



Desarrollo de recubrimientos a base de fibroína con adición de *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo para protección de bananos tipo exportación

Manuela Gómez Salas

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

Bioingeniera

Diana Marcela Escobar Sierra, PhD.

Claudia Patricia Ossa Orozco, PhD.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Programa de Bioingeniería

Medellín, Colombia

2022

Referencia

- [1] M. Gómez Salas, “Desarrollo de recubrimientos a base de fibroína con adición de *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo para protección de bananos tipo exportación”, Proyecto de investigación, pregrado, Universidad de Antioquia, Medellín, 2021.

Estilo IEEE (2020)



Grupo de investigación en Biomateriales – Biomat.

Coordinador de prácticas: Javier Hernando García Ramos.

Asesoras: Diana Marcela Escobar Sierra, Claudia Patricia Ossa Orozco.

**Cendoi**

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Coordinador Programa: John Fredy Ochoa Gómez

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

Me llena de orgullo y satisfacción poder dedicarle mi proyecto de investigación a mi mamá, quien incansablemente estuvo conmigo en todo momento, en las altas y bajas de mi proceso tanto académico, como personal. "*El esfuerzo y sacrificio siempre traen su recompensa*", es una frase que ella siempre me dice, de verdad no encuentro otro modo de agradecerle a Dios y a la vida poder terminar esta etapa con ella presente. No sé qué sería de mí sin su ayuda, compañía y amor incondicional. Gracias por creer en mí, cuando ni yo misma lo hacía.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad que me acogió y me mostró la realidad, a mis profesores, de manera muy especial a mis asesoras Diana Marcela y Claudia, por su orientación y ayuda durante la realización de este proyecto, más que sus conocimientos técnicos, agradezco la paciencia y motivación, sin las cuales no hubiese podido culminarlo.

Gracias al grupo de investigación en Biomateriales, Biomat y a todos sus integrantes, particularmente a Yuli, Fran, Lili, Andre, Gio, Diego, gracias por los tintos, los consejos, su tiempo; me impulsaron a no tirar la toalla y aportaron de muchas formas a mi proyecto y a mí vida.

Gracias a mis padres, que con su continuo esfuerzo pudieron permitir que yo culminara mi proceso académico. A mis abuelitas por sus oraciones y sin dejar atrás al resto de la familia, agradezco a quienes sienten este triunfo como de ellos.

No puedo dejar pasar la oportunidad de agradecerle a mis amigos, los hermanos que me deja la universidad, Manu, Pau, Juli, Fiore, Mafe, Carlos, Airon y Yaxis, por su constante apoyo.

A todas las personas que de una u otra forma aportaron a mi proceso académico y me permitieron culminar de manera satisfactoria mi proyecto, ¡muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
1.1 Introducción y planteamiento del problema	11
1.2 Antecedentes	13
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo General	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
Referencias.	17
MARCO TEÓRICO	20
2.1 Generalidades del banano	20
2.1.1 Proceso de cosecha y poscosecha.	21
2.1.2 Afecciones al fruto	23
2.1.3 Control biológico de patógenos.	24
2.2 Biopelículas	24
2.3 Materiales usados en la fabricación de películas protectoras.	25
2.3.1 Biopolímeros.	26
2.3.2 Fibroína	26
2.3.3 Aceites esenciales	27
2.3.3.1 Aceite esencial de tomillo.	28
2.3.4 Aloe vera	28
Referencias	29
EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FIBROÍNA	32
3.1 Introducción	32

3.2 Metodología	34
3.2.1 Proceso de extracción	34
3.2.2 Caracterización	36
3.3 Resultados y discusión	37
3.3.1 Extracción de fibroína	37
3.3.2 Caracterización	38
Referencias	41
ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FORMULADOS. ¡Error! Marcador no definido.	
4.1 Introducción	¡Error! Marcador no definido.
4.2 Metodología	44
4.2.1 Formulación de compuestos	44
4.2.2 Caracterización química y morfológica	46
4.2.3 Prueba de permeabilidad al vapor de agua	47
4.3 Resultados y discusión	48
4.3.1 Formulación de compuestos	48
4.3.2 Caracterización	51
4.2.3 Prueba de permeabilidad al vapor de agua.	59
Referencias	61
APLICACIÓN SOBRE EL FRUTO.	64
5.1 Introducción	64
5.2 Metodología	67
5.2.1 Limpieza de los frutos	68
5.2.2 Aplicación del recubrimiento	68
5.2.3 Pérdida de peso y evaluación de propiedades organolépticas	68

5.2.4 Actividad antimicrobiana y antifúngica de los recubrimientos	68
5.3 Resultados y discusión	68
5.3.1 Limpieza de los frutos	68
5.3.2 Aplicación del recubrimiento	69
5.3.3 Pérdida de peso y evaluación de propiedades organolépticas	70
5.3.4 Actividad antimicrobiana y antifúngica de los recubrimientos	73
Referencias	74
ANEXOS.	76
Capítulo 6	77
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	77
6.1 Conclusiones	77
6.2 Perspectivas	78

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CONCENTRACIÓN DE FIBROÍNA.	38
TABLA 2 - FORMULACIÓN DE COMPUESTOS.	45
TABLA 3 - PELÍCULAS OBTENIDAS	49
TABLA 4 - PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS.	50
TABLA 5 - ÍNDICE DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA.	60
TABLA 6 - PÉRDIDA DE PESO DE BANANOS.	70
TABLA 7 - PROCESO DE MADURACIÓN DE BANANOS.	71

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Fig 1. Planta del banano y sus partes. [2].....	21
Fig 2. Proceso de cosecha del banano. Fuente: autoría propia.....	22
Fig 3. Proceso de poscosecha del banano. Fuente: autoría propia.	23
Fig 4. Biopelículas, modificado de [17].....	25
Fig 5. Capullo de gusano de seda (<i>Bombix mori</i>), Fuente: autoría propia	27
Fig 6. Estructura molecular de la fibroína [21].	27

CAPÍTULO 3

Fig 7. Estructura de la fibroína [3]	33
Fig 8. Desengome de fibroína. Fuente: Autoría propia.....	35
Fig 9. Solubilización de fibroína. Fuente: Autoría propia.....	35
Fig 10. Fibroína en diálisis. Fuente: Autoría propia.	36
Fig 11. A. Capullos de gusano de seda sin tratar. B. Capullos cortados. C. Fibroína desengomada en forma de madeja. D. Proceso de disolución de fibroína. E. Solución de fibroína sin dializar. F. Proceso de diálisis. G. Solución de fibroína dializada. Fuente: Autoría propia.....	37
Fig 12. FTIR, fibroína en solución.....	39
Fig 13. Uv-vis de la fibroína en transmitancia.	40
Fig 14. Uv-vis de la fibroína en absorbancia.	41

CAPÍTULO 4

Fig 15. Medidas de espesor de las películas, autoría propia.	46
Fig 16. Montaje para el ensayo de permeabilidad al vapor de agua. Fuente: autoría propia.	47
Fig 17. A. sujeción de la película al tubo, B. pesaje del sistema, C y D disposición en la cámara de desecación, Fuente: autoría propia.	47
Fig 18. A. Compuesto 1. B. Compuesto 2. C. Compuesto 3. D. Compuesto 4.....	48
Fig 19. FTIR para el aceite esencial de tomillo.....	52
Fig 20. FTIR para el <i>Aloe vera</i>	53
Fig 21. FTIR compuestos de fibroína.....	54
Fig 22. SEM compuesto 1, A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.....	56
Fig 23. EDS compuesto 1.....	57

Fig 24. SEM, compuesto 2. A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.....	58
Fig 25. SEM, compuesto 3. A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.....	58
Fig 26. SEM, A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.....	59
Fig 27. Pérdida de peso por compuestos.....	60
CAPÍTULO 5	
Fig 28. Banano tipo Cavendish.....	65
Fig 29. Escala de maduración de Von Loesecke [5].....	66
Fig 30. Bananos lavados y secos.....	69
Fig 31. A. Sistema de sujeción. B. Estructura para almacenamiento de bananos.....	69

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

FTIR	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier
SEM	Microscopía electrónica de barrido
EDS	Espectroscopía de rayos X

RESUMEN

El presente estudio explora las posibilidades de conformación de recubrimientos para bananos de tipo exportación, a partir de la Fibroína, proteína presente en el capullo del gusano de seda *Bombyx mori*, con aditivos antibactericidas y antifúngicos como lo son: el *Aloe vera* y el aceite esencial de tomillo. Se realizó una extracción exitosa de la fibroína empleando el protocolo del grupo en biomateriales BioMat y se logró la formulación de diferentes compuestos, caracterizados mediante FTIR, SEM y EDS, además del índice de permeabilidad al vapor de agua. Posteriormente, se realizó una aplicación de estos compuestos en el fruto y se analizó el comportamiento de la matriz biopelícula+fruto, se analizaron propiedades organolépticas pasados diez días y se concluyó que el mejor recubrimiento es el compuesto C4, pues cumple con las características de permeabilidad, pérdida de peso, maduración controlada y propiedades organolépticas óptimas, impulsando este compuesto como un potencial recubrimiento para alimentos climatéricos.

***Palabras clave* — Recubrimientos, biomaterial, fibroína, *Aloe vera*, aceite esencial, banano.**

ABSTRACT

This study explores the possibilities of forming coatings for export bananas from fibroin, a protein present in the cocoon of the silkworm *Bombyx mori*, with antibacterial and antifungal additives such as *Aloe vera* and thyme essential oil. A successful extraction of fibroin was carried out using the BioMat biomaterials group protocol and the formulation of different compounds was achieved, characterized by FTIR, SEM and EDS, in addition to the water vapor permeability index. Subsequently, these compounds were applied to the fruit and the behavior of the biofilm+fruit matrix was analyzed. Organoleptic properties were analyzed after ten days and it was concluded that the best coating is compound C4, since it meets the characteristics of permeability, weight loss, controlled ripening and optimal organoleptic properties, promoting this compound as a potential coating for climacteric foods.

***Keywords* — Coating, biomaterial, fibroin, *Aloe vera*, essential oil, banana.**

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción y planteamiento del problema

Colombia cuenta con una larga tradición como productora y exportadora de banano. Existen dos tipos de este producto: banano de exportación y banano criollo o de consumo interno. Los principales productores de banano a nivel mundial son Ecuador y Bélgica con un 35.71% de la producción total del mundo, mientras que Colombia figura en un tercer lugar con un 8.81% [1]. Entre los principales destinos se encuentran: Europa, Norte América, Medio Oriente, Cono Sur y Asia. Específicamente a países como EE. UU., Canadá, Inglaterra, Alemania, Holanda, Emiratos Árabes Unidos, Egipto, Chile, China y Japón, quienes son los principales importadores del banano [2].

Las pérdidas en las cosechas pueden ser provenientes de diferentes factores como lo son la recolección, el embalaje, almacenamiento o transporte y se deben principalmente a malas prácticas agrícolas o falta de conocimientos sobre manipulación poscosecha. Dentro de los problemas en la poscosecha se encuentran: daños mecánicos, deshidratación, maduración prematura, daños por insectos o infecciones causadas por hongos o bacterias, que finalmente impiden su posible exportación [3]. Entre los hongos que causan la pudrición del fruto se encuentran el *Fusarium pallidoroseum* (si *F. semitectum*, *F. roseum*), *C. musae* y *Verticillium theobromae* así como un complejo de especies de *Fusarium*, *Cephalosporium*, *L. theobromae* entre otros. Por otra parte, las enfermedades más usuales en los cultivos bananeros de América Latina son conocidas como Sigatoka negra, Sigatoka amarilla, moco del plátano, siendo las dos primeras causadas por una sepa del hongo *Fusarium oxysporum* y la última es causado por la raza 2 de la bacteria *Ralstonia solanacearum*, existen muchas más alteraciones en el fruto del banano a causa de bacterias u hongos principalmente [4].

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha definido el manejo integrado de plagas (MIP), como “la metodología que emplea diferentes procedimientos aceptables desde el punto de vista económico, ecológico y toxicológico para

mantener las poblaciones de organismos nocivos por debajo del umbral económico, aprovechando, en la mayor medida posible, los factores naturales que limitan la propagación de dichos organismos”[5], con base a la definición anterior, se plantean alternativas de carácter sostenible, por lo tanto se requiere un cambio en las prácticas agrícolas que disminuyan la implementación de insecticidas altamente contaminantes y se reemplacen por controles de tipo biológico [6].

Con el fin de disminuir las pérdidas de productos agrícolas, se ha trabajado en la aplicación de recubrimientos para la preservación de las frutas, lo cual representa una gran ventaja pues prolonga su vida útil, toda vez que la protege de la humedad, evitando una cantidad de reacciones enzimáticas que aceleran el proceso de maduración, proceso que debe retardarse en frutos que sean de calidad de exportación, como el banano. Los materiales empleados para la fabricación de las películas protectoras normalmente provienen de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas, así como mezclas de éstos. Los recubrimientos proporcionan una barrera semi-permeable a los gases y al vapor de agua, además puede actuar como portadores de ingredientes funcionales como agentes antimicrobianos y antioxidantes [7], útiles en la prevención de enfermedades producidas por hongos o bacterias. Entre los polímeros usados para fabricar recubrimientos están el quitosano y en la actualidad se están investigando polímeros como fibroína y la sericina [8][9].

La fibroína es un biomaterial que tiene la forma de filamento continuo recubierto por sericina [9], ambos provenientes del capullo del gusano de seda (*Bombyx mori*), y que han sido ampliamente usados en el área de bioingeniería pues poseen cualidades de biocompatibilidad y biodegradabilidad útiles en múltiples aplicaciones, además pueden funcionar como portadores de fármacos y otros formulados que permitan el control de plagas producidas por agentes infectantes [10]

Por otro lado, también suelen usarse esenciales que son aditivos extraíbles de plantas, frutos, arboles, especias y semillas y su implementación en este campo es muy usual [11], ya que potencian la actividad de inhibición en el crecimiento de fitopatógenos generando efectos fungicidas y bactericidas [12]. En particular, el aceite esencial de tomillo como componente principal tiene el Timol, alcanzando concentraciones de hasta el 80% en algunos casos, dicho componente es altamente reconocido por su actividad antibacteriana y antifúngica

implementándose en la industria de desinfectantes, enjuagues bucales, entre otros. Se ha evaluado su capacidad antimicrobiana en plantas de tomate de árbol, obteniendo resultados positivos en el control [13].

Se conoce también al *Aloe vera*, como un excelente limpiador y antiséptico natural que tiene propiedades bactericidas y fungicidas, que en combinación con otros materiales potencia la acción antimicrobiana que posee [14].

En tal sentido, conociendo las ventajas de estos materiales por separado, en este proyecto se propone la unión de todos ellos, en la fabricación de un recubrimiento a base de fibroína, con adiciones de *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo para su aplicación en la protección de bananos de tipo exportación.

1.2 Antecedentes

Desde los siglos XII y XIII se implementa el uso de biopelículas con el fin de imitar la capa natural que protege a algunos alimentos como frutas y verduras. En China utilizaban ceras de cítricos para evitar la pérdida de humedad de los alimentos y así inhibir el proceso de maduración en un periodo corto de tiempo, numerosas técnicas se implementaban entonces para evitar la pérdida por daño o pudrición de los mismos, una de ellas la técnica de enmantecado, que consistía en engrasar la capa externa de los alimentos para que, de manera similar a la cera, se evitara la pérdida de humedad, posteriormente se empleaban gelatina para la protección de la carne y ceras parafinadas para la protección de frutas [15]

En la búsqueda de materiales que sirvan para recubrimientos se encontró que el Quitosano es un potencial material para recubrimientos, ideal para bayas (fresas, moras) debido a sus propiedades antifúngicas y que es posible formar películas con él, pero por su sabor amargo y astringente no es altamente empleado en el mercado real [16][17]. Por otro lado, los recubrimientos a base de almidones comestibles como yuca y arroz han sido aplicados en frutos como toronja, piña, guayaba, pera y mango [8][18][7].

Con el fin de conocer algunos tratamientos realizados a bananos, que propendan a alargar la vida útil del mismo, se muestra, a continuación, los estudios y resultados obtenidos por diferentes autores.

Hurtado, en su investigación, separó e identificó 10 géneros de hongos responsables de daños poscosecha del banano (*Musa acuminata*), en el método hidrotérmico evaluado se ensayaron dos variables de diseño: temperatura del agua de: 40, 45 y 50 °C y los tiempos de inmersión de: 1, 5, 10 y 20 min, respectivamente. A la par, otros bananos se trataron con fungicidas. Se observó que el buen manejo hidrotérmico, es decir, la variación controlada de temperatura y tiempo de inmersión, no alteró las características físico-químicas del producto durante la conservación poscosecha, ni se distorsionaron las características sensoriales: apariencia general, olor, textura, sabor y dulzor con respecto al tratamiento convencional con fungicida [19].

Guzmán, en su investigación, evaluó el efecto del ácido giberélico (AG_3) en la vida útil del banano dulce *Musa*, se realizaron tres tratamientos a diferentes concentraciones del ácido y se hicieron controles en cuanto a los tiempos de maduración. Finalmente se concluyó que la aplicación del ácido giberélico por aspersion, proporcionó 1,5 días de vida útil adicional, y que después de 10 días de almacenamiento las concentraciones de AG_3 1350 mg/l y 1889 mg/l fueron las más propicias para el almacenamiento posterior a la cosecha [20].

Villarreal, *et al*, en su trabajo, establecieron ciertos parámetros para la conservación del fruto del banano, implementaron un recubrimiento con dos ceras de origen natural (Carnauba y abeja), este experimento se realizó sobre 24 especímenes de dos variedades de banano *Cavendish* y orito, se variaron las concentraciones de las ceras y analizaron variables como: pH, acidez, índice de madurez, mohos, entre otras. Se destaca que la aplicación de la cera Carnauba conservó de mejor manera los bananos [21].

En el trabajo realizado por López, se evaluó el efecto de la aplicación de látex de banano, con el fin de aumentar la vida útil poscosecha del banano. Se contemplaron variables independientes como la cantidad de látex (5-15%) y ácido cítrico (1-3%), variables dependientes como: acidez titulable, pH, reducción de peso, color (luminosidad). Se concluye que las cantidades óptimas de ácido cítrico y látex fueron de 1 y 15% respectivamente, los cuales permiten obtener mayor variación de las variables dependientes con respecto al control teniendo variaciones de tasa de respiración de 27.5462 (mg de

CO₂/kg.h), y pérdida de peso de 7.9%, indicando que retrasan el proceso de maduración del banano.

Según lo descrito por Castillo, en su trabajo de investigación sobre el uso de películas a base de quitosano, indicó que tienen un gran potencial en la conservación de frutas, y se observó un control constante con las frutas climatéricas, extendiendo el tiempo de vida útil a 15,37 días a una temperatura de 10°C [22]. Por su parte, en el trabajo de investigación de Quintero y Marín, desarrollaron películas a base de quitosano, con el fin de proteger el banano, a dichas películas le adicionaron aceites esenciales evaluando diferentes protocolos con variaciones en concentraciones, aceites y solventes, Los resultados evidencian el efecto de las películas de quitosano sobre los bananos recubiertos, puesto que efectivamente se retrasa el proceso de maduración para todos los protocolos ensayados, el protocolo denominado en su investigación como G9-2 tenía como potencializador de actividad antimicrobiana el aceite esencial de tomillo [23].

