



**Obtención de recubrimiento a base de almidón de plátano Residual para la
protección del plátano de exportación de la región de Urabá**

Urías Montiel Álvarez

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

Ingeniero Bioquímico

Tutoras:

Diana Marcela Escobar Sierra PhD.

Natalia Andrea Gómez Vanegas PhD.

Programa de Ingeniería Bioquímica

Facultad de Ingeniería

Universidad de Antioquia

Medellín, Colombia

2022

| | |
|----------------------------|---|
| Cita | (Muñoz Zapata & Martínez Naranjo, 2018) |
| Referencia | Montiel Álvarez, U., (2022). <i>Obtención de recubrimiento a base de almidón de plátano residual para la protección de plátano de exportación de la región de Urabá</i> [Trabajo de grado]. Universidad de Antioquia, Carepa. |
| Estilo APA 7 (2020) | |



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Lina María Gonzáles Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, en especial a mis padres Orlando Montiel Vargas y Orfidia Isabel Álvarez Zabaleta por su sacrificio, su amor, por siempre creer en mí, y por brindarme el apoyo necesario para cumplir con esta meta.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis asesoras Natalia Andrea Gómez y Diana Marcela Escobar, por su paciencia, compromiso y orientación durante el desarrollo de esta investigación, a la Universidad de Antioquia por brindarme el espacio para desarrollarme profesionalmente, a la convocatoria de apoyos a trabajos de grado CODI por los recursos destinados a la financiación de esta investigación, quiero agradecer también a todas las personas que de una forma u otra estuvieron presentes durante mi proceso académico.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 10 |
| Abstract | 11 |
| CAPITULO I | 12 |
| GENERALIDADES | 12 |
| 1.1 Introducción. | 12 |
| 1.2 Planteamiento del problema. | 14 |
| 1.3 Antecedentes. | 14 |
| 1.4 Justificación. | 17 |
| 1.5.1 Objetivo general. | 19 |
| 1.5.2 Objetivos específicos. | 19 |
| 1.6 Problema de investigación. | 19 |
| CAPITULO II | 20 |
| MARCO TEORICO. | 20 |
| 2.1 Generalidades del banano. | 20 |
| 2.2 Exportación de plátano en la región de Urabá. | 20 |
| 2.3 Puntos críticos en el proceso de exportación de plátano. | 21 |
| 2.3.1 Proceso de empaque. | 21 |
| 2.3.2 Almacenamiento y transporte. | 21 |
| 2.4 Factores que inciden en la maduración prematura de plátano. | 21 |
| 2.4.1 Factores precosecha. | 22 |
| 4.4.2 Factores postcosecha. | 22 |
| 2.5 Pérdidas económicas generadas por maduración prematura en plátano. | 23 |

| | |
|---|----|
| 2.6 Recubrimientos como técnica de protección de frutas. | 23 |
| 2.7 Polímeros y aditivos empleados en la preparación de recubrimientos protectores de fruta | 24 |
| 2.7.1 Almidón. | 24 |
| 2.7.2 Glicerol. | 26 |
| 2.7.3 Aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>). | 26 |
| 2.8 Técnicas de caracterización y evaluación de loa recubrimientos. | 27 |
| 2.8.1 Microscopia electrónica de barrido SEM. | 27 |
| 2.8.2 Espectroscopia infrarroja con transformadas de Fourier FTIR. | 28 |
| 2.8.3 Espesor. | 28 |
| 2.8.4 Permeabilidad al vapor de agua. | 29 |
| 2.8.5 Resistencia mecánica. | 29 |
| 2.8.6 Resistencia Microbiana. | 29 |
| 2.9 Pruebas de Campo. | 30 |
| CAPITULO III. | 31 |
| EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO | 31 |
| 3.1 Introducción. | 31 |
| 3.2 Metodología. | 32 |
| 3.2.1 Extracción de almidón de pulpa de plátano. | 32 |
| 3.2.2 Rendimiento de extracción de almidón de pulpa de plátano. | 33 |
| 3.2.3 Espectroscopia infrarroja (FTIR) de almidón de plátano. | 34 |
| 3.2.4 Determinación de cenizas en almidón extraído. | 34 |
| 3.2.5 Determinación de humedad en almidón extraído. | 34 |
| 3.3 Resultados y discusión. | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.3.1 Extracción de almidón de pulpa de plátano. | 35 |
| 3.3.2 Prueba cualitativa de almidón extraído. | 36 |
| 3.3.3 Rendimiento de extracción de almidón de pulpa de plátano. | 37 |
| 3.3.4 FTIR de almidón de plátano. | 38 |
| 3.3.5 Determinación de cenizas. | 39 |
| 3.3.6 Determinación de humedad. | 40 |
| 3.4 Conclusiones. | 41 |
| CAPITULO IV | 42 |
| FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS. | 42 |
| 4.1 Introducción. | 42 |
| 4.2 Metodología. | 43 |
| 4.2.1 Elaboración de loa recubrimientos. | 43 |
| 4.2.2 Espectroscopía infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR) para los recubrimientos. | 46 |
| 4.2.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM). | 46 |
| 4.2.3 Espesor. | 46 |
| 4.2.4 Permeabilidad al vapor de agua. | 47 |
| 4.2.6 Pruebas mecánicas. | 48 |
| 4.2.7 Pruebas antimicrobianas. | 48 |
| 4.2.8 Pruebas de laboratorio. | 49 |
| 4.2.9 Pruebas de campo. | 50 |
| 4.3 Resultados y discusión. | 50 |
| 4.3.1 Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier (FTIR). | 51 |

| | | |
|---------------|---|----|
| 4.3.2 | Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). | 54 |
| 4.3.2 | Espesor. | 55 |
| 4.3.3 | Permeabilidad al vapor de agua. | 58 |
| 4.3.4 | Pruebas mecánicas. | 60 |
| 4.3.5 | Pruebas antimicrobianas. | 63 |
| 4.3.7 | Pruebas de laboratorio. | 66 |
| | Pérdida de peso. | 66 |
| 4.3.8 | Pruebas en campo. | 69 |
| 4.4 | Conclusiones. | 70 |
| CAPITULO V | | 72 |
| CONCLUSIONES. | | 72 |
| Referencias | | 74 |

Lista de tablas

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1. | Contenido de cenizas..... | 39 |
| Tabla 2. | Contenido de humedad..... | 40 |
| Tabla 3. | Composición de los formulados..... | 44 |
| Tabla 4. | Espesor promedio de los recubrimientos obtenidos..... | 55 |
| Tabla 5. | Resultados de las mediciones de espesor mediante microscopía electrónica de barrido SEM..... | 57 |
| Tabla 6. | Pérdida de peso de plátanos con y sin recubrimiento. | 66 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Fig 1. Segmento de molécula de amilasa. Tomado de (Ruiz Avilés, 2006) | 25 |
| Fig 2. Segmento de molécula de amilopectina. Tomado de (Ruiz Avilés, 2006)..... | 26 |
| Fig 3. Extracción de almidón. Fuente: elaboración propia. | 33 |
| Fig 4. Almidón extraído de plátano. A: Almidón extraído con residuos de harina de plátano. B: Almidón extraído sin residuos de harina de plátano. | 35 |
| Fig 5. Almidón extraído. | 36 |
| Fig 6. Prueba cualitativa de yodo. A: Coloración de yodo de almidón extraído. B: Coloración de yodo de almidón comercial Fuente: elaboración propia. | 37 |
| Fig 7. FTIR de almidón de plátano. | 38 |
| Fig 8. Proceso de elaboración de los formulados. Fuente: elaboración propia..... | 45 |
| Fig 9. Método de medición de espesor de las membranas. A: Tamaño y sitios de medición. B: Medición con Tornillo micrométrico. | 46 |
| Fig 10. Sistema para pruebas de permeabilidad. A: Cámara de desecación. B: Pesado de las muestras. Fuente: elaboración propia..... | 47 |
| Fig 11. Montaje de pruebas mecánicas. A: Probetas de recubrimientos. B: Montaje en maquina Universal. Fuente: elaboración propia. | 48 |
| Fig 12. Montaje de pruebas a escala de laboratorio. | 50 |
| Fig 13. FTIR de los recubrimientos obtenidos a partir de las formulaciones R1, R2, R3, R4 y R5. | 53 |
| Fig 14. SEM de los recubrimientos obtenidos a partir de las formulaciones R1, R2, R3, R4 y R5. | 54 |
| Fig 15. Mediciones de espesor mediante microscopía electrónica de barrido SEM..... | 57 |

| | |
|---|----|
| Fig 16. Pérdida de masa de agua a través del tiempo..... | 58 |
| Fig 17. Permeabilidad al vapor de agua. | 59 |
| Fig 18. Porcentaje de elongación de los recubrimientos. | 61 |
| Fig 19. Resistencia a la tensión de los recubrimientos..... | 62 |
| Fig 20. Resultados de los antibiogramas para <i>Aspergillus</i> | 64 |
| Fig 21. Resultados de los antibiogramas para <i>Penicillium</i> | 64 |
| Fig 22. Proceso de maduración de plátanos con y sin recubrimiento. | 68 |
| Fig 23. Evaluación de los recubrimientos sobre plátano en campo. | 69 |
| | |
| Figura 1 Portada Normas APA séptima edición 2020 en inglés | 23 |
| Figura 2 Logo Universidad de Antioquia | 23 |

Siglas, acrónimos y abreviaturas

| | |
|-------------|--|
| TIR. | Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier |
| SEM. | Microscopía Electrónica de Barrido |
| WVP. | Permeabilidad al Vapor de Agua |
| WVT. | Coefficiente de Vapor de Agua |

Resumen

En el presente trabajo se evaluó la posibilidad de desarrollar un recubrimiento que permita extender la vida útil de plátanos tipo exportación. El objetivo fue obtener un recubrimiento a base de almidón extraído de los excedentes de plátano, y se estudió su potencial aplicación como protección en frutos en postcosecha. En el desarrollo experimental se extrajo almidón desde la pulpa del plátano, se caracterizó y usó como biopolímero base para la fabricación de membranas, en las cuales se varió el porcentaje de almidón (3 y 4% p/v), se utilizó glicerol (2 y 3% p/v) como plastificante y extracto de tomillo (0,05% v/v) como agente antimicrobiano. Cada recubrimiento se caracterizó por FTIR y SEM, se evaluó mediante pruebas antimicrobianas, mecánicas, permeabilidad al vapor de agua y de espesor. Los resultados mostraron películas con espesor promedio de 0,25 mm, la adición de glicerol ocasiono un efecto positivo sobre la formación de enlaces con el almidón, otorgando flexibilidad y estabilidad a los recubrimientos, evidenciado en el FTIR. Las imágenes SEM mostraron superficies con interconexiones que permiten tener una permeabilidad al vapor de agua adecuadas para el intercambio de oxígeno en el fruto. Las pruebas antimicrobianas mostraron disminución en la velocidad de crecimiento en *Penicillium*, evidenciando el poder protector del almidón potencializado con el extracto de tomillo. De acuerdo con los resultados se estableció que la formulación que presento mejores características en la protección de plátanos fue R3, la cual contenía 3% p/v de almidón, 3% v/v de glicerol y 0,05% v/v de extracto de tomillo.

Palabras clave: extracto de tomillo, recubrimientos, glicerol, almidón de plátano, permeabilidad

Abstract

In the present work, the possibility of developing a coating to extend the shelf life of export bananas was evaluated. The objective of the present work was to obtain a coating based on starch extracted from surplus plantain and evaluate its potential application as protection for postharvest fruit. In this work, starch was extracted from banana Pulp, characterized and used as a base biopolymer for the manufacture of membranes, in which the starch percentage was varied (3 y 4% p/v), glycerol (2 y 3% p/v) was used as plasticizer and thyme extract (0,05% v/v) and thyme extract as antimicrobial agent. Each coating was characterized by FTIR and SEM, was evaluated by antimicrobial tests, mechanics, water vapor permeability and thickness. The results showed films with an average thickness of 0,25 mm, the addition of glycerol had a positive effect on starch bond formation, providing flexibility and stability to the coatings, evidenced in the FTIR. SEM images showed surfaces with interconnections that allow for adequate water vapor permeability for oxygen exchange in the fruit. Antimicrobial tests showed decreased growth velocity in *Penicillium*, evidencing the protective power of the starch potentiated with thyme extract. According to the results, it was established that the formulation that presented the best characteristics in banana protection was R3, which contained 3% p/v starch, 3% v/v glycerol and 0,05% v/v of thyme extract.

Keywords: thyme extract, covering, glycerol, banana starch, permeability

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.

El plátano (*Musa Paradisiaca*) es un fruto tropical perteneciente a la familia de las musáceas que se cultiva en diferentes zonas del territorio colombiano. Los frutos cosechados se utilizan para ser comercializados a nivel nacional y también para ser exportados a países de Europa y América del Norte principalmente. En Colombia, el departamento de mayor producción de plátano es Antioquia, esta región cuenta con un área de 68.779 hectáreas aproximadamente (Ministerio de Agricultura, 2020). El 76% de la agricultura desarrollada en la región de Urabá corresponde a la producción de plátano, motivo por el cual en 2020 se registraron exportaciones que ascendieron a 3,75 millones de cajas de plátano y valores de ingreso cercanos a los 46,8 millones de dólares, donde los principales destinos de esta fruta fueron Estados Unidos, Reino Unido y Bélgica (Camara de Comercio de Urabá., 2020).

En 2019 Colombia ocupó el cuarto puesto en producción, rendimiento y área sembrada de plátano a nivel mundial.(Ministerio de Agricultura, 2020).

El proceso de elaboración de cajas de plátano para exportar inicia con el corte de frutos de máximo 10 semanas de edad, a partir de su floración, la fruta de calidad de exportación debe cumplir con parámetros exigidos por las empresas comercializadoras, pero en el proceso de cosecha no todos los frutos cumplen dichos parámetros, motivo por el cual se generan pérdidas de fruta que no cumple las especificaciones de calidad y son vendidas al mercado nacional a un menor precio, pero

existen frutos que no se alcanzan a comercializar en el mercado nacional y son desechados en las fincas plataneras.

En el proceso de exportación se presentan pérdidas que corresponden a plátanos que llegan con maduración prematura a su destino, como consecuencia de un mal manejo en la cadena de frío, malos procedimientos en los procesos de cosechado y empaque, también pueden producirse maduración a causa de factores ambientales y microbiológicos. Uno de los principales problemas es la maduración por pudrición de la corona (Crown rot) del plátano, ocasionada por hongos como *Fusarium semitectum*, *Colletotrichum musae*, *C. gloeosporioides*, *Fusarium spp*, o *Penicillium corylophilum* los cuales pueden penetrar la pulpa del fruto y originar daños graves (Cartaya Días et al., 2011). Actualmente el tratamiento que se llevan a cabo para evitar este tipo de enfermedades es la aplicación de químicos en su mayoría. Se utilizan productos fungicidas como Imazalil y Thianbendazole, los cuales se aplican al momento de empacar las cajas con plátano (Moreno Mena, 2009). Como alternativa a estos tratamientos, en los últimos años la implementación de recubrimientos biodegradables para preservar la vida útil de las frutas ha cobrado cada vez un interés mayor, esto se debe a las características y beneficios que ofrecen, logrando que a los consumidores se les brinde un producto mínimamente procesado y en las mejores condiciones (Mazzeo M et al., 2008)

Teniendo en cuenta las pérdidas originadas por este tipo de enfermedades, que según (Aguilar Acosta et al., 2013), en países como Perú se originan pérdidas entre el 25 y el 30% del banano exportado, se plantea la obtención de un recubrimiento para plátano, logrado a partir de almidón de plátano residual, que logre mitigar o eliminar las pérdidas originadas por maduración prematura ocasionada por agentes ambientales o microbiológicos en el proceso de exportación de plátano.

Mediante este recubrimiento se aporta un proceso de cosecha más limpio y amigable con el medio ambiente que logre ofrecer al consumidor una fruta de mejor aspecto y calidad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el proceso de exportación de plátano en la región de Urabá se presentan pérdidas económicas ocasionadas por fruta que llega madura a su destino, estas pérdidas son provocadas por agentes ambientales o microbiológicos, algunos hongos y bacterias causan maduración prematura en el plátano atacando su corona y afectando el fruto. Para controlar este problema las empresas comercializadoras exigen la utilización de cocteles químicos que deben ser aplicados sobre los frutos en el momento del empaque de las cajas con plátano, las principales desventajas de estos cocteles es que son costosos y pocos amigables con el medio ambiente. Para tratar de mitigar o eliminar las pérdidas por maduración se plantea la obtención de un recubrimiento hecho a partir del almidón de plátano que permita minimizar o mitigar los daños causados por agentes ambientales y microbiológicos en plátano verde. Debido a esta problemática, surge la siguiente pregunta: ¿Es posible obtener un recubrimiento a partir de almidón de plátano, suplementado con glicerol y aceite esencial de tomillo para dar protección y evitar la maduración prematura en el plátano de exportación?

1.3 ANTECEDENTES.

El uso de recubrimientos para alargar la vida útil de las frutas es una técnica que se conoce hace varios siglos. En China se utilizaban para protección de frutos cítricos desde el siglo XII, en Inglaterra se utilizaban grasas para proteger alimentos de la humedad (Enmantecado). En los años 30 se reportó la utilización de parafinas para la protección de manzanas y peras, en 1950 se reportó

la implementación de recubrimientos comestibles a base de polisacáridos, proteínas, lípidos y mezclas de ellos. Su función principal era limitar o bloquear la transferencia de humedad reduciendo la abrasión superficial. En los últimos 50 años la utilización de recubrimientos comestibles ha cobrado gran interés debido a la necesidad de ofrecer frutos de buena apariencia y calidad a los consumidores.

El desarrollo de recubrimientos para prolongar la vida útil de las frutas incluye una amplia variedad de materiales comestibles como lípidos, polisacáridos y proteínas. Los recubrimientos a base de lípidos, ceras y surfactantes se han utilizado de manera exitosa en frutos y hortalizas para disminuir la superficie de abrasión en el manejo y como barrera entre la pérdida de humedad (Ruelas Chacón et al., 2013).

Achipiz y colaboradores desarrollaron un recubrimiento comestible con concentraciones de 2, 3 y 4% de almidón de papa (*Solanum tuberosum L*), Aloe Vera (*Aloe barbadensis Miller*) y cera de carnauba (*Copernicia cerífer*) para prolongar la vida útil de Guayaba (*Psidium guajava*) a 19°C de temperatura (Achipiz et al., 2013).

Figuroa y Salcedo evaluaron el efecto de recubrimientos comestibles a base de almidón modificado de yuca en la conservación de mango (*Mangífera indica*) variedad *Tommy atkins*. La formulación utilizada fue de 15% de almidón, 10% de glicerol como plastificante y un compuesto lípido 3%. Se determinó que el recubrimiento logró disminuir significativamente el índice de respiración y transpiración del fruto (Figuroa A et al., 2013). Luna y colaboradores realizaron un recubrimiento de almidón de yuca y goma de gelano en proporciones de 80:20 con y sin 25% de aceite esencial de tomillo (*Thymus zygis*), incorporado mediante emulsificación directa o encapsulación previa en liposomas de lecitina para protección en manzanas (Luna, 2018).

