



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E
INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA



Tema:

Utilización de cáscara de plátano (*Musa spp.*), en el desarrollo de películas biodegradables

Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación: Desarrollo de películas biodegradables activas a partir de harina de plátano (género *Musa*) de rechazo y su aplicación agroalimentaria. Aprobado por el H. Consejo Universitario con resolución 1313-CU-P-2015 y coordinado por Mirari Arancibia, PhD.

Autor: José Andrés Viteri Herrera

Tutora: Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

Ambato – Ecuador

Enero – 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 02 de diciembre de 2019


Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

C.I: 180214246-1

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo José Andrés Viteri Herrera, declaro que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico son absolutamente originales, auténticos y personales; exceptuando las citas.



José Andrés Viteri Herrera

CI:180509791-0

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente del Tribunal



Msc. Diego Manolo Salazar Garcés

CI: 180312429-4



Ing. M.Sc. Líliana Patricia Acurio Arcos

CI: 180406708-8

Ambato, 06 de enero de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación o parte de él, como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto de Investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



José Andrés Viteri Herrera

CI:180509791-0

AUTOR

DEDICATORIA

A mis Abuelitos Ángel y Beatriz, por su esfuerzo incansable y su constancia por hacer de mí una mejor persona en el ámbito personal y profesional, gracias a sus enseñanzas y amor desinteresado.

A mis padres José y Paulina, gracias por estar pendientes de mí, y por todo su apoyo en mi formación.

A mi hermana María Fernanda y mi familia que siempre fueron un soporte para superar las dificultades que se presentaron en el camino.

Es este el fruto de su apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, quien fue y será mi apoyo así como la razón de mi esfuerzo y dedicación.

A la doctora Mirari Arancibia por su tiempo, paciencia y por todos los conocimientos compartidos los que permitieron la culminación de este trabajo. Gracias por su honestidad y sus enseñanzas en este proceso, fue un honor trabajar con usted.

A las doctoras Nahir Dugarte, Sandra Horvitz y Patricia Avendaño por su valiosa aportación con conocimientos en mi formación profesional, por su amistad y su apoyo.

A mis amigas Estefi, Diana, Damaris y Lilibeth, les agradezco por su ayuda en este trabajo y las experiencias juntos.

Agradezco a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología y sus docentes por la formación recibida a lo largo de estos años.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Objetivos	5
1.3 Hipótesis	6
CAPÍTULO II METODOLOGÍA	7
2. Materiales y métodos	7
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
3.1. Análisis y discusión de los resultados	15
3.2. Verificación de Hipótesis	37
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
4.1. Conclusiones	38
4.2. Recomendaciones	38
MATERIALES DE REFERENCIA	39
Referencias Bibliográficas	39
ANEXOS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectros FTIR de películas elaboradas con cáscara de plátano.....	16
Figura 2. Termogramas de películas elaboradas con cáscara de plátano.....	21
Figura 3. Relacion de la viscosidad (mPa s) con la temperatura de 50-90 °C de las soluciones filmogénicas.	26
Figura 4. Relacion de la viscosidad (mPa s) con la temperatura de 50-90 °C de las soluciones filmogénicas.	27
Figura 5. Dependencia del módulo elástico (G') y del módulo viscoso (G'') de las soluciones filogen función de la deformación %	28
Figura 6. Resultado de Color de análisis sensorial de películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos.	34
Figura 7. Resultado de Textura de análisis sensorial de películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos.	35
Figura 8. Resultado de Olor, Sabor y Aceptabilidad general de análisis sensorial de películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos.....	36
Figura 9. Resultado de análisis sensorial de pechugas de pollos recubiertas con películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño Experimental aplicado	8
Tabla 2. Propiedades de las películas elaboradas con cáscara de plátano.....	17
Tabla 3. Resistencia al agua de las películas elaboradas con cáscará de plátano	18
Tabla 4. Características del suelo utilizado para el ensayo de biodegradación.....	29
Tabla 5. Condiciones climáticas durante el ensayo de biodegradación	29
Tabla 6. Biodegradación de las películas elaboradas a partir de harina de plátano ..	31
Tabla 7. Cuantificación de microorganismos viables (Bacterias) en el ensayo de enterrado.....	33
Tabla 8. Cuantificación de microorganismos viables (Mohos y Levaduras) en el ensayo de enterrado.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formatos de hojas de análisis sensorial	45
---	----

RESUMEN

Se elaboraron películas biodegradables a partir de cáscara de plátano (*Musa spp.*), un residuo agroindustrial subutilizado, se evaluó la influencia de la concentración de harina de cáscara (0,5; 1,0; 1,5) %, concentración de glicerol (1 y 1,5) % y la cantidad vertida (0,31 y 0,47) g/cm² en las propiedades de las películas elaboradas. A mayor concentración de cáscara y de cantidad vertida las películas presentaron mayor opacidad debido a una mayor presencia de fibra, asimismo al aumentar la concentración de cáscara las películas presentaron mayores valores de solubilidad y resistencia al agua, mientras que el aumento de la concentración de glicerol aumento la flexibilidad, solubilidad y resistencia al agua del material. Las películas elaboradas presentaron un tiempo de degradación de 30 días. Finalmente se evaluó la posible aplicación de las películas en alimentos, para esto se realizó un análisis sensorial de músculo de ave recubierto con las películas, obteniéndose una buena aceptación.

Palabras claves:

Films, TPS, glicerol, biodegradación, aplicación en alimentos.

ABSTRACT

Biodegradable films were made from banana peel (*Musa spp.*), an underutilized agro-industrial residue. The influence of the concentration of peel flour (0.5; 1.0; 1.5) %, glycerol (1 and 1.5) % and the amount poured (0.31 and 0.47) g/cm² was evaluated in the properties of the films made. The higher the concentration of peel flour and the amount poured, the greater opacity of the films due to a greater presence of fibre. Likewise, when the concentration of peel flour was increased, the films showed higher values of solubility and water resistance, as well as the increase in glycerol concentration increased the flexibility, solubility and water resistance of the material. The films produced had a degradation time of 30 days. Lastly, the possible application of the films in food was evaluated, for this a sensory analysis of bird muscle covered with the films was performed, obtaining a good acceptance.

Keywords:

Films, TPS, glycerol, biodegradation, food application

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

En las últimas décadas la industria de los polímero y plásticos ha tomado un papel crucial en desarrollo de muchas tecnologías, revolucionando diferentes campos como los de la medicina, construcción, textiles, de alimentos entre otros (**Instituto para el Desarrollo de de Energías y Materiales Alternativos, 2017**).

Actualmente existe una creciente preocupación y conciencia social por la preservación de los sistemas ecológicos. **Avérous & Pollet (2012)**, afirman que la mayoría de los polímeros sintéticos actuales se producen a partir del petróleo y no son biodegradables; por lo tanto, generan importantes fuentes de contaminación ambiental y tienen un efecto perjudicial para a la vida silvestre cuando están dispersos en la naturaleza.

Como respuestas a la problemática ambiental se han desarrollado un sinnúmero de investigaciones que han permitido el desarrollo de diferentes biomateriales a partir de biopolímeros naturales encontrados en plantas, animales o producidos por microorganismos (**IDEMA, 2017**).

Sin embargo, hasta ahora, los polímeros biodegradables no han encontrado aplicaciones extensas en las industrias para reemplazar en gran medida a los materiales plásticos convencionales, debido a sus altos costos de producción y, a veces, a sus propiedades con bajo rendimiento.

Koch (2018), menciona que en el año 2014 la producción mundial de materiales plásticos fue de 311 millones de toneladas de las cuales menos del 1% fue en forma de materiales de base biológica, pero la contribución a la cantidad total aumenta constantemente y se prevé que alcance aproximadamente el 2% para 2019 .Más aún, según la actualización anual del mercado de European Bioplastics desde 2016, se espera que la capacidad para producir bioplásticos aumente en un 50% entre 2016 y 2021.

En base a lo mencionado, existe un enorme potencial de biomoléculas como materias primas para la producción de plásticos, entre las cuales se incluyen proteínas, lípidos, quitosano, celulosa, entre otras.

Plátano o Banano

El banano (Musaceae) es uno de los cultivos frutales más importantes del mundo, se cultiva ampliamente en los países tropicales por sus valiosas aplicaciones en la industria alimentaria. Sus enormes subproductos son una excelente fuente de materias primas de gran valor para otras industrias al reciclar los desechos agrícolas (**Padam, Tin, Chye, & Abdullah, 2014**).

Su cultivo y consumo masivos en las últimas décadas lo convirtieron en el segundo cultivo frutícola más grande del mundo, con una producción bruta estimada que supera los 139 millones de toneladas (**Padam et al., 2014**). En el 2017 el Ecuador se posicionó como el quinto país productor de banano con 6282105 toneladas (**FAO, 2019**).

La pulpa de plátano presenta una concentración de almidón que varía entre 14% a 23% en base húmeda, por lo que el banano se puede considerar como una fuente no convencional de almidón para la industria (**Vieira da Mota, Lajolo, Cordenunsi, & Ciacco, 2000**) .

Anchundia, Santacruz, & Coloma (2016), mencionan que el principal subproducto del procesamiento industrial del plátano es la cáscara, la cual representa aproximadamente 30% del peso del fruto, sin embargo, existe una escasa aplicación de esta produciendo contaminación ambiental.

La cáscara de plátano es usualmente descartada o utilizada como fertilizante orgánico y como alimento animal debido a al contenido bajo de taninos y alto de fibra (**Arquelau, Silva, Garcia, Araújo, & Fante, 2019**). La cáscara de plátano posee alto contenido de fibra dietética, proteínas, aminoácidos, ácidos grasos, carbohidratos y minerales como potasio y manganeso (**Anhwange, Ugye, & Nyiaatagher, 2009**).

Además, según **Anchundia et al. (2016)**, la cáscara de plátano puede constituir una fuente potencial de sustancias con actividades antimicrobianas y antioxidantes y de compuestos fotoquímicos con actividad contra radicales libres.

Estudios de **Anhwange et al. (2009)**, demuestran un 95% materia orgánica en las cáscaras distribuidas en 0,9% de proteína, 1,7% lípidos, 59% carbohidratos y 31,7% en fibra.

Almidón

El almidón es un producto natural de recursos renovables, producido durante la fotosíntesis como reserva de alimentos para plantas y vegetales. Es el segundo material de biomasa más abundante en la naturaleza. Se encuentra en las raíces de las plantas, tallos y semillas de cultivos. El almidón tiene un costo bajo, se aísla fácilmente de los cultivos y se renueva anualmente; presenta una estructura química que ofrece amplias posibilidades de modificación para adaptar sus propiedades de acuerdo a las necesidades. Las fuentes de almidón industrial más importantes son los cultivos como el maíz, el trigo, la papa, la tapioca y el arroz (**Bastioli, Magistrali, & Garcia, 2013**).

Liu (2005), menciona que normalmente el almidón es una mezcla de polímeros de amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero casi lineal de unidades de anhidroglucosa α -1,4, con un peso molecular de 10^5 - 10^6 . La amilopectina es un polímero altamente ramificado que consiste en cadenas cortas de α -1,4 unidas por puntos de ramificación glucosídicas α -1,6 que ocurren cada 25 - 30 unidades de glucosa, con un peso molecular de 10^7 - 10^9 .

En la naturaleza el almidón se presenta en forma de gránulos semicristalinos que varían en forma, tamaño (1 - 100 μ m), distribución de tamaño, asociación y composición química. Tanto las cadenas de amilosa y las ramificaciones de amilopectina pueden formar doble hélices, que al asociarse pueden formar dominios cristalinicos (**Y. Zhang, Liu, & Han, 2008**).

Fibra

Escudero y González (2006), mencionan a la fibra como sustancias de origen vegetal, carbohidratos o derivados de los mismos, excepto la lignina, que resisten la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas y llegan intactas al colon donde algunas pueden ser hidrolizadas y fermentadas por la flora colónica. En la literatura se ha reportado evidencias de que las diferentes fracciones presentes en la fibra dietética tienen un efecto positivo en la prevención y el tratamiento de algunas enfermedades crónicas, como las enfermedades cardiovasculares, la diabetes mellitus, el cáncer y la hipertensión arterial (**Cabrera Llano & Cárdenas Ferrer, 2006**).

