de LAE y la variable dependiente la capacidad antimicrobiana de las películas.

3.2.1 Variables

En el presente estudio se empleó un modelo experimental bifactorial. El Factor A corresponde al tipo de bacteria, con dos niveles (cepas): *E. coli* y *S. aureus*. El Factor B corresponde a la concentración de LAE, con dos niveles: 10% y 20%. En este diseño, las variables independientes son el tipo de bacteria y la concentración de LAE, mientras que la variable dependiente corresponde a la actividad antimicrobiana observada con respecto a las cepas de *E. coli* y *S. aureus*, permitiendo así evaluar el efecto de cada combinación sobre el crecimiento bacteriano expresado en (mm).

3.2.2 Tratamiento de la materia prima

El acondicionamiento de la materia prima antes de la extracción de celulosa se realizó, siguiendo el protocolo descrito por López et al. (2016), con algunas modificaciones. Inicialmente, los raquis de plátano fueron cortados en rodajas aproximadamente de 3 a 4 cm de longitud y sometidos a un secado solar de 24 horas para reducir la humedad superficial. Posteriormente, las muestras parcialmente deshidratadas se introdujeron en una estufa de convección forzada a 80 °C durante 6 horas, asegurando la disminución de la humedad mínimo de 30% (p/p).

Luego las rodajas secas se trituraron en un molino de martillos industrial. El polvo fino resultante se envasó en bolsas plásticas con cierre térmico y se conservó a 4 °C hasta su utilización.

3.2.3 Extracción de la celulosa

El proceso de extracción de celulosa se realizó siguiendo el método propuesto por López et al. (2016), con ciertas modificaciones. Se preparó una solución NaOH al 10% (p/v). El material molido se puso en contacto con una solución alcalina en una proporción de 1:10 (1 g de material por cada 10 mL de solución).

La mezcla se agitó constantemente en un agitador magnético digital DLAB 8030261115, y se calentó a 90 °C durante 3 horas. Posteriormente, la mezcla se filtró utilizando un Kitasato, separando el sólido (fibra tratada) del líquido (licor negro) que contenía las ligninas y hemicelulosas disueltas. El sólido obtenido se lavó con agua destilada hasta obtener un pH neutro, garantizando la pureza del polímero.

El material tratado se blanqueó utilizando una solución de hipoclorito de sodio comercial al 3,5% (p/v). La mezcla se agitó continuamente durante 1 hora a 80 °C para eliminar los colorantes naturales y mejorar su apariencia. Finalmente, se realizó un lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, asegurando la ausencia de residuos químicos. El material blanqueado se secó a 60 °C durante 12 horas y, posteriormente, se trituró hasta obtener un polvo fino de celulosa. El polvo se tamizó con un número de malla de 100 µm para obtener un tamaño uniforme.

3.2.4 Desarrollo de la película antimicrobiana

Las películas antimicrobianas se elaboraron a partir de una mezcla de PLA y celulosa mediante el método de disolución-evaporación *casting*. La incorporación del PLA se realizó con la finalidad de brindar manejabilidad y estructura a las películas antimicrobianas. Se preparó una disolución polimérica de PLA/celulosa al 2% (m/v) en cloroformo y se probaron 3 relaciones poliméricas PLA:celulosa (25:75, 50:50 y 75:25).

Una vez desarrollados los materiales, se escogió el material con mejores características para preparar las películas antimicrobianas. Primero, se dispersó LAE al 10% y 20% respecto al peso del polímero en el cloroformo. Posteriormente, se añadió el PLA y la celulosa en una relación 75:25. Ya disuelto el PLA, se incorporó PEG al 20 % (respecto al peso del polímero). Las disoluciones se vertieron en placas Petri de vidrio de 9 cm de diámetro, y se secaron a 60 °C durante 24 horas.

Seguido de esto, las películas antimicrobianas se retiraron cuidadosamente de las placas y se almacenaron hasta su evaluación. Además, se desarrolló una película de PLA y celulosa sin LAE como control. Todos los materiales se prepararon por cuatuplicado.

3.2.5 Evaluación microbiana de las películas

Para evaluar la actividad antimicrobiana, se empleó el método de medición de halos de inhibición en medios de cultivo bacterianos, utilizando cepas de *E. coli* y *S. aureus*. El diámetro de los halos de inhibición permitió cuantificar la eficacia de las películas en la inhibición del crecimiento bacteriano. Este enfoque experimental permitió comparar el efecto de diferentes concentraciones de LAE.

3.3 Técnicas de Recolección de Datos

En esta sección se presentan los análisis de las propiedades estructurales y antimicrobianas realizados a la celulosa y el material de envase.

3.3.1 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR-ATR)

El análisis FTIR-ATR se realizó con la finalidad de evidenciar la efectiva extracción de la celulosa, así como verificar posibles interacciones entre los componentes del material de envase antimicrobiano. Las muestras fueron colocadas en el espectrómetro FT/IR-4100 (Japón) acoplado a un cristal de diamante de reflexión total atenuado (ATR). Se obtuvieron los espectros FTIR-ATR realizando 64 barridos a cada muestra en un intervalo de número de onda de 4000 a 450 cm^{-1} y con una resolución de 16 cm^{-1} .

3.3.2 Actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana de las películas fue evaluada contra una bacteria Gram positiva *S. aureus* y una bacteria Gram negativa *E. coli*, siguiendo la metodología descrito por Patiño Vidal et al. (2023). Las cepas bacterianas fueron obtenidas del laboratorio INVAGRO de la UNACH. Las cepas bacterianas se mantuvieron en placas con agar tripteína de soya (TSA) a 4°C. Para cada prueba antimicrobiana, se transfirió un asa de cada cepa a una placa TSA y se incubó a 37 °C durante 24 h para obtener células frescas de fase estacionaria temprana.

Posteriormente, los cultivos bacterianos se prepararon en caldo de soja tripticosa hasta su fase exponencial ($\approx 10^7$ UFC/mL), y posteriormente se prepararon diluciones seriadas para lograr una concentración bacteriana $\approx 10^6$ UFC/mL. Continuando con el proceso se sembraron 300 μL de cada suspensión bacteriana en placas TSA, y sobre estas se depositó 1 disco de cada película antimicrobiana (PLA+ CELULOSA + LAE 10% y PLA + CELULOSA + LAE 20%). El diámetro de los discos fue de 2,5 cm. Las placas se incubaron a 37°C durante 24 horas, y se midieron los halos de inhibición generados. El ensayo se realizó por triplicado.

3.4 Población de Estudio y Tamaño de Muestra

La población de estudio comprende todos los microorganismos patógenos que pueden estar presente en los alimentos y causar contaminación en los mismos. En el caso de la muestra, esta correspondió a los dos tipos de cepas (*E. coli* y *S. aureus*) utilizadas para la evaluación antimicrobiana de las películas.

3.5 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados fueron codificados y organizados en una base de datos empleando Microsoft Excel. Este proceso incluyó la asignación de códigos específicos a cada variable y tratamiento, lo que facilitó el manejo de la información. Esta base de datos en Excel permitió almacenar los resultados de manera ordenada y realizar el análisis estadístico.