Villaroel y colaboradores realizaron un cubrimiento para banano con dos ceras de origen natural (carnauba y de abeja) para la conservación de banano (*Musa acuminata*). Ellos determinaron que la cera de carnauba conservó de mejor manera los frutos de banano (Villarroel Bastidas et al., 2016) Jiménez evaluó la aplicación de un recubrimiento a base de alginato de sodio (1%), cloruro de calcio (2%) y adición de aloe vera (0,10 y 20%) en banano precortado. Los resultados obtenidos demostraron que el mejor tratamiento correspondió al que no contenía *aloe vera* ya que este presentó menos pérdida de peso y fue capaz de formar mejor estructura a pesar de no evitar la pérdida de color de los frutos precortado (Jiménez Huamán, 2015)

La utilización de almidón en la elaboración de recubrimientos comestibles para frutas genera un gran interés, esto se debe a su abundancia, bajos costos de producción y su biodegradabilidad. Algunas ventajas de los almidones que es son insípidas, inodoros y transparentes por lo que no afectan las propiedades organolépticas de los frutos.

Algunas desventajas que presentan los almidones para la formación de recubrimientos es que no cumplen una buena función al momento de actuar como barrera ante la humedad, esto se debe a su carácter hidrofílico, también, sus propiedades mecánicas pueden presentar limitaciones a causa de su cristianización y rápida retrogradación. Estas desventajas pueden ser eliminadas mediante una modificación al almidón (Ramos García et al., 2018)

García y Pinzón formularon un recubrimiento comestible a partir de almidón de plátano Guayabo (*Musa paradisiaca L.*), con adición de glicerol y quitosano para evaluar el comportamiento postcosecha de frutos frescos de fresa (*Fragaria spp*). Sus resultados determinaron que el recubrimiento óptimo debía contener 4% de almidón, 2% de glicerol y 1,5% de quitosano (García & Pinzón, 2016).

Anchundia y colaboradores utilizaron harina de cascara de plátano para elaborar recubrimientos comestibles. Los análisis realizados fueron; resistencia a la tensión, permeabilidad al vapor de agua, opacidad, solubilidad y espesor. Los resultados obtenidos demostraron que la harina de plátano es una materia adecuada para la realización de recubrimientos comestibles (Anchundia et al., 2016)

Se ha demostrado que la implementación de recubrimientos comestibles a base de almidón y pectina de plátano en concentraciones de 1% y adición de quitosano ha alargado el periodo postcosecha a 21 días sin afectar el color de los frutos de mango (Bello-Lara et al., 2016) .

Las tendencias de las investigaciones sobre recubrimientos para frutas están dirigidas a la creación de matrices poliméricas que puedan ser complementadas con nutrientes, ingredientes bioactivos mediante la implementación de nanotecnología como la microencapsulación y la formación de nano películas en sistemas de multicapas. también, los estudios se encaminan hacia la caracterización de nuevos recubrimientos basados en hidrocoloides de fuentes no convencionales y el análisis de la capacidad que estos poseen para liberar compuestos con funciones preestablecidas (Fernández et al., 2017).

Actualmente existen gran cantidad de trabajos enfocados en evaluar formulaciones, caracterizaciones y aplicaciones que permitan obtener recubrimientos que se puedan emplear en frutas y verduras, pero no se ha contemplado el uso de almidón de plátano residual, con adición de glicerol y extracto de tomillo, lo que hace que se proponga este proyecto.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

El plátano es un fruto perecedero, tiende a sufrir daños fisiológicos por enfermedades causadas por agentes patógenos como hongos y bacterias. En el proceso de postcosecha, estos daños ocasionan pérdidas económicas, se estima que las pérdidas en países desarrollados son entre un 20-25% y que

diariamente se pierden 1.6 millones de bananos por pudrición (Kuyu Chala & Tola Yetenayet, 2018) La pudrición de corona es una de las principales enfermedades que originan pérdidas en la exportación de plátano y banano, en países como Filipinas se reportan pérdidas de hasta un 86% de los frutos que no fueron tratados químicamente antes de ser exportados (Annie Ewané et al., 2012)

La importancia económica de este proyecto radica en la necesidad de reducir las pérdidas económicas originadas por el arribo de fruta madura a los países de destino. Para ello se plantea el desarrollo de un recubrimiento a partir de almidón, glicerol y aceite esencial de tomillo que permita disminuir estas pérdidas.

Actualmente el tratamiento empleado para proteger el plátano de enfermedades como la pudrición de corona, consta de la aplicación de un coctel que contiene compuestos químicos como Amistar y Chakal ambos con Azoxystrobin como ingrediente activo. La implementación de este trabajo busca aportar al cuidado del medio ambiente evitando la contaminación de las fuentes hídricas en la finca de plátano, reduciendo o eliminado el uso de agentes químicos en el tratamiento de corona en el proceso de empaque de cajas con plátano para exportación, este recubrimiento es de origen natural y biodegradable. Además, de contribuir a la tendencia de muchos países de adquirir frutas que no haya pasado por procesos químicos que pueden afectar a los consumidores.

Los datos obtenidos en este trabajo permitirán un aporte tecnológico una vez que se pueda determinar las concentraciones adecuadas de almidón, glicerol y aceite esencial de tomillo para la formulación del recubrimiento, aportando una nueva tecnología de conservación de frutas a partir de fuentes renovables, que permitan disminuir tasa de respiración, retrasar de pérdida de peso por deshidratación, disminuir la pérdida de firmeza, así como disminuir el daño causado por microorganismos.

1.5 OBJETIVOS.

1.5.1 Objetivo general.

Obtener un recubrimiento protector para el plátano, a base de almidón extraído del residuo de plátano procesado para exportación.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Realizar extracción de almidón a partir de plátano residual.
- Caracterizar un formulado para el recubrimiento a base almidón.
- Evaluar las propiedades del recubrimiento obtenido.
- Implementar la aplicación del recubrimiento sobre el fruto, evaluando su comportamiento en el tiempo.

1.6 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

La problemática para tratar consiste en evaluar qué concentración de almidón, glicerol y aceite esencial de Tomillo es la más eficiente para la elaboración de un recubrimiento que permita mitigar la maduración prematura en plátanos de exportación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1 GENERALIDADES DEL BANANO.

El cultivo de plátano es de gran importancia a nivel mundial. La producción de plátano en 2017 alcanzó 42.256.305 toneladas, donde Colombia ocupó el cuarto lugar con una producción de 3.908.986 de toneladas (Ministerio de Agricultura, 2020).

El plátano (*musa paradisiaca*) es una fruta tropical, perteneciente a la familia de las musáceas. Su origen se estima en el sureste asiático, luego fue introducida a África, finalmente llegó al caribe y Latinoamérica poco después del descubrimiento del continente. El plátano constituye una importante fuente de carbohidratos y contribuye a la seguridad alimentaria de millones de personas alrededor del mundo (Roldan et al., 2004). La composición fisicoquímica del plátano en estado verde presenta 66.2% de agua, 0.3% de grasa, 1.3% de proteína, 1.1% de fibra, 0.8% vitamina y cenizas y 30.7% de carbohidratos principalmente almidón (Quiceno et al., 2014).

2.2 EXPORTACIÓN DE PLÁTANO EN LA REGIÓN DE URABÁ.

El 63% de las exportaciones de banano que hace Colombia salen de la región de Urabá por ende esta región es considerada la mayor productora de plátano y banano del país. Se estima que las exportaciones de plátano en 2020 desde la región de Urabá fueron de 3,75 millones de cajas con un valor de 46,8 millones de dólares donde los principales destinos fueron Estados Unidos, Reino Unido, Bélgica, España e Italia (Camara de Comercio de Urabá., 2020).

2.3 PUNTOS CRÍTICOS EN EL PROCESO DE EXPORTACIÓN DE PLÁTANO.

2.3.1 Proceso de empaque.

La exportación de plátano se da en cajas de cartón corrugado, la caja deberá soportar esfuerzos a la rotura de 19 kg/cm². Se estima que una caja de cartón de exportación de plátano de 25 kg contiene de 50 a 67 dedos de plátano y un contenedor de 40 pies (refrigerado) aproximadamente 900 cajas (Ríos Ayola & Pérez Rivera, 2004) El empaqueo de plátano es una actividad de gran importancia a la hora de controlar las enfermedades que afectan la fruta en el transporte y almacenamiento. Para evitar dichas enfermedades el plátano se debe tratar previamente con agentes fungicidas que eliminen o minimicen el ataque de microorganismos a las frutas para que el producto llegue con excelente calidad al consumidor final. Para esto existen diversos fungicidas que se emplean en este proceso (Hidalgo Ordoñez, 2016).

2.3.2 Almacenamiento y transporte.

El medio de transporte y las condiciones de almacenamiento dependerán de la distancia, tiempo de desplazamiento y las características y requerimientos del consumidor. En Colombia el plátano de exportación se transporta por vía marítima y se debe mantener todas las condiciones de grado de madurez y manejo. La temperatura de almacenamiento debe estar entre 12 y 13,5 °C con humedad relativa de entre 85 y 95% (Ríos Ayola & Pérez Rivera, 2004) El proceso de almacenamiento y transporte debe propiciar las condiciones antes mencionadas para evitar pérdidas ocasionadas por efectos ambientales y microbiológicos.

2.4 FACTORES QUE INCIDEN EN LA MADURACIÓN PREMATURA DE PLÁTANO.

En el proceso de transporte externo del plátano es la etapa en que más se presentan daños, algunos de estos daños son; cambio de color y de sabor de la fruta, ablandamiento del tejido de la fruta,

madurez prematura y pérdida de peso, lo que facilita el ataque de microorganismos. La maduración prematura se presenta principalmente en el transporte marítimo y se estima que si estos sobrepasan un 3% pueden causar pérdidas significativas a las empresas. El comercio de banano y plátano prefiere recibir fruta verde en sólida condición para poder madurarla a voluntad y distribuirla como sea necesario (Céspedes, 2004). El proceso de exportación de plátano requiere de mecanismos que permitan ofrecer a los consumidores frutas de buena calidad. Los plátanos deben cumplir con características como apariencia, color, textura, sabor, valor nutricional y seguridad microbiana.

La maduración prematura del plátano puede ser influenciada por factores que se encuentran en la etapa de precosecha y postcosecha (Ruelas Chacón et al., 2013).

2.4.1 Factores precosecha.

En esta etapa existen factores que afectan la maduración prematura de los frutos, como lo son: clima., suelo, aplicación de químicos (altos contenidos de potasio, fosforo y calcio) y estatus del agua en el suelo entre otros.

4.4.2 Factores postcosecha.

Las frutas sufren cambios fisiológicos como: aumento de niveles de azúcar y disminución de ácidos orgánicos en el proceso de transporte y almacenamiento. Alguno de los factores físicos que generan daños en plátanos son: crecimiento y actividad de microorganismos patógenos, insectos y roedores, cambios fisiológicos originados por congelamiento, sequedad y presión entre otros (Ruelas Chacón et al., 2013).

Otros factores que influyen en la maduración prematura del plátano son: temperatura (una elevada temperatura acelera el proceso de maduración, mientras que una baja temperatura impide el proceso), humedad, malas condiciones de almacenamiento, inexistencia de tecnologías de manejo

y conservación (Torres et al., 2012) bajos niveles de O₂ y alto CO₂, control de la producción de etileno.

2.5 PÉRDIDAS ECONÓMICAS GENERADAS POR MADURACIÓN PREMATURA EN PLÁTANO.

El plátano destinado a exportación debe cumplir con estándares de calidad y características adecuadas para su comercialización. Los bananos y plátanos exportados están sujetos a diversas medidas fitosanitarias y limitaciones a lo largo de la cadena de producción. Uno de los factores limitantes que influyen en el valor económico de los frutos es su corta vida causada por el ataque de patógenos postcosecha, su alto nivel de azúcar y elementos nutrientes y su bajo pH lo hacen particularmente deseable para hongos. Se estima que entre el 20 y el 25% de los frutos cosechados se pudren por diferentes hongos durante el manejo postcosecha y cada día se tiran 1,6 millones de banano en los países en desarrollo (Kuyu Chala & Tola Yetenayet, 2018). La pudrición de corona es una enfermedad que causa grandes daños y pérdidas económicas en la mayoría de los países productores. Se han reportado daños hasta de un 86% en bananos no tratados químicamente exportados desde filipinas (Annie Ewané et al., 2012). En países como Ecuador las pérdidas ascienden entre un 25 y 30% de la fruta exportada (Aguilar Acosta et al., 2013), mientras que en Colombia las pérdidas postcosecha de frutas tropicales se estiman en un 10% en lo relacionado con factores como transporte y comercialización (Torres et al., 2012).

2.6 RECUBRIMIENTOS COMO TÉCNICA DE PROTECCIÓN DE FRUTAS.

El recubrimiento para frutas se puede definir como una membrana transparente, delgada y continua que se aplica sobre una fruta mediante inmersión o aspersion para prolongar su vida útil. Los

recubrimientos presentan ventajas y propiedades que lo hacen de gran interés, algunas de estas propiedades son: libres de tóxicos y seguros para la salud, simple elaboración y prolongan la vida útil a través del control sobre el desarrollo de microorganismos y agentes ambientales como la humedad y la transferencia de oxígeno. La elaboración de los recubrimientos puede hacerse a partir de una gran variedad de polisacáridos, proteínas y lípidos los cuales se pueden combinar para generar compuestos con mejores características. también, se utilizan plastificantes como glicerol, ácidos grasos, sorbitol, aceites y ceras entre otros que ayudan a mejorar las propiedades finales de los recubrimientos

Se han realizado diversas investigaciones sobre el uso de recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil de las frutas. Los últimos avances en recubrimiento para frutas incluyen: Recubrimientos con actividad antimicrobiana como quitosano con la adición de aloe vera, recubrimientos comestibles con aditivos alimentarios con actividad antimicrobiana, recubrimientos comestibles con aceites esenciales y extractos naturales, recubrimientos comestibles con agentes de control biológico y recubrimientos comestibles con nano partículas.

2.7 POLÍMEROS Y ADITIVOS EMPLEADOS EN LA PREPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS PROTECTORES DE FRUTAS.

2.7.1 Almidón.

El almidón es un polisacárido formado por dos distintos polímeros de glucosa, la amilosa y la amilopectina en proporciones de 25 y 75% respectivamente. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlace α (1-4) en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes, las moléculas de amilosa están compuestas de 200 a 20.000 moléculas de glucosa en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice, muchas moléculas de amilosa contienen

ramificaciones, aproximadamente entre el 0,3 y 0,5% del total de los enlaces. La molécula de amilosa es soluble en agua caliente debido a la formación de una suspensión coloidal (Ruiz Avilés, 2006).

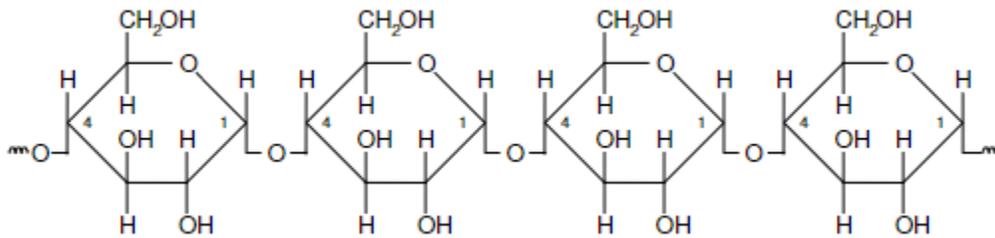


Fig 1. Segmento de molécula de amilasa. Tomado de (Ruiz Avilés, 2006)

Por otra parte, la estructura de la amilopectina es diferente, esta forma enlaces glicosídicos α (1-4) y α (1-6), los cuales unen las moléculas de glucosa en su cadena principal. La cadena principal de amilopectina presenta ramificaciones las cuales se deben a los enlaces α (1-6) con otras moléculas de glucosa. Las moléculas de amilopectina son considerablemente más grandes que las de amilosa, algunas contienen entre 10.000 y 20.000.000 millones de unidades de glucosa. El peso molecular de la amilosa está entre 0,1 a 1.000.000 de g/mol y el de la amilopectina entre 10.000 a mil millones de g/mol. (Ruiz Avilés, 2006)(Hernández Medina et al., 2008). Una de las principales propiedades del almidón es la semicristalinidad donde la amilopectina es un componente dominante en el proceso de cristianización. El almidón posee propiedades físicas como resistencia mecánica y flexibilidad lo cual lo hace idóneo para ser utilizado como componente principal en la formulación de recubrimientos para frutas.

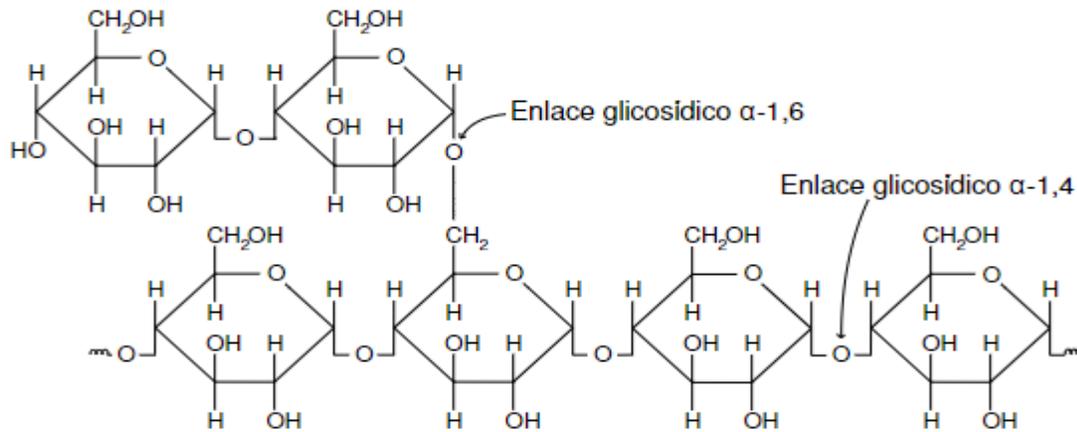


Fig 2. Segmento de molécula de amilopectina. Tomado de (Ruiz Avilés, 2006)

2.7.2 Glicerol.

La palabra glicerol proviene del griego “Glykos” que significa dulce. Es uno de los compuestos químicos más versátiles. Fue aislado en 1779 por el químico Sueco Carl Wilhelm Scheele calentando aceite de oliva. El glicerol (C₃H₈O₃) es un polialcohol que posee tres grupos hidroxilos (OH). También conocido como glicerina. Es líquido a temperatura ambiente, viscoso, incoloro, inodoro y ligeramente dulce, es higroscópico, fácilmente soluble en agua y disolventes orgánicos como éteres y dioxanos, pero insoluble en hidrocarburos. El glicerol es una molécula flexible que puede formar enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares (Gustavo Lafuente Aranda, 2017).