Películas a partir de almidón

Koch (2018) y **Zhang et al. (2008)**, mencionan que el almidón se puede transformar en un material termoplástico mediante diversas técnicas de conversión, por ejemplo, extrusión, prensado en caliente y moldeo por inyección. Los pasos esenciales son la interrupción de los gránulos de almidón, rompiendo los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de almidón (pérdida de cristalinidad) y la liberación de los polímeros en los medios circundantes, que a menudo es una solución acuosa. Este proceso es conocido como gelatinización.

Gran número de investigaciones han reportado el uso del almidón de diferentes fuentes en la elaboración de películas y materiales termoplásticos con diferentes propiedades. Las películas a partir de almidón son claras, flexibles, transparentes y presentan buenas propiedades mecánicas y de barrera de oxígeno; sin embargo, son sensibles a la humedad y sus propiedades mecánicas son generalmente inferiores a las de las películas sintéticas (**Anchundia et al., 2016; Pelissari, Andrade-Mahecha, Sobral, & Menegalli, 2013b**).

Para mejorar las propiedades de estos termoplásticos, investigadores han desarrollado películas de mezclas de almidón con proteína, lípidos y otros polisacáridos (**García, Martino, & Zaritzky, 2000; Jagannath, Nanjappa, Das Gupta, & Bawa, 2003; Orsuwan, Shankar, Wang, Sothornvit, & Rhim, 2016**).

Sin embargo, al considerar a las harinas como fuentes naturales de mezclas complejas de estos biopolímeros, se constituyen como una fuente potencial para la elaboración de películas, debido a las interacciones moleculares de sus componentes y a la facilidad de producción. (Pelissari et al., 2013b)

Gilfillan, Nguyen, Sopade, & Doherty (2012) y **Yachuan Zhang, Rempel, & McLaren (2014)**, reportaron que la adición de fibra en la elaboración de películas comestibles aumenta las propiedades mecánicas, de barrera de gas, resistencia al agua y estabilidad térmica. La cáscara de plátano es rica en fibra debido a los carbohidratos no digeribles como la celulosa, por lo tanto el desarrollo de películas comestibles a partir de cáscara de plátano se torna en una alternativa para la incorporación de fibra en la dieta.

Uno de los factores a tomar en cuenta es la concentración de las soluciones, debido a que juega un papel importante en las propiedades de las películas (**Z. Liu, 2005**). Asimismo, **Orsuwan & Sothornvit (2018)** y **Hu, Chen, & Gao (2009)**, afirman que un plastificante es usualmente requerido en la producción de películas flexibles, debido a que estas moléculas pequeñas, con similitudes químicas con el polímero, reducen la fragilidad de las películas al reducir la formación de puentes de hidrógeno entre cadenas de polímeros, aumentando el espacio intermolecular. Para el almidón, las sustancias polihidroxílicas, como el glicerol y el sorbitol, a menudo se eligen para plastificar la red de polímero.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar películas biodegradables a partir de harina de cáscara de plátano (*Musa spp.*).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades ópticas, mecánicas, de barrera de las películas biodegradables obtenidas a partir de la harina de cáscara de plátano.
- Determinar el tiempo de biodegradación de las películas
- Evaluar la posible aplicación de las películas biodegradables en alimentos.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis nula (H_0)

La combinación de la concentración de harina de cáscara, la concentración de glicerol y la cantidad de mezcla vertida en cada tratamiento no afectan significativamente a las propiedades ópticas, mecánicas, de barrera y de degradación de las películas biodegradables obtenidas a partir de la harina de cáscara de plátano.

1.3.2 Hipótesis alternativa (H_1)

La combinación de la concentración de harina de cáscara, la concentración de glicerol y la cantidad de mezcla vertida en cada tratamiento afectan significativamente a las propiedades ópticas, mecánicas, de barrera y de degradación de las películas biodegradables obtenidas a partir de la harina de cáscara de plátano.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2. Materiales y métodos

2.1. Obtención de la harina de banana

Se utilizó harina de pulpa con cáscara y harina de cáscara de banana (*Musa spp.*) obtenida según la metodología planteada por **Lalaleo (2017)**. Para la harina de pulpa con cáscara se lavó la banana con agua y se cortó en pedazos de 0,5 cm; mientras que, para la harina de cáscara, se separó la cáscara de las bananas y esta fue cortada en pedazos de 0,5 cm. Las muestras se deshidrataron en un secador de bandejas a 60 °C por 24 horas o hasta alcanzar el porcentaje de humedad mínimo aproximado de 12%. Las muestras secas se molieron y se envasaron herméticamente hasta posterior utilización.

2.2. Desarrollo de películas biodegradables a partir de harina de cáscara de plátano (*Musa spp.*)

Las películas se desarrollaron según la metodología descrita por **Arancibia, López-Caballero, Gómez-Guillén, & Montero (2014)**, utilizando la técnica de moldeo o “casting”. Se prepararon soluciones con una concentración total de 4% en sólidos, este porcentaje se compuso por harina de cáscara y harina de pulpa y cáscara. Se agregó glicerol como agente plastificante en la concentración del tratamiento (Tabla 1). Las soluciones se calentaron hasta alcanzar una temperatura de 90 – 95 °C, se mantuvo a las soluciones a esta temperatura durante 5 min y posterior se dejó enfriar hasta alcanzar una temperatura de 50 °C. Se pesó la cantidad respectiva de cada tratamiento de la solución filmogénica en una placa Petri (63,61 cm²) y se secó en una estufa a 60 °C durante 8 horas.

Una vez secas, se acondicionaron las películas durante 72 h entre 22 - 23 °C, utilizando un desecador con una solución saturada de NaBr para mantener una humedad relativa (HR) del 58%

Tabla 1. Diseño Experimental aplicado

Muestra	Harina de pulpa + cáscara (%)	Harina de cáscara (%)	Glicerol (%)	Cantidad vertida (g)/cm²
C1	3,5	0,5	1,0	0,31
C3	3,0	1,0	1,0	0,31
C5	2,5	1,5	1,0	0,31
C1+	3,5	0,5	1,5	0,47
C3+	3,0	1,0	1,5	0,47
C5+	2,5	1,5	1,5	0,47

2.3. Caracterización de las películas

2.3.1. Espesor

El espesor de las películas fue medido con la ayuda de un micrómetro manual Fowler con una precisión de 0,0001". La media del espesor de cada película fue determinada a partir de 15 mediciones al azar.

2.3.2. Contenido de humedad

El contenido de humedad de las películas fue analizado gravimétricamente, en triplicado, secando las muestras a 105 °C durante 24 h (ASTM D2216-10, 2010).

2.3.3. Espectroscopia de infrarrojo FTIR-ATR

Los espectros infrarrojos de las películas se registraron con un espectrofotómetro infrarrojo (PerkinElmer, modelo Spectrum Two). Los análisis se realizaron cubriendo números de ondas desde 4000 a 600 cm⁻¹.

2.3.4. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El análisis calorimétrico de las películas se realizaron en base a la metodología descrita por **Arancibia Soria (2014)**. Se utilizó un calorímetro diferencial (DSC) DSC 3 (Mettler Toledo, España). Se pesaron 10 a 15 mg de las películas en una balanza electrónica analítica (Mettler-Toledo, Columbus XPE204, España), después se

encapsularon en recipientes de aluminio. Como referencia se utilizó una cápsula vacía. Los análisis de las muestras se desarrollaron bajo atmósfera de nitrógeno inerte (50 mL/min), con barrido de temperatura de 30 hasta 200 °C con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Los datos se normalizaron al contenido de materia seca después de la desecación de cada cápsula.

2.3.5. Actividad de agua

Los ensayos de actividad de agua se realizaron en el equipo AQUALAB 4TE España, se recortaron discos circulares del tamaño de la base de las cápsulas. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado a temperatura constante (25 °C).

2.3.6. Ensayo de punción

El ensayo de punción de las películas se determinó empleando un analizador de textura Brookfield CT3 10K, se utilizaron películas rectangulares de 100 × 100 mm y se acoplaron a una base de dos placas fijas con una abertura circular interna de 40 mm de diámetro. Se empleó una sonda de acero inoxidable TA18 de 12,7 mm de diámetro, los ensayos se realizaron con una carga de activación de 0,05 N y una velocidad de 0.2 mm/s. La fuerza de punción (N) fue obtenida directamente de la curva fuerza vs desplazamiento de la sonda usando el software TexturePro CTV 1.2 Build 9.

La deformación de punción se calculó con la ayuda de la ecuación descrita por **Pelissari, Andrade-Mahecha, Sobral, & Menegalli (2013)** y **Sobral, Menegalli, Hubinger, & Roques (2001)**.

$$D = \frac{(d^2 + l_0^2)^{\frac{1}{2}} - l_0}{l_0} \times 100$$

donde D es la deformación por punción (%), l_0 es el radio inicial de la superficie de la película (mm) y d es la distancia penetrada por la sonda (mm); esta ecuación considera que el estrés se distribuye perfectamente a lo largo de la película.

2.3.7. Ensayo de tensión

Las propiedades de tensión fueron determinadas mediante el método estándar D882 (ASTM, 2002). Las muestras fueron cortadas en rectángulos de 84 mm de largo y 21 mm de ancho. Los rectángulos se acondicionaron para los análisis durante 24 h a una HR de 52% en un desecador con solución saturada de NaBr. Las muestras se colocaron en las mordazas de sujeción del texturómetro Brookfield CT3 10K. La separación inicial entre las mordazas fue de 32,5 mm y se utilizó una velocidad de deformación de 0,5 mm/s

La resistencia a la tensión (RT) (fuerza / área de la sección transversal inicial) y el alargamiento en la rotura (EAB) se calcularon directamente a partir de las curvas esfuerzo vs deformación, el módulo de elasticidad (EM) se calculó como la pendiente de la porción lineal inicial de esta curva. Los resultados se expresan como la media de al menos 10 repeticiones.

2.3.8. Resistencia al agua

Se siguió la metodología de Blanco-Pascual, Fernández-Martín, & Montero (2013) y Moreno (2015). Las películas se fijaron en celdas con área de 16 cm² y se vertió 5 ml de agua destilada sobre la superficie de la película, se registró la deformación de la película (cm), el volumen de agua que se filtró a través de la película y el tiempo de rotura. Las pruebas se realizaron por duplicado.

2.3.9. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) se determinó siguiendo el método descrito por Sobral et al. (2001), a 21 °C en un desecador con agua destilada (100% humedad relativa). Las muestras se pesaron cada hora, durante 72 horas. La permeabilidad al vapor de agua se calculó siguiendo la ecuación:

$$PVA = \frac{w}{t} \times \frac{x}{A \cdot \Delta P}$$

donde w/t es coeficiente angular determinado gráficamente al trazar el aumento de peso w en función del tiempo t (g/h), x es el espesor de la película (mm), A es el área

de película expuesta (cm²) y ΔP es la diferencia de presión parcial de vapor entre la atmósfera y el gel de sílice (2642 Pa a 22 °C). Los resultados se expresan en g m⁻¹s⁻¹ Pa⁻¹. Las pruebas se llevaron por triplicado.

2.3.10. Solubilidad de las películas

La solubilidad de las películas en agua se determinó en base a la metodología planteada por **Arancibia et al. (2014)** . Las películas se cortaron en forma de cuadrado con un área (9 cm²) y fueron colocadas en recipientes con 30 ml de agua destilada a 22 °C durante 24 horas. Se filtró la solución a través de papel filtro para recuperar el restante de las películas sin disolver, posteriormente el restante de las películas se secó a 105 °C por 24 horas.

La solubilidad de la película SP (%) se expresó en función de

$$\left(\frac{W_0 - W_f}{W_0}\right) \times 100$$

donde W₀ es el peso inicial de la película expresada como materia seca y W_f es el peso del residuo desecado sin disolver la película. Las pruebas se llevaron por triplicado.