3.6 Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA), con el objetivo de identificar posibles diferencias significativas entre las distintas muestras evaluadas. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple Tukey para determinar específicamente entre qué tratamientos existían diferencias estadísticamente significativas, utilizando un nivel de confianza del 95%. El procesamiento y análisis de los datos se realizó empleando el software estadístico Statgraphics Centurion XVI, versión 16.1.03.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Obtención de la celulosa

4.1.1 Rendimiento del proceso

En la Tabla 1 se muestran los valores promedios y desviación estándar asociados al peso inicial de la muestra, celulosa húmeda, seca y rendimiento expresado en porcentaje, obtenidos del proceso de extracción de la celulosa.

Tabla 1.
Resultados del proceso de obtención de la celulosa

Datos de celulosa	
Peso inicial (g)	10,43 ± 0,47
Celulosa húmeda (g)	19,85 ± 0,10
Celulosa seca (g)	6,74 ± 1,03
% Rendimiento	64,49 ± 1,02

Los resultados indicaron que luego del blanqueamiento de la celulosa mediante el método alcalino, el rendimiento promedio fue aproximadamente 64%. Este valor está en concordancia con lo reportado por García et al. (2019), consideró una eficiencia global de la celulosa después del blanqueo de hasta el 60 %. Cabe resaltar que, en ese estudio, se incluyó la recuperación de uno de los subproductos en el reactor sustitución, que es reintegrado como reactivo, logrando un aumento en la eficiencia global del proceso y reducción del alcance ambiental inherente a estos.

Por otro lado, Dhia et al. (2021), resalto que el rendimiento de la pasta de celulosa oscila desde 40 al 60%, justamente porque algunos componentes no celulósicos como la lignina se eliminan a través de la fase de purificación. La diferencia en los rendimientos de obtención de celulosa infirió en cuanto a características propias de la materia prima utilizada y a las condiciones de los tratamientos químicos aplicados en cada caso.

Respecto al rendimiento de la celulosa empleando la técnica de extracción por método alcalino, Cabascango y Arteaga (2021) reportó un rendimiento de pulpa de celulosa de 81,87%. Este resultado es superior al valor obtenido en nuestra investigación, lo cual podría estar asociado a una mayor eficiencia del tratamiento, lo que permitiría una remoción efectiva de impurezas y una recuperación significativa del polímero.

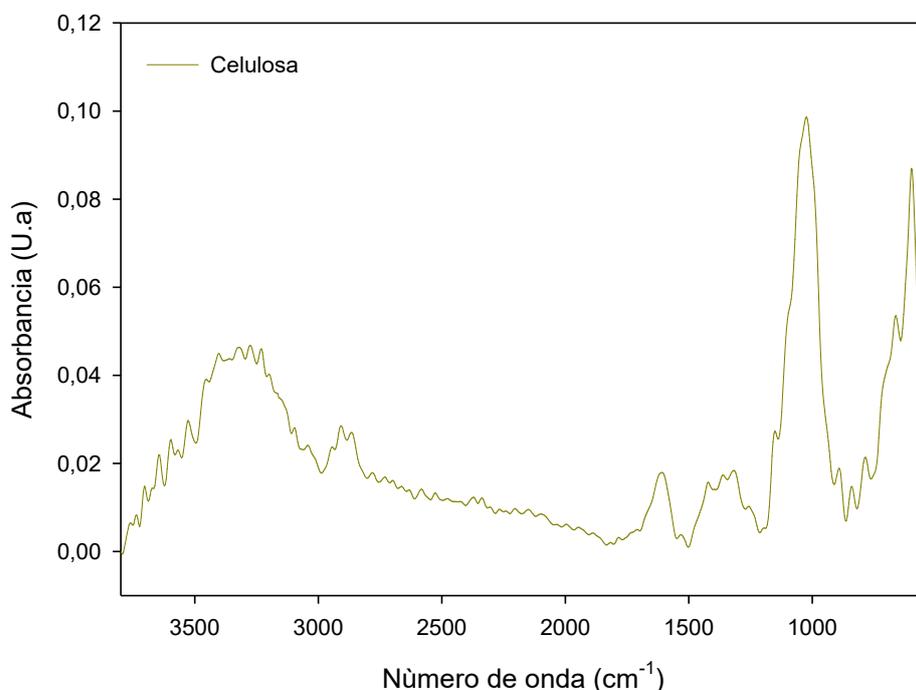
Por otra parte, otro estudio realizado donde se optimizaron las condiciones del tratamiento alcalino para la extracción de celulosa de orujo de manzana. El rendimiento máximo de celulosa obtenido fue de $27,96 \pm 0,78\%$, logrado con una concentración de NaOH del 10,23%, una temperatura de 69,82 °C y un tiempo de extracción de 161,54 minutos. Estas condiciones también resultaron en un contenido de α -celulosa del $85,31 \pm 0,91\%$ y un índice de blancura de $47,79 \pm 0,65\%$ (Melikoğlu et al., 2019).

4.1.2 Análisis FTIR-ATR

La Figura 1 muestra el espectro FTIR-ATR de la celulosa extraída a partir de los residuos del plátano seco.

Figura 1.

Espectro FTIR-ATR de celulosa



Tal como muestra la Figura 1, se evidenció una banda ancha entre los 4000 y 3000 cm^{-1} , con un pico máximo de absorción de 3278 cm^{-1} asociada a la vibración de estiramiento de los grupos hidroxilo (O-H) presentes en la celulosa. El pico a 2911 cm^{-1} se asoció a la vibración de estiramiento C-H. Las bandas típicas asociadas a la vibración de las moléculas de agua absorbidas en la celulosa se detectaron a los 1612 y 1319 cm^{-1} . El pico a 1026 cm^{-1} se atribuyó al estiramiento C-O-C y C-O de los anillos de glucosa, mientras que las bandas a 840, 812, 663, 601 cm^{-1} se asociaron a la región amorfa de la celulosa y a las deformaciones del esqueleto de este polímero (Hospodarova et al., 2018).