Cuervo, Murillo y Urrea, en su investigación realizaron el proceso de extracción de la sericina, que en conjunto con la fibroína conforman las principales proteínas constituyentes del capullo del gusano de seda, se realizaron los recubrimientos empleando diferentes técnicas de impregnación en fresas y bananos. Se concluyó que la técnica por inmersión generó exceso de humedad en la superficie del fruto, lo que hizo que madurara más rápido, y aparecieran diferentes microorganismos, al comparar los dos tipos de técnicas se evidenció que los realizados por pincelado presentan mejores resultados, se comprobó que la sericina es una alternativa para el desarrollo de recubrimientos [24].

En estudios realizados por Cartaya, *et al*, fue empleado extracto de tomillo rojo en una suspensión acuosa, con el fin de proteger bananos de la enfermedad denominada podredumbre de corona, obteniendo una reducción del 69,83% del micelio que esparce la enfermedad [25]. El moho gris es una enfermedad que ataca ampliamente a los frutos, causando importantes pérdidas poscosecha, es producido por el hongo *Botrytis cinerea*, por esto, Tabora, *et al*, en su estudio, analizaron el efecto fungistático de dos aceites esenciales, uno de ellos, *Thymus vulgaris* L., más conocido como tomillo, in vivo, se observó que en bananos inoculados con *B. cinerea* controló eficientemente la incidencia de daño causado por el patógeno en cuestión [26].

Por su parte el *Aloe vera* ha sido aplicado en frutas y hortalizas, Fernández, *et al*, menciona que luego de diluir 200 mL de gel *Aloe vera* comestible en 4 L de agua destilada, se mezcla en una licuadora y se filtra para eliminar las fibras, los frutos son sumergidos a 20°C durante 5 minutos en el *Aloe Vera* diluido, se llegó a que éste redujo significativamente el deterioro de las frutas de frambuesa durante el almacenamiento [8]. El objetivo de la investigación de Córdoba, *et al*, fue evaluar el efecto fungicida de los extractos de *Aloe vera* y cola de caballo en la inhibición de los hongos fitopatógenos que causan pudrición de corona en banano orgánico. Llegaron a la conclusión que éste recubrimiento redujo en un 40% el crecimiento patógeno [27].

Las biopelículas a base de fibroína han sido ampliamente aplicadas, un estudio realizado por Baimark y Srihanam, tuvo como objetivo desarrollar una biopelícula a partir de una solución de fibroína con adiciones de glucosa, para mejorar aspectos como la flexibilidad y la capacidad de humectación de la misma. Por sus características mecánicas permite que el biomaterial elaborado pueda tener potenciales usos biomédicos, farmacéuticos y aplicaciones en el desarrollo de empaques [28]. En el trabajo de investigación realizado por Shetty y Rao se caracterizan películas obtenidas al mezclar fibroína de seda y alcohol polivinílico (PVA) en diversas proporciones, concluyeron, después de ensayo mecánicos, pruebas como FTIR, entre otras, que son más flexibles y térmicamente estables y, por lo tanto, son un buen candidato para el material de envasado de alimentos [29].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar recubrimientos a base de fibroína con adiciones de *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo que permitan proteger el fruto del banano.

1.3.2 Objetivos específicos

- Extraer fibroína desde los capullos del gusano de seda *Bombyx mori*.
- Elaborar diferentes formulados de fibroína, *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo como posible recubrimiento para protección del banano.
- Caracterizar los formulados obtenidos física, química, antibacteriana y antifúngicamente.

- Implementar los mejores formulados obtenidos sobre el fruto evaluando su comportamiento sobre este.

Referencias.

- [1] R. R. Aguilar, *La producción y exportación del banano y su incidencia en la economía ecuatoriana en el periodo 2008 - 2013*. 2015.
- [2] M. Salazar, D. Roldan, F. Gonzalez, and Y. Peña, “La cadena de banano en Colombia,” no. 17, 2004.
- [3] P. Benítez, “Alteraciones que no permiten cumplir con los estándares de calidad del banano para exportación en la hacienda María Antonieta,” *Univ. Técnica Ambato*, pp. 1–79, 2017.
- [4] G. Manzo, M. Orozco, L. Martinez, E. Garrido, and B. Canto, “Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa sp.*) en México,” *Rev. Mex. Fitopatol.*, vol. 32, no. 2, pp. 89–107, 2014.
- [5] V. Cañedo, A. Alfaro, and J. Kroschel, *Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas*. .
- [6] M. Mitidieri *et al.*, “Efecto de distintas secuencias de tratamientos de biofumigación sobre parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo , el rendimiento y la salinidad de cultivos de tomate y lechuga bajo cubierta,” *Hortic. Argentina*, vol. 28, no. 67, pp. 5–17, 2009.
- [7] M. . Vázquez Briones and J. A. Guerrero Beltran, “Recubrimientos de frutas con películas.,” pp. 6–10, 2013.
- [8] N. Fernández, D. Echeverría, S. Mosquera, and S. Paz, “Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas.,” *Biotechnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 15, no. 2, p. 134, 2017.
- [9] A. Rios, C. Alvarez, L. Cruz, and A. Restrepo, “Revisión: Fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos/Review: silk

-
- fibroin and their potential applications on biodegradable food packaging,” *Prospectiva*, vol. 15, no. 1, pp. 7–15, 2017.
- [10] H. Li, J. Tian, A. Wu, J. Wang, C. Ge, and Z. Sun, “Self-assembled silk fibroin nanoparticles loaded with binary drugs in the treatment of breast carcinoma,” *Int. J. Nanomedicine*, vol. 11, pp. 4373–4380, 2016.
- [11] A. Martínez, “Aceites Esenciales,” *Div. Publicaciones UIS*, p. 180, 2009.
- [12] G. Andrade, A. García, L. Cervantes, C. Aíl, J. Borboa, and E. Rueda, “Estudio del potencial biocontrolador de las plantas autóctonas de la zona árida del noroeste de México: control de fitopatógenos Study of the autochthonous plants as a potential biocontroller in the northwest area of Mexico: control of phytopathogens,” 2017.
- [13] D. Alzate, G. Mier, L. Afanador, D. Durango, and C. García, “Evaluación de la fitotoxicidad y la actividad antifúngica contra *Colletotrichum acutatum* de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*), y sus componentes mayoritarios,” *Vitae*, vol. 16, no. 1, p. 116, 2009.
- [14] M. D. Boudreau and F. A. Beland, “An evaluation of the biological and toxicological properties of *Aloe barbadensis* (Miller), *Aloe vera*,” *J. Environ. Sci. Heal. - Part C Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev.*, vol. 24, no. 1, pp. 103–154, 2006.
- [15] E. Bosques, “Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus Latifolia* Tanaka),” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 1–184, 2003.
- [16] L. Yapana, “Elaboración de biopelículas para envasado de alimentos a partir de Quitosano y Cañihua,” *Univ. Nac. del Altiplano.*, pp. 1–120, 2019.
- [17] M. G. Sandoval Flores, R. Jiménez Mejía, G. Santoyo, P. N. Alva Murillo, J. E. López Meza, and P. D. Loeza Lara, “Compósitos de quitosano-ácidos grasos reducen la infección de *Botrytis cinerea* en fresa en poscosecha,” *Nov. Sci.*, vol. 10, no. 21, pp. 207–227, 2018.

-
- [18] M. A. Aguilar-Méndez, E. San Martín-Martínez, N. L. Espinoza-Herrera, M. Sánchez-Flores, A. Cruz-Orea, and M. E. Ramírez-Ortíz, “Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba,” *Superf. y Vacío*, vol. 25, no. 1, pp. 1–7, 2012.
- [19] G. A. Hurtado Pérez, “Estudio del uso de tratamientos hidrotérmicos para el control de las podredumbres durante el período poscosecha de banano (*musa acuminata*) orgánico,” 2016.
- [20] N. Guzmaán Bortolini, “Aplicación post-cosecha del ácido giberélico como agente retardante de la maduración de banano proveniente del Trópico de Cochabamba,” *J. Boliv. CIENCIAS – Vol. 17 – Número Espec.*, vol. 17, pp. 2013–2015, 2021.
- [21] J. V. Villarroel, M. D. Zambrano, F. Abasolo-Pacheco, L. G. Pico, B. R. Pico, and M. C. Moreira, “USO DE CERAS NATURALES COMO MEDIO DE CONSERVACIÓN DE BANANO (*Musa acuminata*),” *Biotecnia*, vol. 19, no. 1, pp. 3–9, 2017.
- [22] T. Laica, “Recubrimiento biodegradable a base de mucílago de linaza (*Linum usitatissimum*) y glicerina para la conservación de la mora de castilla (*Rubus glaucus*),” *Univ. Técnica Cotopaxi*, p. 164, 2020.
- [23] L. Quintero and M. Marín, “Evaluación de la eficiencia y análisis antimicrobiano de las biopelículas de quitosano obtenido por métodos biotecnológicos , usadas en la conservación del banano,” *Univ. Antioquia*, 2014.
- [24] G. A. Cuervo Osorio, Y. A. Murillo Arias, and L. Urrea Vélez, “Estudio del efecto de recubrimientos de sericina extraída de los capullos del gusano de seda *Bombyx mori* en la degradación de frutas,” *Rev. ION*, vol. 34, no. 1, pp. 15–25, 2021.
- [25] N. Cartaya *et al.*, “Evaluacion de eficacia de productos naturales para el control de la pudrición de corona (crown rot) en plátano,” p. 21, 2011.
- [26] L. A. Andrade, M. S. Sanchez, C. R. Bonilla, and C. Huertas, “Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de *Lippia origa-noides* HBK y *Thymus vulgaris* L. como

- alternativas de manejo de *Botrytis cinerea* en fresa,” *Acta Agron.*, vol. 64, no. 1, pp. 93–99, 2014.
- [27] M. A. Córdova, K. G. Dávila, and A. K. Flores, “Evaluación del efecto fungicida del gel de aloe vera y la cola de caballo (*Equisetum arvense*) frente a hongos fitopatógenos causantes del crown rot del banano orgánico en el Valle del Chira - Sullana,” *Univ. Nac. Piura*, 2019.
- [28] Y. Baimark, P. Srihanam, and Y. Srisuwan, “Preparation of flexible Silk Fibroin Films Plasticized with Glucose.” 2009.
- [29] G. R. Shetty and B. L. Rao, “Preparation and characterization of silk fibroin-polyvinyl alcohol (PVA) blend films for food packaging materials,” *Elsevier*, no. xxxx, 2022.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del banano

El banano pertenece al orden *Zingiberales*, familia *Musaceae* y género *Musa*. Las especies más destacadas son: la *Musa acuminata colla* que ha dado origen a las variedades comerciales, *Musa balbisiana colla* y *Musa acuminata* diploide [1]. La planta de banano está compuesta por un tallo donde se origina la planta y se desarrollan hijos que darán lugar a nuevas plantas, cuenta también con un pseudotallo que en su parte central crece la florecencia que en su proceso de maduración se transforma finalmente en racimo, éstas y las demás partes de la planta se muestran en la figura 1 [2].



Fig 1. Planta del banano y sus partes. [2]

En Colombia, existen dos tipos de especies de esta fruta, el banano de exportación *Cavendish valery* y el banano criollo o de consumo interno [3] [4].

2.1.1 Proceso de cosecha y poscosecha.

De acuerdo con el lugar donde está ubicado el cultivo, el proceso de cosecha y poscosecha puede variar, de manera generalizada se puede decir que la cosecha comprende las etapas principales de identificación del racimo, puya o semicorte en la planta, corte y transporte [5]. En Colombia, el proceso se realiza como se explica a continuación:

Se definen algunas etapas del proceso de cosecha: El desflore, consiste en retirar las flores secas que se encuentran en las puntas de los racimos, con el fin de evitar daños causados por insectos. Entretanto en el desdede, se retiran todos los dedos no deseados del racimo. En el deshoje se eliminan las hojas secas o dobladas que tapan el racimo y no le permite a exposición a luz, aire y calor, necesarios para su desarrollo. El desmane consiste en separar de una a tres manos pequeñas para permitir que las demás alcancen las necesidades exigidas. Finalmente se corta el racimo y se transporta mediante garrucha para evitar daños mecánicos en el fruto [6][7]. En la figura 2, se muestra el proceso de cosecha mediante un esquema.

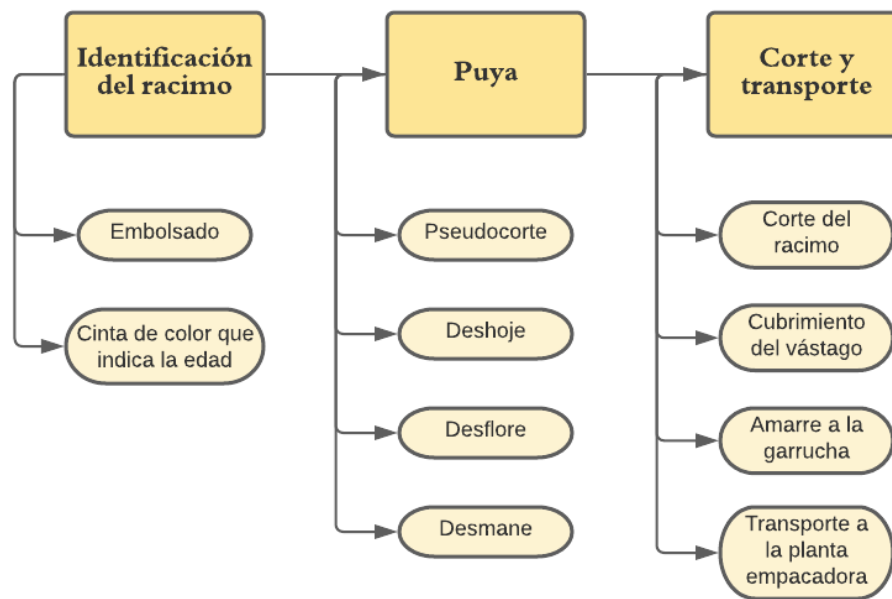


Fig 2. Proceso de cosecha del banano. Fuente: autoría propia.

Por su parte, el proceso de poscosecha inicia con la recepción del racimo en la planta empacadora, allí se lava el racimo con el fin de eliminar materiales contaminantes o insectos, luego se desmana, se pesa y clasifica. Para evitar el desarrollo de hongos u otras potenciales enfermedades que den lugar a la descomposición del fruto, se aplica un fungicida. Finalmente se empaca y paletiza, es decir, se unifica la carga sobre una estiba de madera para facilitar su transporte [8][5]. En la figura 3, se muestra el proceso de poscosecha.

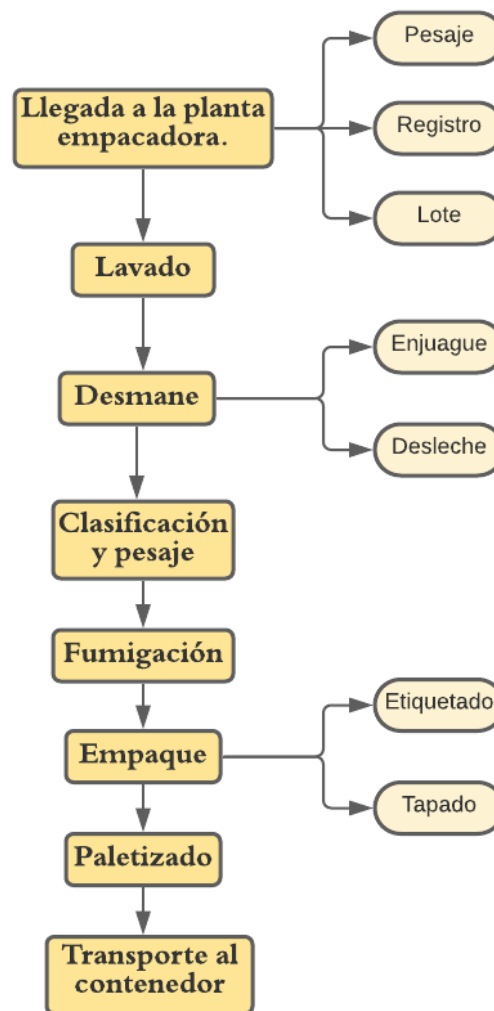


Fig 3. Proceso de poscosecha del banano. Fuente: autoría propia.

2.1.2 Afecciones al fruto

Las causas de pérdidas de los frutos se generan desde el proceso de cosecha, poscosecha, hasta el transporte, generalmente debido a malas prácticas agrícolas o fallas en la manipulación. Cabe anotar que el manejo poscosecha del banano es una fase fundamental en el proceso de exportación, pues las pérdidas del cultivo pueden ser totales si se detecta daño mecánico, pudrición o maduración prematura [2]. Las limitaciones en la producción de banano, ya sea de tipo exportación o los de consumo interno son, principalmente, las

enfermedades y plagas. En Colombia, existen tres afecciones principales al cultivo de banano: la sigatoka, el mal de Panamá y moco de plátano.

La sigatoka es una enfermedad que ataca las hojas, afecta el desarrollo y acelera el proceso de maduración de los frutos. La sigatoka amarilla es abundante pero no tiene los efectos de la sigatoka negra, ésta última es más agresiva en bananos de tipo *Cavendish* [9] [7].

La enfermedad conocida como mal de Panamá es causada por el hongo de suelo *Fusarium oxysporum*, es la enfermedad más destructiva, inicia cambiando la coloración de las hojas, degrada la raíz y al extenderse por el pseudotallo debilita la planta y se termina perdiendo la totalidad del cultivo, además es un hongo resistente al control químico con fungicidas [10].

Por su parte, el moco de plátano es causado por la raza 2 de la bacteria *Ralstonia solanacearum*, causa daños similares a la enfermedad de Mal de Panamá y adicionalmente agrieta la cáscara del fruto [11].

2.1.3 Control biológico de patógenos.

Tradicionalmente el control de plagas, virus o bacterias es realizado con agroquímicos o agrotóxicos, que resultan finalmente en afecciones a los cultivos, las frutas y las personas [12]. En contraste, se buscan opciones sustentables, que no afecten los alimentos, que sirvan de barrera protectora frente a agentes patógenos y que puedan alargar la vida útil de los frutos, haciéndolos candidatos para ser exportados, una clara alternativa es utilizar recubrimientos biodegradables [13]. Otro punto importante a tener en cuenta es que por la posición geográfica de Colombia, se presentan condiciones climáticas especiales y de biodiversidad, estas condiciones se ven reflejadas en las diferentes plagas que atacan los cultivos agrícolas, a la vez que brindan la opción de disponer de agentes de carácter natural para el control biológico [14].

2.2 Biopelículas

Es conocido que el suelo, aire y agua se ven constantemente afectados por agentes patógenos que pueden causar enfermedades en los cultivos y por ende en los alimentos, por lo tanto se sugieren recubrimientos o elementos de protección y empaque, que a pesar de ser útiles, terminan siendo desechados de manera inmediata, por lo tanto plásticos, bolsas y otros

derivados son ahora un problema mayor [15]. Es necesario entonces buscar opciones sustentables que permitan proteger los frutos y que éstos puedan ser exportados garantizando el procesamiento mínimo y que los recubrimientos no sean tóxicos.

