

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
POSTGRADO INTERFACULTADES EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**Efecto del gel de *Aloe vera* sobre películas a base de harina
de plátano**

**Trabajo de Grado (TG) presentada ante
la ilustre Universidad Central de
Venezuela por la Ftco. Kelvia Kristina
Álvarez González, para optar al título
de Magister Scientiarum en Ciencias,
Mención Ciencia y Tecnología de
Alimentos.**

Tutor: Prof. Tomy J. Gutiérrez, Ph.D.

**Caracas - Venezuela
Marzo, 2017**



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



Comisión de Estudios
de Postgrado

VEREDICTO

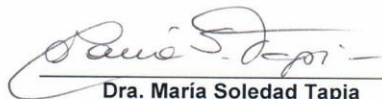
Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **Trabajo de Grado** presentado por: **Kelvia Kristina Álvarez González Cédula de identidad N° 17.908.411**, bajo el título **"Efecto del gel de Aloe vera sobre películas a base de harina de plátano"**, a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **MAGÍSTER SCIENTIARUM, MENCIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**, dejan constancia de lo siguiente:

1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 03 de Marzo de 2017 a las 09:00 AM., para que la autora lo defendiera en forma pública, lo que ésta hizo en la sala de Conferencias del Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

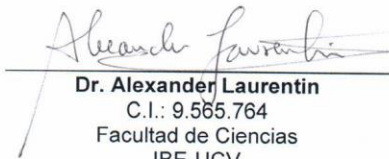
2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **aprobarlo**, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por la autora, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado

Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo examinado es un aporte significativo en el área y caracterización de películas como materiales biodegradables, elaboradas a partir de materias primas nacionales, caracterizadas físico-químicas y estructuralmente empleando metodologías de vanguardia en un esfuerzo interinstitucional en el que participaron el IVIC, la Universidad Simón Bolívar y la Universidad Central de Venezuela, del cual se ha generado dos publicaciones en revistas arbitradas internacionales de alto impacto.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los 03 días del mes de Marzo del año 2017, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinador del jurado el Dr. Tomy José Gutiérrez Carmona.



Dra. María Soledad Tapia
C.I.: 3.914.268
Facultad de Ciencias
ICTA-UCV



Dr. Alexander Laurentin
C.I.: 9.565.764
Facultad de Ciencias
IBE-UCV



Dr. Tomy J. Gutiérrez
C.I. 16.562.639
Investigador Postdoctoral del Instituto de
Investigaciones en Ciencia y Tecnología
de Materiales INTEMA



o.a.s.02/03/2017

Dedicatoria

Quisiera dedicar este Trabajo Especial de Grado:

Primeramente a Dios,

Por darme toda las herramientas necesarias a lo largo de la vida, para lograr y alcanzar las metas que me he propuesto.

A mis padres y hermanos,

Porque siempre han estado conmigo, ya sea física y/o espiritualmente cada uno a su manera y brindándome gran apoyo en todo lo que he vivido.

A mi hijo,

Por ser mi gran compañero y motor que me impulsa cada instante.

Al Dr. Tomy J. Gutiérrez,

Quien me ha acompañado desde pregrado en mi crecimiento profesional, siempre con gran disposición, cariño y paciencia.

Agradecimientos

A la majestuosa Universidad Central de Venezuela (UCV) y al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) por permitirme crecer profesionalmente.

Al Centro de Ingeniería de Materiales y Nanotecnología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas por todo el apoyo y solidaridad que presento en el desarrollo de este trabajo. En especial a la Dra. Gema González y el M.Sc. Antonio Monsalve.

A la honorable Universidad Simón Bolívar por colocar a disposición su texturómetro para llevar a cabo las pruebas mecánicas de los materiales aquí estudiados. En particular a la Dra. Aura Cova.

También agradezco a las demás instituciones que me abrieron las puertas para poder llevar a cabo parte de este trabajo, tal como la Facultad de Farmacia - UCV. Agradecimiento a la Prof(a). Mariela Rincón.

A todos los profesores que a lo largo de la maestría impartieron en mí sus conocimientos, en especial mi tutor el Dr. Tomy J. Gutiérrez quien con mucha paciencia ha sabido dirigirme y darme las herramientas necesarias para llevar a cabo todos los trabajos académicos que nos hemos propuesto. Es para mí un gran honor ser su tesista.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
Facultad de Ciencias
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“EFECTO DEL GEL DE *ALOE VERA* SOBRE PELÍCULAS A BASE DE HARINA DE PLÁTANO”

Autor(a): Ftco. Kelvia Álvarez
Tutor: Prof. Tomy J. Gutiérrez, Ph.D.

Resumen

El objetivo de este estudio fue relacionar las propiedades físico-químicas de películas comestibles derivadas a partir de harina de plátano-glicerol conteniendo diferentes concentraciones de gel de *Aloe vera* (Av). Películas comestibles fueron preparadas por el método casting conteniendo 0, 2, 4 y 6% de gel de Av. Grado de sustitución, peso molecular promedio, grosor, contenido de humedad, actividad de agua (a_w), espectroscopía infrarrojo, solubilidad en agua, hinchamiento, análisis termogravimétrico, difracción de rayos X, microscopía de fuerza atómica, ángulo de contacto, energía superficial, microscopía electrónica de barrido, parámetros de color, comportamiento mecánico y evaluación sensorial fueron los ensayos llevados a cabo en este estudio. Los resultados demostraron el efecto de entrecruzamiento causado por los ácidos orgánicos del gel de Av (principalmente el ácido cítrico) sobre la harina de plátano, provocando así un aumento en la naturaleza hidrófoba de la superficie y aumentó en la energía superficial de estos materiales, debido a las interacciones de enlace de hidrógeno más altas. Al mismo tiempo, el efecto de entrecruzamiento del gel de Av dio como resultados películas más gruesas, más estables y secas, y con propiedades mecánicas mejoradas en término de módulo de Young, esfuerzo máximo, deformación a rotura y tenacidad. Con relación a los resultados mostrados por la evaluación sensorial nos condujo a sugerir que estas películas podrían ser usadas como envases secundarios de alimentos, ya que los atributos sensoriales fueron negativamente resaltados por los panalistas.

Palabras Clave: Almidón, evaluación sensorial.

Índice general

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Índice general	vii
Índice de figuras.....	ix
Introducción	1
CAPÍTULO I.....	3
I.1- Planteamiento del problema.....	3
I.1.1- Gel de <i>Aloe vera</i> (Av) incorporado en películas comestibles de harina de plátano.....	3
I.2- Importancia y justificación de la investigación sobre películas comestibles y sus propiedades físicas, químicas y microestructurales	7
I.3- Objetivos	8
I.3.1- Objetivo general	8
I.3.2- Objetivo específicos	8
CAPÍTULO II	9
CAPÍTULO III	14
III.1- Obtención de la harina de plátano y el gel de <i>Aloe vera</i> (Av).....	14
III.1.1- Obtención de la harina de plátano nativa (<i>Musa AAB</i> ‘sub-grupo Plantain plátano Harton’).....	14
III.1.2- Obtención del gel de <i>Aloe vera</i> (Av).....	16
III.2- Caracterización de la harina de plátano y el gel de Av	17
III.3- Formulación de las películas.....	17
III.4- Preparación de las películas	18
III.5- Caracterización de las películas.....	19
III.5.1- Grado de sustitución	19
III.5.2- Peso molecular promedio.....	20
III.5.3- Grosor	21
III.5.4- Contenido de humedad	22
III.5.5- Actividad de agua (a_w).....	22
III.5.6- Espectroscopia infrarroja por Reflectancia total atenuada con transformada de Fourier (ATR / FTIR)	22
III.5.7- Solubilidad en agua.....	23
III.5.8- Comportamiento de hinchamiento.....	23
III.5.9- Análisis termogravimétrico (TGA).....	24
III.5.10- Difracción de rayos X (XRD)	24
III.5.11- Microscopía de fuerza atómica (AFM).....	25

III.5.12- Ángulo de contacto.....	26
III.5.13- Microscopía electrónica de barrido (SEM)	27
III.5.14- Color.....	28
III.5.15- Pruebas de tracción uniaxial	29
III.5.16- Evaluación sensorial	30
CAPÍTULO IV.....	32
IV.1- Composición química y peso molecular promedio de la harina de plátano y del gel de <i>Aloe vera</i> (Av).....	32
IV.2- Caracterización de las películas	32
IV.2.1- Grado de sustitución	33
IV.2.2- Peso molecular promedio	35
IV.2.3- Grosor.....	37
IV.2.4- Contenido de humedad.....	37
IV.2.5- Actividad de agua (a_w)	39
IV.2.6- Espectroscopia infrarroja por Reflectancia total atenuada con transformada de Fourier (ATR / FTIR)	41
IV.2.7- Solubilidad en agua	41
IV.2.8- Comportamiento de hinchamiento	43
IV.2.9- Análisis termogravimétrico (TGA)	45
IV.2.10- Difracción de rayos X (XRD)	48
IV.2.11- Microscopía de fuerza atómica (AFM)	51
IV.2.12- Ángulo de contacto	53
IV.2.13- Microscopía electrónica de barrido (SEM)	57
IV.2.14- Color	59
IV.2.15- Pruebas de tracción uniaxial	60
IV.2.16- Evaluación sensorial.....	63
CAPÍTULO V.....	66
V.1- Conclusiones	66
Referencias bibliográficas	67

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema tecnológico para la obtención de la harina de plátano cruda (<i>Musa AAB</i> ‘sub-grupo Plantain plátano Harton’).	15
Figura 2. Esquema tecnológico para la obtención de gel de <i>Aloe vera</i>	16
Figura 3. Apariencia de las diferentes películas estudiadas sin glicerol : (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	34
Figura 4. Peso molecular promedio de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	36
Figura 5. Contenido de humedad de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	38
Figura 6. Mecanismo propuesto para explicar el efecto causado por los ácidos orgánicos contenidos en el gel de Av sobre el contenido de humedad de las películas desarrolladas.	40
Figura 7. Panel A- Espectros de FTIR de las diferentes películas estudiadas en toda el rango de absorción: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av). Panel B- Espectros de FTIR en el intervalo de absorción correspondiente al grupo C-O (estiramiento de OH) de las diferentes películas estudiadas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	42
Figura 8. (A) Curvas de TGA y (B) DTGA de las diferentes películas estudiadas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano	

con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	47
Figura 9. Patrones de difracción de rayos X de las diferentes películas estudiadas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	49
Figura 10. Imágenes de AFM de las películas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	52
Figura 11. Ángulos de contacto y micrografías SEM de la superficie de las películas a base de: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	54
Figura 12. Energía superficial de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	56
Figura 13. Micrografías de SEM de la superficie crio-fracturada de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av). A 1kX de aumento.	58
Figura 14. Curvas de estrés (σ) - deformación (ϵ) de las películas a base de: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	61
Figura 15. Evaluación sensorial de las diferentes películas estudiadas: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).	64

Introducción

Las películas comestibles son biopolímeros utilizados como barreras para preservar y retrasar el deterioro de los alimentos. Investigaciones recientes también se centran en crear películas comestibles que mejoran las propiedades de los alimentos, tales como color, textura, sabor y, en general, la apariencia.

Además el desarrollo de empaques juega un papel decisivo en la mejora de la vida útil de los productos frescos enteros.

Estas modalidades de empaques son conocidos por proporcionarle al alimento una extensión en su vida útil y mejoramiento de su calidad, sirviendo como barreras protectoras frente a factores externos que pueden aumentar el proceso de senescencia, que implican el consumo de oxígeno, la pérdida de los aromas volátiles y sabores (Lin y col., 2007).

Recientemente, ha crecido el interés de desarrollar películas a base de polímeros naturales, ya que presentan una amplia diversidad de aplicaciones, principalmente en las industrias alimentaria y farmacéutica; además como una alternativa a los polímeros sintéticos, esencialmente debido a su disponibilidad, biocompatibilidad, relativo bajo costo, degradabilidad, y las propiedades no tóxicas (Tonnesen y col., 2002).