2.3.11. Propiedades reológicas

Los ensayos reológicos se realizaron en un Reómetro Modular Compacto (Anton Paar MCR302, Austria) usando un sistema de medición con geometría de paletas para pruebas rotacionales y un sistema de medición de plato-paralelo (gap = 1 mm) para pruebas oscilatorias. Los datos obtenidos fueron analizados con el software RheoCompass del equipo. Los ensayos se realizaron por triplicado.

Ensayos reológicos rotacionales

La viscosidad de las suspensiones se evaluó mediante un barrido de temperatura, las mediciones se desarrollaron en rampa de calentamiento de 50 a 90 °C y rampa de enfriamiento de 90 a 50 °C.

Ensayos reológicos oscilatorios

Para caracterizar el comportamiento viscoelástico de las suspensiones se desarrollaron ensayos en modo dinámico, mediante barridos de deformación a una frecuencia (10 rad/s). Se registró el módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G'') de las suspensiones.

2.3.12. Color

Los parámetros de color, L^* , a^* , b^* y ΔE^* [$L^* = 0$ (negro) a 100 (blanco); $a^* = -60$ (verde) a +60 (rojo); $b^* = -60$ (azul) a +60 (amarillo); $\Delta E^* =$ Diferencia total de color] (Bourtoom & Chinnan, 2008), se midieron en un colorímetro Lovibond LC 100. El equipo fue calibrado con un estándar de color blanco ($L^* = 90,7175$; $a^* = -0,973$; $b^* = 0,7465$). Se tomaron lecturas en puntos aleatorios de la superficie de las películas. Se registró un promedio de 15 lecturas por muestra.

2.3.13. Transparencia y absorción de luz UV (UV-Vis)

En base al método descrito por Orsuwan & Sothornvit (2018), la transparencia y capacidad de absorción de luz UV de las películas fue evaluada usando un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific, Multiskan GO); se calculó el porcentaje de transmitancia a la longitudes de onda de 280 y 660 nm.

2.3.14. Biodegradación

Los ensayos de biodegradación se desarrollaron en base a la metodología descrita por Moreno (2015).

Caracterización del suelo

Contenido de humedad

Se siguió la metodología planteada por ASTM D2216-10 (2010). Se secó alrededor de 5 g a 105 °C por 24 horas.

Determinación del potencial de hidrógeno pH

Se determinó el pH del suelo mediante lectura directa utilizando un potenciómetro manual calibrado, a temperatura ambiente. Se mezclaron 10 g de suelo y 40 ml de agua destilada, se introdujo el electrodo en la mezcla y se determinó el pH.

Microorganismos del suelo

Se utilizó la metodología para cuantificación de microorganismos viables (**Ramírez-Gama, Urzúa Hernández, Camacho Cruz, Tsuzuki Reyes, & Esquivel-Cote, 2015**). Se realizó la cuenta en placa por el método de extensión superficial en medio de cultivo PCA (BD Difco™) para bacterias y Rosa bengala con cloranfenicol (NEOGEN) para mohos y levaduras.

El número de microorganismos por gramos de suelo se determinó mediante la ecuación

$$\text{UFC/g suelo} = (\text{NC} \times 1/\text{FD} \times 1/\text{V}) / (\text{P})$$

donde: UFC/g suelo = unidades formadoras de colonias / g de suelo. NC = número de colonias en una caja Petri. FD = factor de dilución que corresponde a la dilución. V = volumen inoculado en la caja, 0,1 ml. P = peso de la muestra húmeda, 5 g.

Ensayo enterrado

El ensayo de biodegradación se llevó a cabo en suelos orgánicos naturales. Se enterró las películas en el suelo, se regó el suelo cada tres días para simular condiciones de llovizna y al cabo de 4, 8, 15, 22 y 30 días se recuperaron y se observaron las películas. El grado de degradación de las películas se siguió de manera visual y el registro de fotografías. Adicionalmente se cuantificó los microorganismos viables de cada suelo a los 10, 17, 24 y 30 días.

2.4. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se muestran como el valor medio \pm la desviación estándar. Los resultados se compararon mediante análisis de varianza (ANOVA) y test de comparaciones múltiples Tukey ($\alpha = 0,05$). Los datos se analizaron con la ayuda del software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.

2.5. Aplicación de las películas en alimentos

Se evaluó la posible aplicación de las películas sobre músculo de ave, para esto se elaboraron películas comestibles con la composición del tratamiento C5 adicionando condimentos en polvo (comino, orégano, ajo, cebolla, pimienta, nuez moscada).

Se llevó a cabo un análisis sensorial con un grupo de 12 personas, panel semientrenadas. Se realizaron análisis sensoriales de las películas solas y de músculo

de ave recubierto con las películas cocidas. Las características evaluadas se tomaron en base a las evaluadas por **Ramírez Martínez (2011)**. Los formatos de la hoja de análisis sensorial se presentan en el Anexo 1.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

Espesor

Los espesores de las películas se muestran en la Tabla 2. Existe un aumento de espesor al aumentar la cantidad vertida en los diferentes tratamientos, las diferencias de espesor se deben a la cantidad de masa de la solución filmogénica por unidad de área de placa utilizada en el proceso de casting (**Pelissari et al., 2013^a**).

Contenido de humedad

Existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad de las películas (Tabla 2). Los valores de humedad de las películas se encuentran entre 18 y 27%, estos valores son mayores a los descritos en películas a base de harina de plátano 15,1% y películas de almidón de plátano 12,2% (**Pelissari et al., 2013a**); y de 15% - 18% en películas activas a partir de harina de plátano (**Moreno, 2015**). El aumento en el contenido de humedad de las películas se puede asociar a la gran proporción de otros componentes hidrofílicos a parte del almidón, como proteínas y fibras, en la harina de plátano y en la harina de cáscara de plátano. Estos componentes pueden aumentar el número de interacciones moleculares con el agua e inducen la formación de una estructura más porosa en la matriz que aumenta la retención de agua por capilaridad (**Pelissari et al., 2013a**).

Espectroscopia de infrarrojo FTIR-ATR

Los espectros IR de las películas se muestran en la Figura 1. Existe el mismo patrón en los espectros de los diferentes tratamientos, la primera banda dominante entre 3000-3600 cm^{-1} que puede ser asignada a la extensión de los grupos hidroxilos libres y unidos molecularmente (*Infrared and Raman Spectroscopy, 2018; Orsuwan & Sothornvit, 2018*).