Ahora bien, un recubrimiento comestible puede estar definido como una matriz continua delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento esta puede ser aplicada ya sea por métodos de aspersión, inmersión, pinceladas, entre otros. El uso de recubrimientos en frutas ha sido implementado para mantener la calidad y prolongar su vida útil [13]. Unas de las ventajas de los recubrimientos es la propiedad antimicrobiana, permeabilidad a gases, y que le otorgan al alimento mejor apariencia y propiedades mecánicas más adecuadas. Además, al ser biodegradables, no presentan toxicidad y son amigables con el medio ambiente [16]. En la figura 4 se ejemplifican algunas características de las biopelículas.

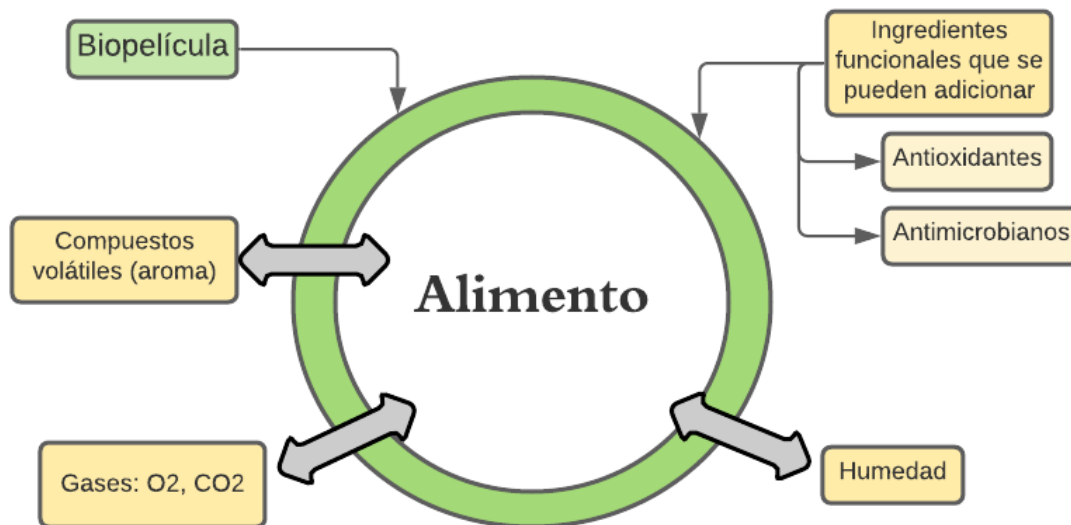


Fig 4. Biopelículas, modificado de [17]

2.3 Materiales usados en la fabricación de películas protectoras.

2.3.1 Biopolímeros.

Los biopolímeros son macromoléculas naturales o polímeros de residuos monoméricos, obtenidos a partir de sistemas biológicos u organismos vivos. Las clases principales de biopolímeros son los polisacáridos y las proteínas, siendo biomateriales altamente implementados en la industria alimentaria [18].

Algunos derivados de celulosa como metilcelulosa mc, hi-droximetil celulosa hmc, hidroxipropil metilcelulosa hpmc y carboximetilcelulosa cmc, y otros polisacáridos como pectinas, derivados de almidón, alginatos, carragenina, quitosano y gomas, son biomateriales capaces de constituir una matriz estructural, permitiendo obtener recubrimientos comestibles transparentes y homogéneos [13]. Sin embargo, su barrera contra la humedad es pobre dada su naturaleza hidrofílica [19].

Por su parte las proteínas empleadas para la formulación de películas, en general, tienen una buena adherencia superficial y barrera a gases, pero su fragilidad es alta, esta se puede mejorar con la adición de plastificantes como el glicerol o sorbitol con el fin de mejorar la extensibilidad y viscosidad del recubrimiento. Los biopolímeros proteicos pueden ser de origen vegetal o animal, como las proteínas de soya, gluten de trigo, ceína de maíz, proteínas de girasol, gelatina, suero de leche, caseína y queratina [18].

2.3.2 Fibroína

La fibroína de seda (FS) es la principal proteína de la fibra de seda y representa alrededor del 80% de su peso. Esta proteína, está constituida por diferentes aminoácidos, entre los que se destacan la glicina, la alanina, la serina y la tirosina. La FS puede ser extraída directamente de la glándula de los gusanos de seda (*Bombyx mori*), pero de manera general es extraída del capullo de este gusano que, bajo condiciones especiales de alimentación, temperatura y humedad, inicia un proceso de transformación en el que construye un capullo a manera de protección. Los sericultores interrumpen el proceso de metamorfosis pues los capullos sirven de materia prima para la producción de la seda [20]. En las figuras 5 y 6 se muestran los capullos de seda y la estructura molecular de la fibroína, respectivamente.

componentes) y sintéticos (mezcla de componentes obtenidos a partir de síntesis química).

- Por su naturaleza química: pueden ser monoterpenoides, sesquiterpenoides o compuestos oxigenados.

En general, los aceites esenciales han sido empleados en la elaboración de recubrimientos o biopelículas como agentes potencializadores de los efectos bactericidas y antimicóticos, como conservantes de alimentos para controlar el crecimiento de hongos y bacterias en frutas y verduras [24]. Además de ser empleados en hortalizas, también han mostrado resultados favorables en otros alimentos como el queso mostrando beneficios al reducir la pérdida de agua y la permeabilidad al oxígeno, retardando la oxidación de los lípidos, mejorando la textura y el sabor; así como, disminuyen el recuento microbiano en la superficie del alimento [18].

2.3.3.1 Aceite esencial de tomillo.

El *Thymus vulgaris* L. es un subarbusto de la familia *Lamiaceae*, que es perenne y aromática, rica en aceite esencial, cuyo principal componente es el timol, una planta introducida de Europa y en la medicina tradicional se conoce como tomillo [25]. El tomillo como aceite esencial está presente en actividades químicas como bactericida, insecticida o en la industria médica como antiséptico, posee efectos en el aparato respiratorio y como agente antiartrítico o antirreumático [26]. Particularmente, ha sido empleado en biopelículas capaces de repeler bacterias como *E. coli*, *Staphylococcus aureus* y *Lactobacillus lactis*, además se registra una disminución en la permeabilidad gracias a su propiedad hidrofóbica [27].

2.3.4 Aloe vera

Aloe barbadensis Miller (*Aloe vera* Linne), comúnmente conocida como *Aloe vera*, es una de las aproximadamente 420 especies de Aloe que pertenecen a la familia de las liliáceas (familia *Liliaceae*, tribu *Aloineae*) que se originó en Sudáfrica, pero ahora se extiende por climas subtropicales y tropicales secos, incluido el sur de los Estados Unidos. Solo unas pocas especies de Aloe tienen importancia comercial; *Aloe vera* se considera la más potente y, por lo tanto, la más popular [28]. Al *Aloe vera*, se le atribuyen diferentes cualidades como: su acción desinfectante, antiviral, antibacteriana, antiinflamatoria. Además, se destaca su

actividad contra enfermedades en la dermis, como: dermatitis, psoriasis y contra los daños causados por la irradiación. Por otra parte, ayuda en los desórdenes intestinales, tales como estreñimiento atribuyéndole acción antidisentérica, antihemorroidal, cicatrizante y laxante [29].

Como aplicación en el área de recubrimiento de alimentos ha sido reportada la utilización de *Aloe vera* para formar recubrimientos de frutas y vegetales y para el mantenimiento de la calidad poscosecha de uvas y cerezas. Además, en coberturas empleadas en el tratamiento de las zanahorias retardaron la degradación del alimento [30].

Referencias

- [1] C. V. H. José, M. L. Montoya López, and L. Millan Cardona, “Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Valery),” 2016.
- [2] J. Saavedra, Efectos de las malas prácticas agrícolas sobre el retorno en plantas de banano (*Musa X Paradisiaca L.*) Subgrupo Cavendish. 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11346>
- [3] M. Salazar, D. Roldan, F. Gonzalez, and Y. Peña, “La cadena de banano en Colombia,” no. 17, 2004.
- [4] J. López Giraldo, J. César Cuarán Cuarán, L. Viviana Arenas García, and L. Marina Flórez Pardo, “Potential uses of banana peelings: production of a bioplastic,” 2014.
- [5] M. Racines, P. Moncayo, W. Viera, W. Vásquez, and M. Seraquive, “Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador,” Enfoque UTE, pp. 57–66, 2019.
- [6] O. J. Bolaños Soto, “Análisis y mejora del procesos de cosecha y postcosecha de banano de la empresa agroinversiones bananeras del caribe s.a.s (agrobancaribe) en la finca buenavista,” Univ. del Magdal., 2017.
- [7] Á. J. Ramírez Zuñiga, “Aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano ((*Musa AAA Cavendish*) en Carepa-Antioquia,” Univ. Córdoba, vol. 5, no. 1,

-
- pp. 43–54, 2020, [Online]. Available: <http://www.akrabjuara.com/index.php/akrabjuara/article/view/919>
- [8] J. L. Sarabia Mamonte, ““Análisis del proceso de pos-cosecha de banano y su efecto en el rendimiento económico en la hacienda admiración de Reybanpac, parroquia la Esperanza del cantón Quevedo,” 2019.
- [9] P. Benítez, “Alteraciones que no permiten cumplir con los estándares de calidad del banano para exportación en la hacienda María Antonieta,” Univ. Técnica Ambato, pp. 1–79, 2017, [Online]. Available: <https://cutt.ly/NccJU9t>
- [10] S. López and J. Castaño, “Manejo integrado del mal de Panamá *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. cubense (E.F. SM.) W.C. Snyder & H.N. Hansen: una revisión TT - Integrated management of Panama disease *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. f. sp. cubense (E.F. SM.) W.C. Sn,” Rev. U.D.C.A Actual. & Divulg. Científica, vol. 22, no. 2, pp. 1–13, 2019.
- [11] G. Manzo, M. Orozco, L. Martinez, E. Garrido, and B. Canto, “Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa sp.*) en México,” Rev. Mex. Fitopatol., vol. 32, no. 2, pp. 89–107, 2014.
- [12] L. G. da S. Augusto, “Agrotóxicos: Nuevos y viejos desafíos para la salud colectiva,” Salud Colect., vol. 8, no. 1, pp. 5–8, 2012.
- [13] M. . Vázquez Briones and J. A. Guerrero Beltran, “Recubrimientos de frutas con películas,” pp. 6–10, 2013.
- [14] C. Aguirre, S. Narváez, M. Bernal, and E. Castaño, “Contaminacion De Operarios Con Clorpirifos, Por Practica De ‘Embolsado’ De Banano (*Musas Sp.*) En Uraba, Antioquia,” Univ. Caldas, Manizales, Colomb., vol. Revista Lu, no. 38, pp. 191–217, 2014, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321731214012>
- [15] V. Gutierrez, “Diseño de una biopelícula para la conservación de fresa silvestre (*Fragaria vesca*), una estrategia encaminada a la sustitución de empaques plásticos.”

2014.

- [16] N. Fernández, D. Echeverría, S. Mosquera, and S. Paz, “Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas,” *Biotecnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 15, no. 2, p. 134, 2017, doi: 10.18684/bsaa(15)134-141.
- [17] F. Valdés, B. Baños, and F. Valdés, “Películas y recubrimientos comestibles : una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas Eatable films and coverings : a favorable alternative in the postharvesIng . conservation of fruits and vegetables,” 2015.
- [18] I. J. Yoplac Tafur, “Desarrollo de biopelículas activas con aceite esencial de citral microencapsulado y su efecto en la carga microbiana del queso fresco,” 2019.
- [19] E. Bosques, “Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus Latifolia Tanaka*),” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 1–184, 2003.
- [20] A. Rios, C. Alvarez, L. Cruz, and A. Restrepo, “Revisión: Fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos/Review: silk fibroin and their potential applications on biodegradable food packaging,” *Prospectiva*, vol. 15, no. 1, pp. 7–15, 2017, doi: 10.15665/rp.v15i1.685.
- [21] A. Martínez, “Aceites Esenciales,” Div. Publicaciones UIS, p. 180, 2009.
- [22] S. de Bibliotecas/SENA, “Introducción a la industria de los Aceites esenciales de plantas Medicinales y aromáticas.,” p. 283, 2013.
- [23] M. R. Ruiz Burga, “Aplicación de Quitosano con Aceites Esenciales contra *Botrytis cinerea Pers . ‘ Moho Gris ’* en *Lycopersicon esculentum P . Mill ‘ Tomate ’.*,” 2018.
- [24] J. R. Armas et al., “Aceite esencial de *Thymus vulgaris L (tomillo)*, su combinación con EDTA contra *Cándida albicans* y formulación de una crema.,” vol. 76, no. 3, pp. 0–5, 2015.

-
- [25] Instituto/Alexander von Humboldt, “Biocomercio Sostenible - Estudio del mercado nacional de aceites esenciales.”.
- [26] A. M. Salazar Palma, “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de films basados en almidón de camote (*ipomoea batatas*) y aceite esencial de oregano (*Origanum vulgare*) y tomillo (*Thymus vulgaris*).”.
- [27] M. D. Boudreau and F. A. Beland, “An evaluation of the biological and toxicological properties of *Aloe barbadensis* (Miller), *Aloe vera*,” *J. Environ. Sci. Heal. - Part C Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev.*, vol. 24, no. 1, pp. 103–154, 2006, doi: 10.1080/10590500600614303.
- [28] A. Vega, A. Nevenka, L. Díaz, and R. Lemus, “*Aloe vera* (*Aloe barbadensis miller*) como componente de alimentos funcionales,” *Rev. Chil. Nutr.*, 2005.
- [29] M. A. García, A. Casariego, and R. Diaz, “Efecto de coberturas de alginato de sodio enriquecidas con *aloe vera* en la calidad de zanahoria mínimamente procesada.,” *ResearchGate*, no. May 2015, 2011.

Capítulo 3

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FIBROÍNA

3.1 Introducción

La fibroína es una de las principales proteínas presentes en el capullo de seda del gusano de seda, conocido como *Bombix mori*, la fibroína constituye el 80% del capullo aproximadamente y restante corresponde a la sericina proteína que se caracteriza por ser adhesiva en el capullo y es la responsable de mantener las fibras unida en una estructura definida [1].

A la fibroína la conforman dos cadenas de proteínas, dichas cadenas poseen pesos moleculares diferentes, una del alto peso molecular del orden de 325 kDa y la otra más ligera

de 225 kDa además de una tercera cadena de glicoproteínas. La cadena de alto peso molecular tiene alto contenido en glicina, alanina y serina, con las cuales forma secuencias repetitivas [2].

En la conformación estructural de la fibroína se encuentra seda tipo I y seda tipo II (lámina β). La seda tipo I, hace referencia a la estructura de la seda en disolución compuesta mayoritariamente de random coil (conformación al azar) y alfa hélices, por su parte la seda tipo II, es la estructura que adopta la seda en la fibra, principalmente lámina beta. Las hojas de lámina β se apilan alternando contactos de glicina y alanina-serina, en la figura 7 se muestra la estructura de la fibroína [3].

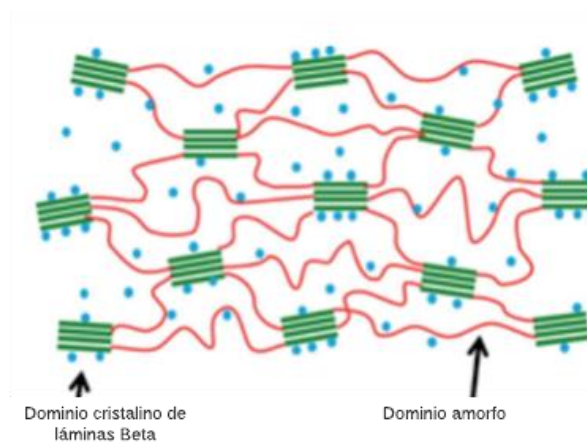


Fig 7. Estructura de la fibroína [3]

Con el fin de extraer y solubilizar la fibroína presente en el capullo, se siguen tres pasos de manera general, desgomado, disolución y proceso de diálisis. En el proceso de desengomado se busca eliminar la sericina, cuando se desengoma de forma agresiva, es decir, con carbonato sódico da lugar a una fragmentación de las cadenas moleculares de la fibroína, de ese modo se obtiene fibroína de bajo peso molecular, en contraste a su desengome con agua, donde la fragmentación es mejor y se obtiene fibroína de alto peso molecular [3].

Para poder utilizar la fibroína, se debe realizar el proceso de disolución el cual suele realizarse con diferentes soluciones iónicas, por ejemplo, bromuro de litio (LiBr) [4], o utilizando soluciones ternarias de cloruro de calcio, etanol y agua $\text{CaCl}_2/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{H}_2\text{O}$ [5]. Para promover el proceso de diálisis, la solución de fibroína permite realizar un intercambio de iones entre ésta y el agua, para lo cual se deben emplear membranas porosas que permitan dicho intercambio [5].

3.2 Metodología

3.2.1 Proceso de extracción

Para la extracción de fibroína se partió de capullos de gusano de seda *Bombix mori*, los cuales fueron adquiridos de la corporación para el Desarrollo de la Sericultura del Cauca (CORSEDA) y proporcionados por el laboratorio de Biomateriales BioMat de la Universidad de Antioquia.

Para la extracción se siguió el protocolo desarrollado por el grupo de investigación de Biomateriales BioMat, el cual inició con un corte de los capullos en pequeños fragmentos de aproximadamente 0.5 cm^2 y fueron pesados, luego se preparó una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3), usando la relación de carbonato es $2/5$ del peso de los capullos, esta solución se llevó a 80°C , posteriormente se agregaron los fragmentos de capullo manteniendo la temperatura bajo agitación constante durante 4.5 horas con el fin de desengomar la fibroína, al terminar este tiempo la madeja obtenida se secó a 40°C durante 24 horas [6]. Todos los reactivos usados fueron de grado analítico.

La segunda etapa consistió en solubilizar la fibroína extraída, para lo cual ésta fue llevada a una solución ternaria de Cloruro de calcio/etanol/agua ($\text{CaCl}_2/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{H}_2\text{O}$), en relación (1:2:8) en agitación constante a 60°C .

Como etapa final, se llevó a diálisis contra agua destilada, con membranas porosas de celulosa, el cambio de agua se realizó durante una semana de forma regular durante cada día.

En los esquemas de las figuras 8, 9 y 10 se muestra el proceso de obtención de la fibroína dividido en las tres etapas descritas.

Etapa 1, desengome de fibroína.