Se conoce que el envasado tradicional se hace a partir de polímeros derivados del petróleo, que son caros, no renovable y pueden causar la contaminación (Wilpiszewska, y col., 2015). Una alternativa a estos materiales son termoplásticas de almidón que son compostables, barato, biodegradable, no tóxico, y está disponible en todo el mundo (Dang y Yoksan, 2015). Sin embargo, algunas propiedades de estos materiales, tales

como su naturaleza hidrofílica (sensibilidad al agua), de fuerza y de barrera propiedades mecánicas, no son tan buenas como las de las películas de polímeros derivados del petróleo (Hansen y Plackett, 2008; Dhakal y Zhang, 2012; Gutiérrez y col., 2015a, 2015b). Se han propuesto diferentes alternativas para mejorar estas propiedades, entre las que se encuentran las modificaciones químicas y / o físicas a los materiales de almidón que parecen haber sido muy eficaz (García-Tejeda y col., 2013). Ácidos orgánicos, como el ácido cítrico que se encuentra en Av gel, representan potenciales agentes de reticulación y podrían mejorar tanto las propiedades físico-químicas y valor nutritivo de películas comestibles (Reddy y Yang, 2010). De acuerdo con Majzoobi y Beparva (2014) una de las aplicaciones más importantes de los ácidos orgánicos es en la industria alimentaria.

En un estudio reciente con kiwi recién cortada, Av gel es efectivo en la reducción de la despolimerización de la pectina y la proliferación microbiana, al tiempo que mejora la calidad sensorial (Benítez y col., 2013).

Por esta razón, el objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de gel de *Aloe vera* (Av) sobre la compatibilidad de almidón-glicerol, y relacionar el comportamiento físico-química de las películas elaboradas, señalando que grado de sustitución, peso molecular promedio, grosor, contenido de humedad, actividad de agua, espectroscopía infrarrojo, solubilidad en agua, hinchamiento, análisis termogravimétrico, difracción de rayos X, microscopía de fuerza atómica, ángulo de contacto, energía superficial, microscopía electrónica de barrido, parámetros de color, comportamiento mecánico y evaluación sensorial serán los ensayos estudiados.

CAPÍTULO I

El problema

1.1- Planteamiento del problema

1.1.1- Gel de *Aloe vera* (Av) incorporado en películas comestibles de harina de plátano

El gel de Av, se ha utilizado terapéuticamente, sin duda desde la época romana y tal vez desde mucho antes. El gel incoloro presente en la parte interna de sus hojas se le atribuye diferentes propiedades biológicas, incluyendo anti-virales, anti-bacterianas, laxantes, protección contra la radiación, antiinflamatorios y de inmunoestimulación, en particular, desarrollado por sus polisacáridos. En la actualidad, se ha generado un creciente interés en el empleo del gel de Av en la industria alimentaria, aplicándolo como agente funcional en alimentos tanto líquidos como sólidos (Carpano, 2009).

En una reciente revisión (Reynolds y Dweck, 1999) se han descrito las propiedades terapéuticas del gel de Av, tanto por aplicación tópica como tras la ingestión oral.

Información de la OMS destaca que debido a que muchos de los ingredientes activos en el gel parecen deteriorarse durante el almacenamiento, se recomienda el uso de gel fresco. El gel de Av contiene

dos fuentes líquidas principales: un látex amarillento (exudado) y un gel claro (mucilago). El látex amarillo está compuesto principalmente por derivados de antraquinonas (Aloína y Aloe-emodina) y compuestos fenólicos, mientras que el gel mucilaginoso contiene fundamentalmente polisacáridos de tipo glucomanano, manano, glucano, arabinogalactano y galactoglucoarabinomanano. Para la preparación de gel la OMS recomiendan: recoger las hojas y lavarlas con agua y una solución de cloro suave. Quitar las capas externas de la hoja, incluyendo las células pericíclicas, dejando un “filete” de gel. Se debe tener cuidado de no rasgar la corteza verde que puede contaminar el filete con el exudado de la hoja. El gel puede estabilizarse por pasteurización a 75-80 °C durante al menos 3 minutos. Las temperaturas más altas mantenidos para tiempos más largos pueden alterar la composición química del gel.

Según la FAO (2008), el gel de Av demuestra una demanda de tendencia creciente en el mercado internacional, debido a los altos requerimientos del gel en las industrias cosmética, alimenticia, medicinal, principalmente en los Estados Unidos de norte América con el 19,61% del consumo mundial. Ante las demandas de sábila establecidas, la oferta mundial es liderada por Venezuela con el 16% de la producción mundial, seguida muy de cerca por Brasil con un aporte del 15,32%, México con el 14,92%, Filipinas con el 12,86% y Australia con el 10,12%. Adicionalmete describe que los principales proveedores a nivel mundial son: México (21,50%), Guatemala (16,81%), Venezuela (11,88%), cuyos productores lograron alta rentabilidad del cultivo y con un apropiado manejo técnico del mismo.

El gel de Av es de interés para la industria científica y alimentos debido a sus propiedades anti-cancerígenas, anti-inflamatorio, anti-oxidantes, características anti-diabéticos y antibióticos (Grover y col., 2002; Boudreau y Beland, 2006; Krishnan, 2006; Xiao y col., 2007; Xu y col, 2008; Yu y col.,

2009; Sharrif y Verma, 2011; Pereira y col., 2013). El gel de Av muestra las posibles actividades contra las alergias, úlceras y SIDA, entre otros (Reynolds y Dweck, 1999; Reynolds y Dweck, 1999; Eshun y He, 2004), y también puede ayudar en la curación de heridas (Boudreau y Beland, 2006; Sharrif y Verma, 2011). También vale la pena señalar que el gel de Av puede actuar como un agente reductor de los niveles de colesterol y triglicéridos en la sangre y por lo tanto podría ayudar a prevenir gastrointestinal, renal y problemas cardiovasculares (Yu y col., 2009; Pereira y col., 2013). Las potenciales propiedades curativas de Av gel se atribuyen principalmente a los polisacáridos presentes en la planta, mientras que sus actividades anti-sépticas y antimicrobianas se han relacionado con la presencia de agentes antisépticos tales como lupeol, ácido salicílico, nitrógeno de urea, ácido cinnamónico y azufre, que inhibe las bacterias, virus y hongos (Boudreau y Beland, 2006; Sharrif y Verma, 2011; Pereira y col., 2013).

Aunque el gel de Av se utiliza principalmente en la industria de la cosmetología y farmacéuticas, también se ha encontrado recientemente su lugar en la industria alimentaria como un alimento funcional en las bebidas y helados (Moore y MacAnalley, 1995; Khoshgozaran-Abras y col., 2012).

Además, debido a su actividad antifúngica, se ha aplicado como un recubrimiento comestible (solos o en combinación con otros componentes) para extender el almacenamiento posterior a la recolección de las nectarinas "Arctic Snow" (Ahmed, Singh, y Khan, 2009), uva de mesa (Valverde y col., 2005; Serrano y col., 2006), las cerezas dulces (Martínez-Romero y col., 2006), rodajas de manzana (Chauhan y col., 2010) y las papayas (Marpudi y col., 2011). Revestimientos a base de Av también han reducido la pérdida de peso y producción de etileno en melocotones y ciruelas primas (Guillén y col., 2013).

Se conoce que una ventaja práctica del uso de gel de Av a nivel industrial es su fácil preparación. Con respecto a la harina de plátano, es de notar que su rendimiento es mucho mayor que el almidón obtenido a partir de plátano. Esto se traduce en menores costos y hace que la harina de plátano muy competitivo en comparación con los materiales sintéticos (Pelissari y col., 2013). Además, estudios recientes han demostrado el potencial de la harina de plátano como un recurso renovable envasado de alimentos (Pelissari y col., 2013; Gutiérrez, y col., 2016;). Sin embargo, Gutiérrez y col. (2016) observaron una baja compatibilidad entre la harina y glicerol, que condujo a la separación de fases. Esto es obviamente indeseable, ya que puede poner en peligro la estabilidad de estos materiales.

Basado en todo lo antes mencionado se busca realizar películas de harina de plátano con incorporación de Av con el objetivo de conocer y resaltar la importancia de las interacciones entre los compuestos químicos presentes en cada uno de ellos. Siendo ambas materias primas rentables, de fácil acceso en Venezuela y de esta manera dar todos los aportes para el área de la ciencia y tecnología de los alimentos, ya que de las mismas se cuenta con muy poco material de referencia a nivel nacional.

1.2- Importancia y justificación de la investigación sobre películas comestibles y sus propiedades físicas, químicas y microestructurales

Gutiérrez (2001) destaca que en la industria de nutraceuticos el Av tiene una participación relevante como alimentos funcionales. Se utiliza principalmente el jugo puro de aloe para alimentación saludable. En la industria cosmética el gel es muy requerido para la elaboración de champúes, cremas y la extracción de ácidos colorantes.

En los últimos años se está prestando especial importancia al uso del Av en la industria de alimentos como fuente de alimentos funcionales, especialmente en la preparación de bebidas saludables, en leche, helados y golosinas (Eshun y He, 2004).

La reticulación de películas hechas de harina de plátano con gel de Av añadida podría mejorar la compatibilidad de glicerol-almidón, lo que afectaría favorablemente en el comportamiento fisicoquímico de las películas desarrolladas. A pesar de sus beneficios potenciales, sin embargo, estas relaciones físico-químicas de evaluación de las propiedades de la digestibilidad-sensoriales han sido poco estudiados.

Por esta razón, el objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de gel de Av sobre la compatibilidad de almidón-glicerol, y relacionar el comportamiento físico-química de las películas elaboradas.

I.3- Objetivos

I.3.1- Objetivo general

Evaluar el efecto del gel de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis Miller*) sobre películas a base de harina de plátano (*Musa* AAB 'sub-grupo Plantain plátano Harton').

I.3.2- Objetivo específicos

- ✓ Obtener la harina de plátano verde cocido nativo (*Musa* AAB 'sub-grupo Plantain plátano Harton') y el gel de aloe vera (*Aloe vera L.*).
- ✓ Formular películas comestibles a partir de harina de plátano verde cocido nativo (*Musa* AAB 'sub-grupo Plantain plátano Harton'), con incorporación de gel de aloe vera (*Aloe vera L.*) con diferentes concentraciones de Aloe vera gel (0, 2, 4 y 6%).
- ✓ Determinar las propiedades físico-químicas, mecánicas, estructurales, superficiales de los materiales plásticos obtenidos.

CAPÍTULO II

Marco teórico referencial

El estudio de las películas comestibles se ha puesto en auge en los últimos años, no solo porque su desarrollo significa un importante beneficio en la conservación del medio ambiente, ya que estos materiales termoplásticos son biodegradable en comparación con el plástico sintético común (Cutter, 2006), sino que también por las ventajas funcionales que permiten estos biopolímeros al incorporárseles agentes antioxidantes y antimicrobianos. Sin embargo, su permeabilidad y propiedades mecánicas son generalmente más pobres que las películas sintéticas comunes (Kester y Fennema, 1986).

De igual manera, las propiedades funcionales, sensoriales y mecánicas de una película comestible pueden modificarse por la adición de varias sustancias en pequeñas cantidades, a los cuales se les denomina aditivos (plastificantes, antimicrobianos, pigmentos). Los plastificantes (glicerol, sorbitol, propilenglicol) disminuyen las atracciones intermoleculares entre las cadenas poliméricas adyacentes aumentando la flexibilidad de la película (Donhowe y Fennema, 1993).

En la última década, la elaboración de películas comestibles a base de polímeros biodegradables ha sido intensamente estudiada con el fin de reducir el consumo de polímeros derivados del petróleo (Wilpiszewska, Antosik, y Szychaj, 2015). Entre los materiales de origen vegetal, el almidón ofrece varias ventajas como materia prima para la industria del plástico, incluyendo su bajo

costo, no toxicidad, biodegradabilidad, componibilidad, y la disponibilidad en todo el mundo (Dang y Yoksan, 2015). Sin embargo, las propiedades tales como la resistencia mecánica, la sensibilidad al agua y propiedades de barrera tienen que ser mejoradas para competir con las películas de polímeros sintéticos (Folres y col., 2007; Guitierrez y col, 2015). Se han propuesto diferentes alternativas para mejorar las propiedades mecánicas y físico-químicas de las películas comestibles a base de almidón, entre los cuales se pueden indicar las modificaciones químicas y / o físicas, que parecen haber sido muy eficaz (Garcia-Tejeda y col., 2013). Además, las propiedades de las películas basadas en polisacáridos pueden modificarse y mejorarse mediante la mezcla de almidón con otros biopolímeros (Kampeerapappun y col., 2007).