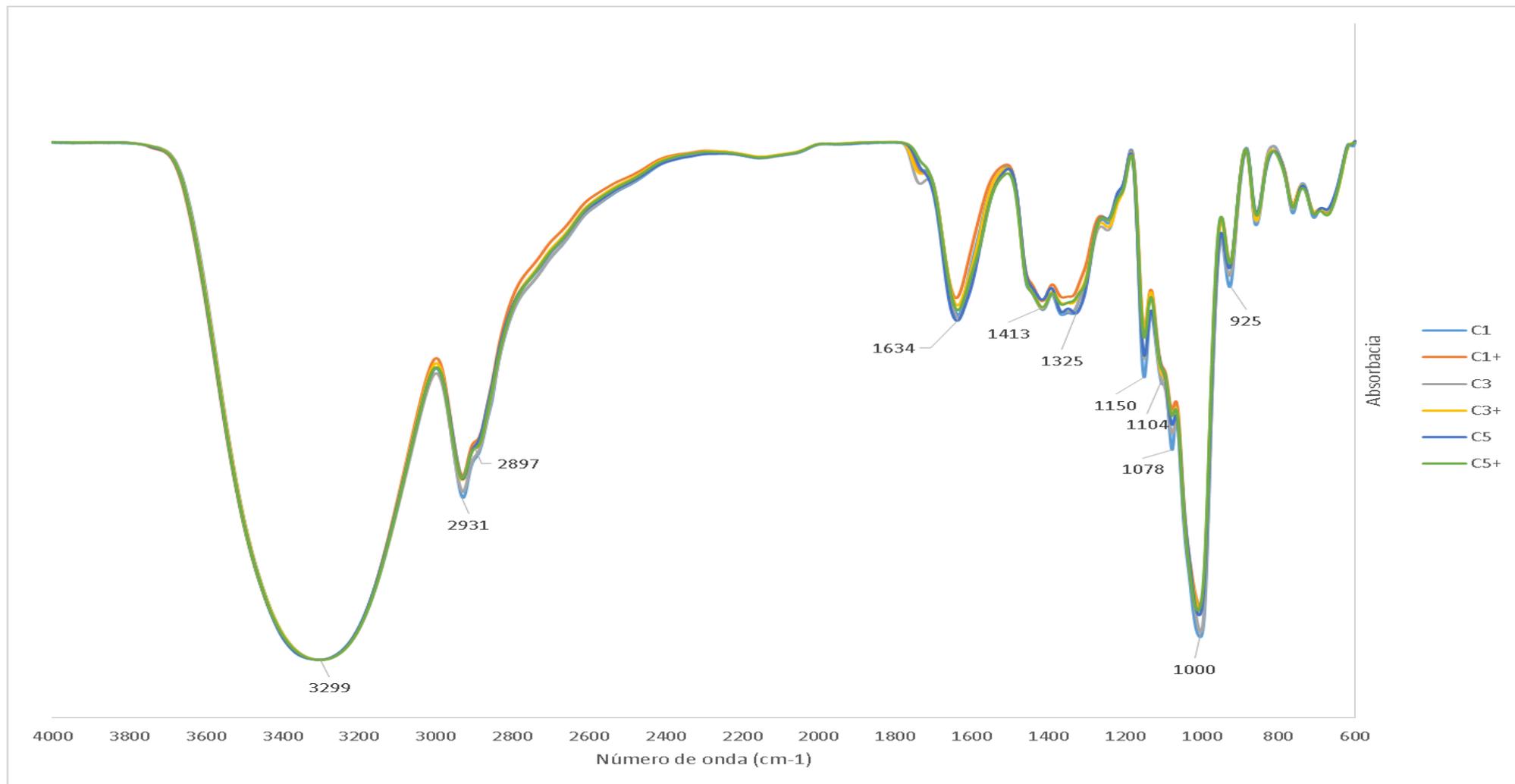


Figura 1. Espectros FTIR de películas elaboradas con cáscara de plátano

Tabla 2. Propiedades de las películas elaboradas con cáscara de plátano

Propiedad	Muestra					
	C1	C3	C5	C1+	C3+	C5+
Contenido de humedad (%)	23,04 ± 1,54 ^{ab}	18,79 ± 2,24 ^a	19,33 ± 0,92 ^a	27,47 ± 1,40 ^b	26,75 ± 0,92 ^b	26,59 ± 2,59 ^b
Espesor (µm)	111,93 ± 8,98 ^a	108,88 ± 8,58 ^a	110,91 ± 11,14 ^a	169,50 ± 5,88 ^c	172,04 ± 14,76 ^c	152,40 ± 16,79 ^b
Actividad de agua (aw)	0,617 ± 0,005 ^{ab}	0,622 ± 0,001 ^b	0,619 ± 0,003 ^{ab}	0,618 ± 0,000 ^{ab}	0,613 ± 0,001 ^a	0,622 ± 0,003 ^b
PVA (10⁻⁰⁹ g/m s Pa)	9,54 ± 1,16 ^a	5,26 ± 2,47 ^a	10,25 ± 2,12 ^a	9,47 ± 5,04 ^a	10,11 ± 4,40 ^a	9,69 ± 1,88 ^a
Solubilidad (%)	19,36 ± 0,40 ^a	21,10 ± 0,97 ^{ab}	24,92 ± 3,97 ^{bc}	22,43 ± 1,61 ^{abc}	24,69 ± 1,31 ^{bc}	27,38 ± 1,13 ^c
L*	27,15 ± 3,26 ^a	23,73 ± 2,73 ^b	23,91 ± 1,95 ^b	22,97 ± 1,90 ^b	19,45 ± 1,60 ^c	19,94 ± 2,45 ^c
a*	4,03 ± 0,85 ^a	4,79 ± 0,97 ^{ab}	4,73 ± 1,10 ^{ab}	5,32 ± 0,69 ^{bc}	5,51 ± 0,69 ^{bc}	5,77 ± 0,81 ^c
b*	11,74 ± 1,94 ^{ab}	13,64 ± 0,80 ^c	12,28 ± 1,29 ^{abc}	12,97 ± 1,13 ^{bc}	11,32 ± 1,29 ^a	11,10 ± 1,78 ^a
ΔE*	64,73 ± 3,56 ^a	68,47 ± 2,76 ^b	68,06 ± 1,91 ^b	69,14 ± 1,99 ^b	72,36 ± 1,46 ^c	71,87 ± 2,44 ^c
% T (280 nm)	24,72 ± 3,19 ^a	21,17 ± 2,66 ^a	24,34 ± 2,27 ^a	19,05 ± 2,70 ^{ab}	18,05 ± 3,46 ^{ab}	12,37 ± 3,91 ^b
% T (660 nm)	36,32 ± 5,12 ^a	33,24 ± 6,71 ^{ab}	38,25 ± 3,25 ^a	27,54 ± 6,54 ^{ab}	27,04 ± 6,17 ^{ab}	19,22 ± 6,10 ^b
Resistencia a la tensión (MPa)	5,12 ± 0,92 ^b	6,52 ± 0,87 ^a	4,64 ± 1,47 ^b	3,28 ± 0,52 ^c	3,34 ± 0,48 ^c	4,35 ± 0,64 ^b
Alargamiento en la rotura (%)	17,06 ± 4,30 ^{ab}	15,61 ± 2,94 ^a	18,83 ± 3,61 ^{ab}	17,83 ± 2,35 ^{ab}	19,28 ± 1,63 ^b	19,06 ± 1,78 ^b
Módulo de elasticidad (MPa)	0,14 ± 0,04 ^{ab}	0,21 ± 0,03 ^c	0,15 ± 0,03 ^{ab}	0,13 ± 0,02 ^a	0,12 ± 0,02 ^a	0,16 ± 0,02 ^b
Fuerza de punción (N)	10,63 ± 2,49 ^{ab}	10,60 ± 2,80 ^{ab}	8,15 ± 2,04 ^a	10,22 ± 1,83 ^{ab}	12,04 ± 2,07 ^b	11,20 ± 1,11 ^{ab}
Deformación de punción (%)	9,60 ± 0,59 ^{ab}	9,62 ± 1,09 ^{ab}	7,74 ± 1,47 ^a	10,33 ± 2,25 ^{ab}	11,52 ± 2,01 ^b	10,41 ± 0,81 ^b

^{a, b, c} Diferentes letras en la misma fila indican una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre muestras.

C1: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C3:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C5:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C1+:** 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C3+:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C5+:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm².

Tabla 3. Resistencia al agua de las películas elaboradas con cáscara de plátano

Muestra	Elongación (cm)									Volumen Filtrado (ml)	Tiempo Rotura (h)
	Tiempo (h)										
	0.25	0.5	1	2	24	25	26	48	Total		
C1	0,10 ± 0,00	0,15 ± 0,07	0,10 ± 0,00	0,15 ± 0,07	0,45 ± 0,07	0,05 ± 0,07	0,20 ± 0,00	0,55 ± 0,07	1,90 ± 0,14 ^a	13,10 ± 0,14 ^a	24,44 ± 0,27 ^a
C3	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,08 ± 0,04	0,55 ± 0,07	0,15 ± 0,07	0,10 ± 0,14	0,50 ± 0,00	1,83 ± 0,11 ^a	11,00 ± 1,41 ^{ab}	24,55 ± 0,78 ^a
C5	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,15 ± 0,07	0,10 ± 0,00	0,40 ± 0,00	0,15 ± 0,07	0,15 ± 0,07	0,50 ± 0,14	1,75 ± 0,07 ^a	10,10 ± 0,14 ^{ab}	25,12 ± 0,16 ^a
C1+	0,05 ± 0,07	0,10 ± 0,14	0,10 ± 0,00	0,15 ± 0,07	0,35 ± 0,07	0,15 ± 0,07	0,15 ± 0,07	0,50 ± 0,14	1,68 ± 0,11 ^a	10,50 ± 0,71 ^{ab}	25,32 ± 0,45 ^a
C3+	0,00 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,05 ± 0,07	0,15 ± 0,07	0,40 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,05 ± 0,07	0,50 ± 0,14	1,50 ± 0,14 ^a	9,25 ± 0,35 ^b	Irrompible ^b
C5+	0,05 ± 0,07	0,15 ± 0,07	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,14	0,35 ± 0,07	0,10 ± 0,00	0,15 ± 0,07	0,45 ± 0,07	1,55 ± 0,35 ^a	9,25 ± 1,06 ^b	Irrompible ^b

^{a, b} Diferentes letras en la misma columna indican una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre muestra **C1**: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C3**: 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C5**: 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C1+**: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C3+**: 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C5+**: 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm².

Las bandas localizadas a 2931 y 2897 cm^{-1} indican extensiones de los grupos CH_2 . **Kizil, Irudayaraj, & Seetharaman (2002)**, asocian la variación de intensidad de las bandas localizadas entre 2800 y 3000 cm^{-1} a la variación en la cantidad de amilosa y amilopectina. Además **Orsuwan & Sothornvit (2018)**, mencionan que esta región se asocia a las vibraciones de las extensiones de los grupos C-H presentes en el glicerol.

La banda situada a 1634 cm^{-1} corresponde a amidas primarias y está vinculada al grupo amino de las proteínas, particularmente a la extensión del C=O (**Pelissari et al., 2013a**). Bandas similares fueron encontradas por **Orsuwan & Sothornvit (2018)**, a 1613 cm^{-1} para películas a partir de harina de plátano y **Tapia-Blácido (2006)**, a 1631 cm^{-1} para películas a base de proteína de *A. caudatus* y a 1634 cm^{-1} para películas a base de proteína de *Amaranthus cruentus*. Las películas también presentaron una banda a 1325 cm^{-1} que se puede atribuir a una amina terciara, localizada normalmente entre 1200 y 1350 cm^{-1} (**Smith, 2018**).

La banda localizada a 1413 cm^{-1} coincide con la reportada por **Pelissari et al. (2013^a)** y se la asocia a la extensión simétrica del grupo carboxilo (-COO). Asimismo las bandas a 1078, 1104 y 1150 cm^{-1} se las puede atribuir a los estiramientos de C - C, C - O y enlaces C - O - H del almidón (**Huang, Jeng, Sain, Saville, & Hubbes, 2006; Kizil et al., 2002; Moreno, 2015; Pelissari et al., 2013a**).

Existe una banda localizada a 1000 cm^{-1} , según **Orsuwan & Sothornvit (2018)** y **Gutiérrez & González (2017)**, ésta está asociada con la sensibilidad de agua y asimismo a los puentes de hidrógeno intramoleculares de los grupos hidroxilos o al efecto plastificante del agua en las películas. Por otro lado, **Pelissari et al. (2013^a)**, también atribuyen esta absorción a la cantidad de estructura amorfa en las películas y por lo tanto al contenido de agua interactuando con puentes de hidrógeno intramoleculares.

La banda ubicada a 925 cm^{-1} es similar a la reportada por **Pelissari et al. (2013^a)** de 926 cm^{-1} , esta absorción se atribuye a los enlaces glucosídicos del almidón, y la variación en el valor e intensidad de esta banda se puede deber a la presencia de enlaces

α -1,6 de amilopectina (**Kizil et al., 2002; Muscat, Adhikari, Adhikari, & Chaudhary, 2012**).

Finalmente, las absorciones entre 703 y 762 cm^{-1} indican la presencia de grupos aromáticos, que puede estar asociado con la presencia de grupos fenólicos en los plátanos. Por lo que se podría reducir procesos de oxidación en alimentos y carga microbiana, ofreciendo beneficios para la salud humana (**Orsuwan & Sothornvit, 2018; Pelissari et al., 2013a**).

Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Los termogramas de las películas elaboradas se muestran en la Figura 2. No se encontró temperaturas de transición vítrea en las películas elaboradas, lo que se puede atribuir a la existencia de picos endotérmicos alrededor de 100°C, que se asocian a la presencia de agua en las películas, mismos que pueden solapar u ocultar las temperaturas de transición vítrea.

Existe relación entre el contenido de humedad de las películas con los picos endotérmicos observados en la Figura 2; C3 presenta el pico de menor intensidad debido a su bajo contenido de humedad (18,79%) y C5+ presenta el mayor pico de intensidad por su mayor contenido de humedad (26,59%).

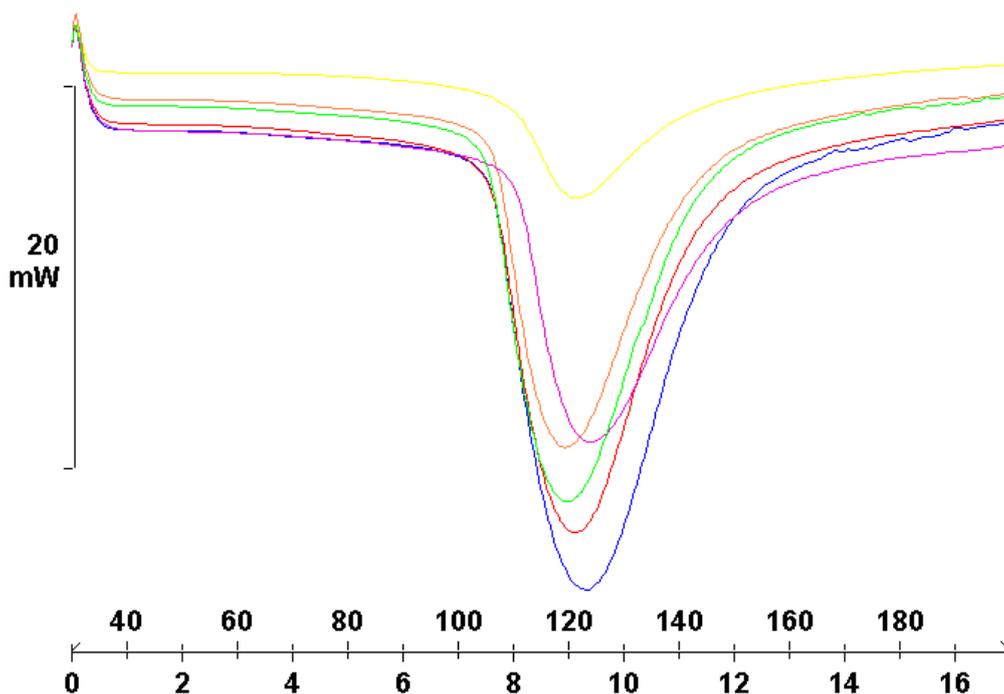


Figura 2. Termogramas de películas elaboradas con cáscara de plátano.

C1-morado, C3-amarillo, C5-rojo, C1+-verde, C3+-naranja, C5+-azul. (Exotérmico hacia arriba)
C1: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C3:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C5:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C1+:** 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C3+:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C5+:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²

Actividad de agua

La actividad de agua de las películas se reporta en la Tabla 2, como se observa los valores se encuentran entre 0,61-0,62 a_w ; estos valores son mayores a los reportados por **Gutiérrez, Morales, Pérez, Tapia, & Famá (2015)** de 0,47-0,52 a_w para películas a base de almidón de yuca. Las diferencias se pueden atribuir a la variación de la composición de las harinas utilizadas y a las condiciones de procesamiento en la elaboración de las películas. A pesar de estos valores es poco probable que las películas sufran crecimiento significativo de microorganismos (**Skowronsky, 2011**).

Ensayo de punción

Las fuerzas y las deformaciones de punción de las películas elaboradas se muestran en la Tabla 2.