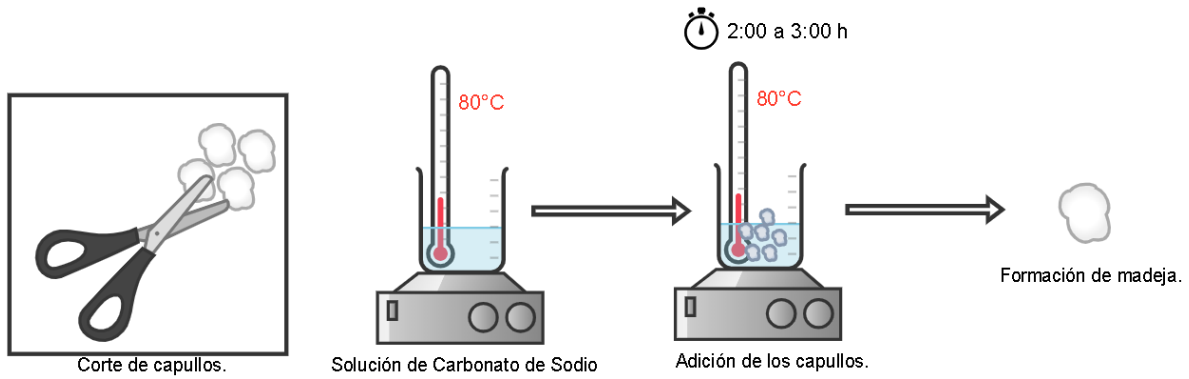


Fig 8. Desengome de fibroína. Fuente: Autoría propia.

Etapa 2, solubilización o disolución de fibroína.

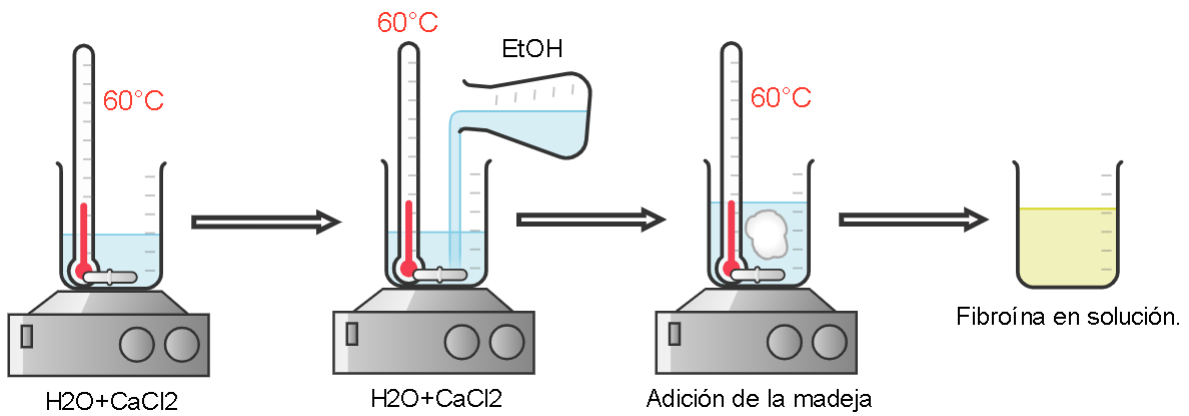


Fig 9. Solubilización de fibroína. Fuente: Autoría propia.

Etapa 3, diálisis y obtención de fibroína.

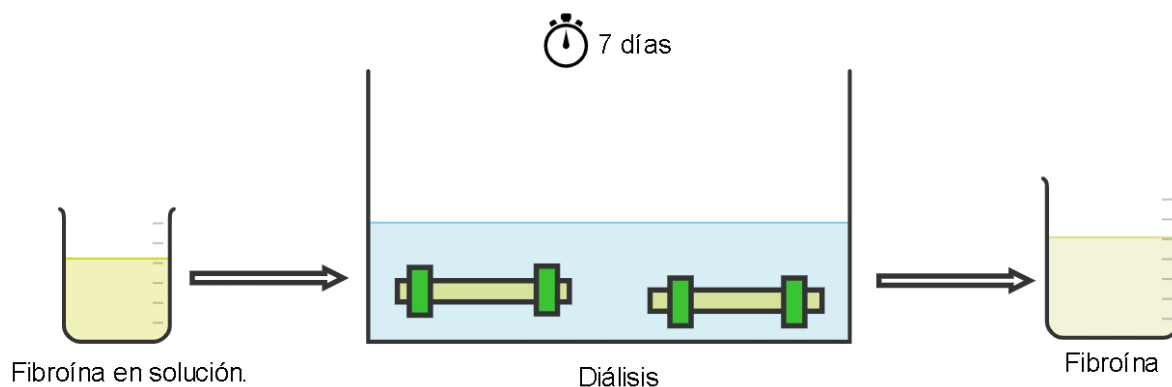


Fig 10. Fibroína en diálisis. Fuente: Autoría propia.

Una vez terminada la etapa de solubilización, se procedió a determinar la concentración de la fibroína obtenida tras secar tres vidrios reloj a 105 °C durante una hora, debidamente marcados, éstos se dejaron enfriar en desecador para, posteriormente, pesarlos y luego adicionar 1 ml de la fibroína obtenida a cada uno, y llevarlos nuevamente al horno, a 105 °C por 24 horas. Pasado este tiempo, se pesó nuevamente cada vidrio de reloj. Con los datos obtenidos se encontró la concentración de la fibroína extraída, y se reportó en términos de porcentaje.

3.2.2 Caracterización

La solución de fibroína fue caracterizada por medio de análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR) y espectroscopía UV-visible.

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR): se determinaron los grupos funcionales de la fibroína extraída, haciendo un análisis del espectro infrarrojo con el equipo PerkinElmer Spectrum IR, con el fin de determinar los grupos funcionales de la fibroína extraída, para este propósito se barrió el rango espectral entre 4000 cm^{-1} y 400 cm^{-1} .

Espectroscopía UV-visible: El espectro UV-visible (UV-Vis) se midió usando un espectrofotómetro (Shimadzu UV-1800) en el rango de longitud de onda entre 250 y 400 nm. La medición de línea de base fue realizada automáticamente por el espectrofotómetro con agua como referencia.

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Extracción de fibroína

En la figura 11, se presenta la secuencia de trabajo para la extracción de fibroína.

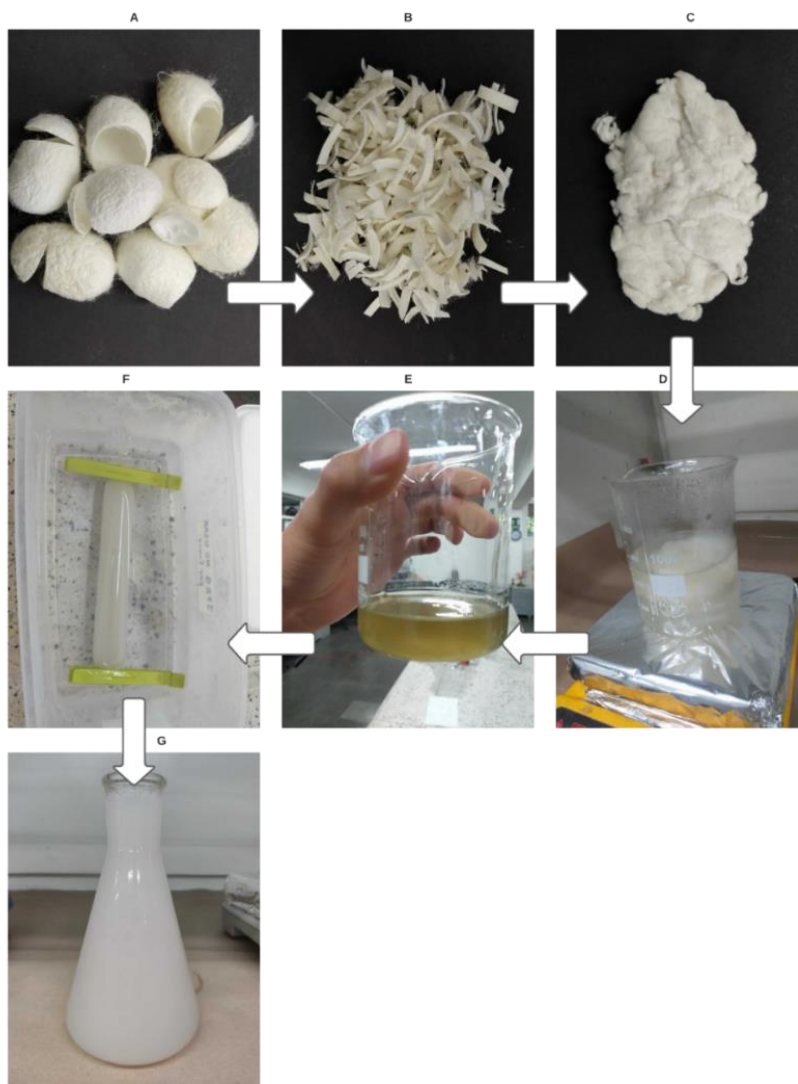


Fig 11. A. Capullos de gusano de seda sin tratar. B. Capullos cortados. C. Fibroína desengomada en forma de madeja. D. Proceso de disolución de fibroína. E. Solución de fibroína sin dializar. F. Proceso de diálisis. G. Solución de fibroína dializada. Fuente: Autoría propia.

Empleando el protocolo establecido para la extracción y solubilización de fibroína propuesto por el grupo en biomateriales BioMat, se logró obtener para la etapa 1 de desengome, una madeja consistente, como se muestra en la figura 11 C, además se muestra la solución de fibroína obtenida después de realizar la etapa 2 de solubilización y la etapa 3 de diálisis del proceso en la figura 11 G.

Para obtener la solución que se muestra en la figura 11 E, se esperó alrededor de 3 horas, para que solubilizara completamente la madeja, finalizado este proceso, se dejó en diálisis durante 7 días y se cambió el agua cada 8 horas aproximadamente, la membrana se hinchó debido al intercambio de iones presente entre la solución y el agua destilada, por lo cual fue necesario cambiar dicha membrana durante el proceso de diálisis.

A la solución acuosa de fibroína dializada se le midió la concentración como indica el protocolo mencionado anteriormente, estos resultados se muestran en la tabla 1.

TABLA 1 CONCENTRACIÓN DE FIBROÍNA.

Vidrio	Peso de vidrio	Peso de vidrio + Fibroína	Peso de la fibroína
1	35.5744 g	34.5915 g	0.0171 g
2	35.4750 g	35.4919 g	0.0169 g
3	35.1717 g	35.1881 g	0.0164 g
		Promedio (%)	1.69%

Después de realizar este procedimiento se obtuvieron 600mL de fibroína de 1.69% w/v de color blanco con apariencia similar al agua, pero con una viscosidad aparente mayor a la misma. Cabe anotar que el protocolo diseñado por el grupo de investigación en biomateriales BioMat, se implementó para obtener porcentajes de fibroína alrededor de 2% w/v. Por su parte, según se reporta en la literatura, la adición de fibroína al 2% aproximadamente, permitió mejorar algunas propiedades como resistencia a la rotura, permeabilidad al oxígeno y mayor porcentaje de degradación, de películas a base de polivinil alcohol (PVA) [7]. Además, se planteó que a mayor concentración de fibroína la estructura de la película es más compacta y, por tanto, más opaca, esa relación tiene un efecto en las propiedades mecánicas, y las películas resultantes son más rígidas cuando se usa en concentraciones mayores al 2% de fibroína [3]. Por lo tanto, se consideró que la concentración obtenida para la solución de fibroína es adecuada para su uso en recubrimientos [8].

3.3.2 Caracterización

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR):

En la figura 12 se presenta el espectro infrarrojo obtenido para la solución de fibroína.

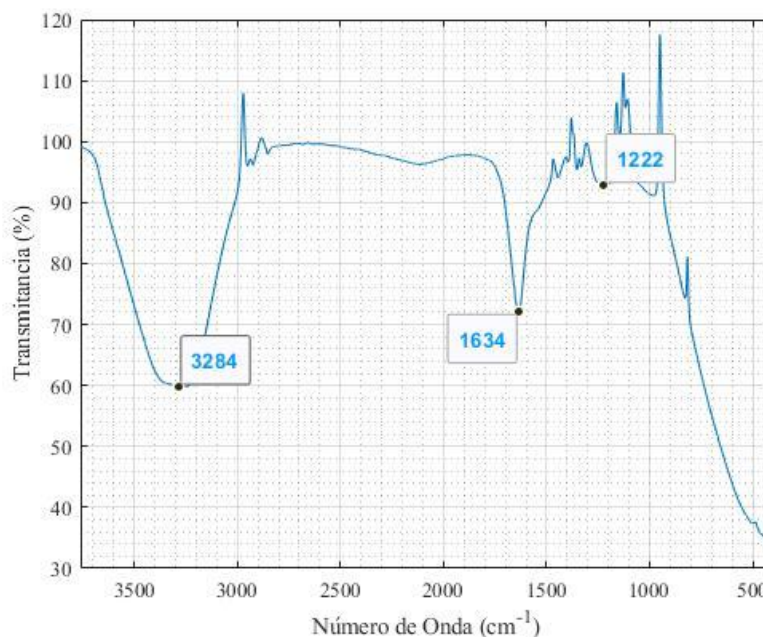


Fig 12. FTIR, fibroína en solución.

Cabe destacar que la región de interés para de material se encuentra de manera general entre 1000cm^{-1} . y 1800cm^{-1} , siendo la zona característica de las amidas presentes en la estructura molecular de la fibroína [9]. El espectro da razón sobre las estructuras proteicas obtenidas del análisis, la banda amida I que se presenta en la región de 1.700 cm^{-1} y 1.600 cm^{-1} , es bastante compleja, ya que involucra estructuras secundarias (α -hélice, β -hojas, β -giros e irregulares), y se relaciona principalmente con el estiramiento $\text{C} = \text{O}$. La amida II corresponde a la deformación angular en el plano del grupo N-H (60%) y por el tramo C-N (40%). La banda que hace referencia a esta amida aparece alrededor de 1.550 cm^{-1} , La amida III, cuya banda se puede observar en la región de $1.230\text{-}1.300\text{ cm}^{-1}$, resulta de la combinación de las vibraciones de estiramiento del grupo $\text{N} - \text{C}$ y las vibraciones de flexión del grupo $\text{C} = \text{O}$, y está relacionado con la conformación hoja β [10].

Se evidencia la presencia de dos las tres bandas referentes a las amidas, a 1634cm^{-1} , y 1222cm^{-1} , para las amidas I y III respectivamente, no se observa el espectro claro de la banda para la amida II, se observó además un fuerte pico de absorción a 3284cm^{-1} que se puede relacionar al estiramiento N-H del aminoácido serina en fibroína de seda [9]. Es importante indicar, que de acuerdo al lugar de la región donde se encuentra la banda de vibración, se pueden describir los dos tipos de estructuras presentes en la fibroína, bien sea la seda I (α -hélice) o seda II (láminas β), las vibraciones de las amidas I y II, para la estructura seda II, no se observan claramente en el espectro obtenido, puede estar relacionado con un solapamiento o superposición pues estas bandas suelen estar muy cerca de la amida III de la seda I [11].

Espectroscopía UV-visible: Para la fibroína en solución se obtuvieron dos gráficos de UV-vis, uno que relaciona la longitud de onda en el eje x [nm] con la transmitancia en el eje y [%], y otro que relaciona la longitud de onda, pero esta vez con la absorbancia. Los resultados se muestran en las figuras 13 y 14, respectivamente.

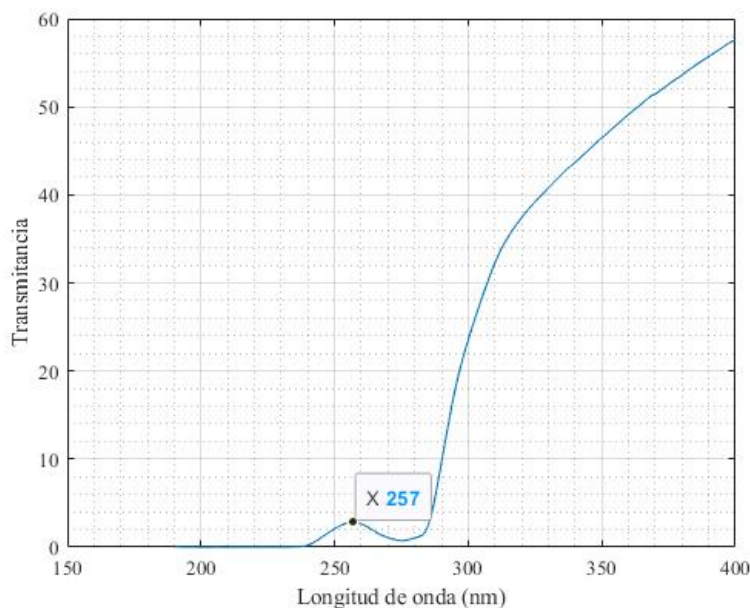


Fig 13. Uv-vis de la fibroína en transmitancia.

En la figura 13 se logra apreciar un pico a los 257 nm, esta banda es asociada a la excitación de los aminoácidos tirosina (Tyr) y triptófano (Trp), presentes en la fibroína [12].

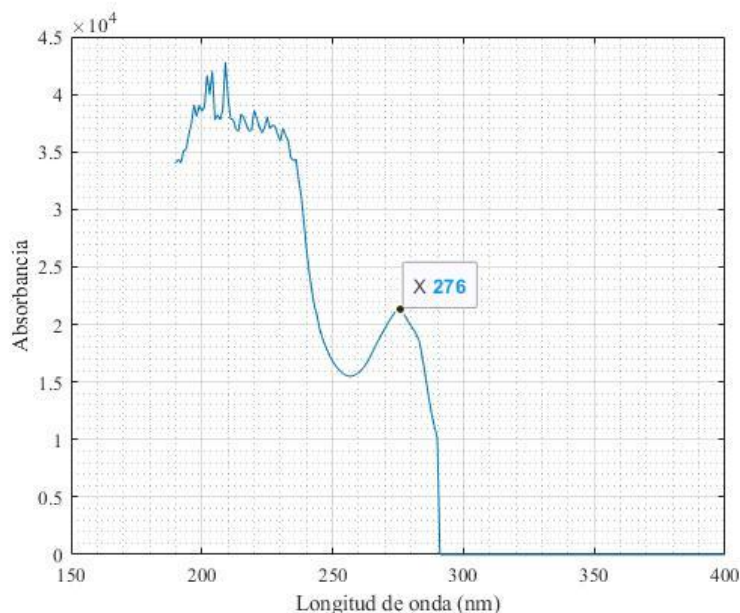


Fig 14. Uv-vis de la fibroína en absorbancia.

De la figura 14, se puede observar un pico a 276 nm, dado que los principales cromóforos que absorben en la región UV son probablemente los aminoácidos aromáticos tirosina (Tyr), fenilalanina (Phe) y triptófano (Trp), se puede contrastar esta información con la obtenida para transmitancia que éstos aminoácidos están presentes en la cadena de la seda [13].

De este modo, comparando los resultados obtenidos de caracterización (FTIR, UV-vis), se puede afirmar que se extrajo de manera satisfactoria la fibroína, implementando el protocolo propuesto por el grupo en Biomateriales BioMat, toda vez que se encontró la composición química de la misma reportada en la literatura.