El plátano (*Musa*) es un alimento con aporte de macro y nutrientes, principalmente carbohidratos, minerales, como: Fe, Ca y P, fitoquímicos y antioxidantes (Haslinda, 2009), de vital importancia para la salud humana (Garcia, 2000). Además, contiene sustancias bioactivas como vitamina C (Ayo-Omogie, 2010), flavonoides, antocianinas, carotenoides con actividad pro-vitamina A como β -caroteno, α -caroteno y otros metabolitos secundarios (Melo, 2006). También contribuyen con un gran número de compuestos de carácter fenólico a los cuales se les atribuye actividad antioxidante y propiedades funcionales (Granda, 2005).

El género *Musa* es el género tipo de la familia de las musáceas, que comprende una cincuentena de especies de megaforbas de confusa taxonomía, así como decenas de híbridos, entre los cuales se encuentran *Musa acuminata*, *Musa balbisiana* y *Musa paradisiaca*, las tres especies comprendidas bajo el epíteto común de banano.

Por otro lado, Pelissari y col. (2013 a), optimizaron el proceso de fabricación de películas comestibles a base de harina de plátano, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas (rigidez y flexibilidad), opacidad,

solubilidad en agua y permeabilidad al vapor de agua. Determinando por medio de un análisis multivariable, que las mejores condiciones de procesos son: 19 g de glicerol/100 g de harina, temperatura de proceso = 81 °C, temperatura de secado = 54 °C y una humedad relativa de 58%.

Estudios recientes han demostrado el potencial de harina de plátano como un recurso renovable para la producción de envases de alimentos. En este sentido, la harina de plátano tiene un rendimiento más alto que el almidón de plátano. Por lo tanto, la harina de plátano tiene menores costos de producción, lo que trae como resultado que esta matriz tiene una mayor competitividad con respecto a los materiales sintéticos derivados del petróleo (Pelissari y col., 2013; Gutierrez y col., 2016).

El gel de Av es un polisacárido rico en más de 75 compuestos potencialmente activos que se ha utilizado durante siglos por sus propiedades medicinales y terapéuticas (Choi y col., 2013). Por ejemplo, el ácido tánico que se encuentra en el gel de Av permite la curación de heridas. Del mismo modo, Robson y col., (1982) encontró lactatos en el gel de Av, que pueden tener propiedades analgésicas que provocan un efecto similar a la aspirina. El gel de Av se obtiene de la pulpa de la hoja de Av y consta de aproximadamente 99,5% de agua y 0,5% de material sólido incluyendo polisacáridos, vitaminas, minerales, enzimas, compuestos fenólicos y ácidos orgánicos (Boudreau y Beland, 2006). Los principales polisacáridos son celulosa, hemicelulosa y de almacenamiento de polisacáridos tales como los glucomananos, derivados de manosa y compuestos acetilados. El gel de Av ha llamado la atención en la comunidad científica debido a sus propiedades biológicas únicas, tales como anti-inflamatorios, anti-cáncer, anti-oxidantes, anti-diabetes, antiséptico, antibiótico y anti-microbiana (Grover, Yadav, y Cubas, 2002; Shariff y Verma, 2011). Además, el gel de Av tiene implicaciones importantes para la cicatrización de la herida (Shariff y Verma, 2011), la reducción de los niveles de colesterol y

triglicéridos en la sangre, así como la prevención de los sistemas gastrointestinal, renal y problemas cardiovasculares (Reynolds y Dweck, 1999; Eshun y He, 2004; Valverde y col., 2005; Yu y col., 2009). Las propiedades curativas del gel de Av son atribuidas principalmente a los polisacáridos presentes en la planta, mientras que la actividad antiséptica y antimicrobiana están relacionados con la presencia de agentes antisépticos tales como lupeol, ácido salicílico, nitrógeno de urea, ácido cinnamónico, fenoles y azufre, que tienen actividades inhibitoras contra hongos, bacterias y virus (Boudreau y Beland, 2006). Más recientemente, el gel de Av ha encontrado su lugar en la industria alimentaria como un ingrediente de los alimentos funcionales en helados y bebidas (Moore y MacAnalley, 1995, Khoshgozaran-Abras y col., 2012), y debido a su actividad antifúngica, se ha aplicado como un recubrimiento comestible (normal o en combinación con otros componentes) para extender el almacenamiento post-cosecha de la nieve del ártico (Serrano y col., 2006; Ahmed y col., 2009), las uvas de mesa (Valverde y col., 2005; Serrano y col., 2006), cereza dulce (Martínez-Romero y col., 2006), las rodajas de manzana (Chauhan y col., 2010) y los frutos de papaya (Marpudi y col., 2011). Por otra parte, los recubrimientos basados en gel de Av reducen la pérdida de peso y producción de etileno en melocotones y ciruelas primas (Guillén y col., 2013). En un estudio reciente con kiwi recién cortada, Av fue eficaz para reducir la despolimerización de la pectina y la proliferación microbiana. Además, se mejoró la calidad sensorial (Benítez y col., 2013). Además, una ventaja importante del gel de Av a nivel industrial es su fácil preparación. Por otra parte, los ácidos orgánicos tales como ácido cítrico, entre otros, que se encuentran en el gel de Av pueden ser posibles agentes de reticulación y podrían mejorar las propiedades fisicoquímicas de películas comestibles (Reddy y Yang, 2010). De acuerdo con Majzoobi y Beparva (2014), los ácidos orgánicos tienen grandes aplicaciones en la industria alimentaria. Por esta razón, la comprensión de su acción en matrices de alimentos es importante.

En este sentido, los ácidos orgánicos pueden alterar las propiedades fisicoquímicas de los almidones, ya que estos se pueden originar reacciones de reticulación entre las cadenas de polímero de almidón (Majzoobi y Beparva, 2014).

Por otra parte, Av contiene varios compuestos polifenólicos que pueden mejorar las propiedades mecánicas de las películas comestibles físico-químicas y, produciendo un efecto plastificante sobre las películas hechas a partir de almidón (Medina, y Famá, 2016).

CAPÍTULO III

Marco metodológico

III.1- Obtención de la harina de plátano y el gel de Aloe vera (Av)

III.1.1- Obtención de la harina de plátano nativa (*Musa AAB* ‘sub-grupo Plantain plátano Harton’)

Para la elaboración de la harina de plátano cruda fue utilizado el método descrito por Pacheco (2001). Los especímenes empleados fueron de grado de maduración 1, esto de acuerdo a la escala de Von Loesecke (1950). Una vez seleccionada la muestra, se procedió a lavar y retirar la piel, como pasos iniciales, posteriormente las muestras fueron sumergidas en una solución de ácido cítrico al 1% (con el fin de evitar el proceso de oscurecimiento) por un período de tiempo de 2 minutos. Pasado este tiempo, las muestras fueron escurridas y pasadas por un ayudante de cocina a fin de reducir su tamaño, obteniéndose rodajas de aproximadamente 2,5 mm de espesor. Una vez troceada la muestra, éstas fueron colocadas en bandejas para ser llevadas a un deshidratador (marca Mitchell, Modelo 645159), cuya temperatura fue 45 °C, durante un tiempo aproximado de 24 horas. Una vez deshidratada las hojuelas, estas fueron sometidas a una

molienda fina en un molino de martillo (modelo Comminuting Machine, The Fitzpatrick Company, Chicago USA), y tamizada (60 mesh) con el fin de obtener una harina con un tamaño de partícula lo más homogénea posible. Una vez lista la harina fue envasada en un recipiente hermético de polipropileno, el cual es resistente a factores externos y fue almacenada a temperatura ambiente. Finalmente, para obtener los rendimientos del proceso, se llevó nota de todos los pesos (fresco, pulpa comestible, hojuelas frescas y deshidratadas).

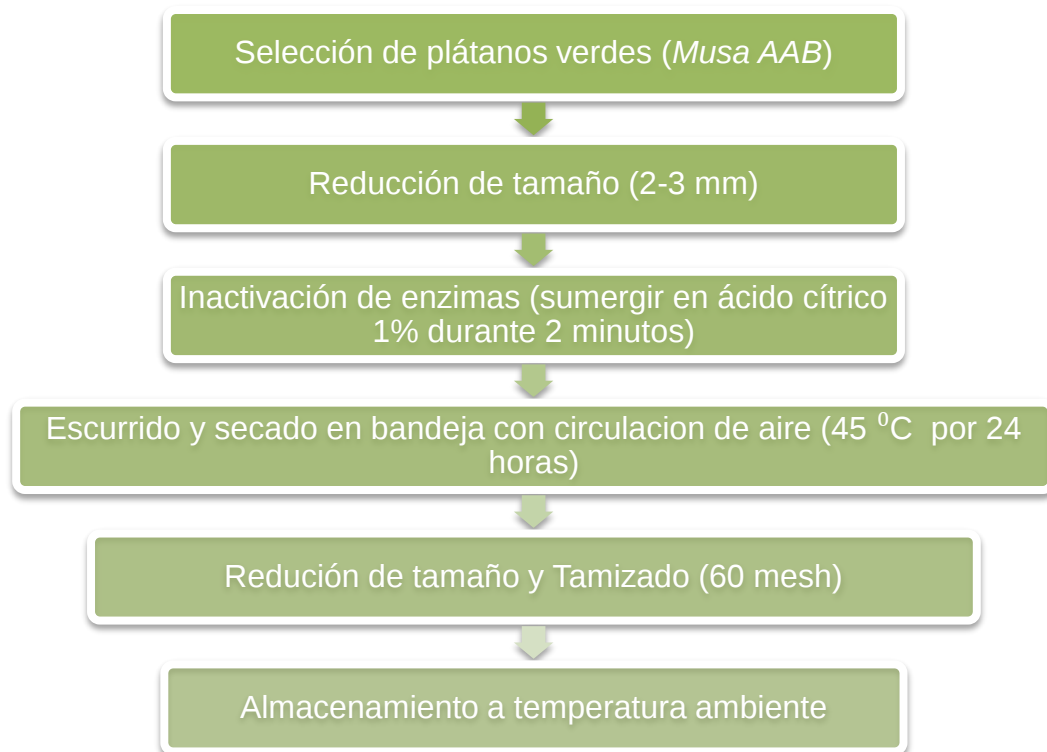


Figura 1. Esquema tecnológico para la obtención de la harina de plátano cruda (*Musa AAB* 'sub-grupo Plantain plátano Harton').

Fuente: Pacheco, 2001.

III.1.2- Obtención del gel de *Aloe vera* (Av)

Se obtuvo el gel de Av a partir de la pulpa de la hoja. Las hojas de Av fueron cortadas de la planta, y luego se descartó un líquido amarillento que se dejó drenar de la hoja, que de acuerdo con la U.S. Food and Drug Administration (FDA) es un laxante natural. Las epidermis de la hoja fueron eliminadas con un cuchillo para obtener el gel de Av, el cual después fue licuado durante 10 min a temperatura ambiente ($\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) sin la adición de agua. El gel se mantuvo refrigerado a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un recipiente oscuro, las películas fueron desarrolladas el mismo día en que el gel de Av fue preparado con el fin de evitar daños oxidativos del gel.

La **Figura 2**, esquematiza el proceso de obtención de gel de Av.

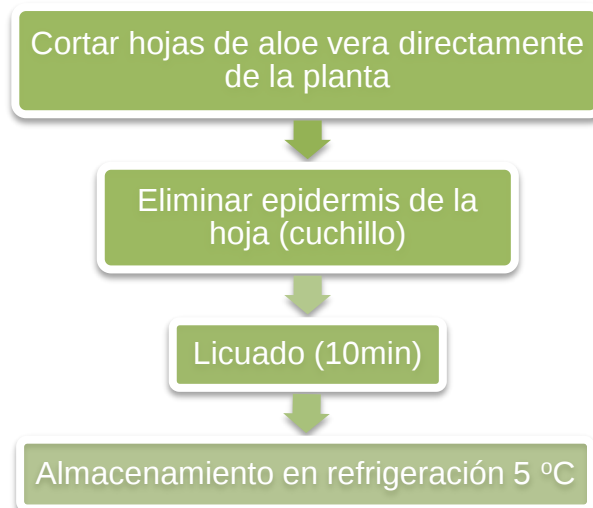


Figura 2. Esquema tecnológico para la obtención de gel de *Aloe vera*.