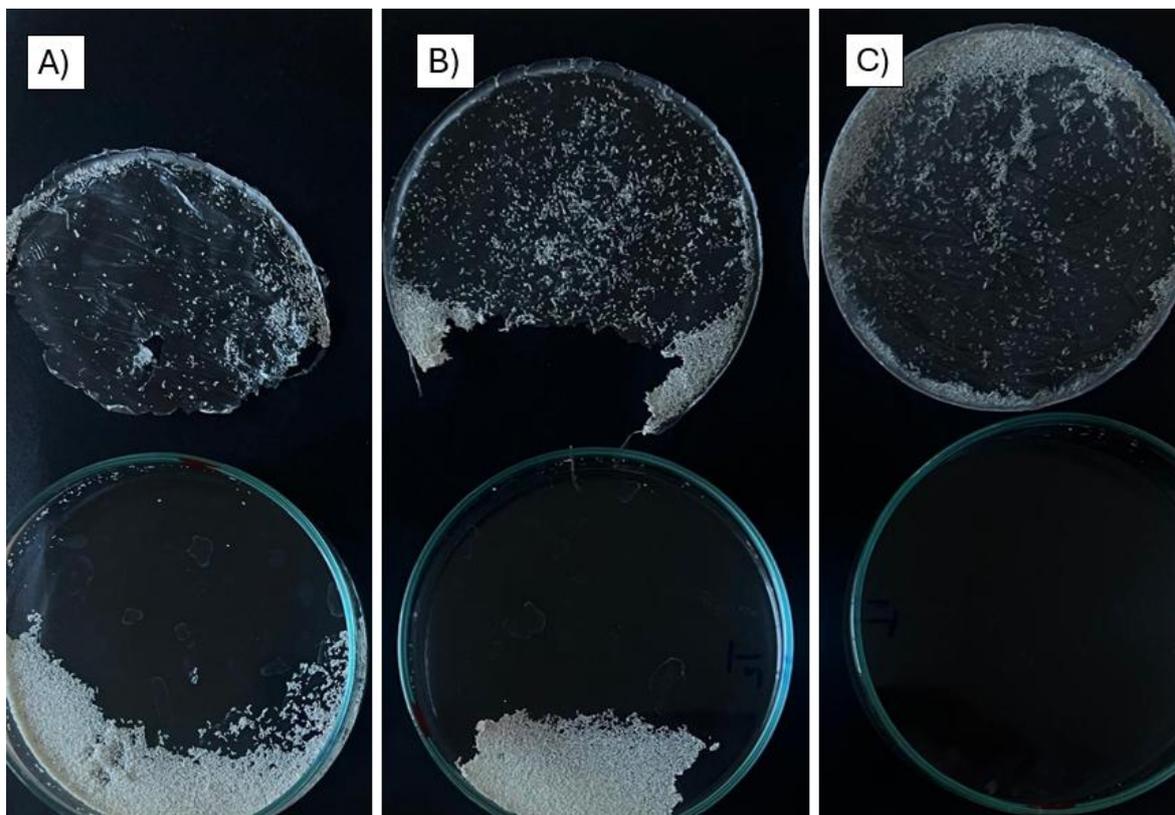
Por otro lado, en la caracterización de la celulosa obtenidos mediante hidrólisis ácida, se observaron diversas bandas características de este compuesto. Estas incluyen las bandas entre 3175 y 3490 cm^{-1} , correspondientes al estiramiento O-H de los enlaces de hidrógeno intramoleculares propios de la celulosa I; las bandas entre 2850 y 2970 cm^{-1} , asociadas al estiramiento C-H; la banda a 1730 cm^{-1} , relacionada con la vibración de estiramiento C-O de los enlaces aceto y éster presentes en lignina, hemicelulosa y pectina; las bandas entre 1620 y 1649 cm^{-1} , así como las de 1512 y 1595 cm^{-1} , vinculadas al anillo aromático de la lignina y al agua absorbida. Estas bandas están relacionadas con los picos mencionados anteriormente (Kumar et al., 2014).

4.2 Obtención del material de envase antimicrobiano

En la Figura 2, se presentan los resultados de tres pruebas realizadas con diferentes proporciones de celulosa y PLA para la preparación del material de envase antimicrobiano. Las proporciones PLA: celulosas utilizadas fueron 35:75, 50:50 y 75:25.

Figura 2.

Concentraciones de celulosa y PLA del material antimicrobiano



Nota: Las proporciones de PLA: celulosa, fueron: A) 25:75, B) 50:50, C) 75:25

En la Figura 2A, que corresponde a una composición de 75 y 25% de celulosa y PLA (p/v), respectivamente, se observa una aglomeración significativa de la celulosa concentrada en un lado de la muestra. Esta aglomeración provocó que la película no se formara de manera homogénea y que la dispersión de la celulosa fuera aún más perjudicada.

Sin embargo, la composición de 50% celulosa y 50% PLA (p/v) (Fig. 2B) desarrolló una dispersión un poco mejor que la de la composición anterior; no obstante, se observó de forma evidente la aglomeración visible de la celulosa, la cual propició que la película presentara zonas heterogéneas, y por el tanto, la película no fue uniforme y podría haberse visto perjudicada su eficacia antimicrobiana.

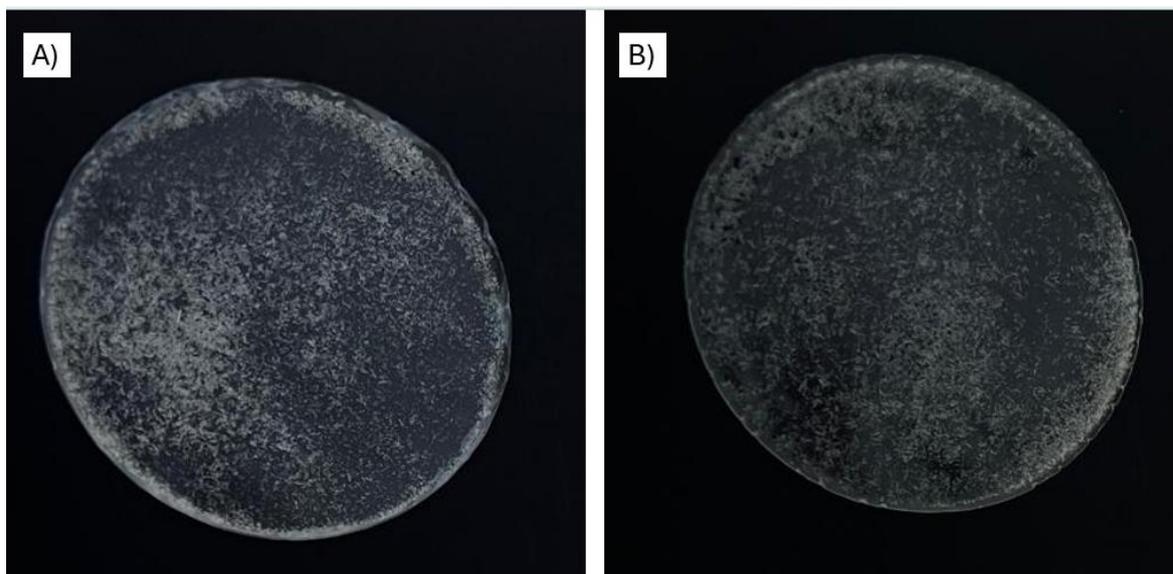
Finalmente, la Figura 2C corresponde a una composición con 25% de celulosa y 75% de PLA (p/v). En esta muestra, la dispersión de la celulosa fue más homogénea y la formación de la película no se vio afectada por aglomeraciones. Este resultado demostró que una mayor

proporción de PLA favoreció la integración y distribución uniforme de la celulosa dentro de la matriz polimérica.

Una vez elegido la proporción de PLA y celulosa, se procedió a elaborar el material de envase antimicrobiano. La Figura 3 muestran las fotografías del material de envase antimicrobiano obtenido a partir de la mezcla de celulosa, PLA y LAE al 10 y 20%.

Figura 3.