Referencias

- [1] J. Gabriel, N. Villacís, K. Vizuite, C. Arroyo, and C. Narváez, “Fibroína de seda con Sangre de drago (Croton Lechleri Müll) para la producción de apósitos,” pp. 93–96, doi: 10.24133/cctespe.v13i1.816.
- [2] L. Caballero Méndez and D. Gaviria Arias, “Desarrollo y caracterización de películas de fibroína de seda para reparación condral,” *Rev. Colomb. Biotecnol.*, vol. 21, no. 1, pp. 71–81, 2019, doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.73137.
- [3] L. Meler García, “Preparación y Caracterización de hidrogeles de Fibroína para aplicaciones biomédicas.,” 2015.
- [4] Y. C. Jimenez Peña, “Implementación de un biosensor colorimétrico de flujo lateral a partir

- de los derivados del capullo de *Bombyx Mori* y nanopartículas de oro para la detección de *Helicobacter Pylori*,” 2015.
- [5] M. A. Cardenas, “Evaluación biológica de sustitutos óseos inyectables a base de fibroína y nanobarras de hidroxapatita,” 2020.
- [6] E. E. Correa, D. O. G. Lopera, S. G. Restrepo, and C. P. Ossa-Orozco, “Effective sericin-fibroin separation from *Bombyx mori* silkworms fibers and low-cost salt removal from fibroin solution,” *Rev. Fac. Ing.*, no. 94, pp. 97–101, 2020, doi: 10.17533/udea.redin.20190731.
- [7] P. Kuchaiyaphum, W. Punyodom, S. Watanesk, and R. Watanesk, “Composition Optimization of Polyvinyl Alcohol / Rice Starch / Silk Fibroin-Blended Films for Improving Its Eco-Friendly Packaging Properties,” *Appl. Polym. Sci.*, 2013, doi: 10.1002/app.38977.
- [8] A. Rios, C. Alvarez, L. Cruz, and A. Restrepo, “Revisión: Fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos/Review: silk fibroin and their potential applications on biodegradable food packaging,” *Prospectiva*, vol. 15, no. 1, pp. 7–15, 2017, doi: 10.15665/rp.v15i1.685.
- [9] S. Xiao, Z. Wang, H. Ma, H. Yang, and W. Xu, “Effective removal of dyes from aqueous solution using ultrafine silk fibroin powder,” *Adv. Powder Technol.*, vol. 25, no. 2, pp. 574–581, 2014, doi: 10.1016/j.apt.2013.09.007.
- [10] L. Carvalho, P. Araújo, and J. Martins, “Síntese e caracterização de scaffolds de fibroína Synthesis and characterization of fibroin scaffolds,” 2018.
- [11] C. P. Ossa orozco and M. Buitrago Vásquez, “Degradation , mater uptake , injectability and mechanical strength of injectable bone substitutes composed of silk fibroin and hydroxyapatite nanorods,” *Redalyc*, pp. 1–12, 2018.
- [12] R. S. Pugina, G. Euzane, S. J. L. Ribeiro, J. Maurício, and A. Caiut, “Study of the energy transfer process in rare earth-doped silk fi broin for future application in luminescent compounds,” *J. Lumin.*, vol. 205, no. September 2018, pp. 423–428, 2019, doi: 10.1016/j.jlumin.2018.09.050.
- [13] A. Sionkowska and A. Planecka, “The influence of UV radiation on silk fibroin,” vol. 96, 2011, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.01.001.

Capítulo 4

ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FORMULADOS.

4.1 Introducción

Con el fin de disminuir las pérdidas de productos agrícolas, se ha trabajado en la aplicación de recubrimientos para la preservación de las frutas, lo cual representa una gran ventaja pues prolonga su vida útil, toda vez que la protege de humedad, evitando una cantidad de reacciones enzimáticas que aceleran el proceso de maduración, proceso que debe retardarse en frutos que sean de calidad de exportación, como el banano [1].

Los materiales empleados para la fabricación de las películas protectoras normalmente provienen de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas, así como mezclas de éstos. Los recubrimientos proporcionan una barrera semi-permeable a los gases y al vapor de agua, además puede actuar como portadores de ingredientes funcionales como agentes antimicrobianos y antioxidantes [2],

La fibroína de seda es un polímero natural que presenta una serie de características de gran interés para el desarrollo de nuevos materiales, entre las que se destacan sus propiedades mecánicas y su biodegradabilidad. Estas características hacen que la fibroína pueda tener potencial aplicación como biomaterial para empaques [3]. Gracias a la relativa facilidad con la que las proteínas de la seda pueden ser procesadas y convertidas en diferentes materiales, opciones de funcionalización con otros biomateriales, hacen de la fibroína una alternativa promisoría para la obtención de productos con variada aplicabilidad, especialmente en la industria alimentaria [4].

Una de las materias primas de gran demanda, tanto en el mercado externo como en el nacional, es el *Aloe vera*, planta de la cual se pueden obtener productos con fines cosmetológicos, farmacéuticos y alimenticios. Gracias a sus propiedades como cicatrizante, coagulante, hidratante, antialérgico, desinfectante, antiinflamatorio, astringente, y laxante el *Aloe vera*, ha sido un material ampliamente utilizado [5]. En el ámbito de conservación, algunas investigaciones han demostrado que el *Aloe vera* puede prolongar la vida útil y

mantener los atributos de calidad de los frutos cuando se utiliza como material aditivo en recubrimientos [6][7].

Por su parte, los aceites esenciales se pueden clasificar como naturales, artificiales y sintéticos. Los naturales se obtienen directamente de la planta y no se le realizan modificaciones físicas ni químicas. Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes. Los aceites esenciales sintéticos son producidos por la combinación de sus componentes los cuales se obtienen por procesos de síntesis química [8].

De manera particular, es posible obtener un aceite esencial de la planta *Thymus vulgaris* L. es un subarbusto de la familia *Lamiaceae*, conocido comúnmente como tomillo, es una planta perenne y aromática, rica en aceite esencial, cuyo principal componente es el timol, se utiliza el aceite esencial como antiséptico, antiviral y antibacteriano [9].

En cuanto a la rigidez de los recubrimientos, de manera general, es debida a las fuerzas de cohesión que estabilizan la matriz, que en este caso es de base proteica. Los plastificantes debilitan estas fuerzas de cohesión entre las cadenas, incrementando la movilidad de las mismas y mejorando la flexibilidad. El glicerol, denominado también trihidroxipropano o propanotriol es un polialcohol, que tiene tres grupos hidroxilos y es conocido comercialmente como glicerina [10] .

Los materiales mencionados anteriormente, son la base de los compuestos que fueron desarrollados en este trabajo y cuyo proceso de fabricación y propiedades se presentan en este capítulo.

4.2 Metodología

4.2.1 Formulación de compuestos

Con el fin de analizar el comportamiento de los materiales fibroína, *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo, como materiales aptos para elaborar recubrimientos protectores de

alimentos, realizaron combinaciones entre ellos para formar diferentes compuestos en forma de películas, los cuales fueron denotados como se muestra a continuación.

- Compuesto 1 - Fibroína
- Compuesto 2 - Fibroína + *Aloe vera*
- Compuesto 3 - Fibroína + aceite esencial de tomillo
- Compuesto 4 - Fibroína + *Aloe vera* + aceite esencial de tomillo.

Como plastificante, se empleó glicerol para todos los compuestos.

El *Aloe vera* empleado, fue el de la marca NaturSab, el cual indicaba que era 100% cristales de sábila, los cristales se pasaron por un colador, con el fin de extraer el gel, sin trozos. Por su parte, el aceite esencial de tomillo que se empleó fue el de la marca Phitother Laboratorios.

Cada compuesto se preparó por triplicado, es decir, se prepararon tres películas por cada uno de los formulados o compuestos. Para la elaboración de las películas, se prepararon 15ml de fibroína por molde, para un total de 45 ml por compuesto, tanto de aceite esencial de tomillo como glicerol son 0,15 ml, es decir, el 1.8% del total de la solución y 0.6ml de *Aloe vera* que representa el 3.77% de la solución final. Dicha información se resume en la tabla 2.

TABLA 2 - FORMULACIÓN DE COMPUESTOS.

Compuesto	Fibroína [15 ml]	<i>Aloe vera</i> [0.6 ml]	Aceite esencial de tomillo [0.15 ml]	Glicerol [0.15 ml]
1	X			X
2	X	X		X
3	X		X	X
4	X	X	X	X

Los formulados se mezclaron con agitación magnética por 30 min y posteriormente cada solución fue vertida en moldes de silicona y se secaron en horno a 40 °C durante 3 días. Cada formulado se realizó por triplicado esto con el fin de obtener películas suficientes para ser caracterizadas.

4.2.2 Caracterización química y morfológica

Las películas fabricadas a base de fibroína obtenidas para cada compuesto, fueron caracterizadas por medio de análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR) con el equipo PerkinElmer Spectrum Two, con el fin de determinar los grupos funcionales de la fibroína extraída, al *Aloe vera* usado y al aceite esencial de tomillo, en un rango de barrido entre 4000 – 450 cm^{-1} , además se les realizó microscopia electrónica de barrido (SEM) empleando el equipo ZIESS EVO10, con el fin de analizar la morfología de las muestras. Por compuesto se seleccionó una muestra cuadrada de aproximadamente 1 cm de lado, de una película, para analizar el acabado superficial, mediante SEM. Se seleccionó un aumento de 500x y 1000x que permitiera observar detalles superficiales de mejor modo.

Se analizaron las propiedades organolépticas de las películas obtenidas, donde se definió el estado de la película, en una escala de: excelente para películas sin defectos superficiales, buena para películas que poseen burbujas y regular para películas que poseían además de burbujas, otro defecto particular. Otros aspectos que se evaluaron fueron: la presencia o no de burbujas, la untuosidad al tacto para los compuestos que poseen aceite, intensidad de olor y el color, en una escala definida así: amarillo suave (AS), amarillo medio (AM), amarillo intenso (AI) y amarillo/café (AC). El espesor promedio, se obtuvo a partir de cinco medidas distribuidas como se muestra en la figura 15, como sugiere la norma ASTM E96/E96M -16 [11].



Fig 15. Medidas de espesor de las películas, autoría propia.

4.2.3 Prueba de permeabilidad al vapor de agua

Para evaluar la permeabilidad al vapor de agua (WVP) se seleccionó el método del agua, este ensayo se tomó de la norma ASTM E96/E96M – 16 [12]. Según la norma se definió como recipiente de prueba, un tubo falcon de 15 ml, el cual fue sellado con la película preparada (tres por cada compuesto) y ésta fue asegurada mediante resortes elásticos, cada sistema (tubo) fue llenado con 5ml de agua, se pesaron y se colocaron en cámaras de desecación con las condiciones estandarizadas de humedad relativa, temperatura y presión, este registro se realizó con el equipo termohigrómetro de la marca I+D electrónica. Las tomas de humedad relativa, temperatura y presión se realizaron a las 9:00 a.m., 12:00 m, 3:00 p.m. y 6:00 p.m., durante 3 días consecutivos. El montaje realizado se muestra en las figuras 16 y 17.

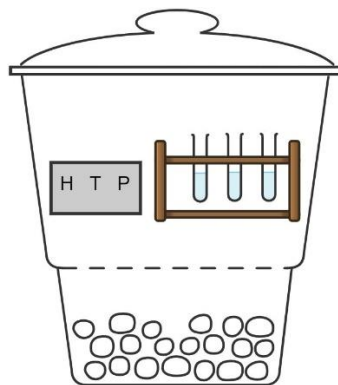


Fig 16. Montaje para el ensayo de permeabilidad al vapor de agua. Fuente: autoría propia.

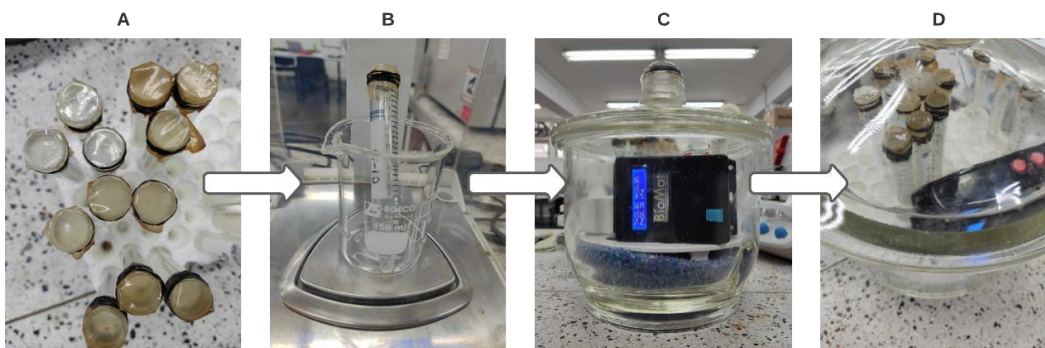


Fig 17. A. sujeción de la película al tubo, B. pesaje del sistema, C y D disposición en la cámara de desecación, Fuente: autoría propia.

Para hallar el índice de transferencia al vapor de agua o coeficiente de transmisión de vapor de agua WVT se empleó la ecuación 1, mostrada a continuación [12]:

$$WVT = \frac{G}{tA} \quad \text{Ecuación (1)}$$

G= cambio de peso (desde la línea recta) [g]

t= tiempo [h]

G/t= pendiente de la recta, [g/h]

A= área de prueba (área de la boca de la copa), [m²]

WVT = tasa de transmisión de vapor de agua, [g/h·m²]

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Formulación de compuestos

Las soluciones obtenidas mediante el proceso descrito anteriormente se pueden observar en la figura 18.

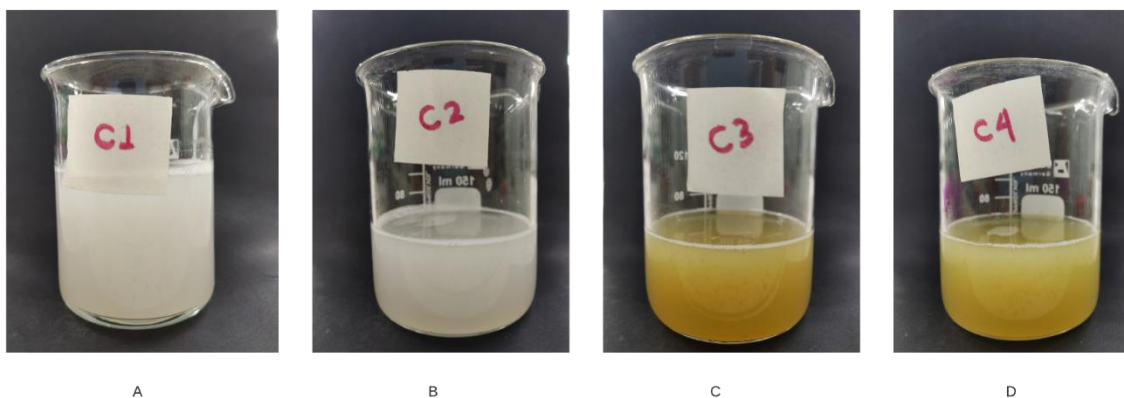





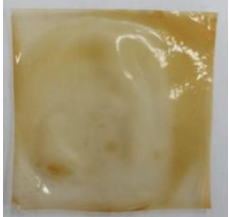





Fig 18. A. Compuesto 1. B. Compuesto 2. C. Compuesto 3. D. Compuesto 4

El color de la solución de fibroína obtenida es de color blanco, como se observa en la figura 18 A, la variación en la coloración de cada compuesto se debe a la presencia del aceite esencial de tomillo, pues su coloración es café, por lo tanto, los compuestos 1 y 2 no difieren en color, mientras que, como se puede observar la tonalidad de la solución del compuesto 3 (Figura 18 C) es más intensa que la coloración del compuesto 4 (figura 18 D), toda vez que éste último se mezcla, además del aceite esencial de tomillo, con el gel de *Aloe vera*, el cual atenúa el color de la solución final.

Las películas obtenidas por triplicado para cada uno de los compuestos se muestran en la tabla 3.

TABLA 3 - PELÍCULAS OBTENIDAS

(Todas las imágenes son de autoría propia)

Película Compuesto	1	2	3
1			
2			
3			

4



El proceso de fabricación de las películas fue fácil, toda vez que el molde de silicona permitió retirarlas sin ejercer presión o fuerza que le causara daños superficiales a la misma, los bordes secados en la pared del molde fueron retirados, para obtener una película cuadrada. Para el compuesto 1 se obtuvieron películas uniformes, pero poseían burbujas, la presencia de estas puede dificultar el proceso de permeabilidad de vapores en la matriz fruta/biopelícula. Por su parte para el compuesto 2 las películas obtenidas fueron uniformes, sin presencia de partículas o burbujas. Las películas del compuesto 3 presentan buena forma, aunque en los bordes presenta un grosor mayor, esta falla puede atribuirse a algún desnivel superficial en el proceso de secado. Finalmente, las películas del compuesto 4 poseen rebordes más gruesos. En cuanto a la coloración de las películas se puede observar un cambio de tonalidad desde un color amarillento hasta un color café, esto debido a la presencia del aceite esencial de tomillo cuya coloración es de esta tonalidad, las diferentes coloraciones pueden estar también asociadas a las trazas de aloína y antraquinonas del gel de *Aloe vera* [13].

Las propiedades organolépticas para las películas obtenidas se muestran en la tabla 4.

TABLA 4 - PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS.

FORMULADOS							
PELÍCULA	COMPOSICIÓN	PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS					
		ESPEJOR PROMEDIO [mm]	ESTADO	BURBUJAS	UNTUOSIDAD	OLOR	COLOR
1	C1	0,27±0,14	Excelente	No	N/A	No posee	AS
2		0,23±0,08	Buena	Si	N/A	No posee	AS
3		0,25±0,21	Buena	Si	N/A	No posee	AS
1	C2	0,19±0,13	Excelente	No	N/A	Agradable	AM

2		0,20±0,06	Excelente	No	N/A	Agradable	AM
3		0,24±0,12	Excelente	No	N/A	Agradable	AM
1	C3	0,41±0,07	Regular	Si	Si	Poco agradable	AI
2		0,40±0,13	Excelente	No	Si	Poco agradable	AI
3		0,26±0,15	Excelente	No	Si	Poco agradable	AI
1	C4	0,39±0,07	Excelente	No	Si	Poco agradable	AC
2		0,45±0,05	Buena	Si	Si	Poco agradable	AC
3		0,52±0,19	Buena	No	Si	Poco agradable	AC

De manera general, se puede afirmar que todas las películas obtenidas, poseían buenas características físicas, a excepción de algunas que poseían burbujas u otros defectos superficiales. El cambio del olor y color pueden estar relacionados a los aditivos presentes en cada compuesto, por ejemplo las películas que contienen aceite esencial de tomillo, se tornan más amarillentas tal como le suceden a Salazar en su investigación, donde realiza biopelículas a base de almidón de camote y, al agregar el aceite esencial, sus películas también cambian de color [14].

4.3.2 Caracterización

FTIR: Con el fin de analizar los picos o bandas existentes en el aceite esencial de tomillo, se muestra la figura 19, obtenida para el espectro infrarrojo, se observa una atenuación de la banda en cuanto a frecuencia de absorción del estiramiento característico O-H, que

normalmente se ubica entre 3600 cm^{-1} y 3700 cm^{-1} , pero en este espectro aparece a 3292 cm^{-1} , este desplazamiento puede estar relacionado con la formación de enlaces por puentes de hidrógeno, presentes en el aceite o por la interacción de éste con el glicerol, tal como sucede en el estudio descrito por Salazar [14]. Por otro lado, no son observables las bandas vibracionales correspondientes al estiramiento de los grupos metil o carbonilos, que posiblemente corresponden a flavonoides o cumarinas que deberían verse entre 1650 cm^{-1} y 1830 cm^{-1} [15].