Los valores de resistencia a la punción obtenidos en este estudio son menores a los reportados por **Moreno (2015)** de 14,71 N para películas bicapa activas; **Ortega (2016)** de 15 - 25,97 N para películas de almidón de plátano y **Scheibe, de Moraes, & Laurindo (2014)** de 12 – 19 N para fundas de almidón reforzadas con celulosa. Por el contrario la deformación de las películas elaboradas es mayor a los estudios mencionados. Las variaciones se pueden asociar con diferencias de espesor así como en la cantidad de glicerol, debido a que este por su naturaleza higroscópica reduce las interacciones moleculares entre las cadenas del polímero, incrementando así la flexibilidad y extensibilidad, y disminuyendo la resistencia a la punción (**Arquelau et al., 2019**).

Al contrario, las películas con cáscara de plátano, presentaron una resistencia a la punción mayor a las películas de almidón (8,1 N) y harina de plátano (6 N) de **Pelissari et al. (2013a)**, dado que el mayor contenido de fibra de las películas con cáscara mejora la propiedades mecánicas debido a las interacciones fuertes entre las fibras y la matriz de almidón que permiten una mejor distribución del esfuerzo (**Yachuan Zhang et al., 2014**).

Ensayo de tensión

Los resultados para resistencia a la tensión (RT), alargamiento en la rotura (EAB) y módulo de elasticidad (EM) de las películas elaboradas se presentan en la Tabla 2, estos valores presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados ($p < 0,05$).

Los valores de RT para las películas se encuentran entre 3 a 6 MPa, los tratamientos con menor concentración de glicerol (1%) presentan mayores valores de RT que los tratamientos con mayor concentración de glicerol, debido a que la concentración de glicerol aumenta la flexibilidad del material al disminuir las interacciones moleculares. C3 presenta el valor mayor de RT, que se puede asociar a la presencia de fibras vegetales en la superficie de la película que pueden interferir en la distribución del esfuerzo en la película.

Los resultados de RT de este trabajo son menores a los presentados por **Pelissari et al. (2013a)** y **Anchundia et al. (2016)**, pero mayores a los de **Arquelau et al. (2019)** y **Orsuwan & Sothornvit (2018)**, probablemente por la cantidad utilizada de harina que mejora la resistencia debido al incremento de presencia de polisacáridos que forman la matriz de la película (**Sothornvit & Pitak, 2007**).

El valor de EAB de las películas elaboradas se encuentra dentro de 17 – 19% , estos valores son dependientes de la concentración del agente plastificante, como se mencionó la resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad de las películas disminuyen al tener la presencia de glicerol que aumenta la flexibilidad y el estiramiento a la rotura de las películas.

Los valores de EM de las películas con cáscara de plátano son menores a los reportados por los autores antes citados, se puede asociar este comportamiento al contenido de proteínas y lípidos de las películas y al contenido de humedad debido a que según **Pelissari et al. (2013a)**, las proteínas pueden formar interacciones con lípidos y el agua actúa como plastificante mejorando la flexibilidad.

Resistencia al agua

Los resultados de los ensayos de resistencia al agua de las películas elaboradas se muestran en la Tabla 3. Existen diferencias estadísticamente significativas en el volumen de agua filtrado por la película, el volumen disminuye a medida que aumenta la cantidad de harina de cáscara. Estas diferencias pueden ser consecuencia de la estructura de la matriz de la película al contener proteínas y fibras que interaccionan con el almidón, formando una estructura que dificulta la difusión de agua.

Los resultados de resistencia al agua de las películas elaboradas son mayores a los de las películas bicapa de **Moreno (2015)**, esto se puede atribuir a las diferencias en los espesores de las películas, al aumentar el espesor se disminuye la elongación y se aumenta el tiempo de rotura debido a que existe mayor resistencia mecánica de la película , asimismo que se aumenta el camino de la difusión de agua.

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas formuladas se presentan en la Tabla 2, no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las medias de los tratamientos a pesar de las diferencias en la concentración de glicerol, harina de cáscara y el espesor, esto se podría asociar al grado de tortuosidad en la estructura de las películas que dificulta la difusión de agua a través de ella.

Los valores de PVA de las películas ($5,26 - 10,24 \times 10^{-9} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$) son mayores a los reportados por **Anchundia et al. (2016)** ($2,4 - 4,03 \times 10^{-11} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$), **Pelissari et al. (2013^a)** ($2,1 \times 10^{-9} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$) y **Orsuwan & Sothornvit (2018)** ($1,07 \times 10^{-9} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$). Sin embargo son menores a los de **Arquelau et al. (2019)** ($8,85 - 14,82 \times 10^{-5} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$). Las diferencias de estos valores pueden depender de factores como el espesor, la baja compactibilidad, la integridad de la matriz polimérica, el contenido y carácter hidrofílico del almidón y el glicerol y la interacción entre los grupos funcionales de los polímeros, principalmente de los grupos hidroxilo (**Arquelau et al., 2019**).

Solubilidad de las películas

La solubilidad de las películas elaboradas tuvo valores entre 19,36% y 27,38%. Al observar los valores de solubilidad para cada tratamiento (Tabla 2), se percibe un aumento de estos valores al aumentar la cantidad de glicerol y harina de cáscara. Esto se puede atribuir a las diferencias en las estructuras de las películas, según **Pelissari et al. (2013^a)**, las películas a partir de harina de banana presentan una estructura no homogénea con menor superficie lisa e imperfecciones que las películas a base de almidón debido a las interacciones almidón-glicerol y la presencia de proteínas y fibras que interaccionan molecularmente con la matriz de la película. En base a esto, al aumentar la concentración de glicerol y de harina de cáscara se forma una estructura más abierta y porosa en la película, aumentando la solubilidad en agua, debido a que se permiten mayores interacciones entre grupos hidrofílicos y el agua. Asimismo, **Ortega (2016)** menciona que en películas con estructura abierta y porosa se mejor la difusión de las moléculas de agua por la matriz de la película.

Los valores de solubilidad de las películas elaboradas son mayores a los reportados por **Anchundia et al. (2016)** de 7,21% - 27,57% para películas a base de cáscara de plátano; similares a los de **Pelissari et al. (2013b)** de 27,8% para películas a base de harina de plátano ; y menores a los de **Ortega (2016)** de 50 a 60%. Esta diferencias se deben a que la solubilidad de las películas está vinculada al tipo de materia prima utilizada en la formación de la matriz del polímero, la fuente botánica del almidón, las interacciones que ocurren en la matriz, el uso y cantidad de plastificante, y las condiciones de proceso en la elaboración de las películas (**Pelissari et al., 2013a; Tapia-Blácido, 2006**)

Por otra parte el valor deseado de solubilidad de las películas dependerá de la aplicación o uso que se le dará, por ejemplo **Lohakunjit & Noomhorm (2004)**, menciona que es necesario un valor bajo de solubilidad en las películas cuando son aplicados como recubrimientos de alimentos durante el almacenamiento, por el contrario un valor alto de solubilidad es ventajoso durante la cocción de estos alimentos.

Propiedades reológicas

Ensayos reológicos rotacionales

La variación de la viscosidad de las soluciones filmogénicas en función de la temperatura se muestra en las Figuras 3 y 4. Como se esperaba al aumentar la temperatura la viscosidad decreció. Además, se observó diferencias entre los tratamientos, por lo que la concentración de harina de cáscara y la concentración pueden influir en viscosidad de la solución filmogénica. Según **Lalaleo (2017)**, con el aumento de temperatura las distancias moleculares aumentan como consecuencia de la disminución de las fuerzas intermoleculares y de la disminución de las interacciones partícula-partícula, permitiendo así que las soluciones filmogénicas fluyan con facilidad.

No obstante, en la Figura 4 se observa un incremento de la viscosidad al disminuir la temperatura. Sin embargo no se alcanza los valores iniciales de la rampa de calentamiento, esto puede estar asociado a que al disminuir la temperatura pueden formarse diferentes interacciones entre las moléculas del polímero, además, existe

retrogradación del almidón en donde se recrystalizan las cadenas de amilosa y amilopectina (Lalaleo, 2017; H. Liu, Xie, Yu, Chen, & Li, 2009).

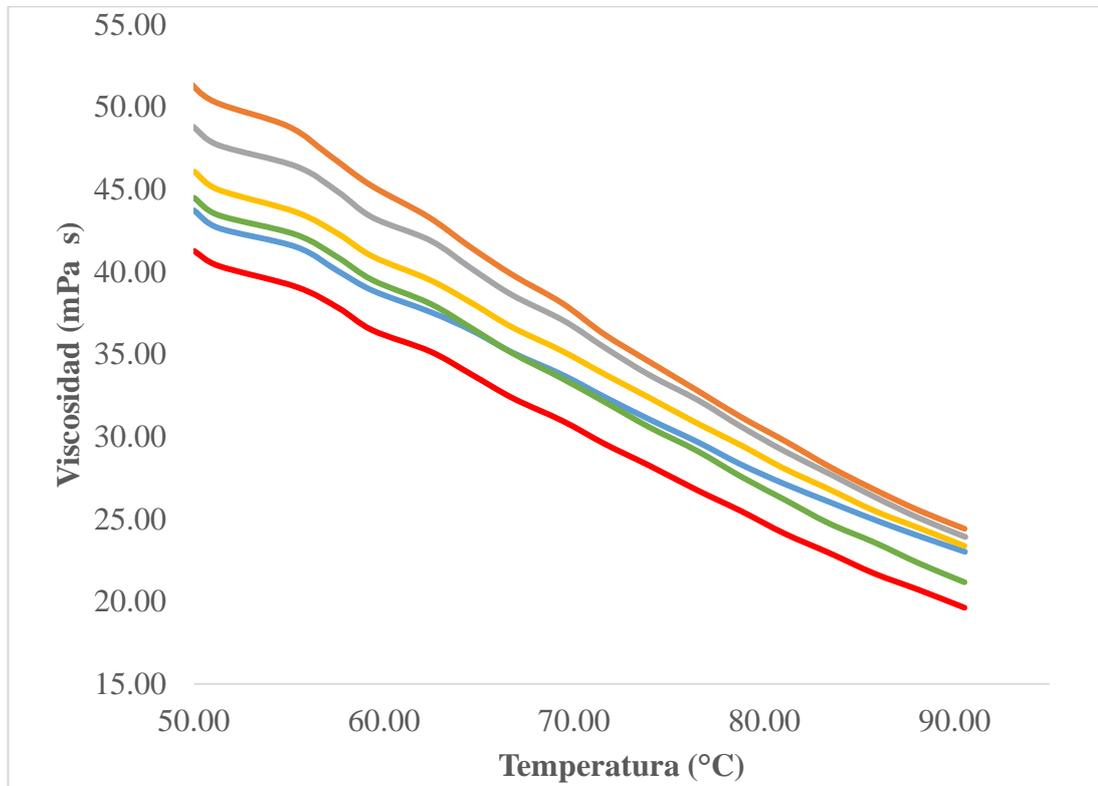


Figura 3. Relación de la viscosidad (mPa s) con la temperatura de 50-90 °C de las soluciones filmogénicas.

C1 (línea azul); **C3** (línea naranja); **C5** (línea gris); **C1+** (línea amarilla); **C3+** (línea roja); **C5+** (línea verde)
C1: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C3:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C5:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C1+:** 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C3+:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C5+:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm².