2.7.3 Aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*).

El género tomillo pertenece a la familia de las labiadas, es de clima templado y originario de los países de la cuenca mediterránea occidental crece sobre suelos secos y soleados y es resistente a sequias y heladas presenta una altura de 10-40 cm y es muy ramificada. El aceite esencia de tomillo está compuesto principalmente por fenoles monoterpénicos, como el timol, carvacrol, p-cimeno, gammaterpineno, limoneno, borneol y linanol (López Luengo, 2006).

El aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) se extrae de las hojas de la planta de tomillo. Los aceites esenciales son sustancias sintetizadas por las plantas que le proporcionan su aroma característico. Muchos de ellos poseen propiedades antisépticas, antiinflamatorias y repelente de insectos entre otras (Matiz Melo et al., 2015). Estudios han demostrado que el aceite esencial de tomillo ha inhibido el crecimiento de hongos como *Cándida albicans* produciendo halos de inhibición de $30,33 \pm 0,58$ mm (Rojas Armas et al., 2015).

2.8 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS.

La efectividad de los recubrimientos para frutas depende de sus propiedades físicas y químicas. Factores como la humectabilidad y propiedades de barrera dependen de la composición de la membrana, proceso de formación y método de aplicación sobre el fruto. Debido a esto, las investigaciones se han dedicado a evaluar los efectos de diferentes factores como permeabilidad de vapor agua, oxígeno y dióxido de carbono, así como sus propiedades mecánicas (García et al., 2018b).

2.8.1 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

La técnica de microscopia electrónica de barrido (SEM) es utilizada ampliamente en investigación de materiales debido a que esta permite obtener imágenes de alta resolución las cuales permiten analizar las características morfológicas, estructurales y químicas de los materiales en estudio. Esta técnica consiste en detectar la respuesta del material al impacto de un haz de electrones de alta energía, la muestra produce una serie de señales que son registradas en los diferentes detectores del equipo SEM, en donde cada señal ofrece información acerca de la topografía, composición y hasta conductividad eléctrica de la muestra (Clavijo, 2013).

La técnica SEM es de mucha utilidad en el análisis de membranas delgadas en interfases como los recubrimientos a base de almidón, permitiendo observar cómo es su estructura a nivel microscópico.

2.8.2 Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier (FTIR).

La espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier, también conocida como FTIR es una técnica que estudia los fenómenos de interacciones entre la radiación de origen infrarrojo y la materia. Se utiliza para analizar muestras y obtener su espectro infrarrojo de absorción o emisión el cual proporciona información de su estructura y concentración molecular. El principio básico de esta prueba se basa en la excitación de grupos moleculares por un haz de luz infrarroja (Barraza-Garza et al., 2013). Para este análisis se utiliza un equipo FT-IR que permite la identificación de grupos funcionales de la muestra en un rango espectral de 4000 a 400 cm^{-1} (Vaca Bohórquez, 2015). El análisis se realiza mediante la observación de los picos de absorbancia, se puede determinar las señales de tensión entre los grupos hidroxilos (OH^-) dentro de los cuales pueden estar involucrados los puentes de hidrogeno, las señales de tensión entre los grupos hidrilo (C-H) y las señales de tensión entre carbono y oxígeno.

2.8.3 Espesor.

El espesor es un parámetro que debe ser establecido en la elaboración de recubrimientos ya que este desempeña un papel importante en sus propiedades. Es conveniente que el espesor de los recubrimientos esté alrededor de 0,2 μm para obtener un mejor brillo, mejor extensibilidad y una capa más fina sobre el fruto (Gómez Enrique, 2011). Vásquez y colaboradores reportaron que el espesor de las películas incrementa respecto a la concentración de almidón, en su trabajo los espesores de las películas rebasaron los 50 μm (Vázquez-Luna et al., 2019).

2.8.4 Permeabilidad al vapor de agua.

El análisis de permeabilidad de vapor de agua es importante para determinar si los recubrimientos permiten la transferencia de vapor de agua entre la fruta y el ambiente (Ramos García et al., 2018).

La permeabilidad de vapor de agua debe ser tan baja como sea posible para evitar la disminución del peso de la fruta al término de su almacenamiento y por tanto pueda conservar su firmeza por más tiempo (García et al., 2018).

La medición de vapor de agua se hace siguiendo la norma ASTM. El procedimiento consiste en cortar fragmentos de membranas para sellar tubos de ensayo con agua en su interior, posteriormente se hacen mediciones de peso y humedad relativa en intervalos de tiempo, esto permite determinar qué tanta agua pierden los tubos de ensayo y hacer el análisis de permeabilidad de vapor de agua (Vaca Bohórquez, 2015).

2.8.5 Resistencia mecánica.

Los recubrimientos tienden a ser frágiles y romperse con facilidad, lo que les impide cumplir con eficiencia regular la transferencia de vapores y gases en las frutas. Para eliminar estos problemas se aplican plastificantes como el glicerol que proporciona una flexibilidad mayor. La determinación de la resistencia mecánica de el recubrimiento se hace mediante pruebas de tensión donde se mide el módulo de Young, esfuerzo máximo y porcentaje de deformación (Cuenca Manrique, 2017).

Los parámetros mecánicos de esfuerzo máximo, porcentaje de elongación y módulo de elasticidad de acuerdo con la norma ASTM D882-83. Estas pruebas se realizan en máquina universal de pruebas mecánicas (Caamal Herrera et al., 2011).

2.8.6 Resistencia Microbiana.

La maduración prematura de plátano puede ser causada por un complejo de hongos de alrededor de 32 especies los cuales causan reblandecimiento y necrosis de los tejidos de la corona, estos

hongos actúan infectando el fruto por las heridas causadas en el momento del desmane de la fruta, alguno de los hongos más comunes son: *Verticillium Theobromae*, *Colletotrichum Musae*, *Ceratocystis Paradoxa*, *Lasiodiplodia Theobromae*, *Nigrospora Shaerica*, *Clodosporium spp*, *Acremonium spp*, *Penicillium spp*, *Aspergillus spp* y algunas especies de *Fusarium*. Para evaluar la efectividad de los recubrimientos se deben realizar pruebas que permitan evidenciar el carácter antifúngico de éstas, mediante la exposición de los formulados ante la presencia de algunos hongos que causan pudrición de corona. El método para evaluar si el recubrimiento puede inhibir la proliferación de hongos se realizará mediante lo propuesto por Grecia Hurtado la cual propone realizar métodos de inoculaciones por aspersion o por herida (Hurtado Pérez, 2016).

2.9 PRUEBAS DE CAMPO.

Las pruebas de campo se realizan para evaluar la efectividad de el recubrimiento sobre frutos de plátano, los recubrimientos deberán ser aplicados en frutos de 10 semanas de edad con el objetivo de observar el desempeño del recubrimiento en condiciones ambientales y verificar que cumpla con las propiedades obtenidas en el laboratorio.

CAPITULO III.

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO

3.1 INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo se refiere al proceso de extracción en húmedo y caracterización de almidón de plátano verde para ser utilizado en la elaboración de recubrimientos que permitan mitigar o eliminar la maduración prematura en plátano de exportación de la región de Urabá.

La obtención de almidón a partir de plátano (*Musa Paradisiaca*) ha generado gran interés debido al alto contenido de almidón que este contiene. El almidón extraído de plátano se ha utilizado en industrias como: la textil, papel, plástico y manufactura de dextrinas entre otras.

Los polisacáridos como el almidón poseen buenas propiedades de adherencia, lo cual permite su utilización en la formulación de recubrimientos para frutas. Se ha comprobado que el uso de almidón en la elaboración de recubrimientos ha prolongado la vida útil de los frutos, disminuyendo la pérdida de peso y firmeza al término de su almacenamiento (Ramos , Romero, & Bautista , 2018).

La importancia de la utilización de almidón de plátano para la elaboración de recubrimientos radica en la abundancia de la materia prima en la región y bajos costos de extracción. Los recubrimientos a base de almidón presentan bajas propiedades de barrera a la humedad, debido a su carácter hidrofóbico, aunque sus propiedades mecánicas pueden presentar limitaciones.

3.2 METODOLOGÍA.

3.2.1 Extracción de almidón de pulpa de plátano.

La extracción de almidón se hizo a partir de plátanos de 10 semanas de edad, aportados por finca la Ury del municipio de Turbo, se utilizó el método húmedo propuesto por Lambis y colaboradores con algunas modificaciones el cual permite obtener el hasta 56, 76% de almidón de la pulpa de plátano (Lambis M et al., 2015). Se tomó la cantidad de plátano necesaria para obtener 1.154 gramos de pulpa de plátano los cuales fueron previamente lavados con agua y desinfectados con solución de hipoclorito de sodio al 1%, los plátanos pelados fueron pesados e inmersos en ácido cítrico al 3% para evitar pardeamiento, posteriormente fueron rallados, la masa obtenida del rallado de plátano fue depositada en tela muselina y sumergida en agua destilada haciendo presión sobre la masa para obtener almidón soluble, este procedimiento se repitió hasta que la masa dejó de desprender líquido amarillento, finalmente se dejó precipitar la solución obtenida y el precipitado se llevó a estufa para su secado a 40°C por 24 horas.

En la Figura 3 se muestra el esquema de la secuencia desarrollada por etapas para la extracción del almidón desde el plátano.

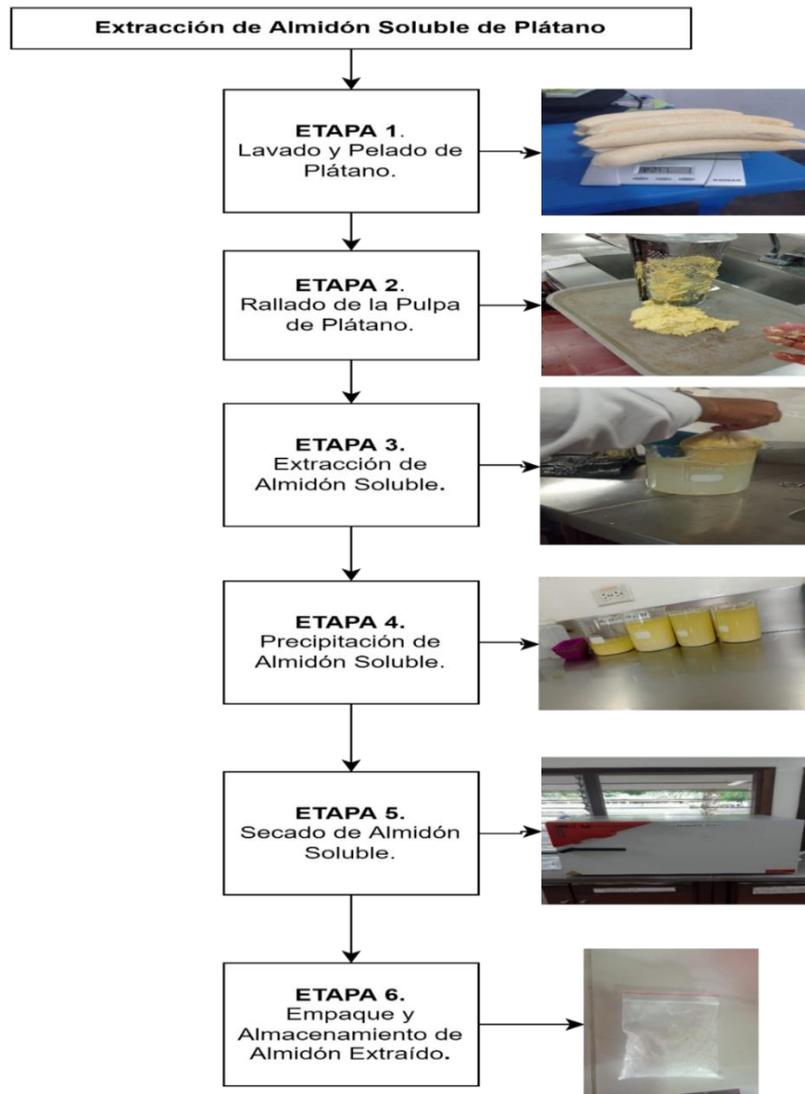


Fig 3. Extracción de almidón. Fuente: elaboración propia.

3.2.2 Rendimiento de extracción de almidón de pulpa de plátano.

La evaluación del rendimiento de extracción por vía húmeda se hace para determinar la eficiencia del método. Esto se realizó pesando 1.154 gramos de pulpa de plátano al inicio del proceso de extracción, al final del proceso se pesó la cantidad de almidón posterior a el secado. El rendimiento se obtuvo mediante la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Peso Inicial}}{\text{Peso Final}} \right) * 100\% \quad \text{ec \#1}$$

3.2.3 Espectroscopía Infrarroja de almidón de plátano.

El análisis de espectroscopía de infrarrojo por transformadas de Furrier (FTIR), se realizó en equipo PerkinElmer Spectrum IR, modelo Spectrum Two, serie 112801. El rango de barrido predeterminado fue de 4000 a 450 cm^{-1} en el cual se hicieron medidas de porcentaje de transmitancia. El análisis se llevó a cabo en el laboratorio de la Universidad de Antioquia en la ciudad de Medellín.

3.2.4 Determinación de cenizas en almidón extraído.

La determinación del contenido de cenizas se realizó siguiendo el método de la AOAC 923.03 recomendado por Montoya y colaboradores (Montoya, Quintero, & Lucas, 2014). Se lavaron tres crisoles de porcelana, se pusieron a secar en horno marca BINDER durante 30 minutos a 105°C, posteriormente con ayuda de una pinza se transfirieron a desecador por espacio de 15 minutos hasta que alcanzaron la temperatura del ambiente y finalmente fueron pesados en balanza analítica PRECISA XB220A. Se le adicionó a cada crisol de porcelana previamente tarado, 2 gramos de almidón extraído, se llevaron los crisoles a mufla LAB TECH LEF-105S-2 por un tiempo de 2 horas a 600°C, posteriormente se dejó enfriar la mufla hasta una temperatura de 100°C, los crisoles de porcelana se transfirieron del horno a desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente para finalmente ser pesados en balanza analítica.

3.2.5 Determinación de humedad en almidón extraído.

El contenido de humedad se determinó por el método AOAC 925.10 recomendado por Montoya y colaboradores (Montoya, Quintero, & Lucas, 2014), el cual consistió en lavar tres cápsulas de porcelana, se secaron en horno durante 30 minutos a una temperatura de 95-105°C, posteriormente

se pasaron las cápsulas al desecador con ayuda de una pinza hasta que éstas alcanzaron la temperatura del ambiente, se pesaron en balanza analítica, se pasó el almidón extraído de pulpa de plátano por tamiz N°20, se tomó 2 gramos de almidón en cada una de las cápsulas de porcelana previamente taradas para ser transferidas al horno hasta que tuvieron peso constante a una temperatura de 70°C y finalmente con la ayuda de guantes o pinzas se llevaron las cápsulas de porcelana al desecador hasta que alcanzaron la temperatura del ambiente y finalmente fueron pesadas para determinar el porcentaje de humedad.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.3.1 Extracción de almidón de pulpa de plátano.

En la Figura 4 se observan las muestras del almidón extraído.

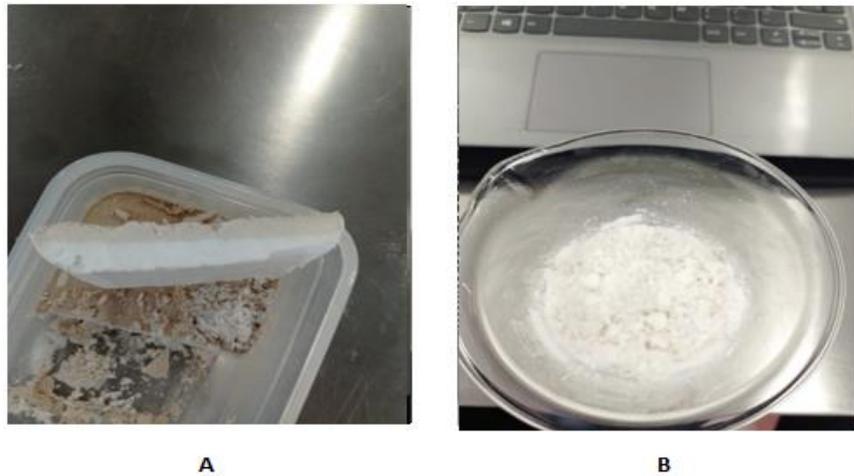


Fig 4. Almidón extraído de plátano. A: con residuos de harina. B: sin residuos de harina

En la figura 4-A se observa el almidón extraído después de la fase de secado. En la figura 4-B se evidencia que el proceso de filtrado permitió el paso de harina, la cual se precipitó con el almidón separado en fase, esto se debe a que el tamaño de poro del filtro (tela muselina) es muy grande y

permitió el paso de residuo de harina. El almidón para la elaboración de los recubrimientos debe ser lo más puro posible ya que la presencia de harina puede afectar el desempeño de estos, haciendo que no sean traslucidos y presenten problemas en la formación de la matriz polimérica.

En la figura 5 se observa el almidón extraído después de haber sido retirado los residuos de harina lo cual permitió obtener un almidón de mejores características como mejor color y limpieza.

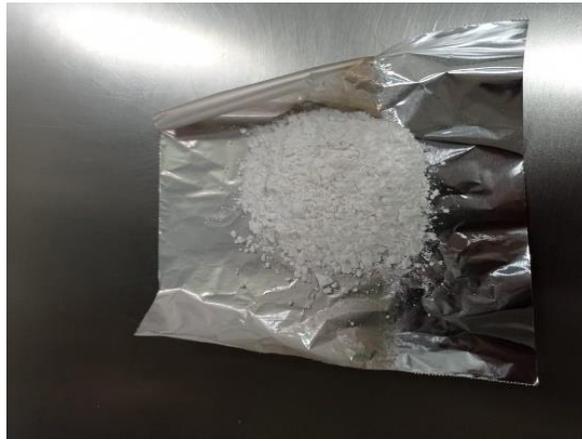


Fig 5. Almidón extraído.

El método de extracción de almidón por vía húmeda fue exitoso ya que permitió la separación de almidón de la pulpa de plátano para ser utilizado en la formulación de recubrimientos que se utilizarán para evitar la maduración prematura en plátano de exportación de la región de Urabá

3.3.2 Prueba cualitativa de almidón extraído.

Se verificó el material extraído mediante prueba cualitativa de coloración de yodo. Esta prueba se realizó tanto para almidón comercial como para el almidón extraído en el laboratorio como se muestra en la figura 6.

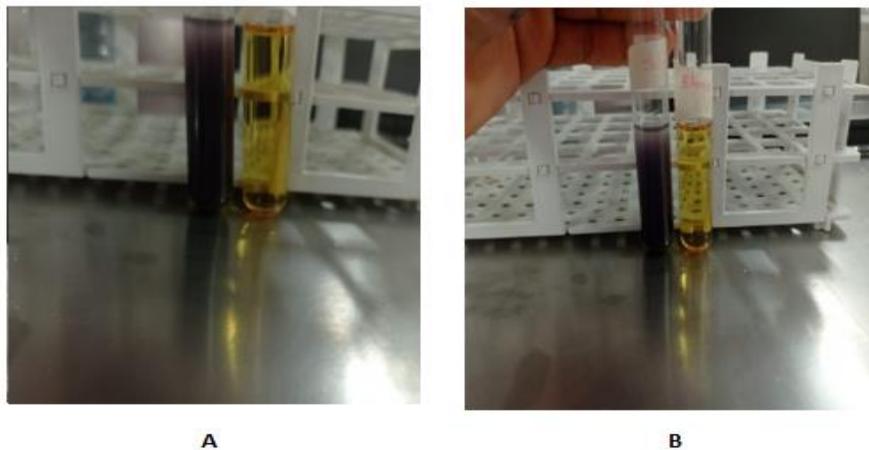


Fig 6. Prueba cualitativa de yodo. A: Coloración de yodo de almidón extraído. B: Coloración de yodo de almidón comercial Fuente: elaboración propia.