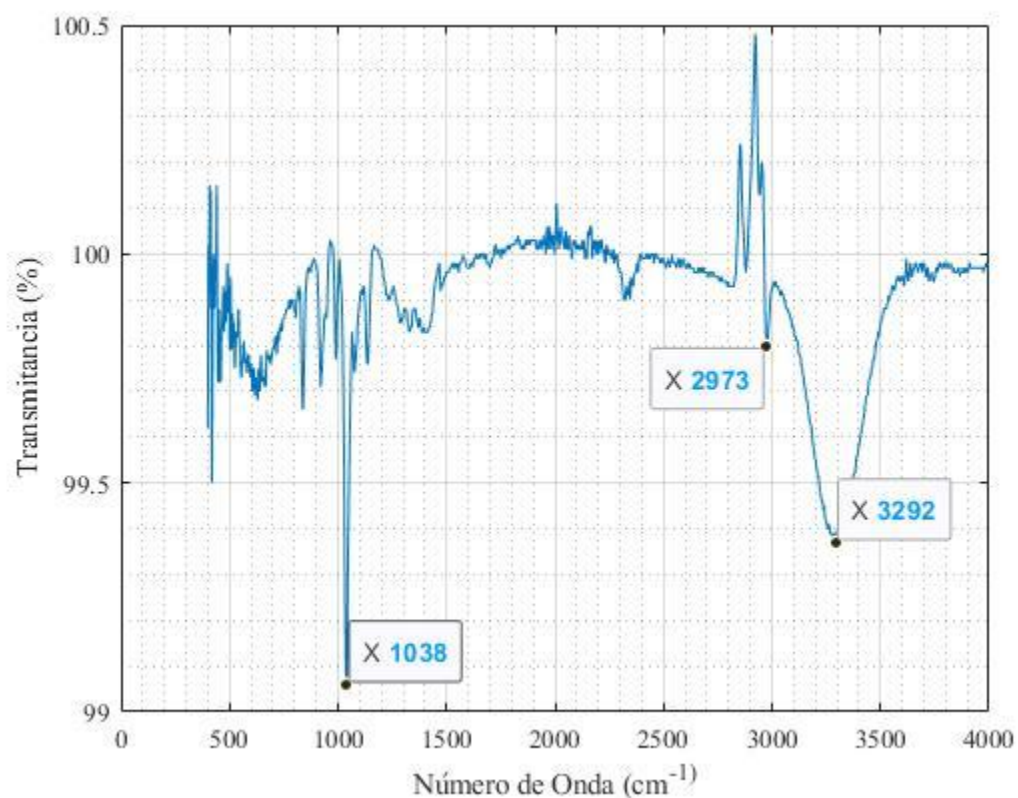


Fig 19. FTIR para el aceite esencial de tomillo.

La banda fuerte en 2973 cm^{-1} , se le puede asignar al estiramiento C–H asimétrico y simétrico en el alifático metil (CH_3), en los rangos de 940 cm^{-1} a 1220 cm^{-1} , se presenta una banda relacionada con el estiramiento C–H aromático, para el espectro obtenido, dicha banda se encuentra desplazada a 1038 cm^{-1} , debido, a los puentes de hidrógeno formados, como se

mencionó anteriormente. La presencia de anillos aromáticos y timol confirma las bandas típicas presentes en el aceite esencial de tomillo [16].

En la figura 20 se muestra el espectro infrarrojo para el *Aloe vera*, la muestra presenta una amplia banda de absorción centrada en 3246 cm^{-1} , que se debe al estiramiento de los grupos O-H, una característica de los monómeros de carbohidratos, incluidos la manosa y el ácido urónico, compuestos presentes en el *Aloe vera* [6].

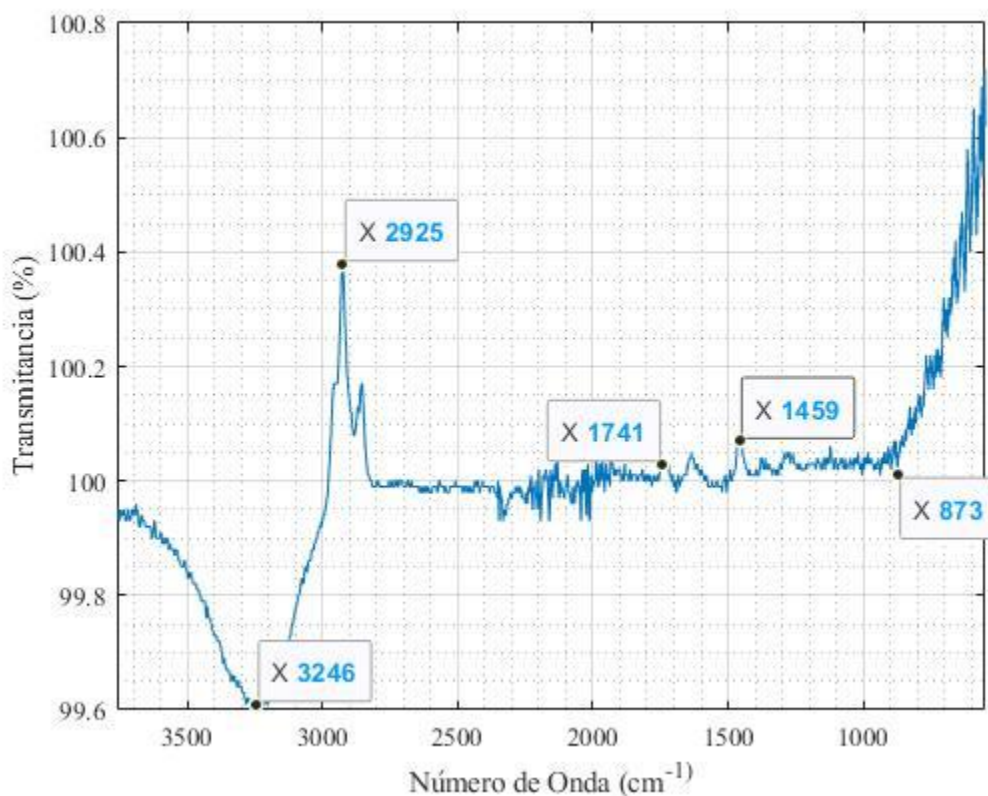


Fig 20. FTIR para el *Aloe vera*.

La banda de picos comprendida entre 1730 cm^{-1} y 1800 cm^{-1} aproximadamente, corresponden a la presencia de grupos carbonilos. En el espectro a 1459 cm^{-1} se evidencian picos de absorción pertenecientes al carboxilato (COO). El pico de absorción a 873 cm^{-1} se debe a la deformación fuera del plano C-H de los monómeros de carbohidratos. Estos picos de absorción indican la presencia de manosa y ácidos urónicos junto con sus polímeros de

carbohidratos (es decir, acemananos y pectinas), confirmando así las bandas características del *Aloe vera*, resultados que concuerdan con los obtenidos por Jafarizadeh *et. all* y Lim *et. all*, respectivamente. [17] [18].

En la Figura 21 se presenta el espectro infrarrojo para cada compuesto a base de fibroína, misma, obtenida por el método de extracción descrito anteriormente; la región de interés para este tipo de material se encuentra generalmente entre 1000cm^{-1} y 1800cm^{-1} , siendo la zona característica de las amidas principales presentes en la estructura molecular de la fibroína [19]. La estructura característica de la fibroína consta de una cadena de aminoácidos repetitivos: glicina, alanina y serina, dando así diferentes tipos de estructuras moleculares conocidas como α -helix y P-sheets, también llamadas seda I y seda II, respectivamente, estos resultados son comparables con los obtenidos por Xiao *et. all* [20].

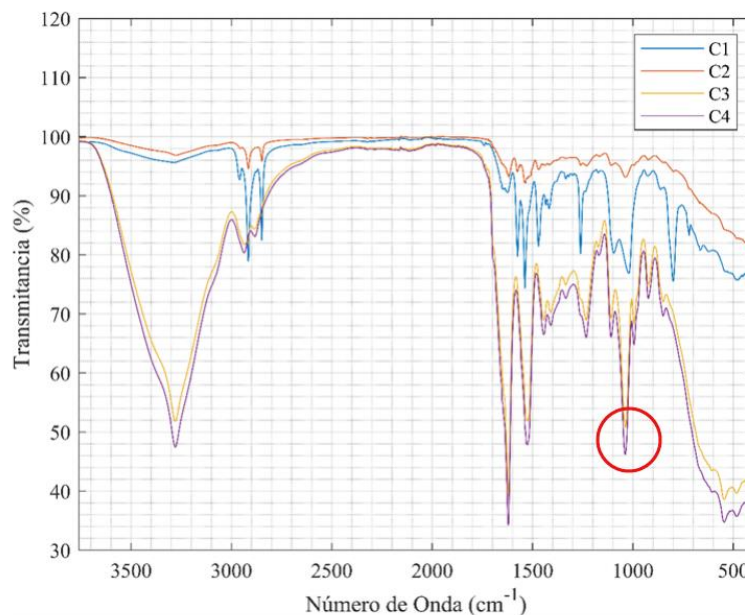


Fig 21. FTIR compuestos de fibroína.

El registro del espectro para todos los compuestos se realizó en un rango de número de onda de 4000cm^{-1} a 400cm^{-1} . Para todos los compuestos, de manera general se observó una pequeña banda a 2875cm^{-1} correspondiente al estiramiento C-H. Para los compuestos C3 y

C4 se observó además un fuerte pico de absorción a 3280 cm^{-1} asignado al estiramiento N-H del aminoácido serina en fibroína de seda [20]. Para los compuestos se observan las bandas características de la fibroína, alrededor de 1622 , 1536 y 1233 cm^{-1} , correspondientes a las amidas I, II y III, respectivamente, para la seda I (α -hélice). Para la seda II (láminas β), no se observa la banda de vibración de la amida I que debe estar cercada a la banda de la amida I para la seda I, esto puede deberse a un solapamiento de las bandas, por su parte a 1530 y a 1260 cm^{-1} aproximadamente se presenta la amida II y III para la seda 2 [20] [21] [22]. Estos resultados demostraron que la fibroína fue obtenida debido la presencia de las amidas tanto de la seda I como la II, puesto que indican la presencia de la estructura helicoidal y láminas β , concluyendo así que el material fue extraído de manera satisfactoria.

Por su parte, comparando los espectros obtenidos para cada uno de los materiales por separado, se observan de manera generalizada la presencia de los picos o bandas características para cada compuesto, es decir, en aproximadamente 3200 cm^{-1} se presenta una banda para el estiramiento de N-H presente en la fibroína, dicho espectro puede solapar bandas de otros materiales presentes. De manera particular, para el compuesto 1 (fibroína), se observa la presencia de las amidas pertenecientes a la fibroína. Para el compuesto C2 (fibroína + *Aloe vera*), se hace complejo identificar la presencia de las bandas características pues su porcentaje de transmitancia es menor, en comparación con los demás compuestos. Para el compuesto 3 (fibroína + aceite esencial de tomillo), se observa de manera notoria la banda relacionada con el estiramiento C-H aromático, en 1038 cm^{-1} (círculo rojo de la figura 6). Finalmente, el espectro del compuesto C4, presenta un comportamiento similar al compuesto C3, toda vez que comparten como materiales la fibroína y el aceite esencial de tomillo.

Microscopia electrónica de barrido (SEM): En la figura 22 se muestra el resultado obtenido de SEM para el compuesto 1 a 500x y a 1000x.

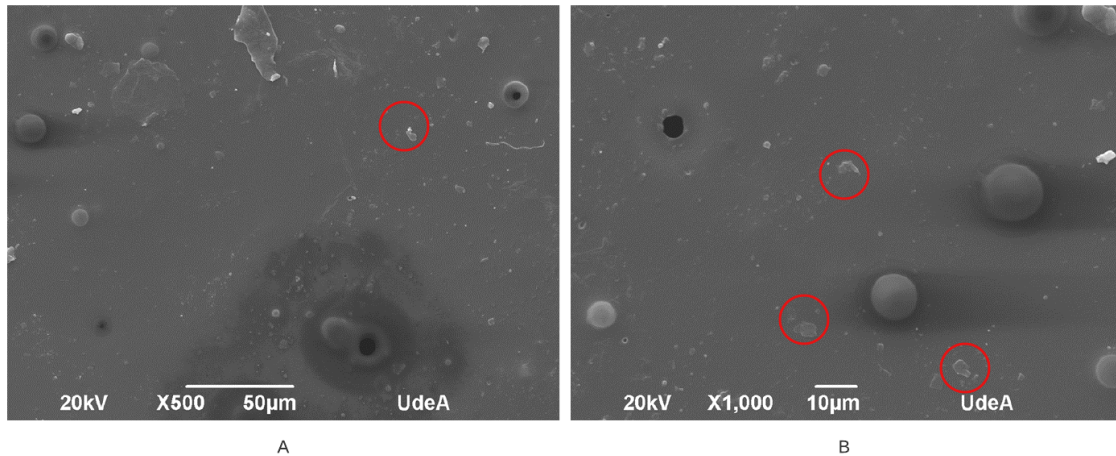


Fig 22. SEM compuesto 1, A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.

En la figura 22 A, se puede observar presencia de muchos defectos superficiales y presencia de impurezas para la película del compuesto C1, además en la figura 22 B se observa más claramente la existencia de burbujas, algunas estructuras de forma redondeada y presencia de impurezas en el material como las hojuelas blancas distribuidas por toda la superficie (encerradas en los círculos rojos de la figura 8 A y B), de tal modo se decide realizar para este compuesto, un ensayo adicional de espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDS), este ensayo, permitió el análisis de la composición de un volumen de muestra. La posición de los picos en el espectro identifica el elemento, mientras que la intensidad de la señal corresponde a la concentración del elemento, se analizó una de las hojuelas presentes en la muestra y los resultados se muestran en la figura 23.

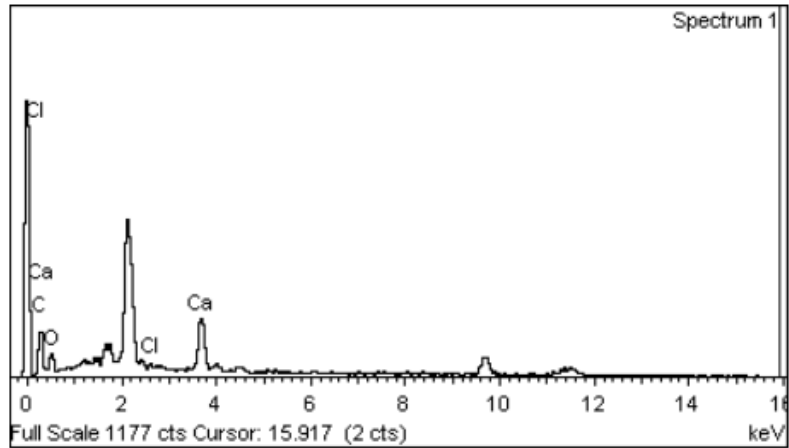


Fig 23. EDS compuesto 1.

Como es notable en la figura 23, se observa la presencia de trazas de los iones Cloro (Cl) y Calcio (Ca), ambos a diferentes concentraciones, esto debido a que en el proceso de solubilización de la madeja se agregó Cloruro de Calcio (CaCl_2) y en el proceso de diálisis dichos iones no salieron en su totalidad, de la solución de fibroína.

Para los compuestos 2, 3 y 4 los resultados de FTIR en los aumentos 500x y 1000x, se muestran en las figuras 24, 25 y 26 respectivamente, se puede decir que éstos compuestos poseen de manera general las mismas características superficiales, poca presencia de burbujas, defectos o aglomeraciones. Las hojuelas presentes se asocian a la presencia de trazas de Calcio y Cloro, como se mencionó anteriormente.

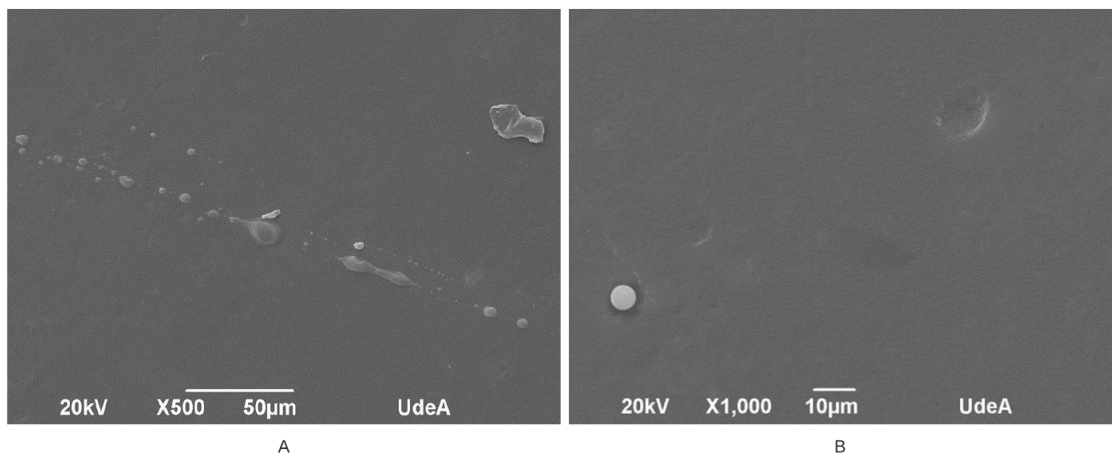


Fig 24. SEM, compuesto 2. A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.

En la figura 24 A, se puede observar una línea de burbujas y probablemente la presencia de Cloro o Calcio en la superficie, de otro modo, en la figura 24 B, se observa una superficie mas prolija, cuando se cambia a un aumento mayor y a otra zona de trozo de película.

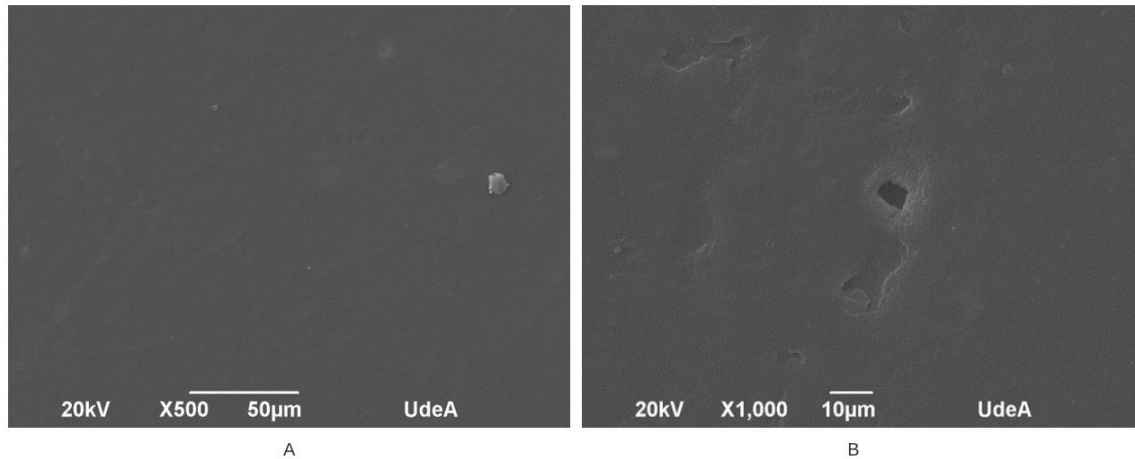


Fig 25. SEM, compuesto 3. A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.