Fuente: Sarmiento (2009).

III.2- Caracterización de la harina de plátano y el gel de Av

Se determinó la composición tanto de la harina de plátano y el gel de Av. El contenido de humedad, cenizas, grasa y crudo proteínas (N x 6,25) (obtenido por el método de micro-Kjeldahl) fueron calculados utilizando el método gravimétrico (AACC, 2003). La determinación de la fibra en cruda fue realizada por el método propuesto por Van Soest y Wine (1967), el contenido de amilosa total fue medido por el método de calorimetría diferencial de barrido (DSC) descrito por Amani y col., (2004) y Mestres, Pons y col., (1996), el contenido de carbohidratos totales de la harina y del gel Av fue calculado restando el porcentaje de contenido de agua, ceniza, proteína cruda y materiales grasos de un cien por ciento de las muestras. El contenido total de polifenoles en la harina de plátano y el gel de Av fue determinado por el método de Folin-Ciocalteu (Singleton, Orthofer, y Lamuela-Raventós, 1999) con modificaciones realizadas por Dewanto y col., (2002). Fue medida la absorbancia a 760 nm. El contenido de polifenoles totales fue calculado a partir de una curva patrón de equivalentes de ácido gálico (GAE) dentro de un intervalo de concentraciones de 5 a 100 ppm. Los resultados fueron expresados como mg de GAE/100 g de polifenoles totales. El contenido de ácido cítrico fue estimado mediante el método de anhídrido acético y piridina descrito por Marier y Boulet (1958).

III.3- Formulación de las películas

Para la formulación de las películas comestibles fue empleada la harina de plátano nativa. También, fue utilizado como plastificante el glicerol grado comestible procedente de Prolabo, Suecia. Finalmente, fue adicionada agua

destilada como agente dispersante (Gutiérrez y col., 2014b; Gutiérrez y col., 2014c; Gutiérrez y col., 2014d).

La formulación para la preparación de las soluciones formadoras de películas (*SFP*) fueron de 2% p/v la harina de plátano nativa con 1,5% p/v de glicerol en 500 mL de agua. Posteriormente, fue calentada la *SFP* durante 30 min a 90 °C con agitación constante en un baño de maría para garantizar la gelatinización del almidón contenido en la harina. En el caso de las películas, a las cuales se les incorporo el gel de *Av*, este fue agregado 2 min. antes de finalizar el proceso de gelatinización en concentraciones de 0%, 2% 4% y 6%, respectivamente (Gutiérrez y col., 2014b; Gutiérrez y col., 2014c; Gutiérrez y col., 2014d).

Es así como fueron formuladas un total de cuatro tipos distintos de películas comestibles. Distinguiéndose las Formulaciones termoplásticas (TPF) de harina de plátano (HP) utilizadas de gel de *Aloe vera* (*Av*): harina de plátano con 0% de *Av* gel (TPF-HP), harina de plátano con un 2% de *Av* (TPF-HP + 2% *Av*), harina de plátano con un 4% de *Av* (TPF-HP + 4% *Av*) y la harina de plátano con un 6% de *Av* (TPF-HP + 6% *Av*). Fue preparado otro segundo grupo de películas que contiene 2% p/v de harina de plátano nativo, 0% p/ v de glicerol y agua destilada 500 ml con diferentes concentraciones de *Av* gel (0, 2, 4 y 6%). Este grupo de películas fue realizado con el objetivo de evaluar el potencial efecto plastificante del gel de *Av* (Gutiérrez y col., 2014b; Gutiérrez y col., 2014c).

III.4- Preparación de las películas

Las *SFP* (Solución formadora de películas) fueron calentadas en un baño de agua con agitación constante a 98 °C durante 30 min. Esto para asegurar la

gelatinización del almidón y la inactivación de las enzimas contenidas en el gel de Av (Hernández y col., 2008). El gel obtenido fue vertido en bandejas de acero inoxidable de 40 × 30 cm, y fueron secadas en un deshidratador de Mitchell (Modelo 645159) durante 24 horas a 45 °C. Las películas de harina termoplástica conteniendo glicerol: harina de plátano con 0% del gel de Av (TPF-HP), harina de plátano con un 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con un 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y la harina de plátano con un 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av) fueron cuidadosamente protegidas de la luz en un cuarto oscuro con el fin de evitar la foto-oxidación de los compuestos polifenólicos.

III.5- Caracterización de las películas

III.5.1- Grado de sustitución

La cantidad de ácido cítrico esterificado en películas con gel de Av añadido fue determinada por el método descrito por Klaushofer, Berghofer, y Steyrer (1978). Este se basa en la reacción de ácido cítrico y Cu^{2+} , el cual forma un complejo estable durante la titulación con una solución de sulfato de cobre. El grado de sustitución (GS) fue calculado basándose en el número medio de grupos sustituyentes por unidad de anhidroglucosa a partir de la siguiente (**ecuación 1**) (Mei, Zhou, Jin, Xu, y Chen, 2015):

$$\text{GS} = (162 \times W) (100 \times M) - (M-1) \times W \quad \text{Ec. 1}$$

donde W (% en peso de sustituyente) = [citrato unido (g) / de la muestra (g) citrato de atado (g)] × 100, y M = peso molecular (175,1 g / mol) del sustituyente ácido cítrico.

Cada muestra fue analizada por triplicado.

III.5.2- Peso molecular promedio

El peso molecular promedio de las películas fue determinado por viscosidad capilar utilizando un viscosímetro de Ostwald y empleando las ecuaciones de Mark-Houwink-Sakurada-Staudinger (Gutiérrez y González, 2016).

DMSO fue utilizado como disolvente para las soluciones que fueron realizadas en 1% p/v de cada película evaluado. A continuación, diluciones sucesivas fueron preparadas de diferentes soluciones a 0,125; 0,25 y 0,50% p/v.

Después, fue determinado el tiempo de resistencia al flujo de las soluciones preparadas, tomando como referencia el paso entre dos zonas marcadas en el viscosímetro de Ostwald (serie de cañón Fenske 200, modelo 120205, IVA, Argentina) a $25,0 \pm 0,1$ °C. Después de obtener el tiempo de permanencia de las diferentes soluciones preparadas, se procedió a determinar la relación η_{exp}/C a través de la **ecuación 2**, la cual fue empíricamente demostrada por Kramer y col. (1938) y Huggins y col. (1942).

$$\eta_{exp}/C = 1/C + t - t_0/t_0 \quad \text{Ec. 2}$$

donde $\eta_{exp} = (\eta - \eta_0 / \eta_0)$, η = la viscosidad intrínseca; η_0 = viscosidad del disolvente puro; C = concentración de las soluciones % p/v; t = tiempo de residencia de las soluciones y t_0 = tiempo de residencia de el disolvente puro. Mediante el uso de la **ecuación 3**.

$$\eta_{exp}/C = \eta + K\eta^2 C \quad \text{Ec. 3}$$

Y la representación gráfica de η_{exp}/C vs C , se obtuvo una recta de punto de corte igual a η . Al mismo tiempo, utilizando la ecuación de Mark-Houwink-Sakurada-Staudinger (**ecuación 4**):

$$\eta = KM_w^a \quad \text{Ec. 4}$$

donde: η = viscosidad intrínseca, M_w = peso molecular del polímero; K y a son constantes indicadas para el disolvente utilizado (DMSO); $K = 0,0112 \text{ mL/g}$ a 25°C y $a = 0,72$ a 25°C .

Finalmente, el peso molecular medio (M_w) de las películas ensayadas fue calculado a partir de la **ecuación 5**:

$$M_w = (\eta/K)^{1/a} \quad \text{Ec. 5}$$

Todas las mediciones fueron realizadas utilizando tres repeticiones y los resultados fueron dados como el promedio $\pm$ desviación estándar (SD).

III.5.3- Grosor

El espesor de la película fue medido usando un micrómetro electrónico digital con una precisión de $0,001 \text{ mm}$ (MICROMASTER®). Tiras de película fueron colocadas entre las mordazas del micrómetro y la brecha fue reducida hasta que se midía la fricción mínima. El espesor medio (mm) fue determinado a partir de cincuenta mediciones en diferentes lugares en las películas.

III.5.4- Contenido de humedad

El contenido de humedad de las películas fue calculado utilizando la **ecuación 6**. Fueron analizadas gravimétricamente mediante el secado de las muestras durante 24 horas a 105 ° C.

$$\%Humedad = \frac{masa\ inicial(g) - masa\ final(g)}{masa\ inicial(g)} \times 100 \quad \text{Ec. 6}$$

Los experimentos fueron llevados a cabo por triplicado.

III.5.5- Actividad de agua (a_w)

Se utilizó un medidor de psicrométrico a_w AquaLab Cx-2 (Decagon dispositivos, Pullman, EE.UU.) previamente calibrado con agua a 25 °C para determinar la actividad de agua de las películas. El valor promedio de tres mediciones fue informado para cada película.

III.5.6- Espectroscopia infrarroja por Reflectancia total atenuada con transformada de Fourier (ATR / FTIR)

Los espectros de infrarrojo (IR) de las películas fueron determinados usando un espectrofotómetro de infrarrojo (FTIR) (Nicolet 8700). Los espectros fueron obtenidos en un modo de reflectancia total atenuada (ATR) entre 700 y 4000 cm^{-1} , utilizando 40 exploraciones a una resolución de 4 cm^{-1} . Cada muestra fue explorada tres veces.

III.5.7- Solubilidad en agua

Solubilidad en agua (SA) se define como el porcentaje de materia seca de película disuelto después de 24 h de inmersión en agua destilada (Gontard, Guilbert, y Cuq, 1992). Para determinar la materia seca inicial de las películas, ~ 0,5 g de tiras de películas fueron secadas en un horno a 105 ± 1 °C durante 24 h. Las películas fueron pesadas y sumergidas en 50 mL de agua destilada durante 24 horas a 25 °C. La materia seca final de las películas fueron medidas después de secar a 105 ± 1 °C durante 24 h. Todas las pruebas fueron llevadas a cabo por triplicado y los promedio fueron informados. La solubilidad en agua fue calculada mediante la siguiente ecuación (Romero-Bastida y col., 2005):

$$\%Solubilidad = \frac{Peso\ inicial\ en\ seco_{(g)} - Peso\ final\ en\ seco_{(g)}}{Peso\ inicial\ en\ seco_{(g)}} \times 100 \quad Ec. 7$$

III.5.8- Comportamiento de hinchamiento

El comportamiento de hinchamiento de las películas fue determinado mediante su inmersión en soluciones ácidas y alcalinas. Para evaluar la influencia del pH sobre el comportamiento de hinchazón, trozos de película fueron sumergidas en placas petri de plástico con 20 mL de soluciones estándar de HCl (pH 1 / 0,1 M) o NaOH (pH 13 / 0,1 M). Los recipientes fueron sellados y mantenidos durante 24 horas a 25 °C en una habitación oscura. El hinchamiento se define como el porcentaje de deformación del diámetro antes ($\varnothing = 25$ mm) y después de la inmersión de las películas en las soluciones patrón.

El porcentaje de hinchamiento fue calculado usando la **ecuación 8**.

$$\% \text{ Hinchamiento} = \frac{\varnothing - \varnothing_0}{\varnothing_0} \times 100 \quad \text{Ec. 8}$$

donde $\varnothing_0$ y $\varnothing$ (mm) son los diámetros iniciales y finales de las películas antes y después de la inmersión, respectivamente. Para estimar el comportamiento de hinchamiento, tres muestras fueron analizadas para cada tratamiento.

Los experimentos fueron realizados por triplicado y los datos obtenidos fueron reportados como valores medios $\pm$ SD.

III.5.9- Análisis termogravimétrico (TGA)

Las mediciones de TGA fueron realizadas en atmósfera de N₂ (30 mL/min) usando un Shimadzu DTG-60. Las muestras fueron pesadas en aproximadamente 5 a 10 mg de materia seca. Las mediciones comenzaron a 25 °C y continuarán hasta 500 °C con un aumento lineal a 10 °C/min.