En la figura 6-A y 6-B se observa el resultado de la prueba cualitativa de yodo tanto para una solución de almidón comercial, como para una solución con almidón extraído de pulpa de plátano, dichas soluciones fueron preparadas con la misma concentración de almidón y sometidas a prueba de yodo. en las dos pruebas se presentó coloraciones violetas oscuro lo cual permite confirmar que el material extraído corresponde a almidón. Las coloraciones tanto como para el almidón comercial con el extraído fueron muy similares lo cual sugiere que son de calidad muy similar.

3.3.3 Rendimiento de extracción de almidón de pulpa de plátano.

Posterior a la eliminación de la cascara del fruto, se obtuvo 1,14 kg de pulpa, la cual fue sometida a proceso de extracción húmeda de almidón de plátano. Mediante este proceso se extrajeron 0,519 kg de almidón soluble en base seca, en relación con la cantidad de pulpa inicial, lo cual corresponde a un rendimiento de 45,32%. Los valores obtenidos son similares a los propuestos por otros autores como Mazzeo y colaboradores que obtuvieron rendimientos de 56,76% en extracción de almidón por método húmedo a partir de plátano dominico hartón (*Musa ABB Simmonds*) (Mazzeo M, Alzate G, & Marín M, 2008), Valerio Dávila obtuvo un rendimiento de 23,54% en extracción de almidón

de plátano bellaco (*Musa Paradisiaca*). (Valerio Davila, 2014). El rendimiento obtenido demuestra que el proceso de extracción húmedo de almidón a nivel de laboratorio puede considerarse adecuados y al compararse con otros estudios estos son similares. Sin embargo, el proceso de extracción húmedo puede optimizarse para obtener rendimientos más altos, ya que en la literatura consultada se han reportado rendimientos entre 63 y 71% (Mazzeo M, Alzate G, & Marín M, 2008)de almidón total.

3.3.4 FTIR de almidón de plátano.

En la figura 7 se presenta el espectro FTIR de almidón extraído de plátano

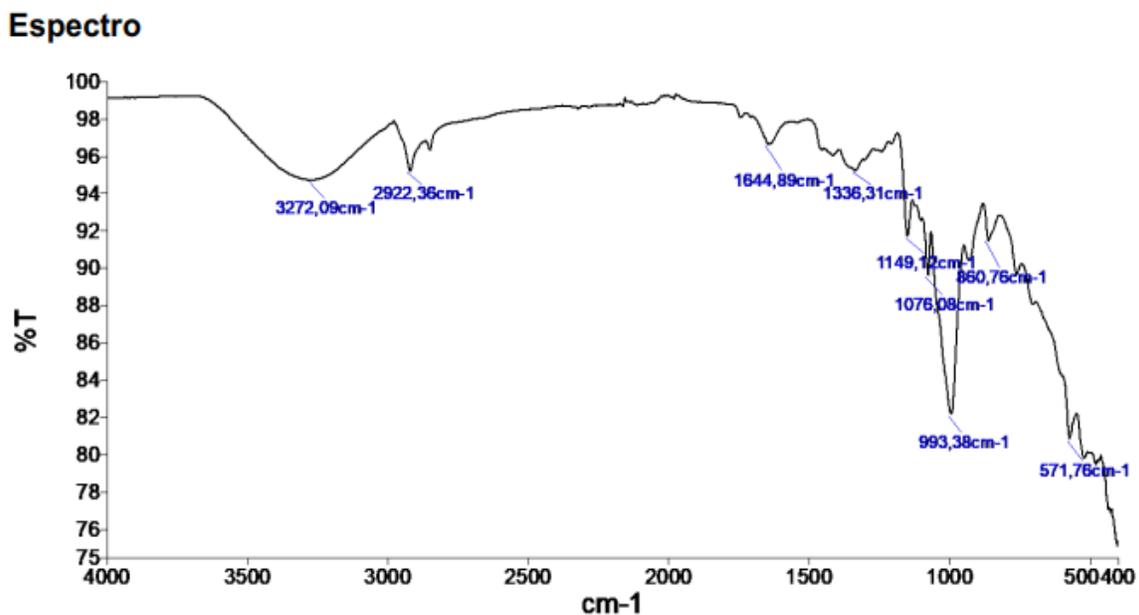


Fig 7. FTIR de almidón extraído de plátano.

En el espectro se observan las bandas características para este tipo de compuestos. En una longitud de onda de 3272,09 cm⁻¹ se observa una banda ancha la cual es debida a los estiramientos de los enlaces OH⁻ de los grupos hidroxilos presentes en la molécula de almidón, la señal que se observa en 2922,35 cm⁻¹ corresponde a las vibraciones de los enlaces C-H de los grupos metilos (Torres

Becerril, Carmona Garcia, & Aguirre Cruz, 2015). Además, se observa un pico en una banda de $1644,89 \text{ cm}^{-1}$ que corresponde a las vibraciones por flexión del grupo O-H que proviene del agua intramolecular contenida en el almidón, también se observan señales a números de onda de $1078.08, 993.38, 860,76 \text{ cm}^{-1}$ que corresponden o son atribuidos a los estiramientos de los enlaces carboxílicos C-O , resultados concordantes con lo reportado por Torres (Torres Becerril et al., 2015).

3.3.5 Determinación de cenizas.

En la tabla 1 se muestra el porcentaje de cenizas obtenido a partir del análisis de almidón extraído de pulpa de plátano.

Tabla 1. Contenido de cenizas.

| MUESTRA | MASA DEL CRISOL [KG] | MASA DEL CRISOL + ALMIDÓN [KG] | MASA FINAL [KG] | MASA DE ALMIDÓN [KG] | MASA DE CENIZAS. [KG] | % DE CENIZAS |
|-----------------|----------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0,04543 | 0,04742 | 0,04543 | 0,00199 | $3,7 \times 10^{-6}$ | 0,19 |
| 2 | 0,04541 | 0,04743 | 0,04542 | 0,00201 | $4,4 \times 10^{-6}$ | 0,22 |
| 3 | 0,04363 | 0,04562 | 0,04363 | 0,00198 | $4,1 \times 10^{-6}$ | 0,21 |
| Promedio | | | | | | $0,20 \pm 0,02$ |

La determinación del contenido de cenizas se hizo tomando el promedio del porcentaje de cenizas obtenidas en cada muestra, el cual fue de 0,20%. El contenido de cenizas concuerda con lo reportado por otras investigaciones. Este resultado obtenido fue menor a lo reportado por Lucas y colaboradores, los cuales obtuvieron porcentajes de 0,61% en la caracterización de almidón obtenido de plátano guineo AAAea (*Musa Sapientum L*) (Lucas, Dumar Quintero, & Cárdenas

Valencia, 2013). Tejada y colaboradores evaluaron almidón nativo de plátano en el cual obtuvieron 0,27% de cenizas (García Tejada, Zamudio Flores, Bello Pérez, Romero Bastida, & Solorza Fera, 2011).

3.3.6 Determinación de humedad.

El porcentaje de humedad de almidón de plátano fue de 11,86 % como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Contenido de humedad.

| CRISOL | M0 | M1 | M2 | % HUMEDAD |
|-----------------|---------|---------|---------|--------------|
| 1 | 26,7156 | 31,7155 | 31,1266 | 11,78 |
| 2 | 30,2884 | 35,2899 | 34,6874 | 12,05 |
| 3 | 25,7968 | 30,8007 | 30,2125 | 11,75 |
| Promedio | | | | 11,86 ± 0,17 |

Comparando los resultados obtenidos en este trabajo con los consultados en la literatura se observa que fueron mayores a los reportados por Contreras y colaboradores los cuales obtuvieron 9,28% de humedad de almidón de plátano cuadrado (Contreras Pérez, Torre Gutiérrez, González Cortés, & Jiménez Vera, 2018) y a los reportados por Alvis y colaboradores los cuales reportaron porcentajes de humedad entre 8,66 a 10,22% para almidón de ñame y de 7,80 a 8,47% para almidón de yuca (Alvis, Vélez, Villada, & Rada Mendoza, 2008). Un porcentaje de humedad alto implica complicaciones en la conservación y almacenamiento del almidón, además presenta condiciones idóneas para el crecimiento de hongos, por tanto, se recomienda aumentar el tiempo de secado para disminuir el contenido de humedad.

3.4 CONCLUSIONES.

- De los resultados obtenidos, se concluye que el plátano (*Musa Paradisiaca*) es una buena fuente de obtención de almidón soluble, la extracción por método húmedo es eficiente y de bajo costo, mediante este proceso se obtuvo un rendimiento de extracción de 45,32% lo cual concuerda con lo reportado por otras investigaciones. No obstante, se puede ajustar el proceso para obtener rendimientos más altos.
- Los análisis para caracterizar el almidón extraído determinaron que este es de características similares a las presentadas por otros autores. el porcentaje de cenizas fue de 0,20% y el de humedad. El espectro FTIR mostro las bandas características para este tipo de compuestos. Se observaron picos en longitudes de ondas de 3272,09 cm^{-1} , 3272,09 cm^{-1} , 3272,09 cm^{-1} , 1078,08 cm^{-1} , 993,38 cm^{-1} , 860,76 cm^{-1} los cuales corresponden a las vibraciones y estiramientos de los enlaces en los diferentes grupos funcionales presentes en este compuesto.
- El contenido de humedad fue alto comparado con otras investigaciones lo cual puede ocasionar problemas en el almacenamiento de este producto, por tanto, se recomienda aumentar el tiempo de secado y así disminuir el contenido de humedad.

CAPITULO IV

FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS.

4.1 INTRODUCCIÓN.

Las pérdidas de productos hortofrutícolas se estiman en 20%, de la producción mundial, esto se debe a deterioros causados por agentes microbiológicos y fisiológicos (Fernández Valdés, y otros, 2015). Uno de los principales retos de la fruticultura es brindar productos de buena calidad, disminuyendo las pérdidas pre y postcosecha con procesos amigables con el medio ambiente, desarrollando métodos alternativos a los actualmente aplicados, como la implementación de recubrimientos.

Los recubrimientos para frutas son membranas transparentes y delgadas que se aplican sobre los frutos para alargar la vida útil, estos poseen características como protección a la humedad y poder antimicrobiano, estos crean una barrera semipermeable a los gases (O_2 y CO_2) y al vapor de agua y mejoran las propiedades mecánicas manteniendo la integridad estructural del producto. Los recubrimientos son elaborados a partir de materiales provenientes de fuentes naturales como lípidos (ácido esteárico, ceras y grasas, esteres de ácidos grasos), polisacáridos (almidón, pectina, celulosa, alginato y carragenano) y proteínas (gelatina, caseína, gluten de trigo y zeína) o combinación de estos (Pauta luna, Chiralt, & Sapper, 2018). Además, pueden ser potencializados con agentes antimicrobianos como aceites esenciales o extractos de plantas o incluso con diferentes aditivos plastificantes como el glicerol o sorbitol que disminuyen su fragilidad y mejoran sus propiedades mecánicas (Vázquez Luna, Santiago, Rivadeneyra Domínguez, & Díaz Sobac, 2018).

El almidón nativo es un polisacárido natural biodegradable que presenta ventajas para la formación de recubrimientos biodegradables. Además, es una materia prima abundante y de bajo costo. Investigaciones anteriores han mostrado resultados favorables en la aplicación de recubrimientos a base de almidón, ampliando la vida útil en frutas como mango, aguacate y papaya (Astudillo Gomez & Botina Macías), no obstante, los recubrimientos elaborados solo con almidón nativo presentan poca resistencia mecánica y baja flexibilidad por lo que se hace necesario la aplicación de plastificantes (glicerol, sorbitol) que mejoren sus propiedades mecánicas (Oropeza González, Montes Hernández, & Padrón Pereira, 2016).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este capítulo fue desarrollar un recubrimiento a base de almidón nativo de pulpa de plátano, glicerol (plastificante) y extracto de tomillo (agente antimicrobiano) para la protección de plátano de exportación de la región de Urabá, variando las concentraciones de almidón (4 y 3 % p/v), glicerol (0, 2 y 3% v/v) y extracto tomillo (0,05% v/v). para evaluar la formulación que presentó mejores características en la formación del recubrimiento.

4.2 METODOLOGÍA.

4.2.1 Elaboración de los recubrimientos.

Se desarrollaron 6 recubrimientos con diferentes concentraciones de almidón, glicerol y extracto de tomillo. En la tabla 3 se presenta la composición de los diferentes formulados utilizados en el estudio.

Tabla 3. Composición de los formulados.

| FORMULADO | ALMIDÓN % P/V | GLICEROL % V/V | TOMILLO % V/V |
|------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| R1 | 4 | 3 | 0,05 |
| R2 | 4 | 2 | 0,05 |
| R3 | 3 | 3 | 0,05 |
| R4 | 3 | 2 | 0,05 |
| R5 | 4 | 0 | 0,05 |
| R6 | 3 | 0 | 0,05 |

El objetivo de realizar diferentes formulaciones fue evaluar cuál de ellas presentaba mejores características en la formación del recubrimiento. La fabricación de los recubrimientos se hizo de acuerdo con el método propuesto por Vázquez y colaboradores (Alma Vázquez, Santiago, Rivadeneyra Domínguez, & Díaz Sobac, 2018) con algunas modificaciones. Se prepararon dos soluciones de almidón; una con almidón al 3% p/v y otra al 4% p/v. El proceso de elaboración de los formulados se presenta en la figura 7. Se tomaron dos beaker de 200 ml a los cuales se les adicionó 150 ml de agua destila y 4% p/v de almidón al beaker 1 y 3% p/v de almidón al beaker 2. Para los formulados con 4% p/v de almidón, se adicionó 6 gramos de almidón extraído al BEAKER 1, la solución se llevó a una temperatura de 70°C en constante agitación por 30 minutos mediante plancha de calentamiento, evitando gelatinización completa del almidón, posteriormente la solución se distribuyó en tres beaker de 100 ml agregando 50 ml de la solución resultante a cada uno de los beaker (beaker 1.1, 1.2 y 1.3 de la figura 8), se dejó reposar a temperatura ambiente disminuyendo la agitación para evitar burbujas de aire en la formación de los recubrimientos. a los

beaker 1.1, 1.2 y 1.3 se le adicionó 1,5, 1 y 0 ml de glicerol respectivamente, a cada formulación se le adicionó 0,025 ml de extracto de Tomillo como agente antimicrobiano, se dejó reposar por 15 minutos en agitación continua para obtener una buena homogenización de los componentes de la mezcla, finalmente se vertieron los formulados en moldes de vidrio y se llevó a estufa para su secado por 15 horas.

Los formulados de 3% p/v de almidón se realizaron en el beaker 2, se adicionó 4,5 gramos de almidón extraído en 150 ml de agua destilada y se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente y como se muestra en la figura 8. Tos los formulados se hicieron por triplicado.

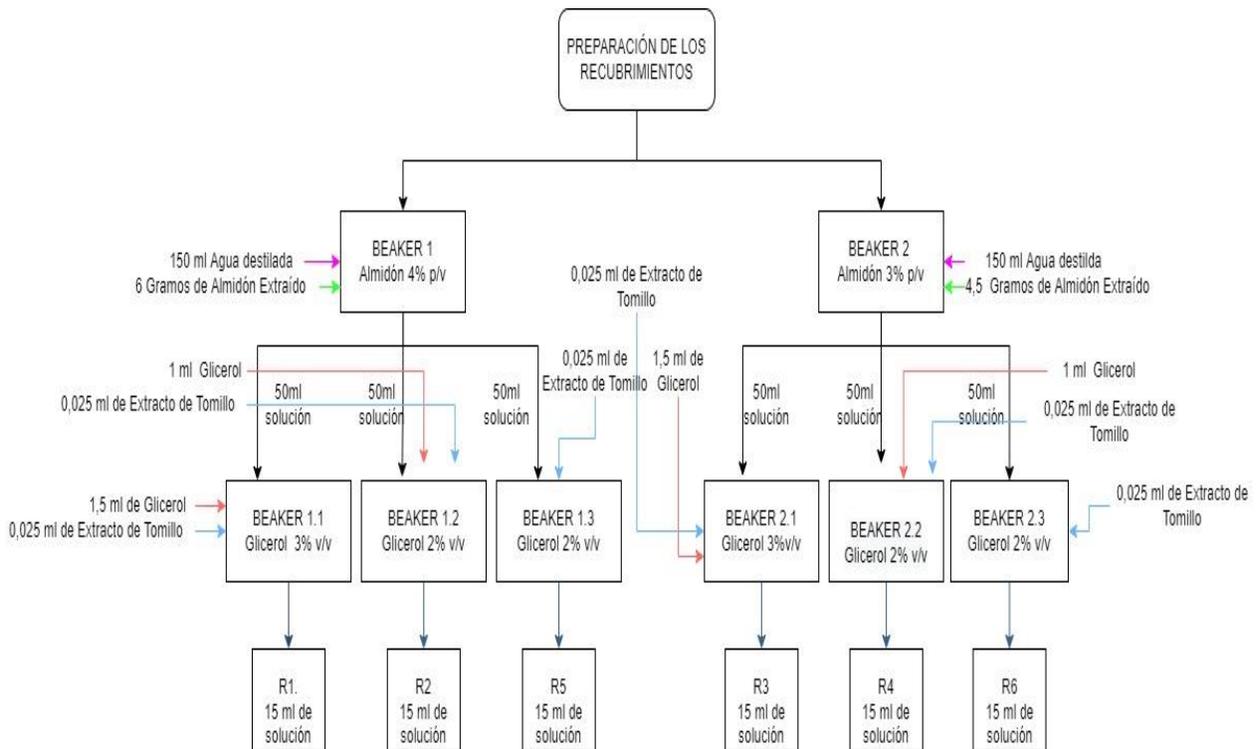


Fig 8. Proceso de elaboración de los formulados.

4.2.2 Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier

El análisis FTIR se realizó en un equipo PerkinElmer Spectrum IR, modelo Spectrum Two, serie 112801. El rango de barrido predeterminado fue de 4000 a 450 cm^{-1} en el cual se hicieron medidas de porcentaje de transmitancia. Posterior al proceso de secado, los recubrimientos (R1, R2, R3, R4 y R5) fueron cortados en trozos de 2cm de largo por 2cm de ancho, empacados en bolsas de sellado y enviadas al laboratorio para su análisis.

4.2.3 Microscopía electrónica de barrido.

El análisis de microscopía electrónica de barrido SEM se llevó a cabo en Microscopio Electrónico de Barrido JSM-6490 en el laboratorio S2-13 de la sede de Investigación Universitario SIU, realizando aumentos de 400x para observar el acoplamiento de los componentes en la matriz polimérica, su porosidad y espesor.