De manera particular, para el compuesto C3, se tenía un trozo de película al parecer, con algunas grietas superficiales, no pasantes, es decir, que a 500x de aumento no se observa presencia de la grieta y a 1000 x de aumento, se confirmó que la grieta no atraviesa de manera transversal el material, es decir que es solo una variación en el espesor de la película. Entre tanto, se pudo observar una superficie compacta, carente de burbujas.

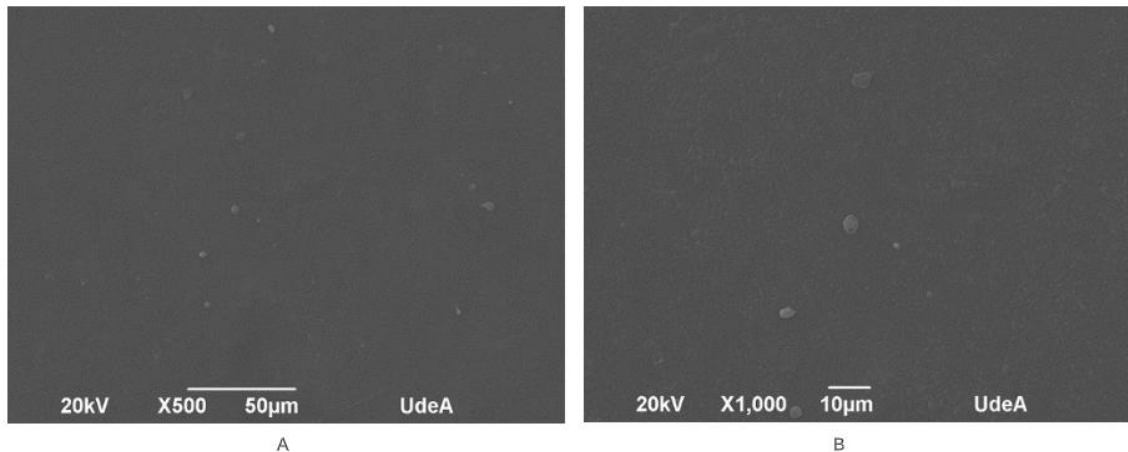


Fig 26. SEM, A. Aumento 500x. B. Aumento 1000x.

Finalmente se puede decir que a excepción del compuesto C1, los demás (C2, C3 y C4), analizados mediante ésta técnica, permitieron observar una superficie uniforme, continua, sin signos de fractura o deformidad posterior al proceso de secado, resultado que corresponde con los resultados obtenidos por Caballero y Gaviria, donde obtuvieron características superficiales similares, para películas a base de fibroína [23]. La morfología de las películas de los últimos compuestos indican además que los compuestos generaron una buena compactación y las fuertes interacciones creadas por los materiales que los componen, tal como lo indican estudios realizados y analizados mediante SEM por Wang *et. all* [24].

4.2.3 Prueba de permeabilidad al vapor de agua.

Se realizó el montaje del ensayo, además se tomó registro de temperatura [°C], humedad [%] y presión [kPa].

En la figura 27, se muestra la gráfica obtenida para la pérdida de peso por compuesto en promedio, se tomó la pérdida de peso total, registrada durante los 3 días de prueba, por película, se promedió este resultado para así obtenerlo por compuesto.

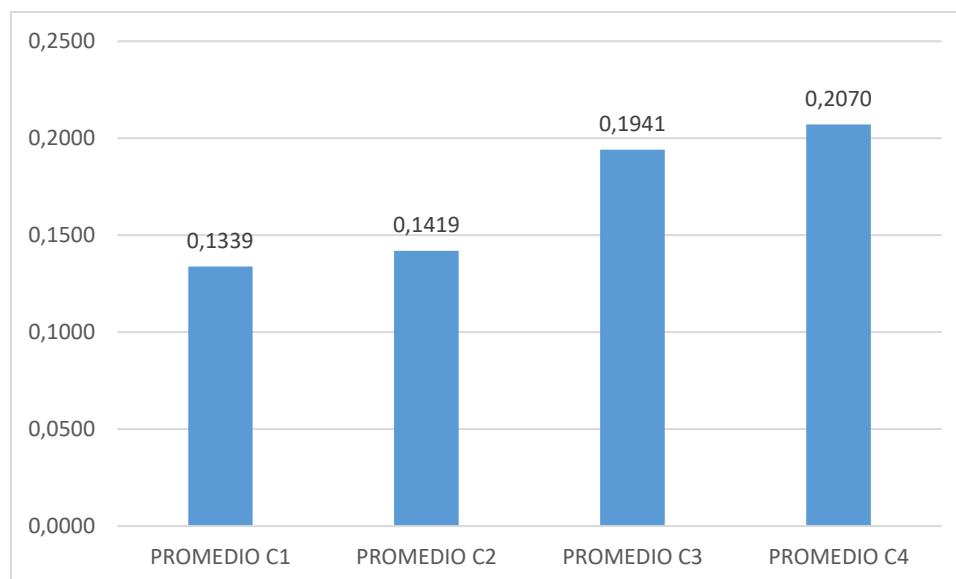


Fig 27. Pérdida de peso por compuestos.

De manera general, las películas del mismo compuesto se comportaron de forma similar en la pérdida de peso, pero como se muestra en la tabla 5, la diferencia de pérdida de peso entre compuestos difiere, resultó que, C1, C2, C3 y C4 se ubican de menor a mayor pérdida de peso, respectivamente, la información obtenida de las gráficas fue de gran utilidad para hallar el índice de permeabilidad al vapor de agua (WVT), además de la implementación de la ecuación (1). La temperatura promedio de los días de medición fue de 23.3 °C, la presión promedio de 88.49 kPa y la humedad relativa de 34.5 % durante los días del ensayo.

TABLA 5 - ÍNDICE DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA.

Muestra	Composición	Pérdida de peso [g]	WVT[g/h·m ²]	Promedio WVT
1	C1	0,1385±0,04	10,9296	10,5666±0,04
2		0,1273±0,04	10,0458	
3		0,1359±0,04	10,7244	
1	C2	0,1448±0,05	11,4268	11,2005±0,05
2		0,1390±0,05	10,9691	
3		0,1420±0,05	11,2058	
1	C3	0,1955±0,06	15,4277	15,3146±0,06
2		0,1992±0,06	15,7197	

3		0,1875±0,06	14,7964	
1		0,2025±0,07	15,9801	
2	C4	0,2141±0,07	16,8955	16,3379±0,07
3		0,2045±0,07	16,1379	

En cuanto a los índices de permeabilidad, se puede decir que este resultado está ligado a la pérdida de peso, siendo menos permeables aquellas que perdieron menos peso, es decir, C1 y C2, y más permeables al vapor de agua los compuestos C3 y C4, pues éstos perdieron más peso durante el ensayo. Esta información concuerda con la obtenida por Carballo y Martínez, quienes realizaron este ensayo para películas de quitosano [25], que aunque utilizan un material diferente, el índice se relaciona directamente con la pérdida de peso; también se presenta similitud con el ensayo de Zavala *et al* [11] dónde a menor pérdida de peso, menor índice de permeabilidad, también para películas a base de quitosano.

Referencias

- [1] J. L. Lopez, “Prolongación de la vida útil del banano (*Musa paradisiaca*), usando su latex como recubrimiento.,” 2020, [Online]. Available: [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/6622/López Torres José Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/6622/López_Torres_José_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [2] M. . Vázquez Briones and J. A. Guerrero Beltran, “Recubrimientos de frutas con películas.,” pp. 6–10, 2013.
- [3] A. Rios, C. Alvarez, L. Cruz, and A. Restrepo, “Revisión: Fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos/Review: silk fibroin and their potential applications on biodegradable food packaging,” *Prospectiva*, vol. 15, no. 1, pp. 7–15, 2017, doi: 10.15665/rp.v15i1.685.
- [4] Y. C. Jimenez Peña, “Implementación de un biosensor colorimétrico de flujo lateral a partir de los derivados del capullo de *Bombyx Mori* y nanopartículas de oro para la detección de *Helicobacter Pylori*.,” 2015.

-
- [5] M. A. Córdova, K. G. Dávila, and A. K. Flores, “Evaluación del efecto fungicida del gel de aloe vera y la cola de caballo (*Equisetum arvense*) frente a hongos fitopatógenos causantes del crown rot del banano orgánico en el Valle del Chira - Sullana,” *Univ. Nac. Piura*, 2019, [Online]. Available: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2286>
- [6] A. Vega, A. Nevenka, L. Díaz, and R. Lemus, “Aloe vera (*Aloe barbadensis miller*) como componente de alimentos funcionales,” *Rev. Chil. Nutr.*, 2005.
- [7] D. Zapata, “Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con gel de sábila (*Aloe vera*),” 2019.
- [8] A. Martínez, “Aceites Esenciales,” Div. Publicaciones UIS, p. 180, 2009.
- [9] J. R. Armas et al., “Aceite esencial de *Thymus vulgaris* L (tomillo), su combinación con EDTA contra *Cándida albicans* y formulación de una crema,” vol. 76, no. 3, pp. 0–5, 2015.
- [10] K. Cusme and A. S. Gómez, “Porcentajes de almidones con adición de plastificantes naturales en la elaboración de un recubrimiento,” *Espam*, pp. 1–74, 2019, [Online]. Available: <http://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1055/1/TTMAI5.pdf>
- [11] M. Zavala, J. Castañeda, M. Rivera, and D. la F. Norma, “Evaluación De Propiedades Mecánicas Y Permeabilidad Al Vapor De Agua De Películas De Quitosano,” *Jóvenes en la Ciencia, Rev. Divulg. Científica*, vol. 3, no. 1, pp. 27–31, 2017, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/324475378_EVALUACION_DE_PROPIEDADES_MECANICAS_Y_PERMEABILIDAD_AL_VAPOR_DE_AGUA_DE_PELICULAS_DE_QUITOSANO
- [12] ASTM/International, “Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Shipping Containers,” vol. 95, no. Reapproved, pp. 4–6, 2003, doi: 10.1520/E0096.
- [13] R. Domínguez-Fernández et al., “El gel de aloe vera: Estructura, composición

- química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria,” *Rev. Mex. Ing. Qum.*, vol. 11, no. 1, pp. 23–43, 2012.
- [14] A. M. Salazar Palma, “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de films basados en almidón de camote (*ipomoea batatas*) y aceite esencial de oregano (*Origanum vulgare*) y tomillo (*Thymus vulgaris*).”
- [15] F. D. Reina et al., “Análisis químico de las especias : tomillo y salvia,” vol. 14, no. 1, pp. 89–96, 2016.
- [16] M. Catauro et al., “Chemical analysis and anti-proliferative activity of Campania *Thymus Vulgaris* essential oil,” *J. Essent. Oil Res.*, vol. 29, no. 6, pp. 461–470, 2017, doi: 10.1080/10412905.2017.1351405.
- [17] H. Jafarizadeh and B. Fardsadeh, “Aloe vera leaf extract mediated green synthesis of selenium nanoparticles and assessment of their *In vitro* antimicrobial activity against fungi and pathogenic bacteria strains,” pp. 399–407, 2019.
- [18] Z. X. Lim and K. Y. Cheong, “Effects of drying temperature and ethanol concentration on bipolar switching characteristics of natural Aloe vera-based memory devices,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 17, no. November, pp. 26833–26853, 2015, doi: 10.1039/C5CP04622J.
- [19] M. A. Cardenas, “Evaluación biológica de sustitutos óseos inyectables a base de fibroína y nanobarras de hidroxapatita,” 2020.
- [20] S. Xiao, Z. Wang, H. Ma, H. Yang, and W. Xu, “Effective removal of dyes from aqueous solution using ultrafine silk fibroin powder,” *Adv. Powder Technol.*, vol. 25, no. 2, pp. 574–581, 2014, doi: 10.1016/j.apt.2013.09.007.
- [21] C. P. Ossa orozco and M. Buitrago Vásquez, “Degradation , mater uptake , injectability and mechanical strength of injectable bone substitutes composed of silk fibroin and hydroxyapatite nanorods,” *Redalyc*, pp. 1–12, 2018.
- [22] M. E. Moncada, C. P. Ossa-orozco, and M. L. Mejía Suaza, “Characterization of

- Electrospun Silk Fibroin Scaffolds for Bone Tissue Engineering: A Review
Caracterización de andamios de seda,” *TecnoLógicas*, vol. 23, no. 49, pp. 33–51, 2020.
- [23] L. Caballero Méndez and D. Gaviria Arias, “Desarrollo y caracterización de películas de fibroína de seda para reparación condral,” *Rev. Colomb. Biotecnol.*, vol. 21, no. 1, pp. 71–81, 2019, doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.73137.
- [24] L. Wang, C. Lu, B. Zhang, B. Zhao, F. Wu, and S. Guan, “Fabrication and characterization of flexible silk fibroin films reinforced with graphene oxide for biomedical applications,” *RSC Adv.*, vol. 4, no. 76, pp. 40312–40320, 2014, doi: 10.1039/c4ra04529g.
- [25] E. A. Carballo and E. S. Martínez, “Determinación de la permeabilidad al vapor de agua por el método ASTM E96/E 96M-05 en películas de quitosano,” pp. 1–218, 2010.

Capítulo 5

APLICACIÓN SOBRE EL FRUTO

5.1 Introducción

El banano de tipo exportación en Colombia es cultivado principalmente en las regiones de Urabá y Magdalena. La especie que más se exporta en el país se conoce como *Musa cavendish* (Figura 28): Orden: *Scitamineae*, familia: *Musaceae*, género: *Musa*, especie: *Musa cavendish* [1].



Fig 28. Banano tipo *Cavendish*.

Fuente: https://www.uniban.com/images/banano/Cavendish_Banana_uniban.jpg

El banano es considerado una fruta climatérica, es decir, que su composición depende de la tasa de respiración ocurrida entre las capas de la cascara de la fruta. La mayoría de los frutos carnosos, presentan una tasa alta de respiración, que coincide con cambios de color, sabor, textura, peso, asociados con el proceso de maduración [2]. El desarrollo del fruto se divide en tres fases: crecimiento, maduración y senescencia. La primera fase, está marcada por un periodo de división y estiramiento de los dedos, como se denomina comercialmente a cada fruto. La segunda fase es la de maduración y se caracteriza por cambios físicos y químicos que afectan principalmente la calidad sensorial del fruto como apariencia, sabor aroma y textura. Finalmente se da la etapa de senescencia y es cuando el fruto se llena de pecas color café [3].

Desde el punto de vista comercial el cambio de color es importante para determinar el estado de madurez del banano, Von Loesecke propuso una escala de siete niveles para describir los cambios de coloración observados en el proceso de maduración, tal como se muestra en la figura 29. Es necesario aclarar que la madurez visual se relaciona directamente con la maduración interna de la pulpa [4].

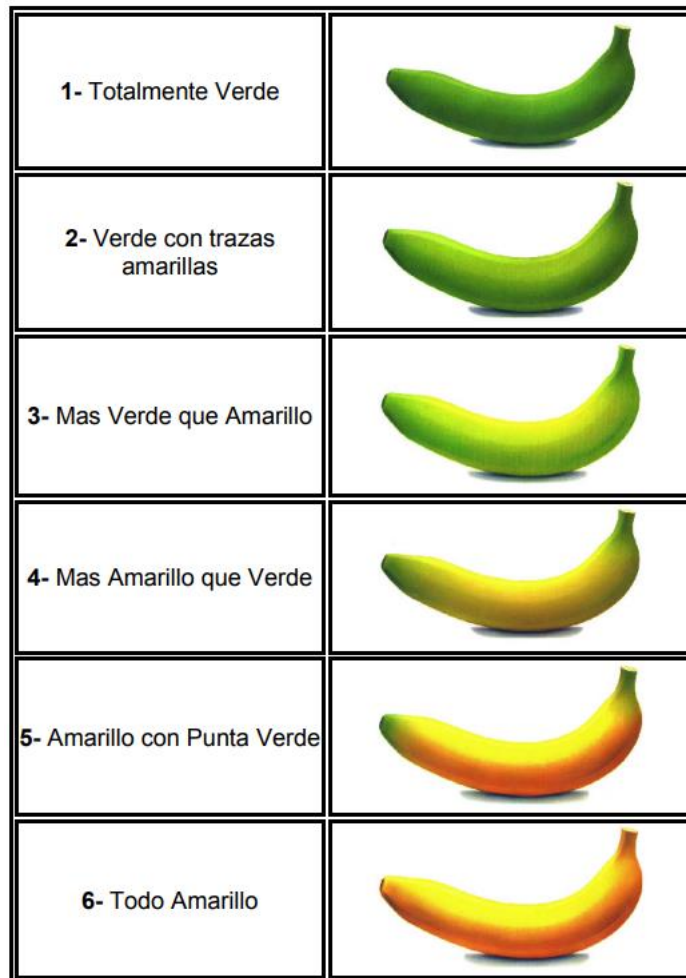


Fig 29. Escala de maduración de Von Loesecke [5]

El fruto cosechado sigue ejerciendo su actividad metabólica de forma irreversible debido a la producción de la enzima de maduración, etileno, responsable de la maduración organoléptica del banano y de otros frutos climatéricos [5]. El etileno es un gas incoloro de sabor y olor dulce y agradable empleado en síntesis químicas, regula diferentes enzimas que ocasionan el ablandamiento en la pulpa, ayuda a la conversión de almidón a azúcares, incrementa la actividad polifenoloxidadada (pardeamiento enzimático), favorece la síntesis de compuestos aromáticos y aporta en la degradación de clorofilas [6], además es usado para acelerar el proceso de maduración de algunas frutas y verduras [7][8].

Por su parte, es conocido que el suelo, aire y agua se ven constantemente afectados por agentes patógenos que pueden causar enfermedades, por lo tanto se sugiere utilizar recubrimientos, que a pesar de ser útiles, terminan siendo desechados de manera inmediata, por lo tanto plásticos, bolsas y demás son ahora un problema mayor [9]. Es necesario entonces buscar opciones sustentables que permitan proteger los frutos y que éstos puedan ser exportados garantizando el procesamiento mínimo y que los recubrimientos empleados no sean tóxicos.

Ahora bien, un recubrimiento comestible puede estar definido como una matriz continua delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento ya sea por los métodos de aspersión, inmersión, pinceladas, entre otros. El uso de recubrimientos en frutas ha sido utilizado para mantener la calidad y prolongar su vida útil [10]. Algunos biomateriales implementados en empaques o recubrimientos amigables con el medio ambiente son polisacáridos como la celulosa, almidón, quitosano, a la vez, se encuentra la combinación de dichos materiales con polímeros sintéticos como polivinil alcohol (PVA), policaprolactona (PLC), representando así una clara alternativa en la reducción de desechos contaminantes [11][12].