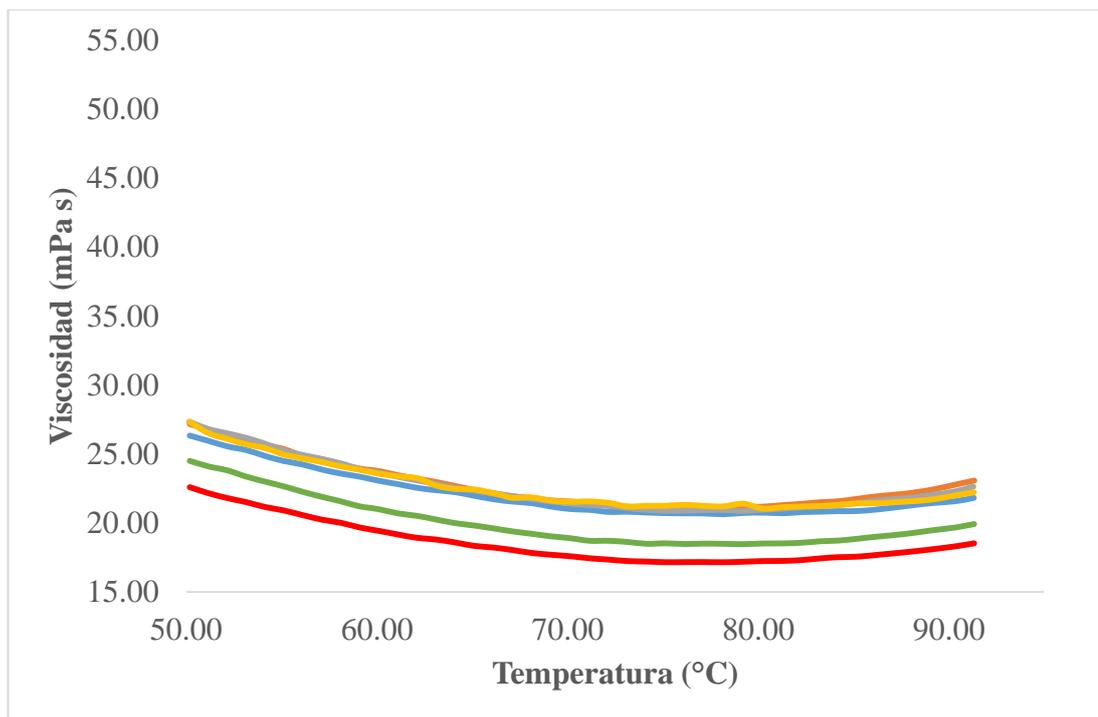


Figura 4. Relación de la viscosidad (mPa s) con la temperatura de 50-90 °C de las soluciones filmogénicas.

C1 (línea azul); **C3** (línea naranja); **C5** (línea gris); **C1+** (línea amarilla); **C3+** (línea roja); **C5+** (línea verde)
C1: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C3**: 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C5**: 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C1+**: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C3+**: 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C5+**: 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm².

Ensayos reológicos oscilatorios

El comportamiento del módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G'') en relación a la deformación se muestra en la Figura 5.

Las soluciones filmogénicas presentan inicialmente un comportamiento elástico que disminuye a medida que aumenta la deformación; al alcanzar una deformación crítica (alrededor de 15%) el módulo de pérdida es mayor al de almacenamiento, por lo que las soluciones presentan un comportamiento viscoso. Estos resultados de comportamiento son similares a los reportados por **Lalaleo (2017)**, para suspensiones de almidón.

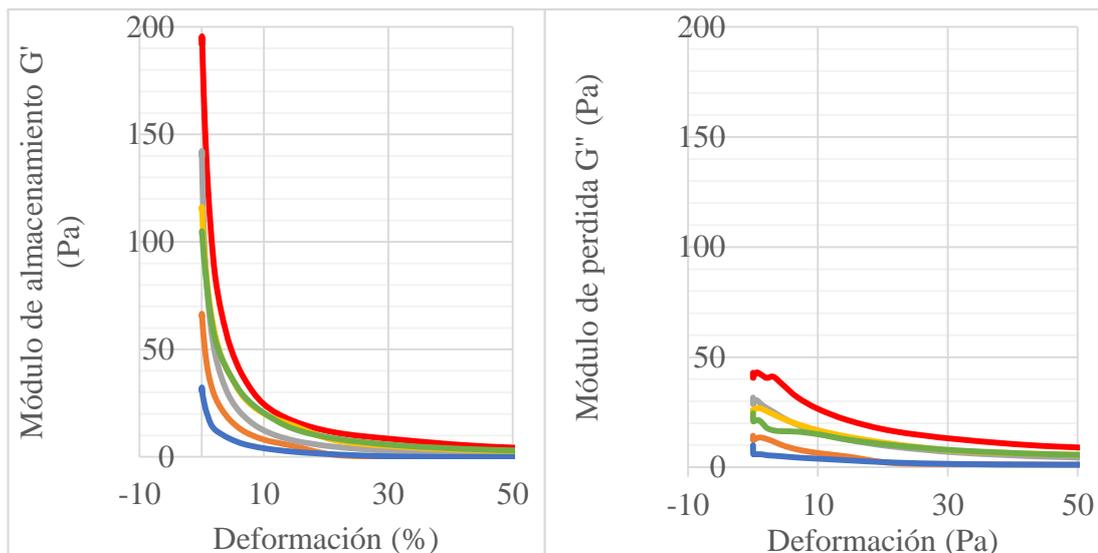


Figura 5. Dependencia del módulo elástico (G') y del módulo viscoso (G'') de las soluciones filmogénicas en función de la deformación %.

C1 (línea roja); **C3** (línea naranja); **C5** (línea gris); **C1+** (línea amarilla); **C3+** (línea azul); **C5+** (línea verde)
C1: 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C3:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C5:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,0% glicerol y 0,31 g/cm²; **C1+:** 0,5% de cáscara, 3,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C3+:** 1,0% de cáscara, 3,0% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm²; **C5+:** 1,5% de cáscara, 2,5% de pulpa + cáscara, 1,5% glicerol y 0,47 g/cm².

Color

Basado en los valores de L^* , b^* y ΔE^* (Tabla 2) el color de las películas elaboradas es oscuro ($L^* = 19 - 27$) y amarillento ($b^* = 11 - 13$), característico de películas a partir de harina (Anchundia et al., 2016; Moreno, 2015; Tapia-Blácido, 2006). Los valores de a^* (4 - 5) en las películas indican la ausencia de tonos característicos de color rojo. Existe variación en el color de las películas para los diferentes tratamientos, según Pelissari et al (2013^a), las propiedades de color y transparencia de las películas se asocian a la composición de la materia prima, en especial al contenido de amilosa, proteínas, lípidos, fibras y compuestos fenólicos.

Transparencia

Existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de transmitancia de las películas de los diferentes tratamientos. Los valores de transmitancia a 280 nm y 660 nm se muestran en la Tabla 2.

La transmitancia de luz UV a 280 y 660 nm para C1, C3 y C5 no presenta diferencias pese a la variación de concentración de harina de cáscara de los tratamientos. Sin embargo, estos valores son mayores al compararlos con los tratamientos que presentan una concentración de 1,5% de glicerol (C1+, C3+, C5+), además, en estos últimos tratamientos la transmitancia de las películas disminuye al aumentar el contenido de harina de cáscara.

Estas variaciones en los valores se pueden asociar a un mayor contenido de proteína y compuestos fenólicos al aumentar la cantidad de harina de cáscara, contribuyendo a la opacidad de las películas; asimismo la variación de transmitancia puede depender de las interacciones entre el plastificante y la matriz de almidón (Orsuwan & Sothornvit, 2018).

Biodegradación

La biodegradación de las películas se determinó enterrando las películas en suelo durante 30 días. Las características del suelo utilizado se presentan en la Tabla 4 y las condiciones climáticas durante el tiempo del ensayo se presentan en la Tabla 5.

Tabla 4. Características del suelo utilizado para el ensayo de biodegradación

Humedad (%)	pH	UFC/ g de suelo.	UFC/ g de suelo.
		($\times 10^5$) Bacterias	($\times 10^4$) Mohos y Levaduras
25,04 \pm 1,16	6,00 \pm 0,11	1,33 \pm 0,18	8,70 \pm 2,97

Tabla 5. Condiciones climáticas durante el ensayo de biodegradación

Parámetro	Mayo 2019	Junio 2019
Temperatura Media (°C)	16,6	16,1
Temperatura Máxima (°C)	19,8	19,2
Temperatura Mínima (°C)	11,9	11,4
% Humedad Relativa Media	72,6	74,8

Fuente: Tiempo.net (2019)

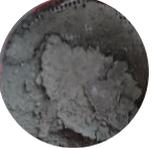
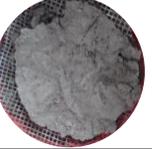
Janssen & Moscicki (2010), mencionan a la biodegradación como el proceso de degradación causado por actividad biológica, particularmente acción de enzimas, que lleva a cambios significativos en la estructura química del material. La biodegradabilidad de un plástico depende de la estructura química del material y la constitución del producto final, y no solamente de la materia prima utilizado para su producción.

Los resultados de la degradación de las películas elaboradas se observan en la Tabla 6. Existe pérdida de estructura y material a medida que avanza el tiempo, lo que se asocia con la descomposición de las matrices de almidón de las películas a moléculas más simples como dióxido de carbono y agua. A los 30 días de entierro las películas de los tratamientos C1, C3 y C5 presentan mayor degradación que las de C1+, C3+ y C5+. Estas diferencias se pueden asociar a la variación de espesor entre las películas. Según **Janssen & Moscicki (2010)**, las velocidades de biodegradación son dependientes de los espesores y las geometrías de los artículos fabricados.

La norma **EN-13432 (2000)**, establece que para que un material sea considerado biodegradable, este debe cumplir con ciertos criterios; uno de estos criterios es la ecotoxicidad, la cual se puede evaluar con la germinación o crecimiento de plantas. En la Tabla 6 se observa crecimiento de plantas a partir de los 15 días de entierro de las películas, siendo el más notable el del tratamiento C1+ - Réplica 3. En base a esto se puede establecer que las películas elaboradas no representan un posible riesgo de toxicidad para suelos.

Tabla 6. Biodegradación de las películas elaboradas a partir de harina de plátano

Muestra	Días				
	4	8	15	22	30
C1					
					
C3					
					
C5					
					

Muestra	Días				
	4	8	15	22	30
C1+					
					
C3+					
					
C5+					
					

Los tiempos de biodegradación de las películas elaboradas son similares a los encontrados por **Torres, Zamudio-Flores, Salgado-Delgado, & Bello-Pérez (2008)** para películas de almidón de banana con polietileno de baja densidad; a los de **Del Rosario Salazar-Sánchez, Campo-Eraza, Villada-Castillo, & Solanilla-Duque (2019)** de 32 días para películas de almidón de yuca con ácido poliláctico; a los de **Moreno (2015)** de 30 días y 48 días para películas multicapa de gelatina de **Martucci & Ruseckaite (2009)**.

Los resultados de la cuantificación de microorganismos viables de cada suelo a los 10, 17, 24 y 30 días se presentan en la Tabla 7 y en la Tabla 8. Existe una tendencia de crecimiento de microorganismos hasta los 24, esto se puede deber a que los microorganismos presentes en el suelo tienen capacidad de digerir las películas al estar compuestas por polisacáridos (almidón y fibra), proteínas y lípidos (**Moreno, 2015**). Asimismo **Lopez-Llorca & Colom Valiente (1993)**, reportaron colonización de hongos, en especial la presencia de hifas a los 15 días de entierro para películas de almidón. A partir de los 24 días se notó un descenso de microorganismos que se puede asociar al agotamiento de nutrientes.

Tabla 7. Cuantificación de microorganismos viables (Bacterias) en el ensayo de enterrado

Tratamiento	UFC / g suelo ($\times 10^4$)			
	Días			
	10	17	24	30
Control	Incontable	Incontable	Incontable	3,06 \pm 0,14
C1	1,52 \pm 0,08	6,50 \pm 1,84	10,40 \pm 5,09	24,20 \pm 0,13
C3	1,18 \pm 0,02	8,10 \pm 2,69	13,80 \pm 1,41	20,60 \pm 0,56
C5	5,80 \pm 0,56	2,20 \pm 0,18	93,00 \pm 0,99	10,20 \pm 1,13
C1+	0,11 \pm 0,43	3,52 \pm 0,11	5,90 \pm 1,84	10,00 \pm 0,00
C3+	0,86 \pm 0,25	8,60 \pm 3,68	18,10 \pm 0,14	2,25 \pm 0,09
C5+	6,70 \pm 0,70	5,30 \pm 2,97	3,46 \pm 0,22	2,91 \pm 0,21

Tabla 8. Cuantificación de microorganismos viables (Mohos y Levaduras) en el ensayo de enterrado

Tratamiento	UFC / g suelo ($\times 10^4$)			
	Días			
	10	17	24	30
Control	7,00 \pm 1,13	1,52 \pm 0,05	1,86 \pm 0,73	0,33 \pm 0,07
C1	1,43 \pm 0,52	58,00 \pm 2,28	14,80 \pm 5,37	22,40 \pm 0,28
C3	0,55 \pm 0,41	8,90 \pm 0,70	24,80 \pm 2,54	47,00 \pm 9,89
C5	2,61 \pm 1,91	3,50 \pm 0,45	8,80 \pm 3,67	10,90 \pm 4,30
C1+	3,50 \pm 0,48	47,00 \pm 1,41	19,10 \pm 2,68	37,70 \pm 1,27
C3+	0,91 \pm 0,83	18,40 \pm 1,41	37,90 \pm 1,55	2,52 \pm 0,05
C5+	6,00 \pm 0,00	13,30 \pm 1,83	8,70 \pm 1,25	1,21 \pm 0,07

Aplicación de las películas en Alimentos

Se evaluó la aplicación de las películas con cáscara de plátano en el recubrimiento de pechugas de pollo, para esto se elaboró películas con cáscara de plátano y condimentos. Los resultados del análisis sensorial de las películas con condimentos se presentan en las Figuras 6, 7 y 8.