4.2.3 Espesor.

La medición de el espesor de las diferentes formulaciones (R1, R2, R3, R4) se hizo con tornillo micrométrico marca KEX con margen de error de 0,01 mm. El procedimiento consistió en tomar trozos de membrana de 6 cm de largo por 6 cm de alto, a los cuales se les realizó 5 medidas como se muestra en la figura 9.

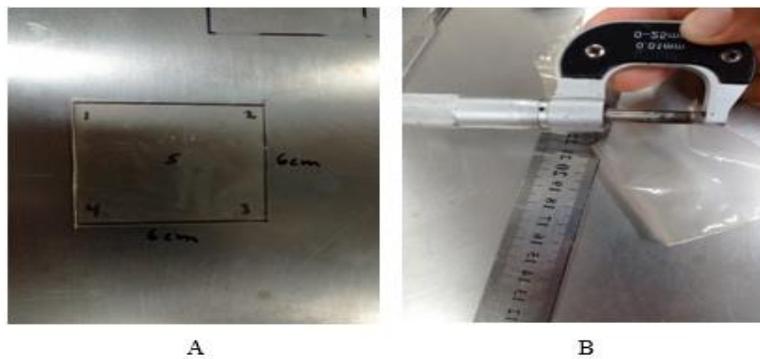


Fig 9. Método de medición de espesor de las membranas. A: Tamaño y sitios de medición. B: Medición con Tornillo micrométrico.

Para obtener datos más precisos se realizaron mediciones de espesor con Microscopio Electrónico de Barrido SEM.

4.2.4 Permeabilidad al vapor de agua.

La evaluación de la permeabilidad al vapor de agua (WVP), se llevó a cabo siguiendo la norma ASTM E96/E96M-22 (ASTM E96/96-22), con algunas modificaciones. Se tomaron como recipiente de prueba cajas Petri de vidrio de 4,9 cm de diámetro aproximadamente, a cada caja se le adiciono 5 ml de agua destilada para ser sellada posteriormente con el recubrimiento preparado (tres por cada formulado), los recubrimientos se fijaron a las cajas Petri con bandas elásticas, cada tubo fue pesado y llevado a desecador con condiciones de humedad y temperatura estandarizadas como se muestra en la figura 10.

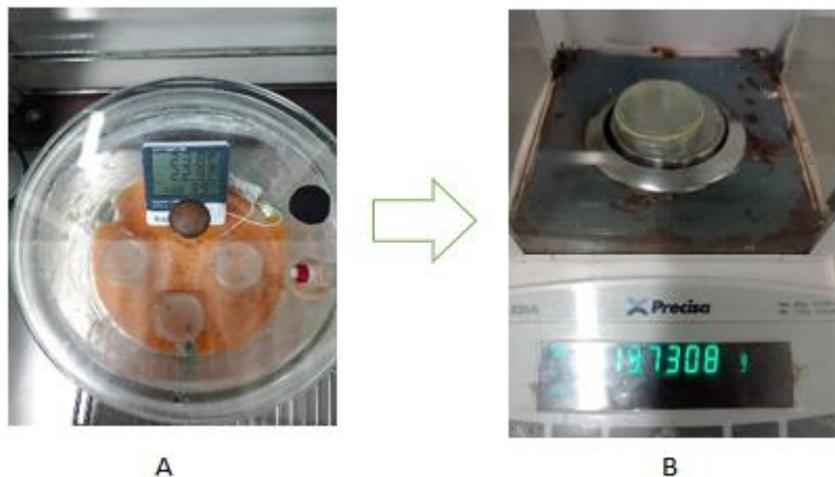


Fig 10. Sistema para pruebas de permeabilidad. A: Cámara de desecación. B: Pesado de las muestras. Fuente: elaboración propia.

La humedad relativa %HR fue medida con un termohigrómetro modelo Htc-2. Los análisis se hicieron por 5 días, registrando la masa del sistema caja + recubrimiento cada 24 horas. Cabe anotar que a las formulaciones R5 y R6 no se les realizó la prueba de permeabilidad debido que, los recubrimientos se formaron poco flexibles y al manipularlos se rompía con facilidad.

4.2.6 Pruebas mecánicas.

Las pruebas mecánicas de resistencia a la tracción (MPa) y elongación (%E) se realizaron en el laboratorio de Materiales Poliméricos de la Universidad de Antioquia el procedimiento se hizo de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D882-10 (ASTM D882-10) . El procedimiento consistió en cortar probetas de 1,6 cm de ancho por 12 cm de largo la cuales fueron falladas a una velocidad de avance de 5 mm/min y una longitud entre mordazas de 8 cm en Máquina Universal de doble columna, marca Shimadzu con capacidad de carga de 5 toneladas.

Las muestras fabricadas y el montaje en la máquina se observan en la figura 11.



Fig 11. Montaje de pruebas mecánicas. A: Probetas de recubrimientos. B: Montaje en máquina Universal. Fuente: elaboración propia.

4.2.7 Pruebas antimicrobianas.

El poder antimicrobiano de los recubrimientos se evaluó usando los hongos de género *Penicillium* y *Aspergillus*. Se utilizó *Aspergillus* por ser un hongo altamente invasivo y *Penicillium* por estar relacionado con generar la maduración prematura en banano y plátano (Alemu, 2014). Estos hongos fueron aportados por el laboratorio de docencia de la sede de Estudios Ecológicos y

Agroambientales Tulenapa de la Universidad de Antioquia ubicado en el municipio de Carepa. Los hongos fueron sembrados en medio PDA para su crecimiento y posterior utilización en los antibiogramas. Para esta prueba se utilizaron las formulaciones que presentaron las mejores características en la formación de las membranas. Se realizaron análisis de antibiograma por duplicado tanto para *Aspergillus* como para *Penicillium*. La prueba de antibiograma se hizo mediante la técnica de disco-placa propuesta por Picazo (Picazo, 2020), con algunas modificaciones, el procedimiento consistió en la preparación de cajas Petri con medio de crecimiento PDA, cortar trozos de papel de 2 cm de diámetro los cuales fueron impregnados con las formulaciones a evaluar y depositados en medios en los cuales se sembraron los hongos con inóculos de 0,5 por 0,5 cm aproximadamente. Con los antibiogramas, se evaluó la capacidad de los formulados para inhibir o disminuir la velocidad de crecimiento de *Aspergillus* y *Penicillium*, se usó un blanco el cual consistió en sembrar el microorganismo en medios PDA con discos de papel que no fueron impregnados con los formulados y así poder analizar si se presentaba una diferencia en su crecimiento.

4.2.8 Pruebas de laboratorio.

Con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de los formulados en plátanos se realizó el procedimiento mostrado en la figura 12.



Fig 12. Montaje de pruebas a escala de laboratorio.

Se procesaron plátanos de 10 semanas de edad, suministrados por finca la Ury del municipio de Turbo-Antioquia. El procedimiento consistió en separar los plátanos del racimo, evitando desgarrar en la corana de los frutos, se lavaron los plátanos con alumbre por 10 minutos, posteriormente se lavaron con una solución de 2% de hipoclorito por 10 minutos, finalmente se aplicó la solución formadora de recubrimiento R3 y se colgaron del pedicelo para evaluar su comportamiento.

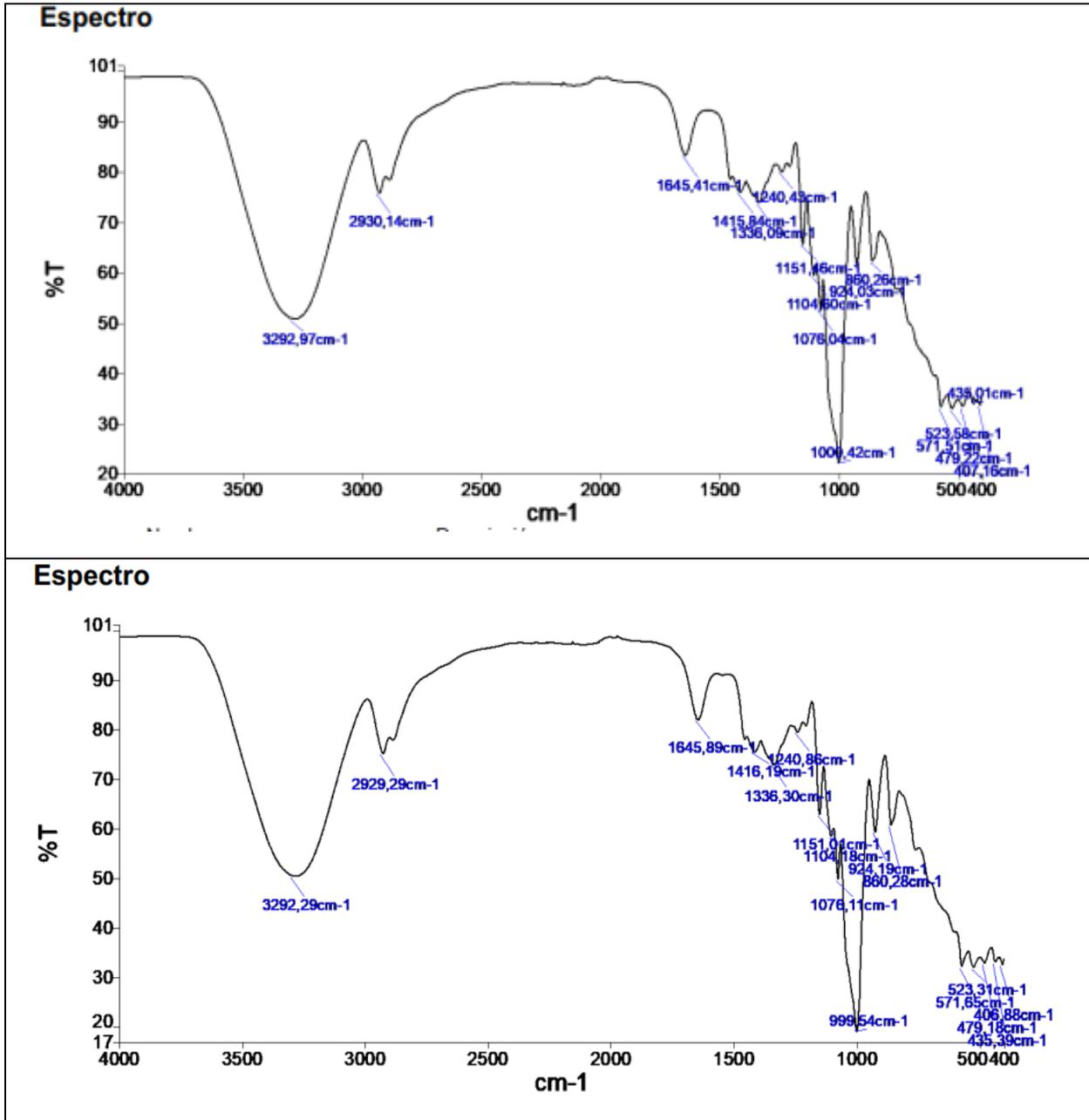
4.2.9 Pruebas de campo.

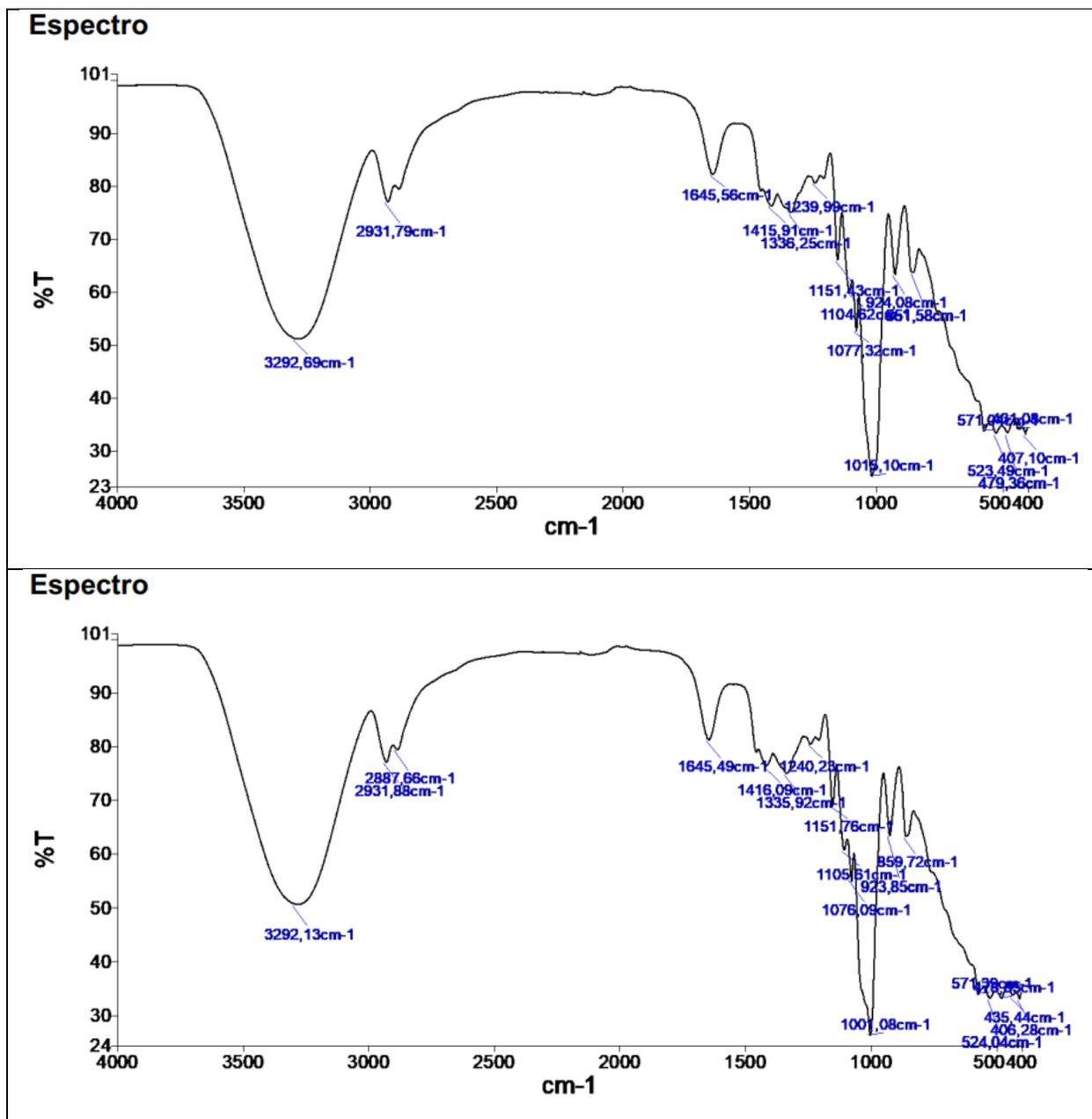
La evaluación del efecto del recubrimiento sobre la maduración de plátano en campo se realizó en finca la Ury del Municipio de Turbo, el proceso consistió en procesar plátanos tipo exportación de 10 semanas de edad, los plátanos fueron lavados y desinfectados previamente, posteriormente se realizó inmersión de 75 plátanos en la formulación R3, los cuales fueron empacados en cajas de cartón y dejados expuestos a las condiciones ambientales, se preparó un control el cual consistió en empacar 75 plátanos pero sin realizar inmersión en recubrimiento.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.3.1 Espectroscopía Infrarroja con Transformadas de Fourier (FTIR).

En la figura 13 se muestran los espectros de absorción de los recubrimientos R1, R2, R3, R4 y R5, en los cuales se identifican los tipos de enlaces químicos presentes en el recubrimiento.





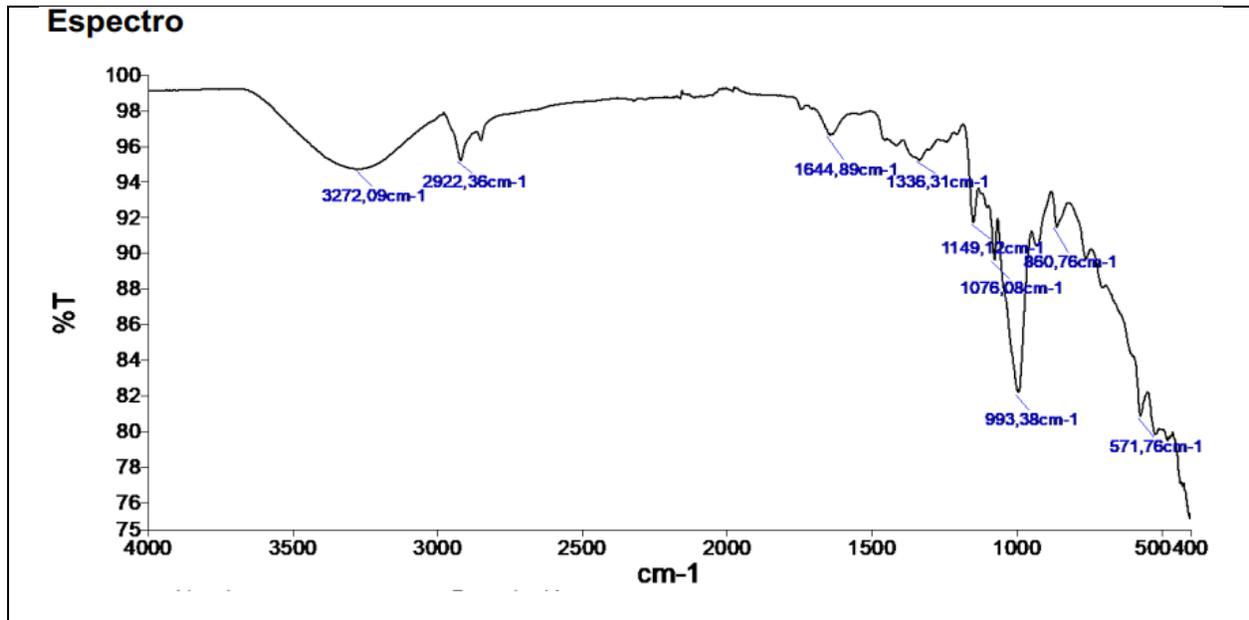


Fig 13. FTIR de los recubrimientos obtenidos a partir de las formulaciones R1, R2, R3, R4 y R5.

En los espectros se pueden ver las bandas características para recubrimientos a base de almidón, donde se observa un pico en una longitud de onda alrededor de los 3200 cm^{-1} que corresponde a los estiramientos de los enlaces OH^- de los grupos hidroxilos, en 2900 cm^{-1} se observa otro pico que corresponde a las vibraciones de los enlaces C-H de los grupos metilos, también se presentó un pico característico alrededor de 1000 cm^{-1} que corresponde a las vibraciones por flexiones de los grupo O-H que se presentan debido al agua contenida en la molécula de almidón (Vaca Bohórquez, 2015). Los espectros mostrados en la figura 13 concuerdan con los reportados por Reyes y Gonzales para recubrimientos a base de almidón, mastranto los picos característicos de este tipo de compuestos (Reyes González & Regalado González, 2013), según Gonzales, un incremento en la intensidad de la banda en la región C-O, evidencia la plastificación de las mezclas y en general los cambios de intensidad y posición de las bandas sugiere que existen interacciones con los grupos OH del almidón, lo que contribuye a la miscibilidad de los componentes de la mezcla (González Forte, 2015)

4.3.2 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

En la figura 14 se observa la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) de los recubrimientos R1, R2, R3, R4 y R5 a un aumento de 900x.