Fotografía del material antimicrobiano de LAE al 10 % (A) y 20% (B)



Tal como se muestra en la Figura 3, la incorporación del LAE no influyó en la dispersión de la celulosa en la matriz polimérica. Ambos materiales mostraron una distribución heterogénea de la celulosa. La dispersión de la celulosa en películas poliméricas obtenidas a partir de disoluciones orgánicas se atribuye principalmente a la baja compatibilidad entre este polímero y la matriz polimérica. La baja compatibilidad interfacial entre estos componentes se traduce en una pobre interacción entre ambas fases, lo que favorece la formación de aglomerados de celulosa y dificulta su distribución uniforme dentro de la matriz (Liguempi, 2023).

Por otra parte, el desarrollo de estos materiales a partir de la técnica de *casting* muestra un desafío importante ya que la dispersión de la celulosa está fuertemente influenciada por la velocidad de evaporación del solvente. Una rápida evaporación del solvente favorece que las partículas de celulosa no se aglomeren antes de que la matriz polimérica solidifique, mientras que una lenta evaporación produce el efecto contrario (Dávila et al., 2011)

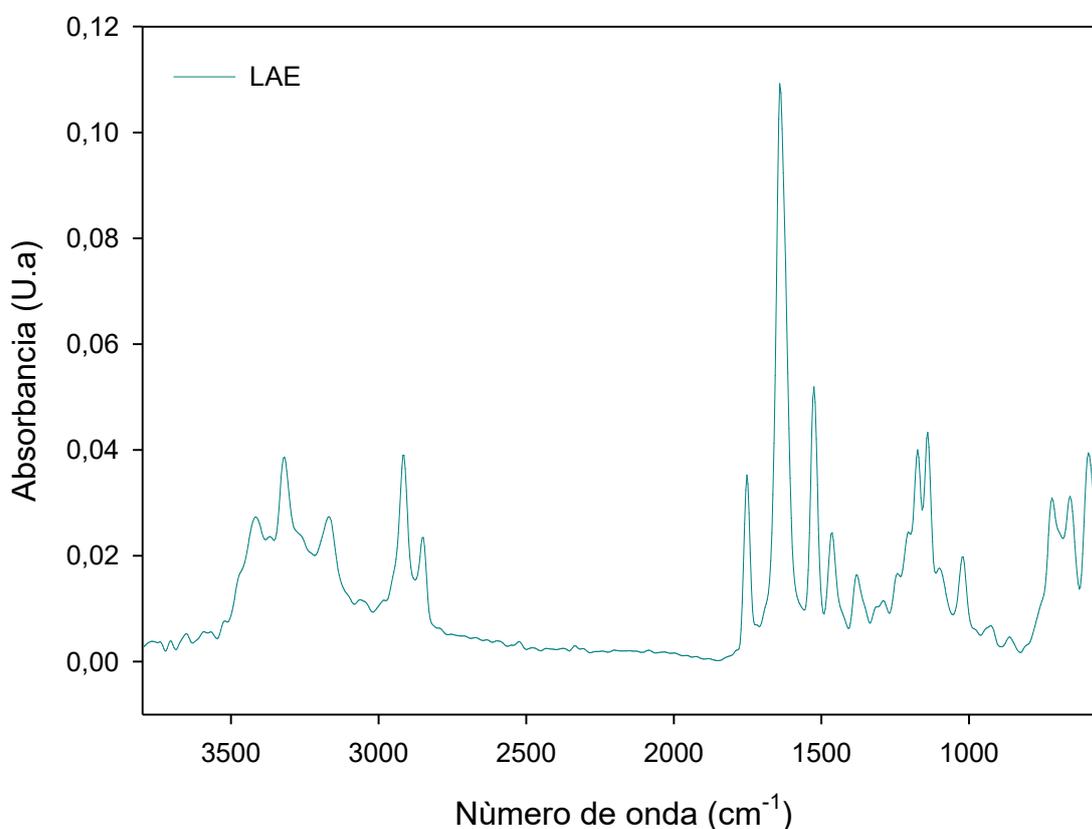
La celulosa generalmente es una partícula que tiende a aglomerarse debido a las fuerzas electrostáticas generadas por su carga eléctrica superficial, lo que provoca la formación de agregados que dificultan su separación y distribución homogénea en los sistemas donde se emplea (López et al., 2018).

Por otra parte, Investigadores de la Universidad de Göttingen desarrollaron un método sostenible llamado *hidrosetting*, que utiliza agua en condiciones normales para crear bioplásticos a partir de celulosa, al modificar ligeramente una pequeña parte de la composición química de la celulosa mediante la introducción de un grupo "cinamoilo". Este proceso ayudo a la aglomeración y mejoro la dispersión de las fibras de celulosa, resultando en materiales más homogéneos (Wang et al., 2021).

4.3 Análisis FTIR-ATR

La Figura 4 muestra el espectro FTIR-ATR del LAE.

Figura 4.
Espectros FTIR de Ethyl Lauroyl Arginate (LAE)



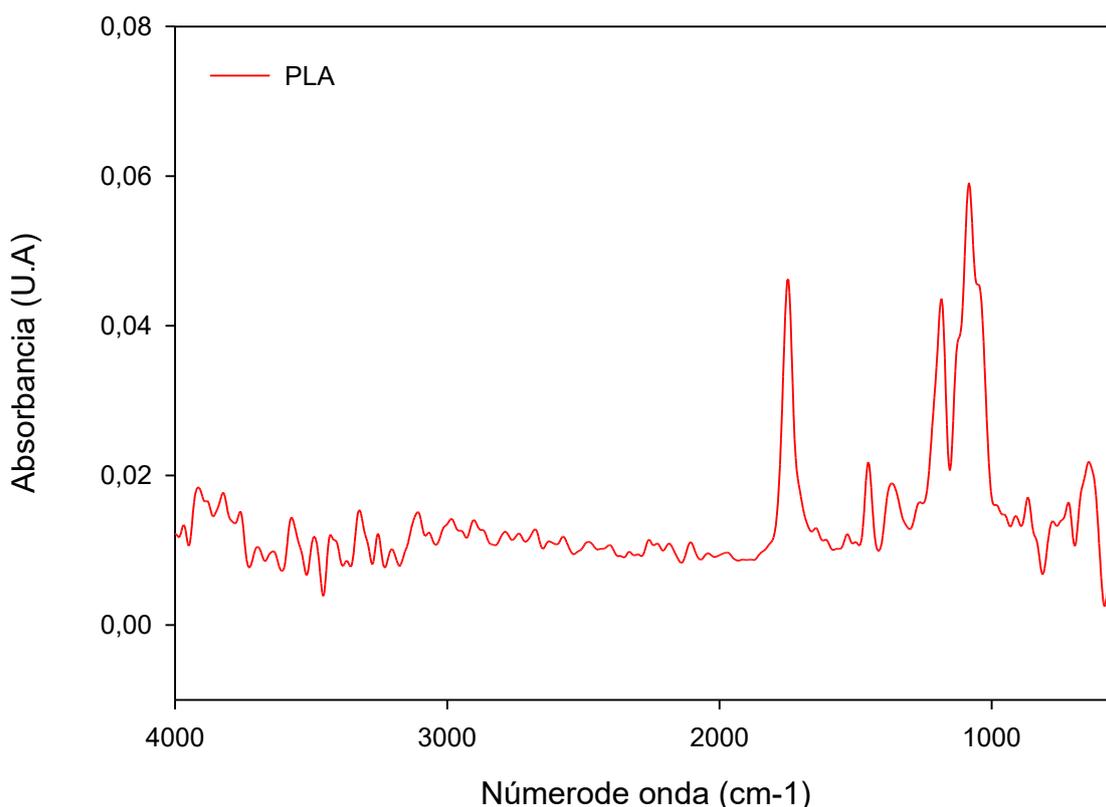
La Figura 4 mostró las bandas características del LAE. El pico a 3320 cm^{-1} estuvo asociado a la vibración de estiramiento N-H. Los picos a 2920 y 2850 cm^{-1} se relacionaron con las vibraciones de estiramiento C-H de los grupos metileno y metilo presentes en la cadena alquílica del LAE. La presencia de estos picos confirma la naturaleza lipofílica de la molécula, esencial para su función como surfactante y antimicrobiano.