En este apartado se aplican sobre bananos, los recubrimientos desarrollados a base de fibroína, y en el capítulo anterior, para verificar el proceso de maduración y algunas propiedades organolépticas de los mismos.

5.2 Metodología

Para proceder a aplicar los distintos compuestos formulados sobre los bananos, se analizaron de manera inicial los métodos de aplicación para ello, por inmersión, aspersión o implementando una brocha. Se pudo determinar que a nivel de laboratorio la mejor técnica es el uso de brocha, toda vez que para la técnica de inmersión se requieren grandes cantidades de las soluciones y para la técnica de aspersión las soluciones deben tener una baja viscosidad. Cabe aclarar que a nivel industrial la mejor técnica sería la de inmersión por la rapidez del proceso.

5.2.1 Limpieza de los frutos

Se obtuvo un racimo de bananos en escala de madurez 1 (totalmente verde), se cortaron uno a uno conservando la mayor cantidad de tallo o pedicelo, se lavaron con agua corriente y jabón neutro, sin usar esponjas abrasivas que pudieran causar daños en la piel del fruto, se enjuagaron y dejaron secar a la intemperie.

5.2.2 Aplicación del recubrimiento

Una vez secos, se realizó un sistema simple amarra + hilo, para sujetar los bananos del pseudotallo y ubicarlos en una estructura para proceder con la aplicación mediante brocha de cada uno de los recubrimientos. Se dejaron secar a temperatura ambiente y a cada uno se le aplicaron 3 capas de recubrimiento, el ensayo se realizó por quintuplicado para los cuatro compuestos evaluados.

5.2.3 Pérdida de peso y evaluación de propiedades organolépticas

Se realizó una toma de peso inicial de cada banano, y se registró durante 10 días el peso de estos, además se llevó un registro fotográfico y pasado este tiempo se realizó una prueba de propiedades organolépticas que incluía la descripción del sabor, olor, color y textura, a partir de un trozo de fruto, correspondientes a cada compuesto y al control.

5.2.4 Actividad antimicrobiana y antifúngica de los recubrimientos

De manera visual se analizó la presencia o no de diferentes hongos o bacterias, los cuales dejan rasgos característicos en el fruto. Se corroboró con los registros fotográficos tomados durante 10 días y se compararon los resultados cualitativos de los bananos sin recubrimiento (control) y los diferentes recubrimientos empleados.

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Limpieza de los frutos

En la figura 30, se muestran los bananos seleccionados ya limpios.



Fig 30. Bananos lavados y secos.

Se realizó una escogencia aleatoria donde se agruparon 5 frutos para cada uno de los compuestos y el control. En total se emplearon 25 bananos del mismo racimo.

5.3.2 Aplicación del recubrimiento

En la figura 31 se muestra el sistema de sujeción empleado y la estructura de almacenamiento.

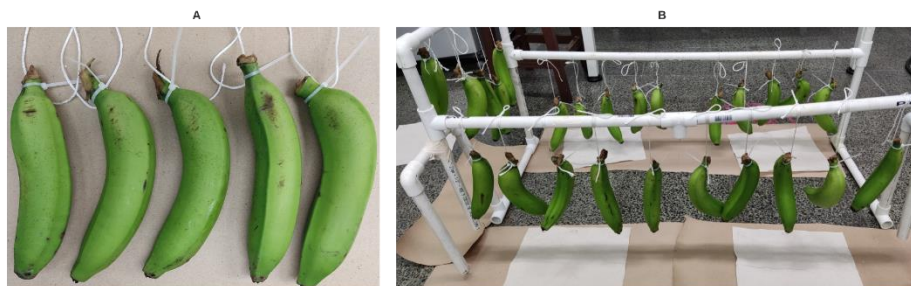


Fig 31. A. Sistema de sujeción. B. Estructura para almacenamiento de bananos.

Cada banano fue sujetado como se muestra en la figura 31 A, empleando una amarra, debido a que los bananos en su proceso de maduración pierden peso, y este sistema permite ajustarse al fruto de forma continua. Posteriormente, a cada banano le fueron aplicadas tres capas del compuesto empleando una brocha de cerdas suaves, cubriendo toda la superficie de este, se dejó secar entre capa y capa.

5.3.3 Pérdida de peso y evaluación de propiedades organolépticas

La pérdida de peso en los bananos se analizó con medidas tomadas durante 10 días, a la misma hora, se pesaron cada uno de los bananos tanto recubiertos con cada compuesto, como el control. El porcentaje de pérdida de peso se relaciona en la tabla 6.





















TABLA 6 - PÉRDIDA DE PESO DE BANANOS.

Compuesto	Peso inicial [g]	Peso final [g]	Porcentaje de pérdida de peso [%]	Porcentaje de pérdida de peso promedio [%]
1	128,32	108,36	15,55	15,69±0,36
	119,47	100,42	15,95	
	128,93	108,35	15,96	
	136,92	116,24	15,10	
	148,52	124,96	15,86	
2	126,70	109,66	13,45	16,02±3,13
	126,56	107,41	15,13	
	114,28	97,20	14,95	
	115,17	90,41	21,50	
	127,67	108,40	15,09	
3	117,68	101,84	13,46	15,80±2,41
	123,28	99,59	19,22	
	128,76	108,24	15,94	
	134,13	111,53	16,85	
	120,49	104,16	13,55	
4	130,18	112,40	13,66	14,35±0,77
	126,39	108,37	14,26	
	146,71	124,13	15,39	
	129,32	111,73	13,60	
	127,06	108,18	14,86	
Control	128,34	110,30	14,06	14,96±1,56
	121,36	102,88	15,23	
	122,34	103,48	15,42	
	126,82	105,09	17,13	
	123,79	107,74	12,97	

De manera general, la pérdida de peso en las frutas en la fase de maduración es un proceso inevitable, pero ésta pérdida no debe ser de cierto modo exagerada cuando se conserva en la intemperie, sin almacenamiento en refrigeración, tal como lo indica Campuzano [5]. La pérdida de peso en cada uno de los compuestos es evidente, ninguno de los recubrimientos está exento de la transferencia de gases entre el banano y el ambiente, sin embargo, el único compuesto que obtuvo un porcentaje de pérdida de peso menor que el control ($14,96 \pm 1,56$ %), fue el C4 con un $14,35 \pm 0,77$ %. Los compuestos C1, C2 y C3 obtuvieron porcentajes mayores al control, con un $15,69 \pm 0,36$ %, $16,02 \pm 3,13$ % y $15,80 \pm 2,41$ %, respectivamente. Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Quintero y Marín, dónde incluso algunos protocolos de recubrimientos, hicieron que los frutos perdieran mayor cantidad de peso que el control [13].

Para evaluar la escala de maduración, se llevó a cabo un registro fotográfico de cada compuesto, por quintuplicado, para verificar la coloración de los frutos y su cambio diario. En la tabla 7, se muestran los resultados obtenidos por día, para los compuestos y el control.

TABLA 7 - PROCESO DE MADURACIÓN DE BANANOS.

Día	C1	C2	C3	C4	BLANCO
1					
2					
3					
4					



En términos generales, el proceso de maduración de los bananos se puede ver afectado por diferentes factores, la temperatura, la exposición a la luz del racimo, humedad relativa, tal como lo indica Villamizar [2]. Para todos los frutos se presentó un proceso de maduración inicial controlado, similar al del grupo control. Sin embargo, al final del ensayo, la coloración de los compuestos C1 y C2, fue mayor que el control, por lo que se confirma que estos recubrimientos no permitieron un correcto intercambio gaseoso de oxígeno, dióxido de carbono y etileno, acelerando el proceso de maduración. Por su parte los recubrimientos C3 y C4, se tornaron de una coloración similar al control, incluso el recubrimiento C4, puede decirse que se maduró en menor medida que el control, siendo una clara opción de recubrimiento comercial cuando se le compara con los resultados obtenidos de pérdida de peso, mencionado anteriormente.

Con el fin de analizar algunas propiedades organolépticas se realizó un ensayo de degustación a 4 panelistas, de los cuales 3 no conocían los activos presentes en cada compuesto, mientras que uno de ellos sí. Posterior a la degustación y visualización de las propiedades mencionadas, se procedió a recoger la información y anotaciones mediante un formato. Una vez finalizada la prueba de pérdida de peso, se concluyó que el sabor de la fruta no cambió significativamente así estuviese recubierta, tampoco evidenciaron cambios significativos en el olor, por la presencia del aceite esencial de tomillo en los compuestos C3 y C4. La textura de la pulpa es el aspecto en que más se difiere, toda vez que los frutos poseían diferentes estadios de maduración. El color de la cascara y la pulpa se describieron como normales. Las valoraciones obtenidas de cada uno de los panelistas se encuentran en el anexo 1.

5.3.4 Actividad antimicrobiana y antifúngica de los recubrimientos

Partiendo de los resultados mostrados en la tabla 3, de forma cualitativa se analizó la presencia de microorganismos o afecciones al fruto que dieran indicios de la acción de estos sobre el fruto. Tanto para el control como para los compuestos, no se evidenciaron cambios en la coloración, olor, diferentes a los característicos del proceso de maduración, en tal sentido, tampoco se observó presencia de mohos en los pedicelos.

El *Aloe vera* como aditivo funciona además de barrera a gases, como estimulante en la seguridad de los recubrimientos mediante la inhibición de crecimiento de microorganismos, se concuerda con la información obtenida por García *et. al*, quienes indican que al igual que el recubrimiento para frutas y hortalizas como: zanahorias, fresas y frambuesas, su método de biopelícula aplicado a guayaba a base de *Aloe vera*, es viable en el control del crecimiento microbiano [14].

La adición de aceite esencial de tomillo a los recubrimientos se puede decir que aumenta la actividad antimicrobiana debido a la presencia de compuestos fenólicos como el timol, presente en los componentes de este aceite, dicha información concuerda con la obtenida por Salazar, quien al agregar este aceite en películas a base

de almidón de camote, observó un aumento de la inhibición, respecto a recubrimientos carentes de aceite [15].

Referencias

- [1] Á. J. Ramírez Zuñiga, “Aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano ((Musa AAA Cavendish) en Carepa-Antioquia,” Univ. Córdoba, vol. 5, no. 1, pp. 43–54, 2020, [Online]. Available: <http://www.akrabjuara.com/index.php/akrabjuara/article/view/919>
- [2] F. Villamizar de Borrero, “Fisiología de maduración postcosecha de banano Variedad Nanica (Musa Cavendishii),” Ing. e Investig., no. 8, pp. 25–33, 1984, doi: 10.15446/ing.investig.n8.19482.
- [3] J. L. Lopez, “Prolongación de la vida útil del banano (Musa paradisiaca), usando su latex como recubrimiento.,” 2020, [Online]. Available: [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/6622/López Torres José Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/6622/López_Torres_José_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [4] V. Rivera, “Efecto del Estado de Madurez del Banano Cavendish en las Propiedades de Hidratación de la Harina y Gel,” 2015.
- [5] A. M. Campuzano, “Efecto del tipo de producción de banano Cavendish en su comportamiento poscosecha.,” 2010.
- [6] J. C. García, H. Balaguera-López, and & H. Aníbal, “Conservación del fruto de banano bocadillo (Musa AA Simmonds) con la aplicación de permanganato de potasio Conservation of baby banana (Musa AA Simmonds) fruits with the application of potassium permanganate (KMnO 4),” vol. 6, no. 2, pp. 161–171, 2012.
- [7] L. Cachay Quevedo, “Maduración controlada y color en bananos,” p. 82, 2017, [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4252/1/6772.pdf>

-
- [8] J. J. Cuevas, R. O. Ornelas, and A. Gudiño, “Design of an electronic nose with artificial neural networks to determine fruit ripening,” *Rev. Difusión Científica, Ing. y Tecnol.*, vol. 15, no. 3, pp. 65–72, 2021.
- [9] V. Gutierrez, “Diseño de una biopelícula para la conservación de fresa silvestre (*Fragaria vesca*), una estrategia encaminada a la sustitución de empaques plásticos.” 2014.
- [10] M. . Vázquez Briones and J. A. Guerrero Beltran, “Recubrimientos de frutas con películas.” pp. 6–10, 2013.
- [11] H. S. Villada, H. Acosta, and R. Velasco, “Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables,” *Temas Agrar.*, vol. 12, no. 2, pp. 5–19, 2007, doi: 10.21897/rta.v12i2.652.
- [12] A. Rios, C. Alvarez, L. Cruz, and A. Restrepo, “Revisión: Fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos/Review: silk fibroin and their potential applications on biodegradable food packaging,” *Prospectiva*, vol. 15, no. 1, pp. 7–15, 2017, doi: 10.15665/rp.v15i1.685.
- [13] L. Quintero and M. Marín, “Evaluación de la eficiencia y análisis antimicrobiano de las biopelículas de quitosano obtenido por métodos biotecnológicos, usadas en la conservación del banano,” *Univ. Antioquia*, 2014.
- [14] G. A. García-Mera, C. A. Salas-Macías, and H. G. Canales-Torres, “Recubrimiento comestible natural con base en Aloe vera como estrategia de conservación de *Psidium guajava*,” *Rev. científica*, vol. 3, no. 30, p. 224, 2017, doi: 10.14483/23448350.11790.
- [15] A. M. Salazar Palma, “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de films basados en almidón de camote (*ipomoea batatas*) y aceite esencial de oregano (*Origanum vulgare*) y tomillo (*Thymus vulgaris*).”.

ANEXOS.

Anexo 1 – Evaluación de propiedades organolépticas.

Panelista 1.

Compuesto	Sabor	Olor	Color	Textura
1	Dulce	Normal/Dulce	Normal	Semi-arenosa
2	Más dulce que C1	Normal	Normal	Menos arenoso que C1
3	Dulce	Normal	Normal	Suave
4	Trazas de acidez	Normal	Normal	Menos suave que C3
Control	Similar a C4	Normal	Normal	Arenoso

Panelista 2.

Compuesto	Sabor	Olor	Color	Textura
1	Dulce	Normal	Normal	Semi-arenosa
2	Trazas de acidez	Normal	Normal	Semi-arenosa
3	Poco dulce	Normal	Normal	Suave
4	Trazas de acidez	Normal	Normal	Semi-suave
Control	Dulce	Menos intenso que C4	Normal	Suave

Panelista 3.

Compuesto	Sabor	Olor	Color	Textura
1	Dulce, sin acidez	Normal	Normal	Consistente, semi-arenosa
2	Dulce	Normal	Normal	Semi-arenosa
3	Menos dulce que C2	Normal	Normal	Más arenoso que C2.
4	Trazas de acidez	Normal	Normal	Firme y suave
Control	Dulce con trazas de acidez	Dulce	Normal	Suave

Panelista 4.

Compuesto	Sabor	Olor	Color	Textura
1	Dulce	Normal	Normal	Semi-arenosa
2	Más dulce que C1	Normal	Normal	Menos arenosa que C1
3	Dulce	Normal	Normal	Suave
4	Trazas de acidez	Normal, menos dulce	Normal	Menos suave que C3
Control	Más ácido que C3	Normal	Normal	Suave

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

6.1 Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto se llevó a cabo la formulación de compuestos a base de fibroína extraída desde los capullos del gusano de seda *Bombyx mori*, inicialmente, se realizó la extracción y caracterización de la fibroína empleando el protocolo propuesto por el laboratorio en biomateriales BioMat, luego se elaboraron y caracterizaron cuatro compuestos con adiciones de *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo, que finalmente fueron aplicados sobre el fruto y se evaluó el comportamiento del mismo en comparación con frutos sin recubrir, por lo tanto, según los objetivos planteados se puede concluir que:

- Se pudo extraer de manera satisfactoria la fibroína del capullo de seda del gusano *Bombyx Mori*, al contrastar los resultados obtenidos para las pruebas de caracterización (FTIR, UV-vis), se puede afirmar que se encontró la composición química de la misma, con bandas de absorbancia y transmitancia en los rangos establecidos para los aminoácidos aromáticos presentes en la proteína en mención.
- Fue favorable elaboración y caracterización de los formulados, puesto que se obtuvieron trazas de cada uno de los materiales que los conformaban, esta información es verificable mediante los espectros de FTIR y SEM realizados a cada una de las películas.
- En cuanto a la permeabilidad de las películas obtenidas, es claro que todas tuvieron una pérdida considerable de peso, pero los índices de permeabilidad al vapor de agua indican que los compuestos C1 y C2, son menos permeables que los compuestos C3 y C4, cabe anotar que los resultados obtenidos reflejan que, a menor pérdida de peso, menor índice de permeabilidad.
- Se logró implementar los formulados sobre el fruto, y se afirma que los bananos recubiertos con los compuestos C1, C2 y C3, perdieron mayor cantidad de peso en gramos que los bananos control, mientras que para el compuesto C4, los bananos perdieron peso en menor medida cuando se compara con los demás. Por su parte,

cuando se compara la pérdida de peso con el índice visual de maduración, se concuerda que los bananos recubiertos con los compuestos que presentaron mayor pérdida de peso se tornaron más amarillos que los que tuvieron menor pérdida de peso, los cuales se tornaban más verdes.

- Las propiedades organolépticas no se vieron afectadas en gran medida para los bananos recubiertos, las propiedades de olor, color, sabor y textura no difieren respecto a los bananos control, sino respecto al índice de maduración mostrado para cada fruto.
- El comportamiento antimicrobiano y antifúngico se pudo corroborar de manera satisfactoria al comparar cualitativamente la ausencia de crecimientos de dichos patógenos, en los frutos recubiertos, como en el control, además, se comparó con los resultados obtenidos por otros autores y se concluyó que gracias a los activos tales como el *Aloe vera* y el aceite esencial de tomillo, se presenta una actividad inhibitoria de microorganismos.

Basado en los ítems anteriores, se concluye que el objetivo general de este proyecto se culminó, junto con los objetivos específicos, obteniendo que el recubrimiento denominado C4, acoge las propiedades de permeabilidad con un valor de 16,3379 % \pm 0,07, pérdida de peso 14,35 \pm 0,77%, índice de maduración controlado y propiedades organolépticas óptimas que podrían ser potencialmente aplicados en recubrimientos para bananos de tipo exportación, toda vez que permite el intercambio gaseoso controlado, retardando el proceso de maduración respecto a bananos no recubiertos.

6.2 Perspectivas

Este proyecto deja un precedente en cuanto a la fabricación de películas o recubrimientos para frutos de tipo climatéricos, no solo el banano. Es de suma importancia evitar las pérdidas en las cosechas y el uso desmedido de plásticos como recubrimientos, por tal motivo, los resultados obtenidos sugieren que los recubrimientos a base de fibroína con adiciones de *Aloe vera* y aceite esencial de tomillo representan una clara alternativa a diferentes problemáticas ambientales. Para confirmar la inhibición de microorganismos de los recubrimientos se

recomienda realizar pruebas antimicrobianas y antimicóticas, con cepas específicas y corroborar dichos resultados, con lo que se puedan obtener de la literatura.