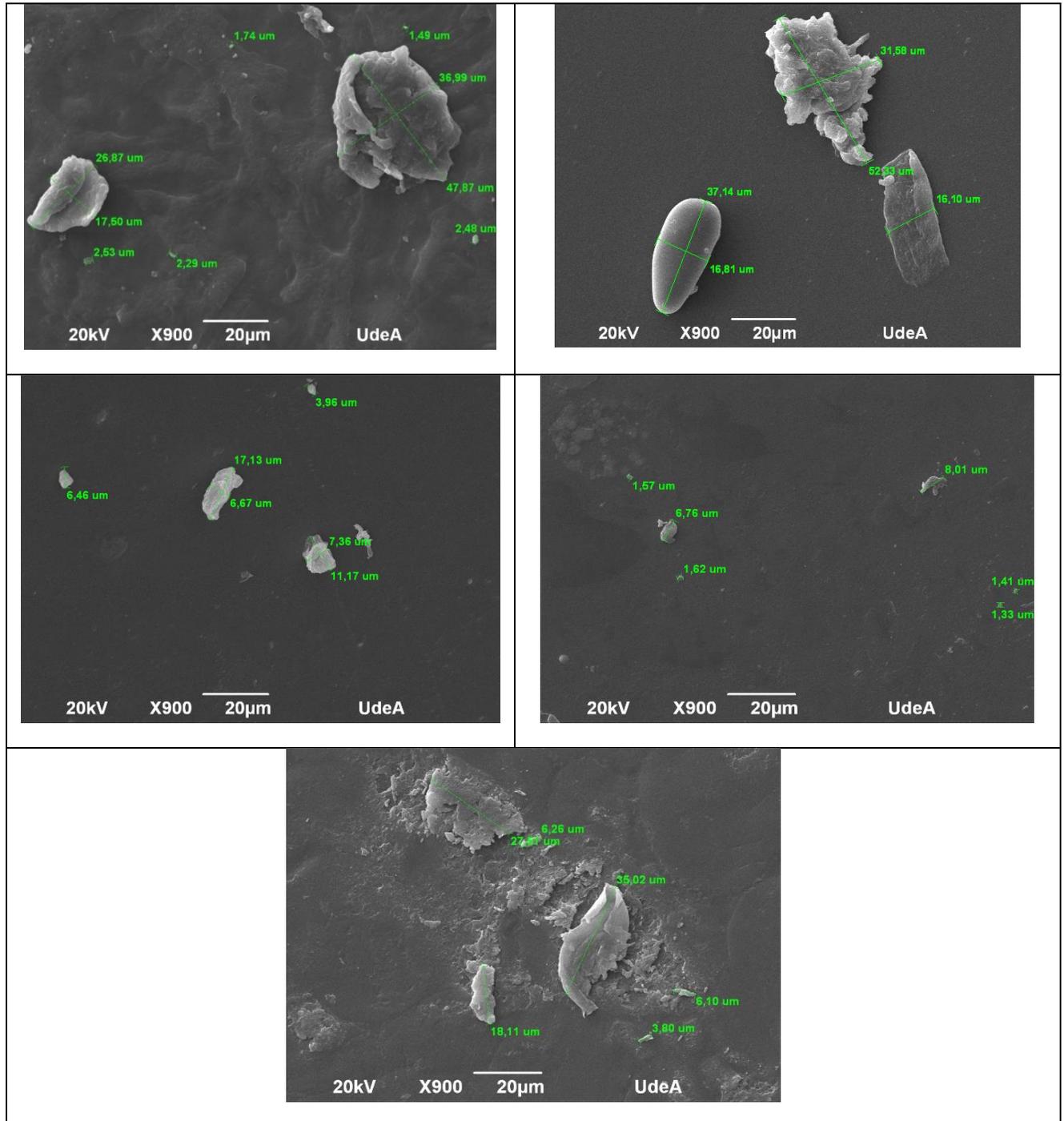


Fig 14. SEM de los recubrimientos obtenidos a partir de las formulaciones R1, R2, R3, R4 y R5.

En las micrografías se logra observar la matriz polimérica donde se acoplaron muy bien las moléculas de almidón, también se observan estructuras amorfas blanquecinas de diferentes tamaños entre 1,41 a 47,87 micrómetros, estas estructuras pueden deberse a la presencia de azúcares o compuestos de bajo peso molecular que pudieron haber sido desplazados en el recubrimiento por la pérdida de agua en el proceso de secado (Gómez Rodríguez, 2018).

La mayor cantidad de estructuras amorfas se presentó en los recubrimientos con mayor concentración de almidón (R1 y R2), lo que también puede sugerir parte no disueltas de éste. Mientras que el recubrimiento R5, que no contenía glicerol mostró gran cantidad de partículas, las cuales corresponden a fragmentos originados por rompimiento a la hora de su manipulación. En el recubrimiento R3 se observan partículas de 8,79 μm de diámetro aproximadamente, además presentó una textura más homogénea, lisa y con pocas rugosidades.

4.3.2 *Espesor.*

En la Tabla 4 se presenta el espesor promedio de los recubrimientos

Tabla 4. Espesor promedio de los recubrimientos obtenidos.

| FORMULADO | ESPEJOR PROMEDIO [MM] |
|------------------|------------------------------|
| R1 | 0,30 \pm 0,02 |
| R2 | 0,29 \pm 0,01 |
| R3 | 0,24 \pm 0,003 |
| R4 | 0,23 \pm 0,004 |

En la Tabla 4 se puede observar que los tratamientos que contenían una concentración de almidón de 4% p/v (R1 y R2) obtuvieron un mayor espesor en comparación con los que contenían un 3% p/v (R3 y R4), lo que indica que la concentración de almidón tiene un efecto sobre el espesor de

los recubrimientos, este comportamiento concuerda con lo reportado por Vázquez y colaboradores (Alma Vázquez, Santiago, Rivadeneyra Domínguez, & Díaz Sobac, 2018). Vale la pena destacar que la diferencia entre el espesor mayor (R1) y el menor (R4) fue de solo 0,07 mm lo que indica que no hay una diferencia significativa y que los dos valores de grosor están dentro del rango para el desarrollo de este tipo de materiales. Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los presentados por Ortiz y Escobar (Hoyos Ortiz & Escobar Cierra, 2014) donde obtuvieron películas quitosano de espesor promedio de 0,17 mm. Otros autores han reportado espesores entre 0,04 y 0,045 mm (Vázquez Luna, Santiago, Rivadeneyra Domínguez, & Díaz Sobac, 2018) y 0,16 mm (Cusme Rivas & Gómez Salvador, 2019).

Con el objetivo de obtener datos de espesor más exactos se realizaron mediciones en Microscopio Electrónico de Barrido a un aumento de 400x.

En la figura 15 se muestran las mediciones realizadas a cada uno de los recubrimientos y los valores de espesor se presentan en la tabla 5.

En la figura se logra observar que no hay una diferencia significativa entre ellos. Y los datos de la tabla 5 comprueban lo visto en las mediciones con tornillo micrométrico, es decir, a mayor concentración de almidón se consiguen mayores espesores de recubrimiento. No obstante, se obtuvieron valores de espesor más pequeños y exactos, esto es debido a los errores asociados con la medición con tornillo micrométrico y a la exactitud del microscopio electrónico.

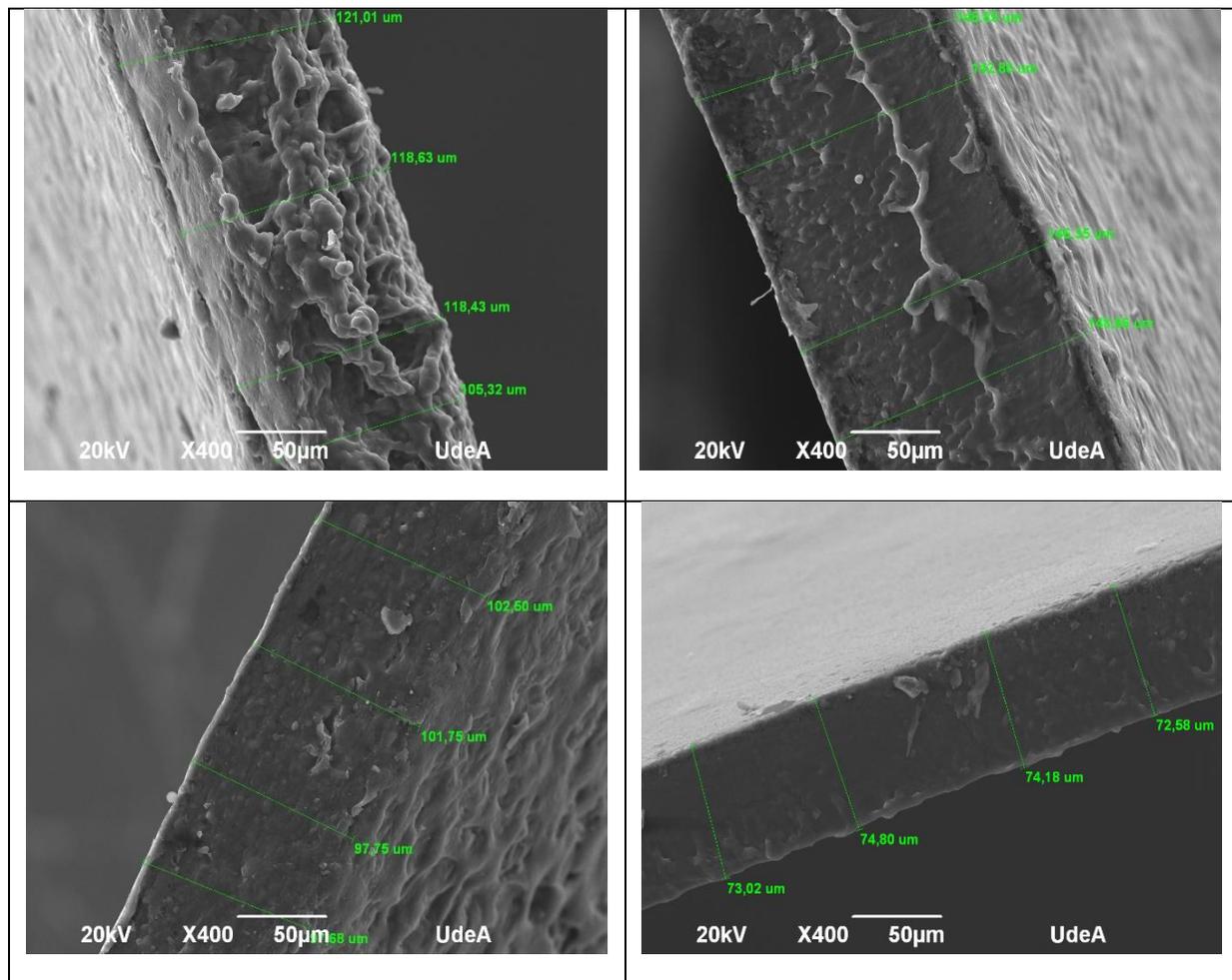


Fig 15. Mediciones de espesor mediante microscopía electrónica de barrido SEM.

Tabla 5. Resultados de las mediciones de espesor mediante microscopía electrónica de barrido

| RECUBRIMIENTO | MEDICIÓN 1 [µM] | MEDICIÓN 2 [µM] | MEDICIÓN 3 [µM] | MEDICIÓN 4 [µM] | ESPESOR PROMEDIO [µM] |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| R1 | 121,01 | 118,63 | 118,43 | 105,32 | 115,84 ± 7,12 |
| R2 | 148,85 | 142,80 | 146,35 | 148,66 | 146,66 ± 2,82 |
| R3 | 102,50 | 101,75 | 97,75 | 97,68 | 99,92 ± 2,56 |
| R4 | 73,02 | 74,80 | 74,18 | 72,58 | 73,645 ± 1,02 |

4.3.3 Permeabilidad al vapor de agua.

En la figura 16 se muestra el comportamiento de la pérdida de masa de agua a través del tiempo.

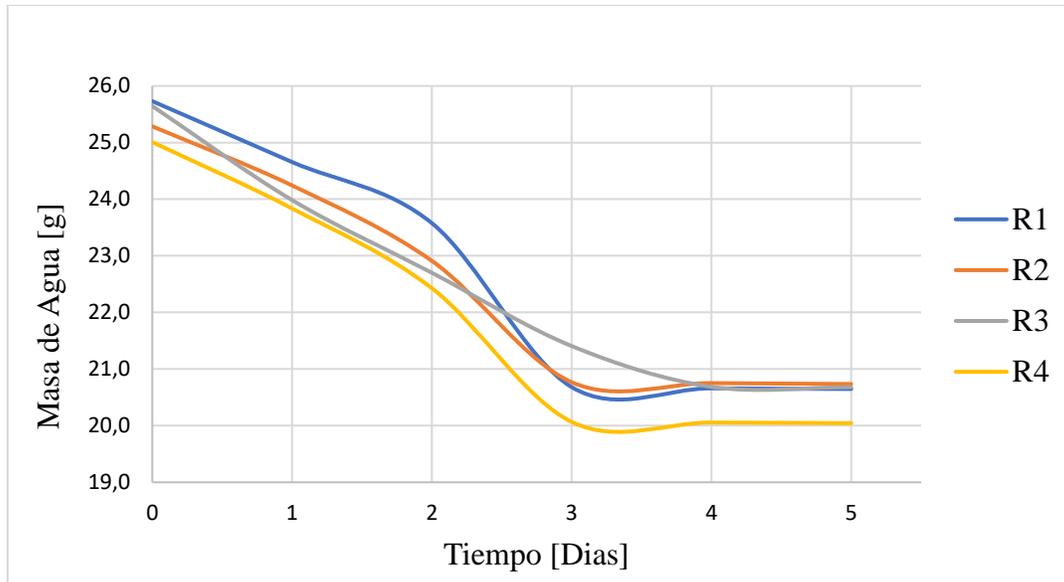


Fig 16. Pérdida de masa de agua a través del tiempo.

De manera general se puede decir que los recubrimientos se comportaron muy similar entre ellos, perdiendo la totalidad de masa al 4 día de prueba, con un disminución por etapas, para las muestras R1, R2 y R4, mientras que la muestra R3 fue gradual, lo que da a entender que el comportamiento de ésta formulación es más estable a la pérdida de masa, o que tiene un mejor comportamiento a la permeabilidad de vapor de agua, Se puede decir que los recubrimientos son aptos para ser utilizados en la protección de frutas debido a que permiten el intercambio de agua y gas entre esta y el ambiente. El recubrimiento R3 (3% almidón y 3% glicerol) mostró un comportamiento más uniforme en la pérdida de masa a través del tiempo en comparación con las otras formulaciones, las cuales presentaron pequeñas fluctuaciones entre los días 3 y 4, este comportamiento se puede atribuir a que los recubrimientos no presentan un espesor uniforme a nivel microscópico y que se pudieron presentar pequeñas fugas de agua debido a un mal sellamiento del recipiente de ensayo.

La importancia de esta figura radica en que nos permite determinar el cambio de masa en el tiempo (pendiente) necesaria para calcular el índice de permeabilidad de los recubrimientos y su posterior permeabilidad reportados en la figura 20.

Los valores de permeabilidad de vapor de agua encontrados en esta investigación se muestran en la figura 17.

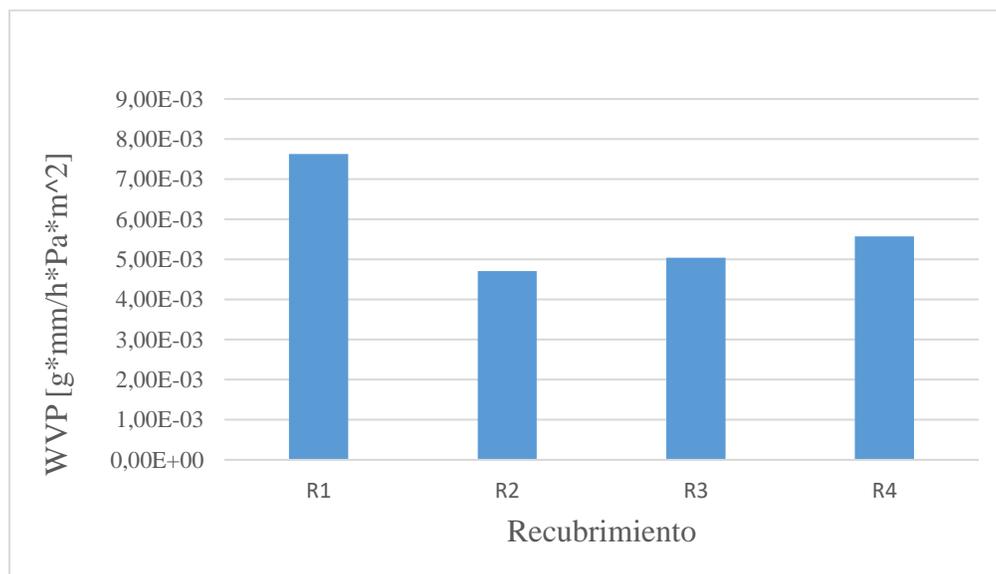


Fig 17. Permeabilidad al vapor de agua.

Una de las cualidades más importante en el diseño de recubrimientos es la permeabilidad al vapor de agua porque de esto depende que en los frutos se controle la pérdida de agua, evitando la pérdida de dureza y la ganancia de humedad que puede originar proliferación de microorganismos que afecten la calidad de los frutos.

El recubrimiento que mejor controló la pérdida de agua fue R2 (4% almidón y 2% glicerol) el cual presentó una permeabilidad de $4,7 \times 10^{-3}$ g*mm/h*Pa*m² seguido por R3 (3% almidón y 3% glicerol) con $5,04 \times 10^{-3}$ g*mm/h*Pa*m². La permeabilidad al vapor de agua puede ser afectada por la concentración de glicerol (plastificante) debido a que disminuye la fuerza intermolecular en la

matriz polimérica, otorgando una mayor movilidad molecular, aumentando su permeabilidad (Joaqui D & Villa C, 2013), en esta investigación se observó ese comportamiento porque el recubrimiento R1 que contenía la concentración más alta de glicerol obtuvo un valor de permeabilidad superior frente a los demás. Los valores de permeabilidad (WVP) observados en este trabajo difieren en orden de magnitud entre 7 y 8 de los reportados por Rueda (Granda Rueda & Novillo Logroño, 2021).