La pérdida de peso de las películas comestibles fue recalculada en base seca y las diferentes fases de degradación fueron observadas.

Las mediciones fueron realizadas por triplicado para asegurar la repetibilidad.

III.5.10- Difracción de rayos X (XRD)

Los patrones de difracción de rayos X de las muestras de las películas fueron analizados usando un difractómetro de rayos X (Siemens D 5000). Las muestras fueron preparadas mediante la colocación de recortes cuadrados de cada película (2,5 x 2,5 cm) sobre un portaobjetos de vidrio y se registraron los espectros utilizando una radiación de Cu $\alpha_k = 1,5406 \text{ \AA}$ y un filtro monocromador

de cobre a 40 kV y 30 mA con barrido a $2\theta = 3-33^\circ$, tamaño de paso de $0,02^\circ$ y la velocidad de escaneado 2 °/seg. El porcentaje de cristalinidad fue determinado mediante la medición de las intensidades relativas de los picos principales del espectro de dispersión de acuerdo con Hermans, y Weidinger (1961).

III.5.11- Microscopía de fuerza atómica (AFM)

La superficie de las películas fue analizada por AFM utilizando un Agilent 5500 en el modo de contacto con un punta de nitruro de silicio (Si_3N_4). Secciones rectangulares de las películas fueron pegadas a portaobjetos de vidrio usando cinta adhesiva de doble cara y la superficie superior fue analizada por AFM.

La superficie analizada fue el lado de la superficie expuesta al aire de secado durante la preparación de la película. Las imágenes AFM fueron tomadas en el centro y la periferia de la superficie de las películas. La superficie analizada fue de 20×20 micras. El voladizo tuvo una constante de resorte de $0,2 \text{ N m}^{-1}$ y una punta en forma de V de Si_3N_4 , la cual fue colocada sobre la muestra en condiciones ambientales. Los voladizos fueron conducidos en oscilación en un 10% por debajo de su frecuencia fundamental de resonancia (típicamente alrededor de 320 kHz), y el bucle de realimentación operado mediante control de amplitud. El valor de consigna se mantuvo a un valor mínimo ($\sim 90\%$ de la amplitud libre), el cual permite el seguimiento estable de la superficie de la muestra con el fin de evitar cualquier daño a la muestra.

Cada análisis fue llevado a cabo a una velocidad relativamente lenta de 0,5 Hz para permitir la formación de imágenes adecuadas de las superficies corrugada de las películas. Las imágenes de AFM fueron procesadas con el software de imagen PicoView.

Utilizando los datos topográficos a partir de micrografías de AFM y el software mencionado anteriormente, fue evaluada la rugosidad. La rugosidad media (Ra) es la media aritmética de las desviaciones de las alturas. **Ecuación 9:**

$$Ra = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i - Z}{N} \quad \text{Ec. 9}$$

Con la **ecuación 10:**

$$Z = \sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{N} \quad \text{Ec. 10}$$

donde Z_i es el valor de altura (nm), Z es la media aritmética de la altura (nm) y N es el número de puntos observados. La rugosidad cuadrática media (Rq) tiene la siguiente expresión (Ghanbarzadeh y col., 2008):

$$Rq = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(Z_i - Z)^2}{N}} \quad \text{Ec. 11}$$

III.5.12- Ángulo de contacto

Los ángulos de contacto (θ) fueron calculados mediante el análisis de las imágenes para determinar los ángulos formados por la intersección de la interfaz líquido-sólido (gota de agua de la superficie de la película) y la interfaz líquido-vapor (tangente a la frontera de la gota) (Karbowski y col., 2006). Se utilizó un microscopio digital USB (modelo DIGMIC200X, China) equipado con Image Analysis Software 220X 2.0MP video, con precisión de $0,0001^\circ$ para la

determinación del ángulo de contacto. El ángulo de contacto de la superficie expuesta al aire de secado durante la preparación de la película fue determinado mediante el depósito de una gota de agua destilada (2 µL) sobre la superficie de la película. La gota de agua destilada se dejó caer con cuidado sobre películas a través de una jeringa (KDL Corp., Shanghai, China) y los ángulos de contacto fueron medidos con rapidez antes de empezar la hinchazón. Las mediciones fueron llevadas a cabo en aire abierto, a una temperatura ambiente de 25 °C. Los ángulos de contacto fueron expresados como el promedio de 12 mediciones por película.

La energía superficial de los materiales y sus componentes polares y dispersivos fueron determinadas por la ecuación de Owens y Wents (Gutowski y col., 1991). **Ecuación 12:**

$$0,5\gamma_2 (1 + \cos\theta) = (\gamma_1^d \gamma_2^d)^{0.5} + (\gamma_1^p \gamma_2^p)^{0.5} \quad \text{Ec. 12}$$

donde 1 y 2 se refieren al sólido y al líquido, respectivamente; γ^d es el componente dispersivo y γ^p el componente polar de la energía superficial; θ es el ángulo de contacto. Si se miden los ángulos de contacto formados por dos líquidos conocidos (etilenglicol y di-iodometano) γ^d y γ^p , es posible resolver la Eq. (12) e inferir el γ^d y γ^p para el material.

Entonces, la energía superficial total fue estimada a partir de la **ecuación 13:**

$$\gamma_1 = \gamma^d + \gamma^p \quad \text{Ec. 13}$$

III.5.13- Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La superficie de las películas expuestas al secado y la superficie de fractura de cada material fue analizada usando un JEOL JSM-6460 LV instrument. Las películas fueron crio-fracturadas por inmersión en nitrógeno líquido. Para el análisis de ambas superficies, las películas fueron montadas en los trozos de bronce, y fueron bombardas para ser recubiertas con una fina capa de oro durante 35 s.

III.5.14- Color

Los parámetros de color de las películas fueron medidos de acuerdo con los métodos estándar de ensayo (ASTM D-1992, 1995), utilizando un colorímetro Macbeth en el modo de reflectancia (Model Color-Eye 2445, iluminante D65 y 10° observador) y la escala Hunter utilizada para expresar los valores obtenidos: $L^* = 0$ (negro) a $L^* = 100$ (blanco), $-a^*$ (verde) a $+a^*$ (enrojecimiento), $-b^*$ (coloración azul) a $+b^*$ (amarillez) (Francis y Clydesdale , 1975). Las diferencias de color (ΔE) fue calculada según la **ecuación 14**, como describe Gennadios, Weller, Hanna, y Froning (1996):

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2} \quad \text{Ec. 14}$$

donde:

L , representa luminosidad,

a^* enrojecimiento,

b^* amarillamento, y

donde $\Delta L^* = L^*_{\text{estándar}} - L^*_{\text{muestra}}$, $\Delta a = a^*_{\text{estándar}} - a^*_{\text{muestra}}$ y $b^*_{\text{estándar}} - b^*_{\text{muestra}}$.

La placa estándar blanco ($L^* = 93,52$, $a^* = -0,81$ y $b^* = 1,58$) fue utilizada como un estándar.

El índice de blancura (IB) fue calculado de acuerdo con Atarés y col., (2010) y el índice de amarilleamiento (IA), que como su nombre sugiere determina el grado de amarillez de una sustancia, de acuerdo con ASTM D-1925 (ASTM D -1992, 1995; MacFarlane y col., 1936) utilizando las coordenadas de CIEL *a*b*. **Ecuación 15:**

$$IA = \frac{100 (1277X - 1067Z)}{Y} \quad \text{Ec. 15}$$

Fueron tomadas nueve mediciones para cada película.

III.5.15- Pruebas de tracción uniaxial

Las propiedades mecánicas fueron realizadas para películas cortadas en secciones rectangulares (16 mm de largo y 8 mm de ancho). Las muestras se montarán y sujetarán con agarraderas en un texturímetro (TA.XT2i Texture Analyzer, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) (5 kg) para determinar las curvas de distancia - fuerza. Las muestras fueron estirarán a una velocidad constante de 0,5 mm/s a 25 °C hasta la rotura.

La tensión global que actúa sobre la muestra durante la tensión fue expresada como la denominada resistencia a la tracción verdadera (σ), que es la fuerza normal a la sección F (N) de la película dividida por el área inicial A_0 (m²) de la muestra (ISO 527-2).

$$\sigma = F / A_0 \quad \text{Ec. 16}$$

La deformación global (ϵ) de las películas se expresó como porcentaje de la altura inicial como sigue:

$$\varepsilon = L/L_0 \times 100\% \quad \text{Ec. 17}$$

donde L_0 y L (mm) son la longitud inicial y final de la película después de la deformación, respectivamente.

Las propiedades mecánicas a la rotura, la tensión máxima (σ_m) y la deformación a rotura (ε_b) fueron obtenidas a partir de curvas de tensión-distancia. Para ello, estas curvas fueron transformadas en curvas de estrés, como se indica en la norma ISO 527-2. Fue determinado el módulo de Young (E) a partir de la pendiente de regresión lineal de la deformación-esfuerzo y la tenacidad (T) como al área debajo curvas de esfuerzo-deformación.

Fueron realizadas al menos 10 pruebas para cada película.

III.5.16- Evaluación sensorial

Las cualidades sensoriales de los trozos de películas (2,5 x 2,5 cm) fueron evaluadas después de 7 días de almacenamiento. Para las pruebas hedónicas, la muestras fueron codificadas (3 dígitos) al azar a un panel de jueces compuesto por treinta panelistas entre 20 y 35 años de edad (50% mujeres, 50% hombres). Los panelistas fueron reclutados entre los estudiantes y el personal en el Departamento Químico Analítico (Mención Ciencia y Tecnología de Alimentos) de la Facultad de Farmacia de la Universidad Central de Venezuela. Los panelistas evaluarán varios atributos de calidad de las películas usando una escala con las anclas de 0 a 10, donde 0 indica “extremadamente desagradable” y 10 “muy agradable”. Los atributos evaluados fueron: el color por observación visual bajo luz blanca, la textura al ser picados con los dientes delanteros, sabor durante la masticación, disolución oral durante la masticación y la aceptabilidad general. Los análisis fueron realizados en un laboratorio de análisis sensorial con

cabinas individuales para cada panelista de conformidad con la norma ISO 8589: 2007. La respuesta promedio de los panelistas fue calculada para cada atributo.

CAPÍTULO IV

Resultados y discusión

IV.1- Composición química y peso molecular promedio de la harina de plátano y del gel de Aloe vera (Av)

La **Tabla 1** muestra la composición química de los carbohidratos poliméricos de utilizados para desarrollar las películas comestibles. La harina de plátano obtenida mostró una composición similar a la recientemente publicada por nuestro grupo de investigación (Gutiérrez, Guzmán, y col. 2016), y el peso molecular fue comparable al reportado por otros autores como Yoo y Jane (2002) y Rolland-Sabaté, Amani, Dufour, Guilois, & Colonna (2003). En cuanto al gel de Av, la composición química mostró un alto contenido de humedad y el peso molecular medio fue al menos 230 veces menor que el de la matriz amilácea. Además, el gel de Av contenía 3 veces más polifenol que la harina de plátano. También vale la pena notar el contenido de ácido cítrico contenido en el gel de Av.

IV.2- Caracterización de las películas

Aunque, el gel de Av contiene compuestos polifenólicos, que son ampliamente conocidos por su efecto de plastificación en películas de almidón [35, 38]. Sin embargo, el grupo de películas hechas de harina de

plátano con adición de diferentes concentraciones de gel Av (0, 2, 4 y 6%), pero sin la adición de glicerol no tuvo las propiedades mínimas requeridas para la caracterización, tal como se puede observar en **Figura 3**.

Tabla 1. Composición química en base seca y peso molecular promedio de la harina de plátano y el gel de Av.

Parámetro	Harina de plátano	Gel de Av
Humedad (%)	9,4 ± 0,2 ^a	98,5 ± 0,01 ^b
Proteína total (%)	2,64 ± 0,03 ^b	0,013 ± 0,003 ^a
Grasa cruda (%)	0,36 ± 0,08 ^b	0,06 ± 0,03 ^a
Ceniza (%)	2,41 ± 0,03 ^b	0,47 ± 0,01 ^a
Fibra cruda (%)	0,297 ± 0,002 ^b	0,08 ± 0,01 ^a
Carbohidratos totales (%)	84,9 ± 0,2 ^b	0,88 ± 0,01 ^a
Contenido de almidón (%)	85 ± 1 ^b	0 ± 0 ^a
Amilosa aparente (%)	24 ± 1 ^b	0 ± 0 ^a
Polifenoles totales (mg de GAE/100 g)	21 ± 1 ^a	79 ± 1 ^b
Ácido cítrico (mg /100 g)	0 ± 0 ^a	151 ± 5 ^b
Peso molecular promedio (x10⁶ g/mol)	70 ± 1 ^b	0,3 ± 0,1 ^a

Las letras sobrescritas similares en la misma fila no indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$).