Según un estudio de (Ma et al., 2023), la intensidad de estos picos está directamente relacionada con la longitud de la cadena alquílica y su capacidad para interactuar con membranas celulares bacterianas. La banda detectada a 1755 cm^{-1} se relacionó con la presencia de los grupos carbonilo. El pico a 1643 cm^{-1} correspondió a las vibraciones de

flexión del enlace N-H de la amida II combinadas con el estiramiento C–N, mientras que el pico a 1527 cm^{-1} se asoció a la vibración de estiramiento C=O en la amida I. Finalmente, la banda detectada a 1141 cm^{-1} se asignó a la vibración de estiramiento C–O (Haghighi et al., 2019).

La Figura 5 presenta el espectro FTIR-ATR del PLA.

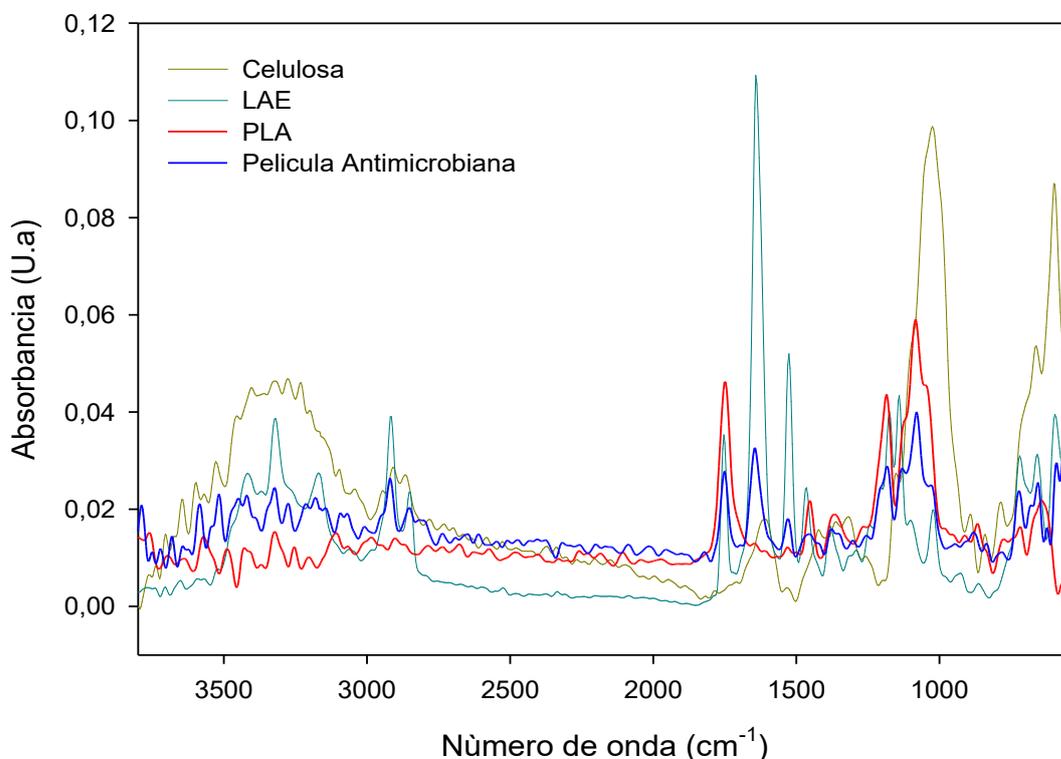
Figura 5.
Espectros FTIR de Ácido poliláctico (PLA)



Los picos observados en la región de 4000 a 3000 cm^{-1} estuvieron asociados con la vibración de estiramiento O–H debido a la presencia de humedad absorbida, grupos terminales hidroxilo o impurezas. Sin embargo, estos picos se mostraron anchos, poco definidos y con baja intensidad, lo que posiblemente podría corresponder a ruido instrumental (Lim et al., 2008). El estiramiento de C–H y el estiramiento de C=O se identificaron a los 1747 cm^{-1} , mientras que la vibración de deformación simétrica de $-\text{CH}_3$ se atribuyó al pico a 1454 cm^{-1} . La vibración de equilibrio de CH_3 se asignó a los 1184 cm^{-1} , el estiramiento de C–O–C a 1083 cm^{-1} y el estiramiento de C=O a 717 cm^{-1} (Cuiffo et al., 2017).

La Figura 6 muestra el espectro FTIR-ATR de la película antimicrobiana. Además, con la finalidad de detectar posibles interacciones entre los componentes presentes en este material, se incluyeron los espectros de la celulosa, LAE y PLA.

Figura 6.
Espectros FTIR de la interacción de la película con los componentes



Tal como se puede observar en la Figura 6, la película antimicrobiana mostró los picos característicos del PLA. Este hecho se debió a que el polímero constituyó la mayor proporción del material. A pesar de ellos, la presencia de picos característicos de la celulosa o del LAE permitieron evidenciar la efectiva incorporación de estos compuestos en la película antimicrobiana. Por ejemplo, a 2919 cm^{-1} se identificó las vibraciones de estiramiento C–H de los grupos metileno y metilo presentes en la cadena alquílica del LAE (Ma et al., 2023). Asimismo, el pico a 1646 cm^{-1} correspondió a las vibraciones de flexión N–H de la amida II combinadas con el estiramiento C–N (Haghighi et al., 2019). De igual manera, el pico a 1025 cm^{-1} se atribuyó al estiramiento C–O–C y C–O de los anillos de glucosa en la celulosa (Hospodarova et al., 2018).

4.4 Actividad antimicrobiana

La Tabla 2 presenta los resultados de la evaluación de la capacidad antimicrobiana de la película activa de PLA con LAE contra *E. coli* y *S. aureus*. La muestra control no exhibió crecimiento microbiano, validando que los halos de inhibición determinados estuvieron únicamente asociados a la actividad antibacteriana del LAE presente en los materiales.

Tabla 2.