Koushesh y colaboradores desarrollaron un recubrimiento a base de Keifiran y almidón para prolongar la vida útil de guanábana en el cual obtuvieron valores de permeabilidad entre 2×10^{-7} y 7×10^{-7} $\text{g} \cdot \text{mm} / \text{h} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}^2$. Además, reportaron un comportamiento similar al observado en esta investigación con relación al aumento de la permeabilidad con la concentración de glicerol (plastificante). No obstante, ellos observaron que con una concentración de glicerol de 40% en el almidón las propiedades de barrea son más débiles, es decir, que puede existir un óptimo de glicerol para mejorar esta propiedad (Sadat Koushesh, Salcedo, & Vaca, 2017)

4.3.4 Pruebas mecánicas.

Las pruebas mecánicas permiten evaluar el comportamiento de los recubrimientos cuando se le aplica un esfuerzo, dos de los factores más importantes en estas pruebas son el porcentaje de elasticidad y la resistencia a la tensión.

En la figura 18 se reportan los porcentajes de elongación obtenidos para cada uno de los recubrimientos.

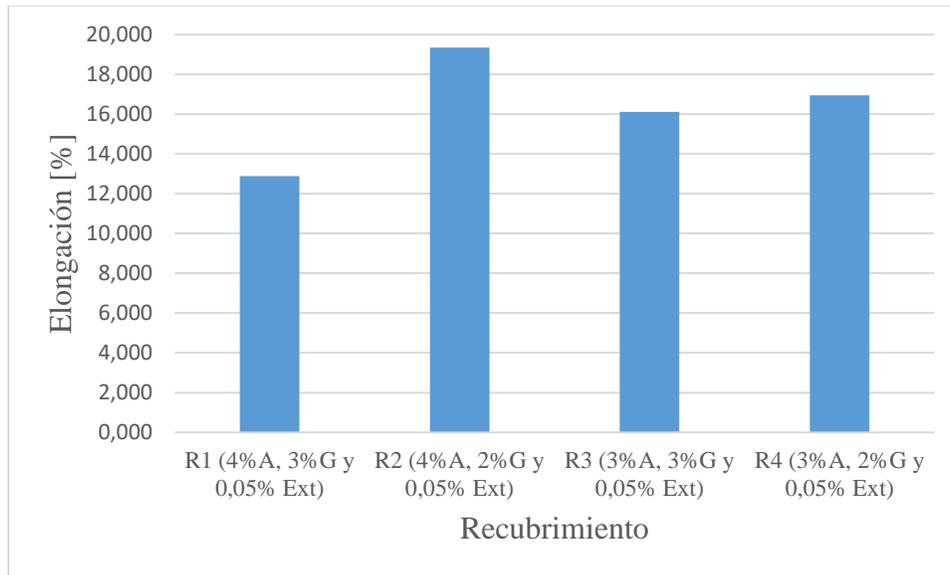


Fig 18. Porcentaje de elongación de los recubrimientos.

Mediante la manipulación de los recubrimientos se pudo evidenciar que estos presentaban características de elasticidad y flexibilidad. Durante la evaluación de los porcentajes de elongación todos los recubrimientos presentaron un comportamiento elástico semejante. No obstante, el recubrimiento R2 presentó una elongación de 19,350 %, la cual corresponde al valor más alto en comparación con los recubrimientos evaluados. Se evidenció que los formulados R2 Y R4 que contenían una concentración de 2% de glicerol formaron los recubrimientos con mayores porcentajes de elongación, esto efecto puede atribuirse a que el glicerol mejora las propiedades de elasticidad y flexibilidad en los recubrimientos, no obstante, el incremento en los valores de elongación implica una mayor deformación del recubrimiento debido a que el glicerol disminuye la atracción molecular entre las cadenas poliméricas incrementando su flexibilidad (Chan Lim, 2000). Los resultados obtenidos en este trabajo son similares a los presentados por Romero y colaboradores donde obtuvieron porcentajes de elongación de $16,88 \pm 1,93$ % en películas de almidón de plátano (Romero Bastida, Zamudio Flores, & Bello Perez, 2011), Sadat y colaboradores

observaron que la incorporación de glicerol en películas de almidón causo una disminución en la rigidez (Sadat Koushesh, Salcedo, & Vaca, 2017), otros autores han reportado

En la figura 19 se reportan los valores de resistencia a la tensión de los recubrimientos.

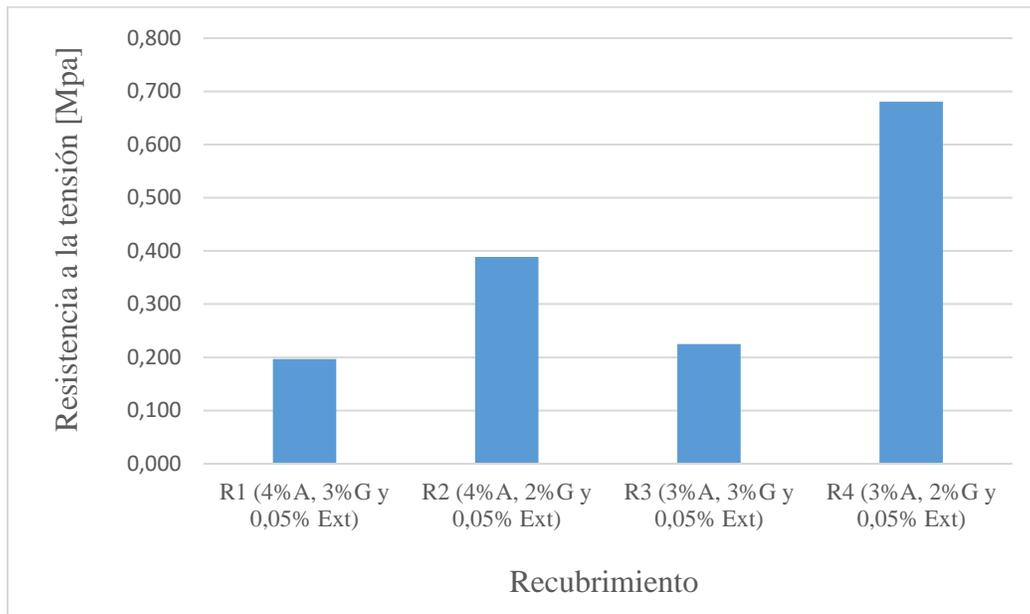


Fig 19. Resistencia a la tensión de los recubrimientos.

Se observó que los índices más altos fueron los obtenidos de las formulaciones R2 y R4 con valores de 0,389 y 0,681 MPa, respectivamente. Los recubrimientos que contenían 2% de glicerol es su formulación presentaron mayor resistencia a la tensión en comparación con los que contenían 3%, se observó que un aumento en la concentración de glicerol produce una disminución en la resistencia a la tensión, es decir, se requiere una fuerza menor para romper el recubrimiento.

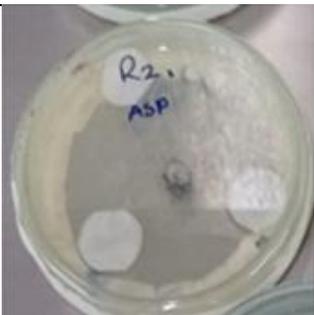
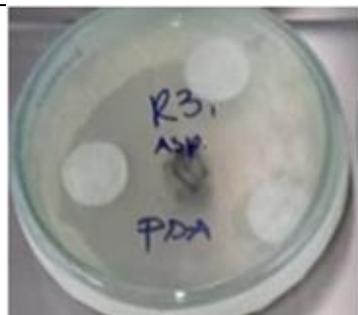
No obstante, al aumentar la concentración de almidón no se evidenció un aumento en la resistencia a la tensión debido a que los recubrimientos que presentaron mayor resistencia fueron R2 y R4, los cuales contenían una concentración de 3 y 4 % de almidón respectivamente, este comportamiento no concuerda con lo reportado por Sánchez y colaboradores que observaron que al aumentar la

concentración de almidón en películas de almidón de yuca también se incrementó la fuerza a la ruptura. (Sánchez, Garcia, & Pinzón, 2012).

Los valores de resistencia a la tensión obtenidos en este análisis son similares a los presentados por Romero y colaboradores donde reportaron valores entre $0,31 \pm 0,04$ y $3,61 \pm 1,31$ MPa en películas de almidón de plátano (Romero Bastida, Zamudio Flores, & Bello Perez, 2011), Contreras y colaboradores reportaron que la adición de glicerol sobre una matriz polimérica otorgó elasticidad a películas de almidón, además de otorgar una mayor capacidad de absorción de agua, sin embargo, se encontró que la adición de glicerol provocó valores menores de resistencia a la tensión (Contreras Chávez, Garnica Romo, & Martínez Flores, 2021), así como se evidenció en este trabajo, Anchundia y colaboradores reportaron valores entre 4,43 y 12,28 MPa de resistencia a la tensión en películas a base de cascara de plátano (Anchundia, Santacruz, & Coloma, 2016).

4.3.5 Pruebas antimicrobianas.

Las pruebas antimicrobianas se hicieron con las formulaciones R2 y R3 porque fueron las que presentaron mejor característica en la formación de recubrimiento, cabe aclarar que todas las formulaciones contenían la misma concentración de extracto de tomillo (0,05% v/v). En la figura 20 se muestran los antibiogramas para *Aspergillus* y en la. figura 21 los realizados para *Penicillium*. Las figuras presentan los cultivos y el blanco a día cero y luego de siete días de cultivo.

| Día | Blanco | R2 | R3 |
|-----|---|---|---|
| 0 |  |  |  |

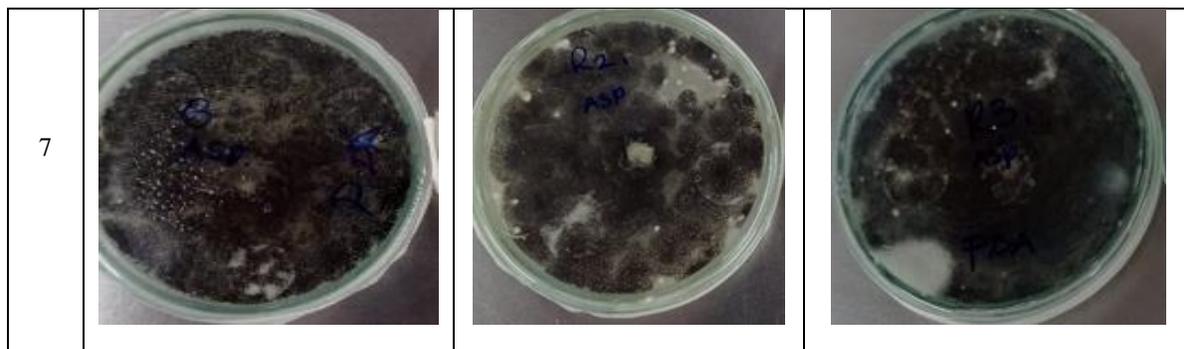


Fig 20. Resultados de los antibiogramas para *Aspergillus*.

| Día | Blanco | R2 | R3 |
|-----|--------|----|----|
| 0 | | | |
| 7 | | | |

Fig 21. Resultados de los antibiogramas para *Penicillium*

Luego de 7 días de cultivo se observó crecimiento del hongo *Aspergillus* en todas las muestras evaluadas incluyendo el blanco, por tanto, las formulaciones no ejercieron un efecto inhibitorio ni fungistático sobre este hongo. Sin embargo, en algunos reportes de literatura con diferentes extractos sobre *Aspergillus* si se han detectado efectos inhibitorios, por ejemplo, Ramos y colaboradores determinaron capacidad antimicótica de extractos de hojas de *Lomanthus*

truxillensis sobre *Aspergillus brasiliensis* donde determinaron una concentración mínima inhibitoria del 5% y halos de inhibición promedio de 9,66 mm (Anselmo Ramos, Flores Huertas, & Vílchez Caceda, 2018), durante los últimos años, se han generado diversos estudios donde se ha documentado los efectos antifúngicos de extractos y aceites esenciales de plantas sobre *Aspergillus*; Dikbás y colaboradores evaluaron aceite esencial y extracto metanólico de *Satureja hortensis* sobre *Aspergillus flavus*, los resultados de esa investigación mostraron una fuerte actividad antifúngica contra *Aspergillus flavus* de los compuestos evaluados mostrando que el aceite esencial y extracto de *S. hortensis* podría utilizarse como un fungicida para el control de este tipo de hongos (Dikbás, Kotan, Dadasoglu, & Sahin, 2008).

En la Figura 21 se pudo observar una disminución en la velocidad de crecimiento en cada uno los medios tratados, donde la formulación R3 generó una disminución mayor en comparación con la formulación R2. Estos resultados dejan en evidencia el poder protector del almidón potencializado con el extracto de tomillo sobre *Penicillium*, estos resultados son similares a los reportados por Lizcano y colaboradores donde evaluaron la capacidad antifúngica del extracto de tomillo contra hongos fitopatógenos (*Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Sclerotinia sclerotiorum*), se reportó que los porcentajes de inhibición más altos se dieron con tratamientos térmicos de 30 minutos. (Lizcano Gonzales, 2007), otros autores han reportado el poder antifúngico del extracto de tomillo en el control microbiano. Fiallos y Ortiz identificaron que el extracto de tomillo (*Thymus vulgaris*) presentó alta actividad antifúngica sobre *Candida albicans* y que esta aumenta en relación con la concentración de extracto, es decir, a mayor concentración de extracto mayor nivel de inhibición comparándose con la escala Duraffourd siendo muy sensible y sumamente sensible a las concentraciones de 75% y 100% respectivamente (Fiallos Reyes & Reinoso Ortiz, 2021, pág. 42). Naranjo y Montero evaluaron concentraciones de 1, 5, 10, 30, 50, 70 y 90% de extracto de tomillo

(*Thymus vulgaris*) diluido en etanol al 96,8%, donde determinaron la concentración mínima inhibitoria; los resultados obtenidos mostraron que el extracto de tomillo tiene un efecto inhibitorio claramente marcado sobre la cepa *Staphylococcus aureus* (Mira Naranjo & Montero, 2017). Se recomienda realizar estudios sobre la concentración mínima inhibitoria del extracto de tomillo para definir qué concentración debe ser utilizada en las formulaciones y así tener el mejor efecto inhibitorio frente a los microorganismos.

4.3.7 Pruebas de laboratorio.

Pérdida de peso.

La pérdida de peso se evaluó durante un periodo de 8 días, se pesaron cada uno de los plátanos tanto, los que estaban recubiertos de la formulación R3, como el control. Los resultados obtenidos se reportan en la tabla 6.

Tabla 6. Pérdida de peso de plátanos con y sin recubrimiento.

| FORMULADO | PESO INICIL [G] | PESO FINAL [G] | PESO PERDIDO [G] | % DE PERDIDA DE PESO | % DE PERDIDA DE PESO PROMEDIO |
|------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| | 263 | 220 | 43 | 16,35 | |
| R3 | 249 | 219 | 30 | 12,05 | 13,24 ± 2,72 |
| | 327 | 290 | 37 | 11,31 | |

| | 293 | 224 | 69 | 23,55 | |
|----------------|-----|-----|----|-------|--------------|
| CONTROL | 334 | 284 | 50 | 14,97 | 19,12 ± 4,30 |
| | 244 | 198 | 46 | 18,85 | |

En la tabla 6 se evidencia la pérdida de masa tanto para plátanos tratados con el recubrimiento R3 como para el control. Los plátanos que fueron sometidos al recubrimiento, presentaron un porcentaje de pérdida de peso de $13,24 \pm 2,72$, este valor fue menor a los obtenidos para los controles, los cuales obtuvieron un valor de $19,12 \pm 4,30$, esto indica que el recubrimiento fue eficiente en controlar la pérdida de agua y compuestos volátiles que generan pérdida de peso y maduración en el plátano. Según Baldwin y colaboradores los recubrimientos previenen la pérdida de peso, debido a que crean una barrera semipermeable al oxígeno, al dióxido de carbono, a la humedad, al movimiento de solutos, y a la reducción en la tasa de respiración (Baldwin, Nisperos, & Hagenmaier, 1996, pág. 39), Arcila y colaboradores señalan que la pérdida de peso de plátano *Domminico hartón* varían de acuerdo a la localidad y al clima, en su investigación reporto que estos frutos pierden mayor peso en época seca (Arcila, Giraldo, Celis, & Duarte, 2022).

En la figura 22 se observa el cambio de color en el proceso de maduración de plátanos con y sin recubrimientos,



Plátanos sin Recubrimientos

Plátanos con Recubrimiento

Fig 22. Proceso de maduración de plátanos con y sin recubrimiento.

En la figura se observó que los frutos tratados con el recubrimiento R3 no presentaron cambio en la coloración después de haber transcurrido 8 días de prueba, en cambio, los frutos que no fueron tratados presentaron coloración amarilla a partir del día 6 y al cabo del día 8 ya se encontraban completamente amarillos, color que indica que se encontraban en estado maduro. Adicionalmente, los plátanos tratados presentaron una apariencia más brillante, dándole un mejor aspecto a los frutos, se evidenció cualitativamente que el recubrimiento retrasó el proceso de maduración de los plátanos. Se recomienda realizar un análisis para evaluar el tiempo máximo en que se presenta maduración en plátanos tratados con recubrimiento, en comparación con plátanos sin tratar. Beltrán

evaluó el efecto de recubrimientos a base de almidón de yuca sobre la coloración de plátanos en almacenamiento, reportando una influencia sobre el color, donde se obtuvo un color predominante verde con ligero amarillamiento en plátanos tratados (Palacín Beltrán , 2012).

4.3.8 Pruebas en campo.

En la figura 23 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de campo

| Día | Plátanos con recubrimiento | Plátanos sin recubrimiento |
|-----|---|--|
| 0 |  |  |
| 8 |  |  |

Fig 23. Evaluación de los recubrimientos sobre plátano en campo.

La prueba se realizó por un periodo de 8 días. Los plátanos sumergidos el día cero en la formulación formadora del recubrimiento R3, presentaron un brillo mayor, mejorando su apariencia en comparación con plátanos que no fueron sumergidos en dicha formulación. Al transcurrir 8 días de prueba no se evidenció maduración en los plátanos tratados, tampoco se observa crecimiento de microorganismos que afecten los frutos y conservar el brillo presentado en el día de la impregnación. Los plátanos que no fueron sumergidos en la formulación presentaron maduración y amarillamiento de la cáscara, además presentaron una apariencia más desgastada. Estos resultados permitieron evidenciar que la aplicación de los recubrimientos sobre frutos de plátano tiene un efecto positivo en preservar por un tiempo más prolongado el estado verde en plátanos expuestos al ambiente, diferentes autores han reportado el efecto de recubrimientos a base de almidón en alargar la vida útil de los frutos.

Mota y colaboradores lograron preservar las características originales de guayaba mediante la utilización de recubrimientos con 7% de almidón de yuca y glicerina por más tiempo, conservando así su aroma, sabor y consistencia. (Amaiz Mota, Colivet, & Cañizares, 2018), así mismo, Ramos y colaboradores describieron las propiedades de los recubrimientos a base de almidón modificado y su efecto para extender la vida útil de frutas y verduras (Ramos , Romero, & Bautista , 2018), García y Pinzón evaluaron el efecto de recubrimientos a base de almidón de plátano guayabo en la calidad de fresas, de acuerdo a sus resultados establecieron que una formulación de recubrimiento adecuada para prolongar la vida útil de las fresas es de 4% de almidón de plátano, 2% de glicerol y quitosano al 1,5%. (García & Pinzón, 2016).