IV.2.1- Grado de sustitución

La **Tabla 2** muestra el grado de sustitución de películas con la incorporación de las diferentes concentraciones del gel de Av. El grado de

sustitución más alto se encontró en películas con el mayor contenido de gel de Av, lo que sugiere que las películas derivadas de harina de plátano son susceptibles al entrecruzamiento con el ácido cítrico contenido en el gel. El entrecruzamiento de almidones por ácido cítrico también ha sido reportada por Kapelko-Żeberska, Buksa, Szumny, Zięba, y Gryszkin, (2016).

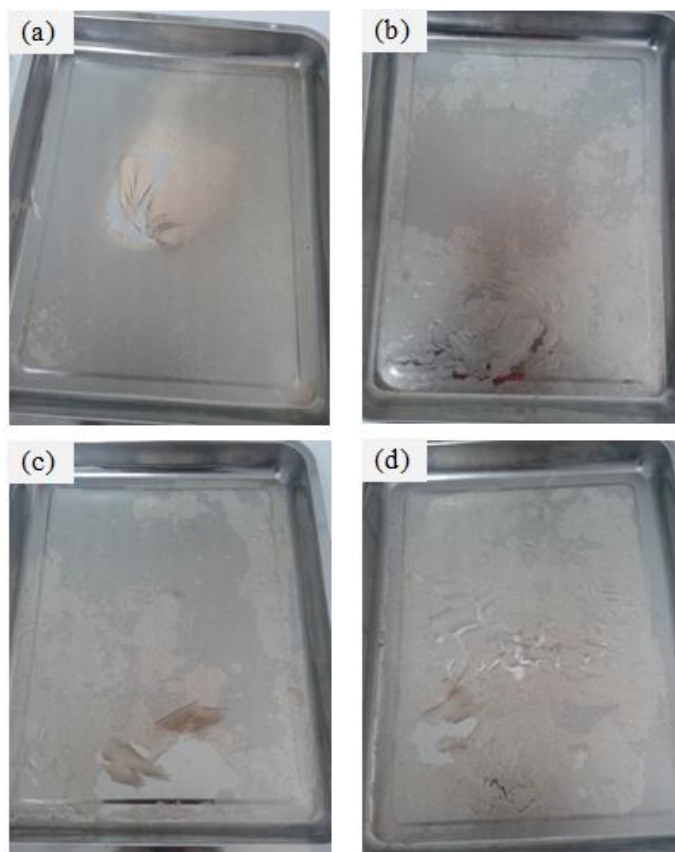


Figura 3. Apariencia de las diferentes películas estudiadas **sin glicerol**: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

Tabla 2. Grado de sustitución (GS), espesor (e), solubilidad, actividad del agua (a_w), cristalinidad y parámetros de color de las diferentes películas.

Parámetro	TPF-HP	TPF-HP +2% Av	TPF-HP +4% Av	TPF-HP +6% Av
GS	-	0,017 ± 0,001 ^a	0,028 ± 0,001 ^b	0,042 ± 0,001 ^c
e (mm)	0,17 ± 0,01 ^a	0,20 ± 0,01 ^b	0,23 ± 0,01 ^c	0,26 ± 0,01 ^d
a_w	0,630 ± 0,004 ^d	0,606 ± 0,002 ^c	0,573 ± 0,003 ^b	0,562 ± 0,001 ^a
Solubilidad (%)	63 ± 1 ^d	60 ± 1 ^c	57 ± 1 ^b	55 ± 1 ^a
Cristalinidad (%)	9 ± 1 ^a	12 ± 1 ^b	13 ± 1 ^b	16 ± 1 ^c
L^*	31,6 ± 0,1 ^d	29,0 ± 0,2 ^c	28,71 ± 0,02 ^b	27,3 ± 0,2 ^a
a^*	0,52 ± 0,02 ^c	0,51 ± 0,02 ^c	0,35 ± 0,04 ^b	0,13 ± 0,05 ^a
b^*	2,13 ± 0,06 ^d	1,68 ± 0,08 ^c	0,73 ± 0,05 ^b	0,60 ± 0,09 ^a
Diferencia de color (ΔE)	62,0 ± 0,1 ^a	64,5 ± 0,2 ^b	64,85 ± 0,01 ^c	66,2 ± 0,2 ^d
Índice de blancura (IB)	-15,5 ± 0,7 ^c	-12,8 ± 0,7 ^b	-2,5 ± 0,5 ^a	-1,8 ± 0,9 ^a
Índice de amarillo (IA)	10,3 ± 0,3 ^d	8,8 ± 0,3 ^c	4,2 ± 0,2 ^b	3,2 ± 0,3 ^a

Las letras iguales en la misma fila no indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$).

IV.2.2- Peso molecular promedio

La **Figura 4** muestra el peso molecular promedio de las diferentes películas estudiadas. Se observó una tendencia significativa ($p \leq 0,05$) al aumentar el peso molecular de las películas desarrolladas cuando se aumentó el contenido del gel de Av. Según Mizoguchi y Ueda (2008), un aumento en el peso molecular promedio de este tipo de materiales está relacionado con el entrecruzamiento de los polímeros. Por lo tanto, los ácidos orgánicos que se

encuentran en el gel de Av, en particular el ácido cítrico que se encuentra en el gel de Av pueden provocar el entrecruzamiento de las cadenas de almidón (Guitierrez y Álvarez, 2016), dando lugar al aumento del peso molecular medio de las películas. Yoo y Jane (2002) han informado valores similares de peso molecular medio para este tipo de materiales, por ejemplo, los almidones de maíz normales y cerosos tenían pesos moleculares medios de $4,9 \times 10^8$ y $8,3 \times 10^8$ g/mol, respectivamente. Del mismo modo, Yoo y Jane (2002) informó de que los almidones de trigo normal y ceroso tenían pesos moleculares promedios de $3,1 \times 10^8$ y $5,2 \times 10^8$ g/mol, respectivamente, es decir, los materiales ricos en amilopectina tienen pesos moleculares más altos que los materiales ricos en amilosa.

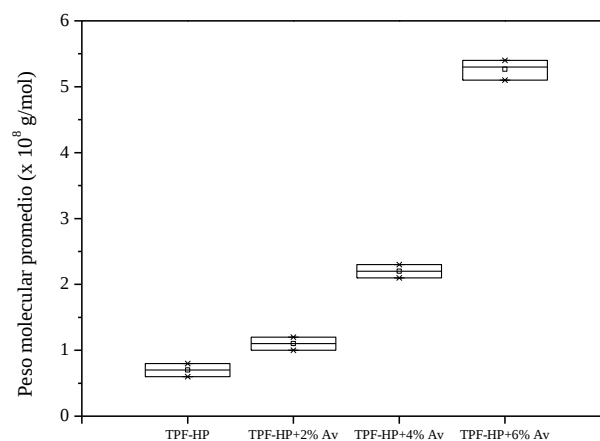


Figura 4. Peso molecular promedio de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

IV.2.3- Grosor

La **Tabla 2** muestra los espesores de los diferentes sistemas estudiados. Se puede observar que el espesor de la película aumentó con el aumento del contenido de gel de Av. Resultados similares han sido reportados por Pereira, Tojeira, Vaz, Mendes y Bártolo (2011) para películas basadas en alginato y Av. Según Gutiérrez, Morales, Tapia, Pérez y Famá (2015), una mayor interacción entre el almidón y el plastificante podría resultar en películas más gruesas probablemente debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre el glicerol y el almidón. Pérez, Segovia, Tapia y Schroeder (2012) reportaron un incremento significativo en el espesor de películas basadas en almidón reticuladas derivadas a partir de *Dioscorea trifida*.

La reticulación al parecer fortalece los enlaces internos del almidón, lo que aumenta el volumen molar (Sívoli, Pérez, Rodríguez, De Abrisqueta y Raymúndez, 2005; Gutiérrez, Pérez, Guzmán, Tapia y Famá, 2014). Este factor, junto con una mayor interacción entre el almidón y el plastificante durante la gelatinización, podría dar lugar a películas más gruesas (Gutiérrez et al., 2015, 2015b). Estas interacciones parecen ser más fuertes cuando se aumenta el contenido del gel de Av.

IV.2.4- Contenido de humedad

La **Figura 5** muestra el contenido de humedad de las diferentes películas estudiadas. Como puede observarse, las películas derivadas a partir de harina de plátano con mayor contenido de gel de Av mostraron una

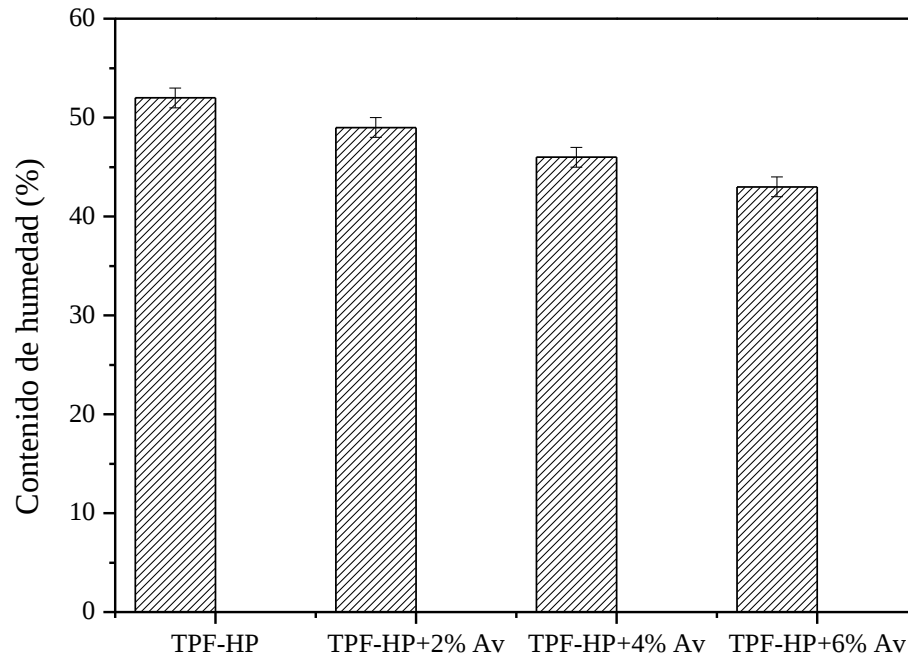


Figura 5. Contenido de humedad de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

tendencia a disminuir el contenido de humedad. Esto puede ser debido a las fuertes interacciones almidón-glicerol, reduciendo así la absorción de agua de la atmósfera (Flores y col., 2007; Hu y col., 2009). Estos resultados coinciden con los reportados por Cyras y col., (2006) para películas a base de almidón de patata acetilado. Un comportamiento similar también ha sido reportado recientemente por Gutiérrez y col., (2015) y Gutiérrez y col., (2016), para

películas comestibles a base de almidón de yuca y almidón de ñame, y harina de plátano modificada químicamente por entrecruzamiento con trimetafosfato sódico (STMP). Varios autores han informado una disminución del contenido de humedad en las películas de almidón, debido al entrecruzamiento con diferentes ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, entre otros (Zhong 1997; Schiffman y col., 2007). Esto sugiere que posiblemente ácidos orgánicos del gel de Av causaron el entrecruzamiento del almidón. Una representación gráfica se da en la **Figura 6**.