Actividad antimicrobiana de las películas activas frente a S. aureus y E. coli

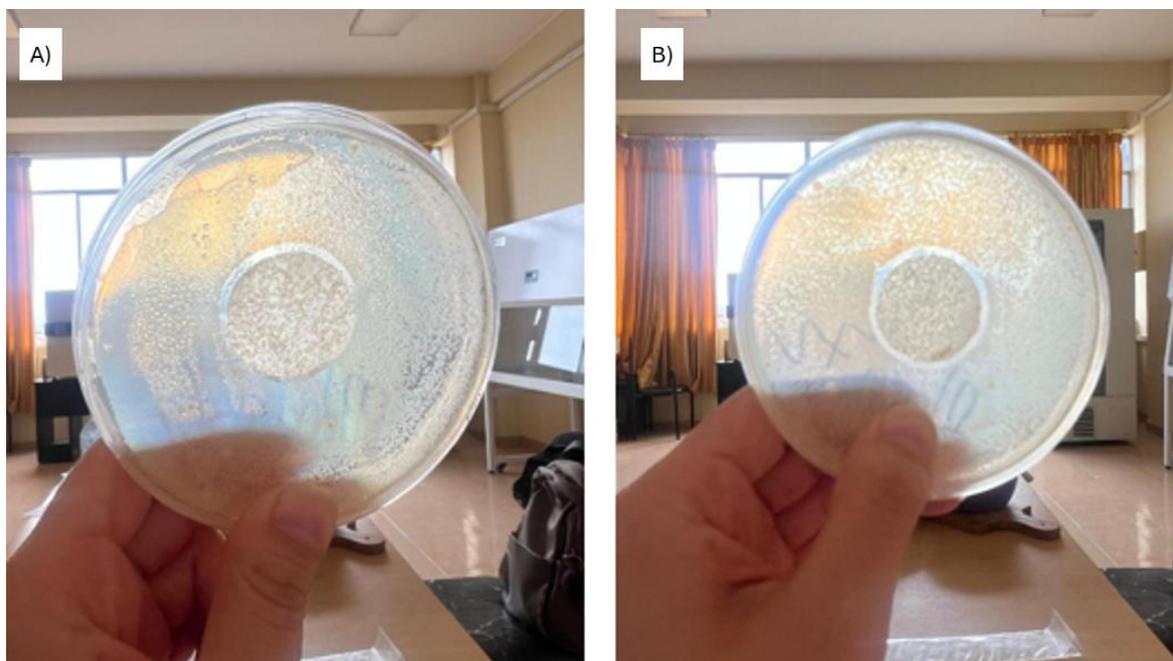
Material	Halos de inhibición (cm)	
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
PLA	-	-
PLA + CELULOSA + LAE 10%	2,87 ± 0,058 ^{aA}	2,67 ± 0,057 ^{aA}
PLA + CELULOSA + LAE 20%	2,90 ± 0,058 ^{aA}	2,73 ± 0,057 ^{aA}

Letra superíndices minúsculas y similares indican que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los halos de inhibición de las películas antimicrobianas obtenidos para una misma bacteria, y letras superíndices mayúsculas y similares indican que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los halos de inhibición de una misma película antimicrobiana obtenidos para ambas bacterias, de acuerdo con el análisis de varianza y test de Tukey.

La Tabla 2 demuestra la efectividad de las películas antimicrobianas frente a los microorganismos evaluados. De forma general, no existieron diferencias significativas entre las películas a diferentes concentraciones de LAE y entre las bacterias evaluadas con un mismo material. Los halos de inhibición mantuvieron un diámetro aproximado entre 2,6 y 2,9 cm como se observa en la Figura 7.

Figura 7.

Evaluación capacidad antimicrobiana mediante discos de difusión con LAE.



Por otra parte, se realizó un estudio con concentraciones de LAE entre 0.5% y 1% para desarrollar películas antimicrobianas se fabricaron nanofibras de PLA que contenían LAE utilizando el método de electrohilado. La actividad antimicrobiana se evaluó contra *S. aureus* y *E. coli*.

Los halos de inhibición obtenidos oscilaron entre 11 y 16 mm (Li et al., 2021). En otra investigación realizada con a otras bacterias, la actividad antimicrobiana de LAE frente a *S. enterica* en biofilms fue limitada, con halos de inhibición entre 0,89 y 2,19 mm para películas con espesores entre 20 μm y 50 μm . Además, las películas de LAE no redujeron el crecimiento de *A. flavus*. Esto se debe a la reducida movilidad y efectividad del LAE al unirse al biofilm, así como a la diferente sensibilidad entre las bacterias (Patiño Vidal et al., 2021).

Tal como se puede verificar, el desarrollo de películas biodegradables y antimicrobianas a partir de la extracción de celulosa de residuos agroalimentarios y su combinación con PLA y LAE abre la posibilidad de obtener materiales de envase de alimentos activos capaces de ser utilizados en la protección de alimentos altamente susceptibles a la contaminación microbiana.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se extrajo celulosa a partir de residuos de plátano verde y maduro (*Musa paradisiaca* L.) recolectados en el mercado Mayorista del cantón Riobamba, aplicando tratamientos térmicos y tratamientos químicos controlados. La extracción de celulosa se realizó mediante procesos de secado, molienda, tratamiento con NaOH al 10% (v/v) y blanqueo con NaClO al 3,5% (m/v). Se logró un rendimiento de extracción de celulosa del 64,49% con características fisicoquímicas validadas por espectroscopía FTIR.
- Se formuló un material de envase polimérico biodegradable y con actividad antimicrobiana, en formato de película. La película polimérica, biodegradable y antimicrobiana estuvo constituida por celulosa y PLA como fase polimérica, y LAE a dos distintas concentraciones como compuesto antimicrobiano.
- Se determinó la actividad antimicrobiana de las películas, mediante prueba de halos de inhibición frente a *E. coli* y *S. aureus*, modelos de bacterias patógenas Gram negativa y Gram positiva generalmente presentes en los alimentos. La actividad antimicrobiana de las películas resultó en halos de inhibición con diámetros entre 2,6 y 2,9 cm.

5.2 Recomendaciones

- Optimizar la dispersión de la celulosa en la matriz polimérica evaluando el uso de agentes dispersantes o modificando las condiciones de procesamiento para impedir la formación de aglomerados y mejorar las propiedades del material.
- Evaluar la incorporación de otros agentes antimicrobianos naturales o posibles combinaciones de los mismos para mejorar la actividad antimicrobiana de las películas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, T. (2025). *EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CABECERA PARROQUIAL SAN JUAN DE PÓZUL, CANTÓN CELICA, PROVINCIA DE LOJA - ECUADOR.*
- Ai, B., Zheng, L., Li, W., Zheng, X., Yang, Y., Xiao, D., Shi, J., & Sheng, Z. (2021). Biodegradable Cellulose Film Prepared From Banana Pseudo-Stem Using an Ionic Liquid for Mango Preservation. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.625878>
- Alizadeh-Sani, M., Ehsani, A., Moghaddas Kia, E., & Khezerlou, A. (2019). Microbial gums: introducing a novel functional component of edible coatings and packaging. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(17), 6853–6866. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09966-x>
- Alizadeh-Sani, M., Tavassoli, M., Mohammadian, E., Ehsani, A., Khaniki, G. J., Priyadarshi, R., & Rhim, J.-W. (2021). pH-responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 741–750. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.231>
- Amin, Md. R., Chowdhury, M. A., & Kowser, Md. A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, 5(8), e02009. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009>
- Arévalo Niño, K., Elizabeth Alemán Huerta, M., Guadalupe Rojas Verde, M., Morales Rodríguez, L. A., Manuel Barragán Av Pedro de Alba, A. L., Universitaria, C., Nicolás de los Garza, S., & México, N. (2017). *Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos.* <https://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/19>
- Cabascango, E., & Arteaga, K. (2021). *TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE CELULOSA EN RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.* <https://zenodo.org/records/5739370>
- Canché-Escamilla, G., De los Santos-Hernández, J. M., Andrade-Canto, S., & Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. *Información Tecnológica*, 16(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
- Crozier, C., Chapman, B., Kastleman, C., Shapiro-Garza, E., Luukinen, B., Cohen, S., Yang, S., Gatiboni, L., & Bradley, L. (2020). *Manejo del impacto de los contaminantes de las*