4.4 CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en el presente capítulo se concluyó que.

-
- Mediante microscopía electrónica de barrido se logró observar una matriz polimérica estable, donde se acoplaron las moléculas de almidón, se observaron partículas de almidón que no lograron integrarse a la matriz debido al desplazamiento por pérdida de agua en el proceso de secado. R3 fue el recubrimiento que presentó una matriz más compacta, estable y con menor cantidad de partículas que no se integraron a la matriz polimérica. Los recubrimientos permitieron el intercambio de vapor de agua entre el fruto y el ambiente, esto se evidenció mediante la permeabilidad al vapor de agua, donde el recubrimiento que más controló este proceso fue R2 con un valor de permeabilidad de $4,7 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mm} / \text{h} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}^2$.
 - Los recubrimientos que contenían 2% de glicerol en su formulación presentaron mejores propiedades mecánicas, es decir la adición de glicerol mejoro la flexibilidad y elasticidad de los recubrimientos. El análisis FTIR mostró un aumento en la intensidad de los picos presentes en los espectros de absorción de los recubrimientos en comparación con los que no contenían glicerol. El porcentaje de elongación más alto fue alcanzado por el recubrimiento R2 con 19,350% y el recubrimiento que mayor resistencia a la tensión obtuvo fue R4 con 0,681 MPa.
 - El recubrimiento R3 presentó una disminución en la velocidad de crecimiento para *Penicillium*, pero no para *Aspergillus*, por lo que se recomienda realizar pruebas para determinar la concentración mínima inhibitoria de extracto de tomillo y así ser más eficientes en el control de este tipo de hongos. En las pruebas de campo y laboratorio se evidencio que los recubrimientos retrasaron el proceso de maduración extendiendo la vida útil del plátano.

CAPITULO V

CONCLUSIONES.

- Se extrajo almidón de pulpa de plátano residual mediante método húmedo con rendimiento de extracción de 45,32%, y porcentaje de humedad y cenizas de $11,86 \pm 0,17$ y $0,20 \pm 0,02$ respectivamente. Se determinó que el plátano residual generado en los procesos de empaque de cajas con plátano para exportación es una fuente abundante de almidón que puede ser utilizada en la elaboración de recubrimientos.
- Se lograron desarrollar recubrimientos a partir de almidón extraído de pulpa de plátano con adición de glicerol como agente plastificante y extracto de tomillo como agente antimicrobiano. La adición de glicerol mejoró las propiedades físicas de los recubrimientos aumentando su elasticidad y flexibilidad. En cuanto a la permeabilidad al vapor de agua, los recubrimientos presentaron resultados similares. No obstante, R2 que contenía (4% almidón y 2% glicerol) presentó un mejor control en la pérdida de agua, con una permeabilidad de $4,7 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mm} / \text{h} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}^2$. Las pruebas antimicrobianas permitieron evidenciar el carácter antifúngico de extracto de tomillo mediante la disminución en la velocidad de crecimiento de *Penicillium*. Los recubrimientos obtenidos lograron retrasar el proceso de maduración a escala de laboratorio y en campo. Los plátanos tratados por inmersión en la formulación R3 no presentaron maduración, además dieron un mejor aspecto a los frutos.

- Se determinó que el recubrimiento que mejor características presentó correspondió al denominado R3, que contenía 3% p/v de almidón, 3% v/v de glicerol y 0,05% v/v, presentando un valor de permeabilidad al vapor de agua de $5,04 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mm} / \text{h} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}^2$, resistencia a la tensión de $0,225 \pm 0,02 \text{ MPa}$, porcentaje de elongación de $16,123 \pm 4,51$, y un porcentaje de pérdida de peso de $13,24 \pm 2,72$. Los plátanos tratados con este recubrimiento, presentaron en el proceso de maduración incrementando la vida útil del fruto.

REFERENCIAS

- Cartaya Diaz, N., Domínguez Palarea, E., Piedra Díaz, A. B., Duque Yanes, M., Torres Sánchez, J. M., Oramas González-Moro, J. J., . . . Perera González, S. (2011). Evaluación de eficacia de productos naturales para el control de la pudrición de corona (crown rot) en plátano. *BIOMUSA*.
- Dikbás, N., Kotan, R., Dadasoglu, F., & Sahin, F. (2008). Control of *Aspergillus Flavus* with Essential Oil and Methanol Extract of *Satureja Hortensis*. *International Journal of Food Microbiology*, 124.
- Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereir, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y Recubrimientos Comestibles: Una Alternativa Favorable en la Conservación Poscosecha de Frutas y Hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3).
- García, O., & Pinzón, M. (2016). Efectos de Recubrimientos de Almidón de Plátano Guayabo (*Musa paradisiaca* L.) en la Calidad de Fresas. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* .
- Oropeza González, R. A., Montes Hernández, A. I., & Padrón Pereira, C. A. (2016). Películas Biodegradables a Base de Almidón: Propiedades Mecánicas, Funcionales y Biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7.
- Aguilar Ancota, R., García Raymundo, R. B., José Antonio Dulanto Bejarano, J. A., & Maldonado Duque , E. A. (2013). Hongos asociados a la pudrición de corona en frutos de banano orgánico (*Mussa spp.* L) EN PIURA, PERU. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(1).

-
- Alma Vázquez, L., Santiago, M., Rivadeneyra Domínguez, E., & Díaz Sobac, R. (2018). Películas Comestibles a Base de Almidón Nanoestructurado Como Material de Barrera a la Humedad. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*(152).
- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., & Rada Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica*, 19(1).
- Amaiz Mota, S., Colivet, J., & Cañizares, A. (2018). Efecto del Recubrimiento Comestible a Base de Almidón de Yuca Sobre los Parámetros Químicos y Sensoriales de Cascos de Guayaba. *Revista Cumbres*, 5(1).
- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización Física de Películas Comestibles a Base de Cáscara de Plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutrición*, 43(4).
- Anselmo Ramos, R., Flores Huertas, R. E., & Vélchez Caceda, H. (2018). *Actividad Antimicótica del Extracto Etanólico de las Hojas de Lomanthus truxillensis Cabrera en Cepas de Candida Albicans ATCC 10231 Y Aspergillus Brasiliensis ATCC 16404, In Vitro*. Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima.
- Arcila, P., Giraldo, G., Celis, F., & Duarte, J. (2022). *Cambios Físicos y Químicos Durante la Maduración de Plátano Dominico-Hartón (Mussa AAB Simmonds) en la region Cafetera Central Colombiana*. XV Reunion Internacional Acorbat.
- ASTM D882-10. (s.f.). *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*. ASTM Internacional.
- ASTM E96/96-22. (s.f.). *Gravimetric Determination of Water Vapor Transmission Rate of Materials*.

-
- Astudillo Gomez, j., & Botina Macías, K. H. (s.f.). Elaboración de un Recubrimiento Comestible a Base de Almidón de Maíz y de Yuca para Tomate Chonto (*Lycopersicon esculentum* Mill).
- Baldwin, E., Nisperos, M., & Hagenmaier, R. (1996). Improving Storage Life of Cut Apple and Potato With Edible Coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9(2).
- Chan Lim, J. (2000). Reactive Blending of Biodegradable Polymers: PLA and Starch. *Journal of Polymers and the Environment*, 8(1).
- Clavijo, J. (3 de 2013). Caracterización de Materiales a Través de Medidas de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). *Elementos*(3).
- Contreras Chávez, R., Garnica Romo, G., & Martínez Flores, H. E. (2021). Desarrollo de una Película a Partir de Almidón Acetilado de Camote Morado como Potencial Alternativa en el Desarrollo de Biopelículas para Recubrimiento de Alimentos. *Maestría en Ciencias Biológicas*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacan.
- Contreras Pérez, R. K., Torre Gutiérrez, L., González Cortés, N., & Jiménez Vera, R. (2018). Caracterización Funcional de Almidones de Plátano Cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal*, 14(30).
- Cusme Rivas, K. E., & Gómez Salvador, A. S. (2019). Porcentaje de Almidones con Adición de Plastificantes Naturales en la Elaboración de un Recubrimiento. *Informe de Trabajo de Titulación*. Escuela Superior Politecnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta.
- Fiallos Reyes, V. E., & Reinoso Ortiz, S. (2021). Actividad Antifúngica del té verde (*Camellia sinensis*) y tomillo (*Thymus vulgaris*) Frente a *Candida albicans*. *Proyecto de titulación para optar al título de Odontóloga*. Universidad Nacional de Chinborazo, Riobamba.

-
- García Tejada, Y. V., Zamudio Flores, P. B., Bello Pérez, L. A., Romero Bastida, C. A., & Solorza Fera, J. (2011). Oxidación del Almidón Nativo de Plátano Para su Uso Potencial en la Fabricación de Materiales de Empaque Biodegradables: Caracterización Física, Química, Térmica y Morfológica. *Revista Iberoamericana de Polimeros*, 12(3).
- González Forte, L. (2015). Preparación y Caracterización de Materiales Compuestos a Base de Almidón. *5º Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales*.
- Granda Rueda, M. D., & Novillo Logroño, F. A. (2021). Polímeros a Base de Almidón como Sustitutos de los Plásticos de un Solo Uso. *Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación*. Universidad Central de Ecuador, Quito.
- Hoyos Ortiz, B. E., & Escobar Cierra, D. M. (07 de 2014). Caracterización Morfológica y Análisis Estructural de las Biopelículas de Quitosano Obtenido por Métodos Biotecnológicos.
- Joaqui D, D. F., & Villa C, H. S. (2013). Propiedades Ópticas y Permeabilidad de Vapor de Agua en Películas Producidas a Partir de Almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11.
- Lizcano Gonzales, M. C. (2007). Evaluación de la Actividad Antifúngica del Extracto de Tomillo (*Thymus vulgaris*) Contra *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Sclerotinia sclerotiorum*. *Tesis*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Lucas, J. C., Dumar Quintero, V., & Cárdenas Valencia, C. A. (2013). Caracterización de Harina y Almidón Obtenidos a Partir de Plátano Guineo AA Aea (*Musa Sapientum* L.). *Acta Agronómica*, 62(2).
- Mazzeo M, M., Alzate G, A., & Marín M, M. (2008). Obtención de Almidón a Partir de Residuo Poscosecha del Plátano Dominicano Hartón (*MUSA AAB SIMMONDS*). *Vector*, 3.

Menéndez, J. L. (29 de 04 de 2014). *Amilosa [Imagen]*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=i_s8Cndgg3k&t=606s

MINAGRICULTURA. (2018). *INDICADORES E INSTRUMENTOS CADENA PLÁTANO*.

Mira Naranjo, J. C., & Montero, M. (2017). Eficacia Antimicrobiana in Vitro del Extracto de Mastuerzo (*Tropaeolum majus*) y Tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre Cepa Certificada de *Staphylococcus aureus*. *Proyecto de Investigación*. Universidad Técnica de Ambato, Cevallos.

Montoya, J., Quintero, V., & Lucas, J. C. (2014). Evaluación Fisicotermica y Reologica de Harina y Almidón de Plátano Dominic Hartón (*Musa Paradisiaca* ABB). *Temas Agrarios*, 19(2).

Palacín Beltrán, J. R. (2012). *Efectos de Recubrimientos de Almidón de Yuca, Ácido Ascórbico, N-Acetil-Cisteína en la Calidad de Plátano (Musa Paradisiaca)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Pauta luna, D., Chiralt, A., & Sapper, M. (2018). Recubrimientos Comestibles a Base de Almidón de Galeno para la Conservación Postcosecha de Manzana. *Universidad Pontificia de Valencia*.

Ramos, M. L., Romero, C., & Bautista, S. (2018). Almidón Modificado: Propiedades y Usos Como Recubrimientos Comestibles Para la Conservación de Frutas y Hortalizas Frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1).

Reyes González, L. R., & Regalado González, C. (2013). *Caracterización de Dispersiones Filmogénicas a Base de almidón de maíz y Ácido Oleico en Nanoemulsión con Capacidad de Formación de Recubrimientos Comestibles Activos*. Santiago de Queretaro.

Romero Bastida, C. A., Zamudio Flores, P. B., & Bello Perez, L. A. (2011). Antimicrobianos en Películas de Almidón Oxidado de Plátano: Efecto Sobre la Actividad Antibacteriana

-
- Microestructura, Propiedades Mecánicas y de Barrera. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10, 450.
- Ruelas-Chacón, X., Reyes-Vega, M., Valdivia Urdiales, B., Contreras Esquivel, J. C., Montañez-Saenz, J. C., Aguilera-Carbó, A. F., & Peralta Rodríguez, R. D. (2013). Conservación de Frutas y Hortalizas Frescas y Mínimamente Procesadas con Recubrimientos Comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9).
- Ruiz Avilés, G. (2006). Obtención y Caracterización de un Polímero Biodegradable a partir del Almidón de Yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 2(4).
- Sadat Koushesh, K., Salcedo, F., & Vaca, A. (2017). *Desarrollo de Recubrimientos a Base de Kefiran y Almidón Para Prolongar la Vida Útil de Guanabana (Annona Muricata)*. Universidad de los Andes.
- Sanchez, T., Garcia, O., & Pinzón, M. (04 de 2012). Elaboración y Caracterización de Almidón de Yuca (Manihot Esculenta) Variedad ICA Cultivada en el Departamento del Quindío. *Redalyc*, 19(1).
- Sánchez, T., Garcia, O., & Pinzón, m. (2012). Elaboración y Caracterización de Películas de Almidón de Yuca (Manihot esculenta) Variedad ICA Cultivada en el Departamento de Quindío. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 19.
- Torres Becerril, M., Carmona García, R., & Aguirre Cruz, A. (2015). Obtención y Caracterización Estructural y Funcional de Almidón Acetilado de Malanga (Colocasia esculenta Schott). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4).
- Valerio Davila, F. (2014). Determinación de los Parámetros Para la Extracción de Almidón de Plátano Bellaco (Musa Paradisica). *Investigación Universitaria*, 3.

Vázquez Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra Domínguez, E., & Díaz Sobac, R. (2018). Películas Comestibles a Base de Almidón Nanoestructurado Como Material de Barrera a la Humedad. *Bioteología y Ciencias Agropecuarias*.

Anexos

Anexo 1. Datos de permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos.

| Formulado | Espesor (mm) | Diámetro (m) | Área (m ²) |
|-----------|--------------|--------------|------------------------|
| R1 | 0,32 | 4,83E-02 | 1,83E-03 |
| R2 | 0,22 | 4,87E-02 | 1,86E-03 |
| R3 | 0,22 | 4,87E-02 | 1,86E-03 |
| R4 | 0,24 | 4,90E-02 | 1,89E-03 |

| Tiempo (Días) | R1 | | R2 | | R3 | | R4 | |
|------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | Masa (g) | dm/dt |
| 0 | 25,7 | -1,1 | 25,3 | -1,0 | 25,6 | -1,3 | 25,0 | -1,2 |
| 1 | 24,7 | -1,1 | 24,2 | -1,3 | 24,3 | -1,6 | 23,8 | -1,4 |
| 2 | 23,6 | -2,9 | 22,9 | -2,1 | 22,7 | -1,3 | 22,4 | -2,4 |
| 3 | 20,7 | 0,0 | 20,8 | 0,0 | 21,4 | -0,7 | 20,1 | 0,0 |
| 4 | 20,7 | 0,0 | 20,8 | 0,0 | 20,7 | 0,0 | 20,1 | 0,0 |
| 5 | 20,6 | 4,1 | 20,7 | 4,1 | 20,7 | 4,1 | 20,0 | 4,0 |

| Formulado | Pendiente | WVT (g/día*m ²) | HR in | HR ex | Temp (K) | S (Pa) | Permeanza (g/h*Pa*m ²) | WVP (g*mm/h*Pa*m ²) |
|-----------|-----------|--------------------------------|-------|----------|-------------|--------|---------------------------------------|------------------------------------|
| R1 | -1,017 | -5,54E+02 | 0,34 | 0,68 | 296,15 | 2803 | 2,42E-02 | 7,63E-03 |
| R2 | -0,910 | -4,89E+02 | 0,34 | 0,68 | 296,15 | 2803 | 2,14E-02 | 4,71E-03 |
| R3 | -0,993 | -5,34E+02 | 0,34 | 0,68 | 296,15 | 2803 | 2,33E-02 | 5,04E-03 |
| R4 | -0,993 | -5,27E+02 | 0,34 | 0,68 | 296,15 | 2803 | 2,30E-02 | 5,57E-03 |

Anexo 2. Datos de las pruebas mecánicas.

| Espesor | Ancho [mm] | Área [mm] | Longitud Característica [mm] |
|---------|------------|-----------|------------------------------|
| 0,3 | 16 | 4,8 | 80 |

| Recubrimiento | Resistencia a la tensión | % Elongación |
|-------------------|--------------------------|-------------------|
| R1,1 | 0,24669708 | 18,70415 |
| R1,2 | 0,21027188 | 16,5997125 |
| R1,3 | 0,19868215 | 7,4475625 |
| R1,4 | 0,13245477 | 8,81790625 |
| Promedio | 0,19702647 | 12,8923328 |
| Desviación | 0,04127607 | 5,59071727 |

| Espesor | Ancho [mm] | Área [mm] | Longitud Característica [mm] |
|---------|------------|-----------|------------------------------|
| 0,29 | 16 | 4,64 | 80 |

| Recubrimiento | Resistencia a la tensión | % Elongación |
|-------------------|--------------------------|-------------------|
| R2,1 | 0,51040754 | 18,728025 |
| R2,2 | 0,35454483 | 18,7280375 |
| R2,3 | 0,47272651 | 24,7140125 |
| R2,4 | 0,21752263 | 15,2315 |
| Promedio | 0,38880038 | 19,3503938 |
| Desviación | 0,11439122 | 3,93735791 |

| Espesor | Ancho [mm] | Área [mm] | Longitud Característica [mm] |
|---------|------------|-----------|------------------------------|
|---------|------------|-----------|------------------------------|

| | | | |
|------|----|------|----|
| 0,24 | 16 | 3,84 | 80 |
|------|----|------|----|

| Recubrimiento | Resistencia a la tensión | % Elongación |
|---------------|--------------------------|--------------|
| R3,1 | 0,2587007 | 9,63616375 |
| R3,2 | 0,20696057 | 18,7280125 |
| R3,3 | 0,20282135 | 19,6103875 |
| R3,4 | 0,23179583 | 16,516425 |

Promedio 0,22506962 16,1227472

Desviación 0,02235629 4,51596388

| Espesor | Ancho [mm] | Área [mm] | Longitud Característica [mm] |
|---------|------------|-----------|------------------------------|
| 0,23 | 16 | 3,68 | 80 |

| Recubrimiento | Resistencia a la tensión | % Elongación |
|---------------|--------------------------|--------------|
| R4,1 | 0,47295 | 8,90659375 |
| R4,2 | 0,6198019 | 18,344675 |
| R4,3 | 1,09923043 | 24,5318875 |
| R4,4 | 0,5312587 | 16,0271875 |

Promedio 0,68081026 16,9525859

Desviación 0,24716848 6,45440616