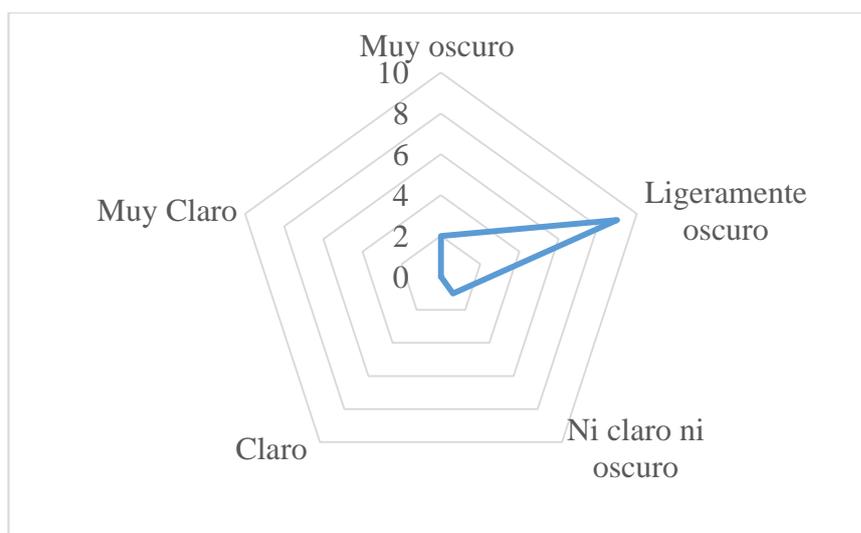


Figura 6. Resultado de Color de análisis sensorial de películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos.

Los resultados del análisis sensorial de color para las películas elaboradas (Figura 6) señalan una respuesta mayoritaria de ligeramente oscuras, esto concuerda con la opacidad de las películas reportadas en la Tabla 2 debido a la presencia de proteínas, fibras y otras moléculas en la estructura.

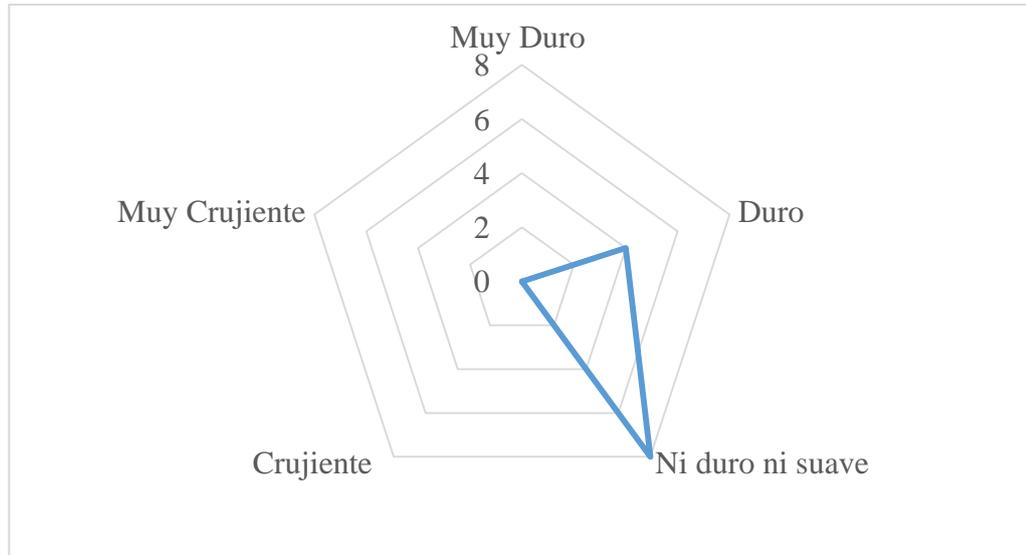


Figura 7. Resultado de Textura de análisis sensorial de películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos.

La Figura 7 muestra como respuesta predominante “Ni duro ni suave” en la textura de las películas con condimentos. La flexibilidad estas películas se pueden asociar al uso de plastificantes en su elaboración. Los resultados de olor, sabor y aceptabilidad general de las películas muestran un resultado de aproximadamente del 60% de “Agradable” por parte de los participantes (Figura 8), indicando aceptabilidad de las películas con condimentos.

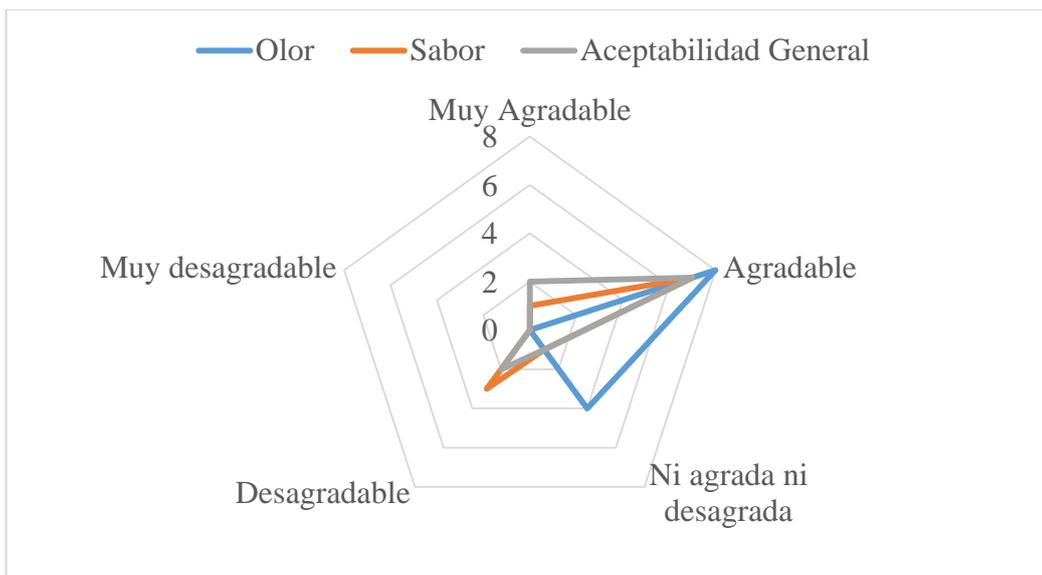


Figura 8. Resultado de Olor, Sabor y Aceptabilidad general de análisis sensorial de películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos.

Los resultados de los análisis sensoriales de músculo de ave recubierto con películas con cáscara de plátano y condimentos se presentan en la Figura 9. Se manifiesta que para el sabor, apariencia y aroma alrededor del 50% de los participantes mencionan que son agradables, de la misma manera en textura en boca con “muy agradable”. En base a esto, aproximadamente para el 67% de los participantes existe una aceptabilidad del producto, por los que las películas elaboradas pueden ser utilizadas en alimentos para el recubrimiento de carne de pollo.

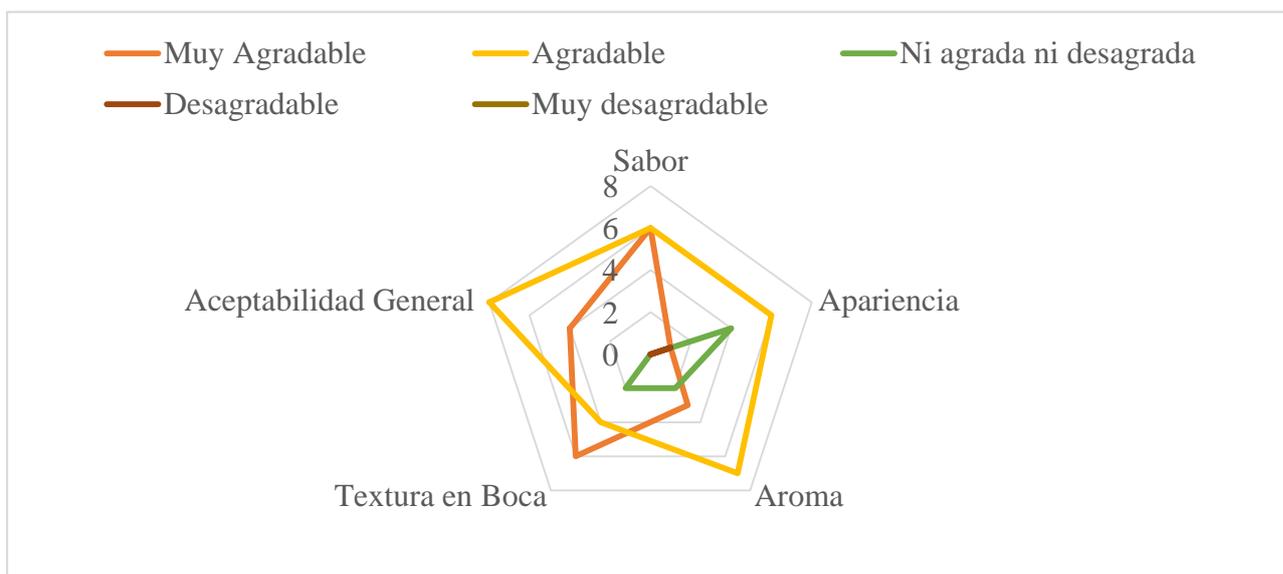


Figura 9. Resultado de análisis sensorial de pechugas de pollos recubiertas con películas elaboradas con cáscara de plátano y condimentos

3.2. Verificación de Hipótesis

Con base a los resultados presentados se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 de que la combinación de la concentración de harina de cáscara, la concentración de glicerol y la cantidad de mezcla vertida en cada tratamiento afectan significativamente a las propiedades ópticas, mecánicas, de barrera y de degradación de las películas biodegradables obtenidas a partir de la harina de cáscara de plátano.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se determinó las propiedades ópticas, mecánicas, de barrera de las películas obtenidas a partir de la harina de cáscara de plátano. La concentración de harina de cáscara, concentración de glicerol y cantidad vertida de la soluciones influyeron en las propiedades de las películas elaboradas. A mayor concentración de cáscara y de cantidad vertida las películas presentaron mayor opacidad, asimismo al aumentar la concentración de cáscara las películas presentaron mayores valores de solubilidad y resistencia al agua, mientras que el aumento de la concentración de glicerol aumentó la flexibilidad, solubilidad y resistencia al agua del material.

En base al ensayo enterrado de las películas elaboradas se determinó 30 días como el tiempo de biodegradación, además las películas presentaron bajo nivel de ecotoxicidad, al presentarse crecimiento de plantas, lo que se las cataloga como amigables con el medio ambiente.

Se evaluó la aplicación de las películas con cáscara de plátano sobre músculo de ave, en base al análisis sensorial existe una aceptabilidad general del producto, por lo que se puede considerar esta aplicación en alimento como viable.

4.2. Recomendaciones

Realizar estudios de microscopía electrónica que permitan comprender de una mejor manera la relación estructura- propiedades de las películas con cáscara de plátano.