- inundaciones en el suelo y los productos agrícolas en huertos residenciales, comunitarios y escolares.* https://content.ces.ncsu.edu/managing-the-impact-of-floodwater-on-soil-and-produce-in-vegetable-gardens#section_heading_15562
- Cuiffo, M. A., Snyder, J., Elliott, A. M., Romero, N., Kannan, S., & Halada, G. P. (2017). Impact of the Fused Deposition (FDM) Printing Process on Polylactic Acid (PLA) Chemistry and Structure. *Applied Sciences*, 7(6), 579. <https://doi.org/10.3390/app7060579>
- Dávila, J., Galeas Salome, Guerrero, V., Ponton, P., Rosas Nelly, Sotomayor, V., & Valdivieso Carla. (2011). *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*.
- Dhia, M., López Martínez, J., Miguel, J., & Azor, F. (2021). *Estudios de fuentes alternativas a la madera para la obtención de la celulosa MEMORIA PRESENTADA POR*.
- ECODES. (2019). *Observatorio salud y medio ambiente Contaminación por plásticos Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI*.
- García-Alcocer, S. K., Salgado-García, S., Córdova-Sánchez, S., Rincón-Ramírez, J. A., Bolio-López, G. I., Castañeda Ceja, R., Saucedo-Corona, , Alma R., Falconi-Calderón, R., & Valerio-Cárdenas, C. (2019). Blanqueo de la fibra de celulosa de paja de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) con peróxido de hidrógeno. *Agro Productividad*, 12(7). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1434>
- Gerometta, M., Rocca-Smith, J. R., Domenek, S., & Karbowiak, T. (2019). Physical and Chemical Stability of PLA in Food Packaging. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22471-2>
- Gong, L., Zhu, J., Yang, Y., Qiao, S., Ma, L., Wang, H., & Zhang, Y. (2024). Effect of polyethylene glycol on polysaccharides: From molecular modification, composite matrixes, synergetic properties to embeddable application in food fields. *Carbohydrate Polymers*, 327, 121647. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121647>
- González, C., & Reyes, L. (2022). *Biopolímero a partir de almidón de cáscara de plátano Musa Sapientum mediante tratamiento químico, Departamento de Química, UNAN-Managua, Julio 2021- Marzo del 2022*.
- Haghighi, H., De Leo, R., Bedin, E., Pfeifer, F., Siesler, H. W., & Pulvirenti, A. (2019). Comparative analysis of blend and bilayer films based on chitosan and gelatin enriched with LAE (lauroyl arginate ethyl) with antimicrobial activity for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.015>

- Haghighi, H., Leugoue, S. K., Pfeifer, F., Siesler, H. W., Licciardello, F., Fava, P., & Pulvirenti, A. (2020). Development of antimicrobial films based on chitosan-polyvinyl alcohol blend enriched with ethyl lauroyl arginate (LAE) for food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, *100*, 105419. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105419>
- Higueras-Contreras, L., Heras-Mozos, R., Exojo-Trujillo, S., López-Carballo, G., López de Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. (2025). Ethyl Lauroyl Arginate: Usage and Potential in Antimicrobial Packaging. In *Antimicrobial Food Packaging* (pp. 415–427). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90747-7.00027-2>
- Horton, A. A., & Barnes, D. K. A. (2020). Microplastic pollution in a rapidly changing world: Implications for remote and vulnerable marine ecosystems. *Science of The Total Environment*, *738*, 140349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140349>
- Hospodarova, V., Singovszka, E., & Stevulova, N. (2018). Characterization of Cellulosic Fibers by FTIR Spectroscopy for Their Further Implementation to Building Materials. *American Journal of Analytical Chemistry*, *09*(06), 303–310. <https://doi.org/10.4236/ajac.2018.96023>
- Jaso, M. A. (2020). El surgimiento de los bioplásticos: un estudio de nichos tecnológicos. *Acta Universitaria*, *30*, 1–24. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2654>
- Jiménez, E., Prieto, F., Prieto, J., & Acevedo, O. A. (2017). *Obtaining pulp from waste of Agave salmiana B. Otto ex Salm. Optimization I*.
- Johana-Restrepo, H., Valencia-Duarte, J. S., Arriola-Villaseñor, E., Bedoya-Betancur, S., Valencia-González, J. D., & Ardila-Arias, A. N. (2022). Evaluación de la extracción de fibras de celulosa a partir de pseudotallos de banano con uso potencial en la industria papelería. *Tendencias En Energías Renovables y Sustentabilidad*, *1*(1), 316–321. <https://doi.org/10.56845/terys.v1i1.203>
- Katheem, K., Ibrahim, M. H., Quaik, S., & Ismail, S. A. (2016). Introduction to Organic Wastes and Its Management. In *Prospects of Organic Waste Management and the Significance of Earthworms* (pp. 1–21). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24708-3_1
- Kumar, A., Ewing, A. H., & Wereley, S. T. (2014). Optical Tweezers for Manipulating Cells and Particles. In *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics* (pp. 1–8). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27758-0_1162-2
- Li, T., Liu, Y., Qin, Q., Zhao, L., Wang, Y., Wu, X., & Liao, X. (2021). Development of electrospun films enriched with ethyl lauroyl arginate as novel antimicrobial food