IV.2.5- Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua de las películas se reporta en la **Tabla 2**. Como puede observarse, se obtuvo el mayor valor de a_w para la muestra hecha a partir de harina de plátano con el menor contenido del gel de Av. Según Gutiérrez, Morales, Pérez, Tapia y Famá (2015) la a_w es directamente proporcional al contenido de humedad de las películas comestibles. Por lo tanto, superiores valores de a_w para las películas derivadas a partir de harina de plátano fueron causados por una menor interacción entre el glicerol y el almidón, lo que permitió la absorción de agua desde el medio ambiente. Esto podría estar relacionado con el entrecruzamiento del almidón, ya que una interacción de almidón-glicerol más fuerte podría comprometer los sitios Lewis (sitios polares), evitando así la adsorción y absorción de agua desde el medio ambiente. Se han encontrado resultados similares en la literatura para revestimientos comestibles nativos y entrecruzados a partir de *Dioscorea trifida* (Pérez y col., 2012). Igualmente, el crecimiento microbiológico en estos sistemas es improbable, ya que incluso los valores obtenidos más altos de a_w son relativamente bajos.

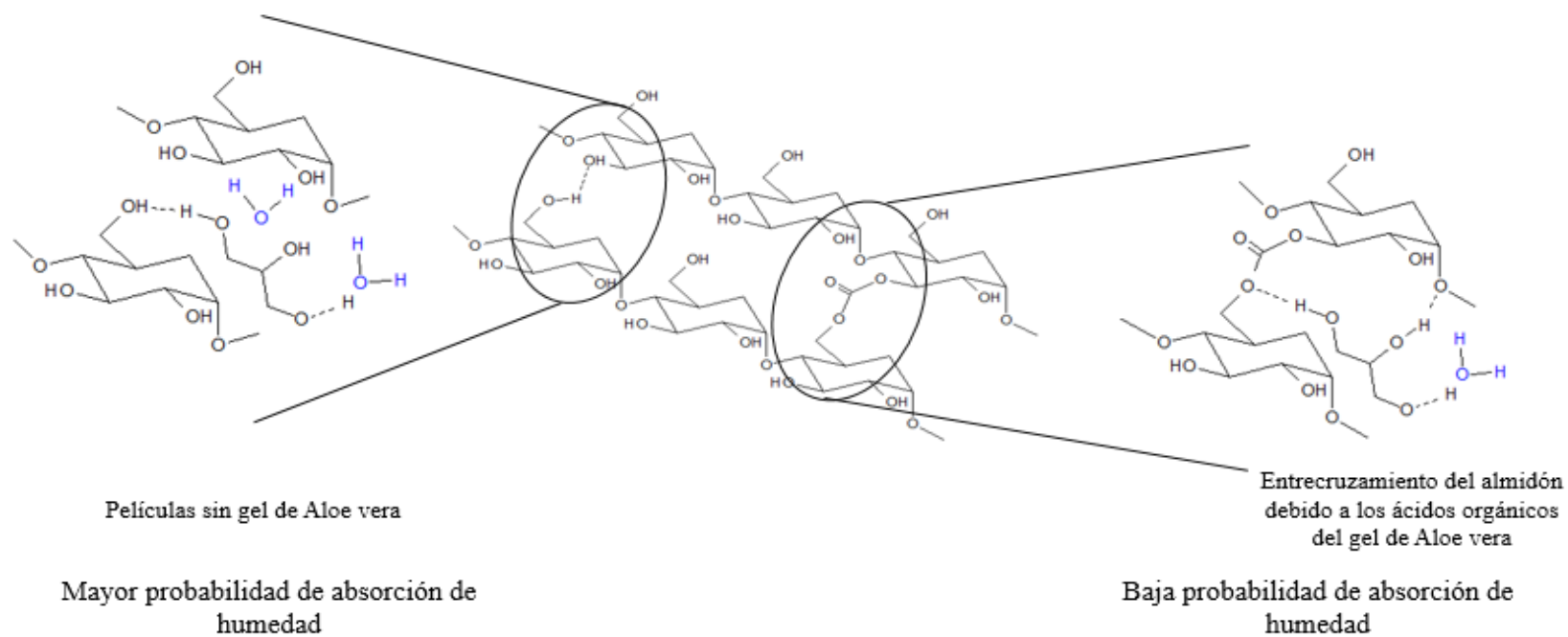


Figura 6. Mecanismo propuesto para explicar el efecto causado por los ácidos orgánicos contenidos en el gel de Av sobre el contenido de humedad de las películas desarrolladas.

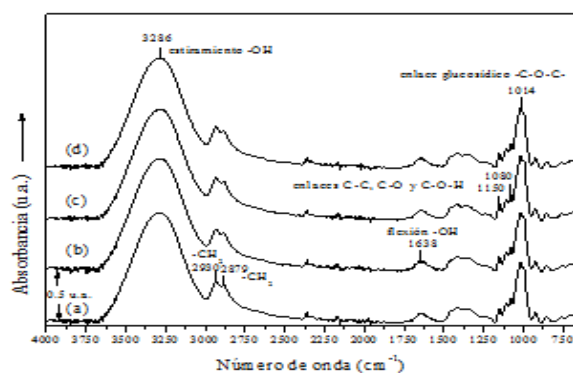
IV.2.6- Espectroscopia infrarroja por Reflectancia total atenuada con transformada de Fourier (ATR / FTIR)

La **Figura 7A** muestra los espectros FTIR de las diferentes películas estudiadas en toda el rango de absorción y los grupos funcionales asociados con cada banda. Específicamente en la región entre 3350 y 3250 cm^{-1} , se pueden observar diferencias en cuanto a intensidad de banda (**Figura 7B**). Una menor absorbancia en este pico se ha asociado a una reducción del contenido de agua libre (Pereira y col., 2011). Esto concuerda con los resultados obtenidos aquí. Aunque, también podría explicarse por la pérdida de los grupos hidroxilo del almidón durante la reacción de entrecruzamiento. Vale la pena recordar que los grupos hidroxilo del almidón, pueden actuar como nucleófilos en las reacciones de reticulación, esto provoca la pérdida del grupo funcional hidroxilo, ya que en este grupo se produce la adición del agente de entrecruzamiento. Por lo tanto, el aumento del contenido de gel de Av reduce el contenido del grupo hidroxilo del almidón, que está contenido en películas a base de harina de plátano.

IV.2.7- Solubilidad en agua

Según Romero-Bastida y col. (2005), la solubilidad de las películas comestibles proporciona un indicio de su integridad en un medio acuoso, por cual unos valores de solubilidad superiores indican una menor resistencia al agua.

(A)



(B)

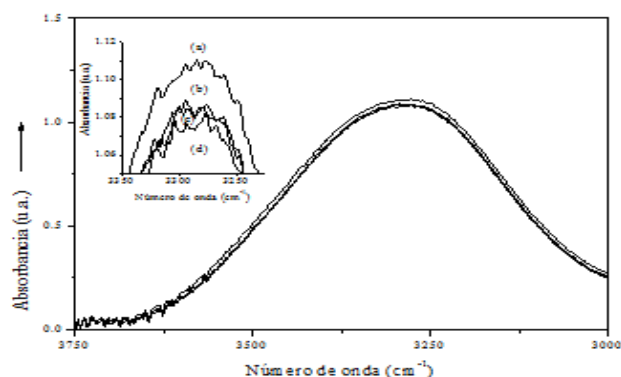


Figura 7. Panel A- Espectros de FTIR de las diferentes películas estudiadas en toda el rango de absorción: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av). Panel B- Espectros de FTIR en el intervalo de absorción correspondiente al grupo C-O (estiramiento de OH) de las diferentes películas estudiadas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

La **Tabla 2** muestra los valores de solubilidad en agua a 25 °C para los diferentes sistemas estudiados. Se puede observar que las películas con menor contenido de gel de Av son significativamente más solubles en agua ($p \leq 0,05$) que aquellas con mayor contenido de gel de Av. Estos resultados concuerdan con la tendencia reportada por Pérez y col., (2012) para las películas comestibles nativas y fosfatadas a partir de *Dioscorea trifida*. Según Almasi, Ghanbarzadeh y Entezami (2010), un fuerte enlace de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las cadenas de almidón y las moléculas de glicerol disminuye la sensibilidad al agua. Las películas con un mayor contenido de gel de Av interactúan más fuertemente con el glicerol, el cual sería insoluble en agua. Esto aumenta la resistencia al agua de las películas, disminuyendo así su solubilidad.

Los resultados de la solubilidad en agua de las películas con menor contenido de gel de Av son prometedores, como lo indican Sothornvit y Krochta (2000), después de obtener resultados similares, para su posible aplicación como envolturas de caramelos comestibles, ya que se disuelven fácilmente y se funden en la boca. Por el contrario, las películas con un mayor contenido en gel Av podrían ser usadas para envolver alimentos con altos contenido de agua.

IV.2.8- Comportamiento de hinchamiento

El comportamiento de hinchamiento de las películas se muestra en la **Tabla 3**. Para investigar la influencia del pH en el comportamiento de hinchamiento, las películas fueron sumergidas en soluciones estandares de HCl (0,1 M - pH 1,0) y NaOH (0,1 M - pH 13,0). Las películas en medio ácido no mostraron hinchamiento, lo cual sugiere que son estables en este medio.

Esto significa que todas las películas desarrolladas aquí podrían ser utilizadas para envasar alimentos ligeramente ácidos tales como carnes y cítricos (Gutiérrez y col., 2016). Resultados similares fueron obtenidos por Pereira y col., (2013) para películas a partir de hidrogel a base de alginato con gel de Av. Por el contrario, las películas inmersas en NaOH, sufrieron hinchamiento, aumentando desde 24 a 95% en su tamaño a medida que el contenido de gel de Av disminuyó. Así, el comportamiento de hinchamiento de las películas dependía negativamente del contenido del gel de Av en el medio alcalino empleado. En este ámbito, lo que ocurre es que los grupos hidroxilo en el almidón permanecen en una forma ionizable (CO^-), aumentando así la repulsión electrostática entre ellos y dando lugar al hinchamiento. Esto reduce o destruye las interacciones intra e intermoleculares (interacciones de enlace de hidrógeno) entre las macromoléculas de almidón, facilitando así la mayor hinchazón del almidón (Hu, Chen, y Gao, 2009). Basándose en esto y sabiendo que el entrecruzamiento del almidón tiene lugar debido al carácter nucleofílico de los grupos hidroxilo dentro de él, se sugiere que un aumento en el grado de entrecruzamiento del almidón debido al mayor contenido de gel de Av, posiblemente reduce el número de grupos hidroxilo, que pueden causar hinchamiento en las películas desarrolladas.

Por la razón, estas películas comestibles podrían actuar como un vehículo para el transporte de sustancias activas hacia el intestino delgado y grueso y su posterior liberación a través del proceso de hinchamiento. Como es bien sabido, el pH de los intestinos es de aproximadamente 5-8 mientras que el del estómago está entre 1 y 3 (Evans y col., 1988). Las películas podrían así tolerar el pH del estómago sin hincharse, y entregar sustancias activas directamente a los intestinos. Esto ya se ha logrado para los compuestos activos y las bacterias probióticas que han sido transportadas en estos sistemas (Arancibia, Alemán, López-Caballero, Gómez-Guillén y Montero,

2015; Colak y col., 2015; González y Igarzabal, 2015; Jafari y col., 2015; Piermaria, Diosma, Aquino, Garrote y Abraham, 2015; Soukoulis, Singh, Macnaughtan, Parmenter, y Fisk, 2016).

De hecho, durante la hinchamiento de las películas derivadas a partir de la harina de plátano con el contenido de gel de Av más bajo, algunos de los compuestos activos encontrados en el gel Av también podrían difundirse de las películas a los intestinos. Esto podría ser muy importante para el transporte y la liberación controlada de sustancias activas.

Tabla 3. Comportamiento de hinchamiento de las películas evaluadas en medio alcalino.