Realizar un diseño de optimización con base a las condiciones de procesamiento de las películas debido a que estas influyen en las propiedades finales del material.

Evaluar la posible aplicación de las películas con cáscara de plátano en recubrimientos de frutas o vegetales y en otras carnes.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *Revista chilena de nutrición*, 43(4), 9-9. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>
- Anhwange, B. A., Ugye, T. J., & Nyiaatagher, T. D. (2009). Chemical composition of *Musa sapientum* (Banana) peels. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 8, pp. 437-442.
- Arancibia, M. Y., López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., & Montero, P. (2014). Release of volatile compounds and biodegradability of active soy protein lignin blend films with added citronella essential oil. *Food Control*, 44, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.03.025>
- Arancibia Soria, M. Y. (2014). *Recubrimientos activos procedentes de recursos infrutilizados y residuos de la industria para su aplicación en agroalimentación* (Universidad Complutense de Madrid). Recuperado de <https://eprints.ucm.es/30017/1/T36045.pdf>
- Arquelau, P. B. de F., Silva, V. D. M., Garcia, M. A. V. T., Araújo, R. L. B. de, & Fante, C. A. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, 89, 570-578. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.029>
- ASTM. (2002). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, ASTM D882-02. *American Society for Testing and Materials*.
- ASTM D2216-10. (2010). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass: ASTM D 2216. *ASTM International*. <https://doi.org/10.1520/D2216-10.N>
- Avérous, L., & Pollet, E. (Eds.). (2012). *Environmental Silicate Nano-Biocomposites*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2>
- Bastioli, C., Magistrali, P., & Garcia, S. G. (2013). Starch. En *Bio-Based Plastics* (pp. 9-33). <https://doi.org/10.1002/9781118676646.ch2>
- Blanco-Pascual, N., Fernández-Martín, F., & Montero, M. P. (2013). Effect of

- different protein extracts from *Dosidicus gigas* muscle co-products on edible films development. *Food Hydrocolloids*, 33(1), 118-131.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.019>
- Bourtoom, T., & Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch–chitosan blend biodegradable film. *LWT - Food Science and Technology*, 41(9), 1633-1641. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.014>
- Cabrera Llano, J. L., & Cárdenas Ferrer, M. (2006). Importancia de la fibra dietética para la nutrición humana . *Revista Cubana de Medicina General Integral* , Vol. 22, p. 0. scielocu .
- del Rosario Salazar-Sánchez, M., Campo-Erazo, S. D., Villada-Castillo, H. S., & Solanilla-Duque, J. F. (2019). Structural changes of cassava starch and polylactic acid films submitted to biodegradation process. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 442-447.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.187>
- EN-13432. (2000). Requirements for Packaging Recoverable through Composting and Biodegradation. Test Scheme and Evaluation Criteria for the Final Acceptance of Packaging. *European Comission*.
- Escudero, E., & González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21(2), 61-72.
- FAO. (2019). Banana Production by Countries 2017. Recuperado 8 de abril de 2019, de FAOSTAT website: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Garcia, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2000). Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Journal of Food Science*, 65(6), 941-944. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb09397.x>
- Gilfillan, W. N., Nguyen, D. M. T., Sopade, P. A., & Doherty, W. O. S. (2012). Preparation and characterisation of composites from starch and sugar cane fibre. *Industrial Crops and Products*, 40, 45-54.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.036>
- Gutiérrez, T. J., & González, G. (2017). Effect of Cross-Linking with Aloe vera Gel on Surface and Physicochemical Properties of Edible Films Made from Plantain Flour. *Food Biophysics*, 12(1), 11-22. <https://doi.org/10.1007/s11483-016-9458-z>
- Gutiérrez, T. J., Morales, N. J., Pérez, E., Tapia, M. S., & Famá, L. (2015). Physico-

- chemical properties of edible films derived from native and phosphated cush-cush yam and cassava starches. *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.09.002>
- Hu, G., Chen, J., & Gao, J. (2009). Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 291-298.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.032>
- Huang, C. B., Jeng, R., Sain, M., Saville, B., & Hubbes, M. (2006). Production, characterization, and mechanical properties of starch modified by *Ophiostoma* spp. *BioResources*, 1(2), 257-269.
- Infrared and Raman Spectroscopy*. (2018). <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00806-1>
 Instituto para el Desarrollo de de Energías y Materiales Alternativos, [IDEMA].
 (2017). *Uso de Biomasa Residual de la Agro-industria para la generación de Energías y Materiales Alternativos*. Quito.
- Jagannath, J. H., Nanjappa, C., Das Gupta, D. K., & Bawa, A. S. (2003). Mechanical and barrier properties of edible starch-protein-based films. *Journal of Applied Polymer Science*, 88(1), 64-71. <https://doi.org/10.1002/app.11602>
- Janssen, L. P. B. M., & Moscicki, L. (2010). Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries. En *Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries*. <https://doi.org/10.1002/9783527628216>
- Kizil, R., Irudayaraj, J., & Seetharaman, K. (2002). Characterization of Irradiated Starches by Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 3912-3918. <https://doi.org/10.1021/jf011652p>
- Koch, K. (2018). Starch-Based Films. En *Starch in Food* (pp. 747-767).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00019-6>
- Lalaleo, D. (2017). *Caracterización reológica de suspensiones elaboradas a partir harina y residuos de banano de rechazo* (Universidad Técnica de Ambato).
 Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24739>
- Laohakunjit, N., & Noomhorm, A. (2004). Effect of Plasticizers on Mechanical and Barrier Properties of Rice Starch Film. *Starch - Stärke*, 56(8), 348-356.
<https://doi.org/10.1002/star.200300249>
- Liu, H., Xie, F., Yu, L., Chen, L., & Li, L. (2009). Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*, 34(12), 1348-1368.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001>

- Liu, Z. (2005). Edible films and coatings from starches. En *Innovations in Food Packaging* (pp. 318-337). <https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50051-6>
- Lopez-Llorca, L. V., & Colom Valiente, M. F. (1993). Study of biodegradation of starch-plastic films in soil using scanning electron microscopy. *Micron*, 24(5), 457-463. [https://doi.org/10.1016/0968-4328\(93\)90024-U](https://doi.org/10.1016/0968-4328(93)90024-U)
- Martucci, J. F., & Ruseckaite, R. A. (2009). Biodegradation of three-layer laminate films based on gelatin under indoor soil conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 94(8), 1307-1313. <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2009.03.018>
- Moreno, G. (2015). *Utilización de harina de plátano (Musa balbisiana) en desarrollo de películas biodegradables activas* (Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/11979>
- Muscat, D., Adhikari, B., Adhikari, R., & Chaudhary, D. S. (2012). Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *Journal of Food Engineering*, 109(2), 189-201. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.019>
- Orsuwan, A., Shankar, S., Wang, L.-F., Sothornvit, R., & Rhim, J.-W. (2016). Preparation of antimicrobial agar/banana powder blend films reinforced with silver nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 60, 476-485. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.017>
- Orsuwan, A., & Sothornvit, R. (2018). Effect of banana and plasticizer types on mechanical, water barrier, and heat sealability of plasticized banana-based films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13380. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13380>
- Ortega, J. (2016). *Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano (Musa Acuminata AAA) de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables*. Universidad Técnica de Ambato.
- Padam, B. S., Tin, H. S., Chye, F. Y., & Abdullah, M. I. (2014). Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3527-3545. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0861-2>
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C.

- (2013a). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids*, 30(2), 681-690. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.08.007>
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2013b). Optimization of process conditions for the production of films based on the flour from plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *LWT - Food Science and Technology*, 52(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.011>
- Ramírez-Gama, R. M., Urzúa Hernández, M. del C., Camacho Cruz, A., Tsuzuki Reyes, G., & Esquivel-Cote, R. (2015). *Técnicas básicas de microbiología y su fundamento* (Primera). México: Trillas.
- Ramírez Martínez, J. J. (2011). *Evaluación sensorial de productos cárnicos frescos con recubrimientos comestibles antimicrobianos* (Universidad Pública de Navarra). Recuperado de <https://hdl.handle.net/2454/6963>
- Scheibe, A. S., de Moraes, J. O., & Laurindo, J. B. (2014). Production and Characterization of Bags from Biocomposite Films of Starch-Vegetal Fibers Prepared by Tape Casting. *Journal of Food Process Engineering*, 37(5), 482-492. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12105>
- Skowronsky, L. (2011). Inhibition of microbial growth in solid dosages at ICH stability storage conditions. Recuperado 5 de noviembre de 2019, de <https://www.europeanpharmaceuticalreview.com/article/8876/inhibition-of-microbial-growth-in-solid-dosages-at-ich-stability-storage-conditions/>
- Smith, B. C. (2018). *Infrared spectral interpretation: a systematic approach*. CRC press.
- Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids*, 15(4-6), 423-432. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00061-3)
- Sothornvit, R., & Pitak, N. (2007). Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International*, 40(3), 365-370. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.010>
- Tapia-Blácido, D. (2006). *Films based of derivates of amaranth for use in foods*. Unicamp, Brazil.
- Tiempo.net, T. (2019). Clima Ambato. Recuperado de

<https://www.tutiempo.net/clima/05-2019/ws-841470.html>

Torres, A. V., Zamudio-Flores, P. B., Salgado-Delgado, R., & Bello-Pérez, L. A. (2008). Biodegradation of low-density polyethylene-banana starch films.

Journal of Applied Polymer Science, 110(6), 3464-3472.

<https://doi.org/10.1002/app.28938>

Vieira da Mota, R., Lajolo, F. M., Cordenunsi, B. R., & Ciacco, C. (2000).

Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different

Varieties. *Starch - Stärke*, 52(2-3), 63-68. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(200004\)52:2/3<63::AID-STAR63>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(200004)52:2/3<63::AID-STAR63>3.0.CO;2-V)

Zhang, Y., Liu, Z., & Han, J. (2008). Starch-based edible films. En *Environmentally Compatible Food Packaging* (pp. 108-136).

<https://doi.org/10.1533/9781845694784.1.108>

Zhang, Yachuan, Rempel, C., & McLaren, D. (2014). Thermoplastic Starch. En

Innovations in Food Packaging (pp. 391-412). [https://doi.org/10.1016/B978-0-](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00016-3)

[12-394601-0.00016-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00016-3)

ANEXOS

Anexo 1. Formatos de hojas de análisis sensorial

HOJA DE CATACIÓN PARA PELÍCULAS COMESTIBLES A PARTIR DE PLÁTANO

NOMBRE: _____ FECHA: _____

Indicaciones: Usted tiene una muestra de película comestible, por favor deguste y de acuerdo a su criterio marque con una (X).

ATRIBUTOS	ESCALA	RESPUESTA
COLOR	Muy oscuro	
	Ligeramente oscuro	
	Ni claro ni oscuro	
	Claro	
	Muy claro	
OLOR	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	
	Desagradable	
	Muy desagradable	
TEXTURA	Muy duro	
	Duro	
	Ni duro ni suave	
	Crujiente	
	Muy crujiente	
SABOR	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	
	Desagradable	
	Muy desagradable	
ACEPTABILIDAD GENERAL	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	
	Desagradable	

	Muy desagradable	
--	------------------	--

Comentario: _____

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

**HOJA DE CATACIÓN PARA POLLO RECUBIERTO CON PELÍCULAS
COMESTIBLES A PARTIR DE PLÁTANO**

NOMBRE: _____ FECHA: _____

Indicaciones: Usted tiene una muestra pollo recubierto con películas comestibles a partir de plátano, por favor deguste y de acuerdo a su criterio marque con una (X).

ATRIBUTOS	ESCALA	RESPUESTA
SABOR	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	
	Desagradable	
	Muy desagradable	
APARIENCIA	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	
	Desagradable	
	Muy desagradable	
AROMA	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	
	Desagradable	
	Muy desagradable	
TEXTURA EN BOCA	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	
	Desagradable	
	Muy desagradable	
ACEPTABILIDAD GENERAL	Muy agradable	
	Agradable	
	Ni agrada ni desagrada	

	Desagradable	
	Muy desagradable	

Comentario: _____