- packaging materials for fresh strawberry preservation. *Food Control*, 130, 108371. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108371>
- Liguempi, V. (2023). *USO DE COMPATIBILIZANTE PARA LA MEJORA EN LA DISPERSIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE CELULOSA EN PELÍCULAS COMPUESTAS CON POLIVINIL ALCOHOL* [UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA]. <https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/77c0444f-e688-4c1e-8942-0b1ccb65d85/content>
- Lim, L.-T., Auras, R., & Rubino, M. (2008). Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science*, 33(8), 820–852. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004>
- López, O. V., Castillo, L. A., Farenzena, S., Pintos, E., Rodríguez, M. S., García, M. A., & Villar, M. A. (2018). Biodegradable films based on thermoplastic starch and chitosan with antimicrobial activity employed as active packaging. *Revista Materia*, 23(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0423>
- López-Martínez, A., Bolio-López, ;, Veleva, ;, Solórzano-Valencia, ;, Acosta-Tejada, ;, Hernández-Villegas, ;, Salgado-García, ;, & Córdova-Sánchez, ; (2016). *OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum spp.) OBTAINING CELLULOSE FROM SUGAR CANE (Saccharum spp.) PULP*.
- Ma Jesús Lagarda Blanch, D., Pilar Hernández Muñoz Dra Gracia López Carballo Rafael Gavara Clemente, D., & Higuera Contreras, L. (2015). *Ciència dels Aliments Quitosano como matriz biopolimérica para el desarrollo de envases activos antimicrobianos de alimentos*. <https://core.ac.uk/download/pdf/71048069.pdf>
- Ma, Y., Ma, Y., Chi, L., Wang, S., Zhang, D., & Xiang, Q. (2023). Ethyl lauroyl arginate: An update on the antimicrobial potential and application in the food systems: a review. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1125808>
- María Antonieta Riera, & Ricardo R. Palma. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Universidad de Los Andes*, 13(3), 69–78. <https://www.redalyc.org/journal/933/93368279005/html/>
- Martínez Ferrer, M. (2022). *Uso de nuevos materiales antimicrobianos sostenibles para envasado alimentario*.
- Mayta Paucara, S. M., Quintana Caceda, M. E., Norabuena Meza, E. W., & Tello Sánchez, R. A. (2023). Extracción de Celulosa a partir de residuos de hojas de maíz. *TECNIA*, 33(2), 77–93. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v33i2.1676>

- Melikoğlu, A. Y., Bilek, S. E., & Cesur, S. (2019). Optimum alkaline treatment parameters for the extraction of cellulose and production of cellulose nanocrystals from apple pomace. *Carbohydrate Polymers*, 215, 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.103>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Ficha Informativa de Proyecto 2020 MAE-Ministerio del Ambiente Subsecretaría de Calidad Ambiental Dirección Nacional de Control Ambiental PROYECTO: K009 MAE-Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (MAE-PNGIDS) DATOS GENERALES*.
- Moshood, T. D., Nawanir, G., Mahmud, F., Mohamad, F., Ahmad, M. H., & AbdulGhani, A. (2022). Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution? *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100273>
- Nasri, N., Rusli, A., Teramoto, N., Jaafar, M., Ku Ishak, K. M., Shafiq, M. D., & Abdul Hamid, Z. A. (2021). Past and Current Progress in the Development of Antiviral/Antimicrobial Polymer Coating towards COVID-19 Prevention: A Review. *Polymers*, 13(23), 4234. <https://doi.org/10.3390/polym13234234>
- Nerin, C., Becerril, R., Manso, S., & Silva, F. (2016). Ethyl Lauroyl Arginate (LAE). In *Antimicrobial Food Packaging* (pp. 305–312). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800723-5.00023-1>
- Parker, L. (2024). *Por qué la contaminación por plásticos se convirtió en una crisis mundial*. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/04/por-que-la-contaminacion-por-plasticos-se-convirtio-en-una-crisis-mundial#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1sticos%20en,millones%20de%20toneladas%20en%202015>.
- Patiño Vidal, C., Luzi, F., Puglia, D., López-Carballo, G., Rojas, A., Galotto, M. J., & López de Dicastillo, C. (2023). Development of a sustainable and antibacterial food packaging material based in a biopolymeric multilayer system composed by polylactic acid, chitosan, cellulose nanocrystals and ethyl lauroyl arginate. *Food Packaging and Shelf Life*, 36, 101050. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101050>
- Patiño Vidal, C., Velásquez, E., J. Galotto, M., & López de Dicastillo, C. (2021). Retraction to “Obtention of Antimicrobial Fibers Type Core/Shell PLA/PVOH-LAE by Coaxial Electrospinning.” *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(1), 533–542. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i1.9593>

- Perez Niebla, A. T., & Sanchez Chunga, D. J. (2020). *Análisis de la obtención de fibras de celulosa a partir de raquis de banano mediante extracción tradicional y extracción acelerada* [Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15661>
- Rajendran, D. S., Venkataraman, S., Jha, S. K., Chakrabarty, D., & Kumar, V. V. (2024). A review on bio-based polymer polylactic acid potential on sustainable food packaging. *Food Science and Biotechnology*, *33*(8), 1759–1788. <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01543-x>
- Sani, M. A., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadi, K., & McClements, D. J. (2021). Recent Advances in the Development of Smart and Active Biodegradable Packaging Materials. *Nanomaterials*, *11*(5), 1331. <https://doi.org/10.3390/nano11051331>
- Sernaqué, F., Chacón, M., Pecho. Hugo, & Huamán, L. (2020). *AUTOR PARA CORRESPONDENCIA*. *47*(4), 22–31. <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Shimizu, F. L., Monteiro, P. Q., Ghiraldi, P. H. C., Melati, R. B., Pagnocca, F. C., Souza, W. de, Sant'Anna, C., & Brienzo, M. (2018). Acid, alkali and peroxide pretreatments increase the cellulose accessibility and glucose yield of banana pseudostem. *Industrial Crops and Products*, *115*, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.024>
- Thomas, A. P., Kasa, V. P., Dubey, B. K., Sen, R., & Sarmah, A. K. (2023). Synthesis and commercialization of bioplastics: Organic waste as a sustainable feedstock. *Science of The Total Environment*, *904*, 167243. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167243>
- Treviño, N., & Molina, N. B. (2022). *Material de cátedra correspondiente a la clase: Generalidades de Bacteriología Antibióticos: mecanismos de acción y resistencia bacteriana*.
- Umaña, C. E. (2011). *Conservación de alimentos por frío Refrigeración / Congelamiento*.
- UNEP. (2021). *From Pollution to Solution*. <https://www.unep.org/interactives/pollution-to-solution/>
- Vanaraj, R., Suresh Kumar, S. M., Kim, S. C., & Santhamoorthy, M. (2025). A Review on Sustainable Upcycling of Plastic Waste Through Depolymerization into High-Value Monomer. *Processes*, *13*(8), 2431. <https://doi.org/10.3390/pr13082431>
- Wang, J., Emmerich, L., Wu, J., Vana, P., & Zhang, K. (2021). Hydroplastic polymers as eco-friendly hydrosetting plastics. *Nature Sustainability*, *4*(10), 877–883. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00743-1>

Zambrano, J., Dueñas, A., & Gutierrez, A. (2021). BIOMASS OF AGRICULTURAL WASTE FOR AGROINDUSTRIAL PRODUCTS OBTAINING: POTENTIALITIES AND CHALLENGES IN ECUADOR. *BIOMASS OF AGRICULTURAL WASTE FOR AGROINDUSTRIAL PRODUCTS OBTAINING: POTENTIALITIES AND CHALLENGES IN ECUADOR*. <http://www.scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n3/2223-4861-caz-48-03-120.pdf>

ANEXOS

Figura 8.
Extracción de la celulosa



Figura 9.
Blanqueamiento de la celulosa



Figura 10.
Obtención del material de envase antimicrobiano



Figura 11.
Evaluación capacidad antimicrobiana mediante discos de difusión con LAE