Material	Hinchazón (%)
TPF-HP	95 ± 5 ^d
TPF-HP+2% Av	75 ± 6 ^c
TPF-HP+4% Av	45 ± 5 ^b
TPF-HP+6% Av	24 ± 2 ^a

Las letras iguales en la misma columna no indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

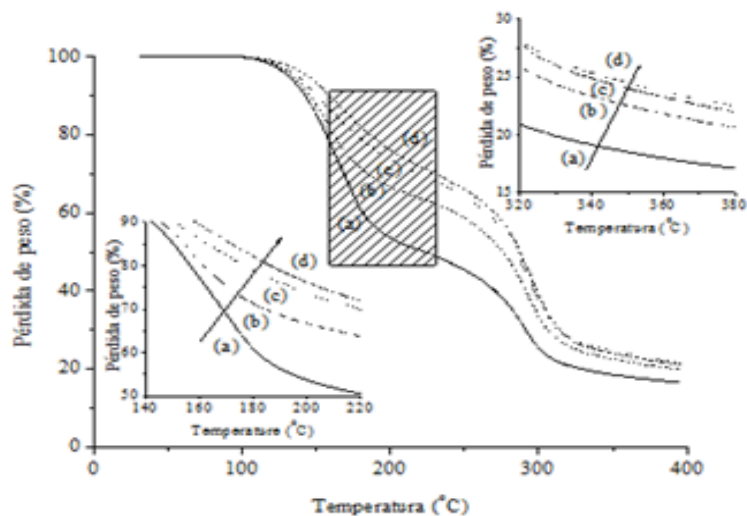
IV.2.9- Análisis termogravimétrico (TGA)

Se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) para analizar la estabilidad térmica de los cuatro sistemas de película (**Figura 8**). Según Marques y col. (2006), Ayala, Agudelo y Vargas (2012), Pelissari y col. (2013), Gutiérrez y col., (2015) y Gutiérrez y col., (2016) la descomposición térmica de

las películas que contienen almidón - glicerol se produce en tres etapas principales. Durante la primera etapa, la pérdida de peso comienza alrededor de los 100 °C. En la **Figura 8** no se observa la primera etapa de degradación térmica, ya que la pérdida de peso de los materiales se recalculó en seca para evitar distorsiones como consecuencia del contenido de humedad variable de las películas. La segunda etapa de degradación tiene lugar entre 160 y 290 °C y está asociado con la evaporación de la fase rica en glicerol, la cual también contiene almidón. Por último, la tercera etapa se produce a partir de 330 °C, esta asociada a la degradación del almidón parcialmente descompuesto (Wilhelm, Sierakowski, Souza, y Wypych, 2003; Liu, Xie, Yu, Chen y Li, 2009; Sanyang, Sapuan, Jawaid, Ishak y Sahari, 2015). Podemos observar que todas las películas hechas a partir de harina de plátano mostraron una doble pérdida de peso (**Figura 8**) relacionada con la separación de fases causada por una baja compatibilidad entre la harina y el glicerol (Shi y col., 2007; Liu, Yu, Liu, Chen, y Li, 2008; Sanyang y col., 2015). Por lo tanto, podemos concluir que las películas desarrolladas son materiales compuestos heterogéneos, es decir, materiales con propiedades anisotrópicas.

Resultados similares fueron reportados por Gutiérrez y col., (2016) para películas a partir de harina de plátano natural. También se observa un aumento de la resistencia a la degradación térmica en películas con un contenido de gel de Av más alto, el cual se manifiesta por una menor pérdida de peso a la misma temperatura (**Figura 8A**). Vale la pena recordar que las reacciones de entrecruzamiento aumentan el peso molecular promedio del almidón e introducen enlaces químicos entre diferentes moléculas (Rutenberg y Solarek, 1984). Estos resultados coinciden con los reportados por Gutiérrez y González (2016) en su estudio sobre películas derivadas a

(A)



(B)

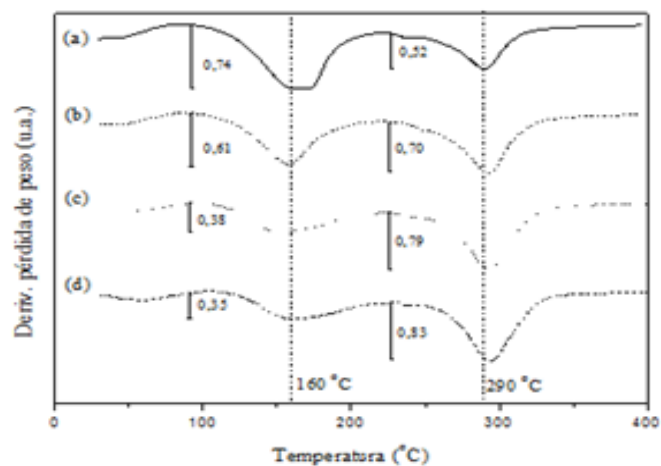


Figura 8. (A) Curvas de TGA y (B) DTGA de las diferentes películas estudiadas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

partir de almidón de ocumo reticulado por luz pulsada. Comportamiento similar también ha sido reportado recientemente por Gutiérrez, Morales, Pérez, y col. (2015), Gutiérrez y col. (2015a) y Gutiérrez, Suniaga, y col. (2016) para películas comestibles a base de almidón de maíz, yuca y mapuey, así como harina de plátano modificada químicamente por entrecruzamiento con trimetafosfato sódico.

La temperatura de evaporación del glicerol es bien conocida (290 °C). De acuerdo con las curvas de DTGA (**Figura 8B**) se puede observar un ligero aumento en esta temperatura. Esto se debe a una mayor interacción glicerol-harina en sistemas con mayor contenido de gel de Av.

Aunque ha sido demostrado el entrecruzamiento de la fuente de almidón, esto no mejoró efectivamente la compatibilidad de estos materiales en comparación con las películas de harina de plátano químicamente modificado por fosfatación (Gutiérrez, Suniaga y col., 2016).

Finalmente, en la tercera etapa se observaron curvas estables de degradación térmica hasta 500 °C. En este caso, al igual que en las etapas anteriores, se observó una menor pérdida de peso en películas con un mayor contenido de gel de Av. Esto es posiblemente debido a una menor contribución de minerales y productos de oxidación de los anillos aromáticos (residuos de carbón) de los compuestos activos tales como polifenoles, contenidos en el gel de Av (Ruiz, 2006; Patel y col., 2010).

IV.2.10- Difracción de rayos X (XRD)

La **Figura 9** muestra los patrones de difracción de rayos X de las películas desarrolladas. Las curvas de difracción de todos los materiales desarrollados presentaron patrones principalmente amorfos con una pequeña

fracción cristalina. Esto es consistente con lo que es informado en la literatura para películas basadas en almidón (Angellier, Molina-Boisseau, Dole, y Dufresne, 2006; Kristo y Biliaderis, 2007).

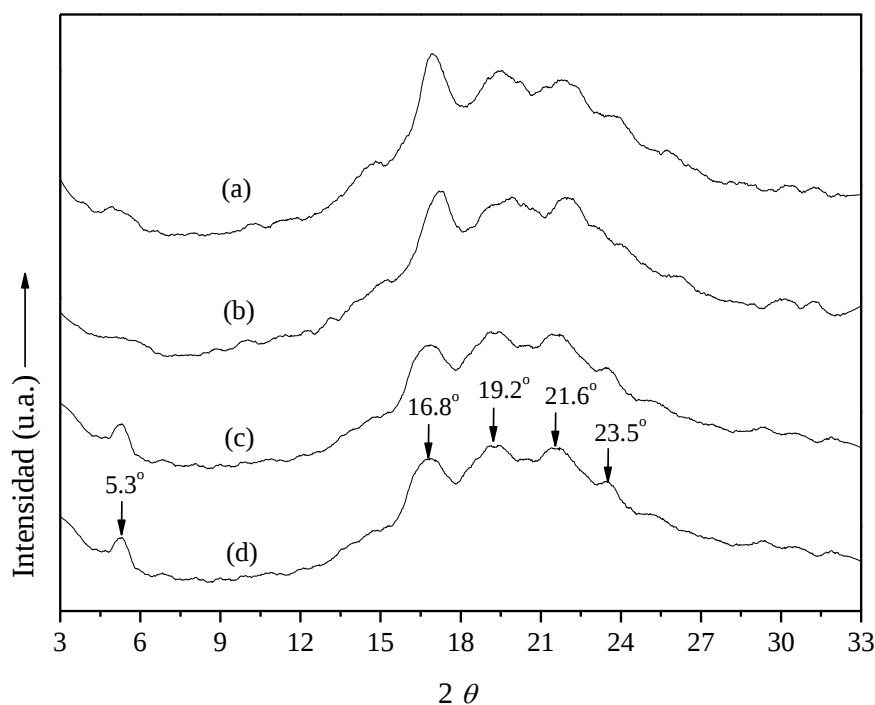


Figura 9. Patrones de difracción de rayos X de las diferentes películas estudiadas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

Los valores porcentuales de cristalinidad fueron calculados a partir del área bajo las curvas (**Tabla 2**). Se observaron valores más altos para muestras

con mayor contenido del gel de Av, probablemente debido al entrecruzamiento del almidón. Es bien sabido que el entrecruzamiento del almidón produce la alineación de las cadenas poliméricas de los carbohidratos, convirtiendo así el estado amorfo en uno más cristalino (Gutiérrez y col., 2015a). Un fenómeno similar fue observado por Gutiérrez y col. (2015) para películas derivadas a partir de almidones de yuca y mapuey entrecruzados con trimetafosfato sódico.

Además, se observaron picos a $2\theta \cong 16,8$ y $23,5^\circ$ (**Figura 9**). Estos son característicos de una estructura cristalina de tipo A asociada con el complejo de glicerol-amilosa (Zobel, 1994; Farhat, Oguntona, y Neale, 1999; Manzocco, Nicoli, y Labuza, 2003).

Los picos a $2\theta \cong 5,3$ y $21,6^\circ$ también se pueden ver en la **Figura 9**, correspondiente a una estructura de tipo B (Pelissari y col., 2013) que, según García-Tejeda y col. (2013), es asociada con las interacciones entre las cadenas cortas de amilopectina y el glicerol. Esta estructura de tipo B fue más desarrollada en películas con un mayor contenido del gel de Av (TPF-PF + 4% Av y TPF-PF + 6% Av) y se puede ver particularmente por el desarrollo del pico localizado a $2\theta \cong 5,3^\circ$. Esto nos lleva a inferir que el grado de sustitución de la amilosa aumentó con un mayor contenido del gel de Av, que dio lugar a una mayor interacción entre el glicerol y las cadenas de amilopectina.

Además, la observación de un pico a $2\theta = 19,2^\circ$ corresponde a una estructura cristalina de tipo V (Zobel, French, y Hinkle, 1967). Zobel y col. (1967) sugieren que una estructura de tipo V más desarrollada está relacionada con un aumento en el número de interacciones amilosa-glicerol. Esto coincide con lo anteriormente establecido, a saber, que las interacciones glicerol-amilosa están limitadas por el entrecruzamiento de las cadenas de amilosa, dando como resultado interacciones amilopectina-glicerol.

IV.2.11- Microscopía de fuerza atómica (AFM)

Los perfiles topográficos y de rugosidad de las películas comestibles analizadas por AFM se muestran en la **Figura 10**. Las películas obtenidas a partir de harina de plátano con mayor contenido del gel de Av tenían una tendencia a disminuir la rugosidad de la superficie. Este comportamiento es consistente con los resultados de luminosidad (ver sección IV.2.14), es decir, las superficies más lisas permiten obtener materiales más transparentes, por lo tanto, la luz no sería adsorbida por la superficie del material. Resultados similares han sido reportados por Reyes (2013) y Gutiérrez y col., (2016) para películas con un alto perfil de rugosidad, las cuales también fueron más opacas, es decir, menos transparentes. En este contexto, las películas de almidón con mayor rugosidad puede indicar la retrogradación del almidón (Gutiérrez y col., 2016; Gutiérrez y González, 2016).

La última afirmación se basa en los resultados obtenidos de la luminosidad y la rugosidad de las películas desarrolladas (ver sección IV.2.14). Los parámetros R_q y R_a fueron determinados para cuantificar la rugosidad superficial de las películas. La película de TPF-HP tenía la superficie más rugosa, ya que R_q fue de $1,0\ \mu\text{m}$ y R_a de $0,9\ \mu\text{m}$, mientras que los parámetros de rugosidad significativamente ($p \leq 0,05$) disminuyeron para las películas de TPF-HP + 2% Av ($R_q\ 0,5\ \mu\text{m}$ y $R_a\ 0,4\ \mu\text{m}$) y TPF-HP + 6% Av ($R_q\ 0,16\ \mu\text{m}$ y $R_a\ 0,12\ \mu\text{m}$). Estos valores confirman resultados cualitativos obtenidos a partir de imágenes SEM de

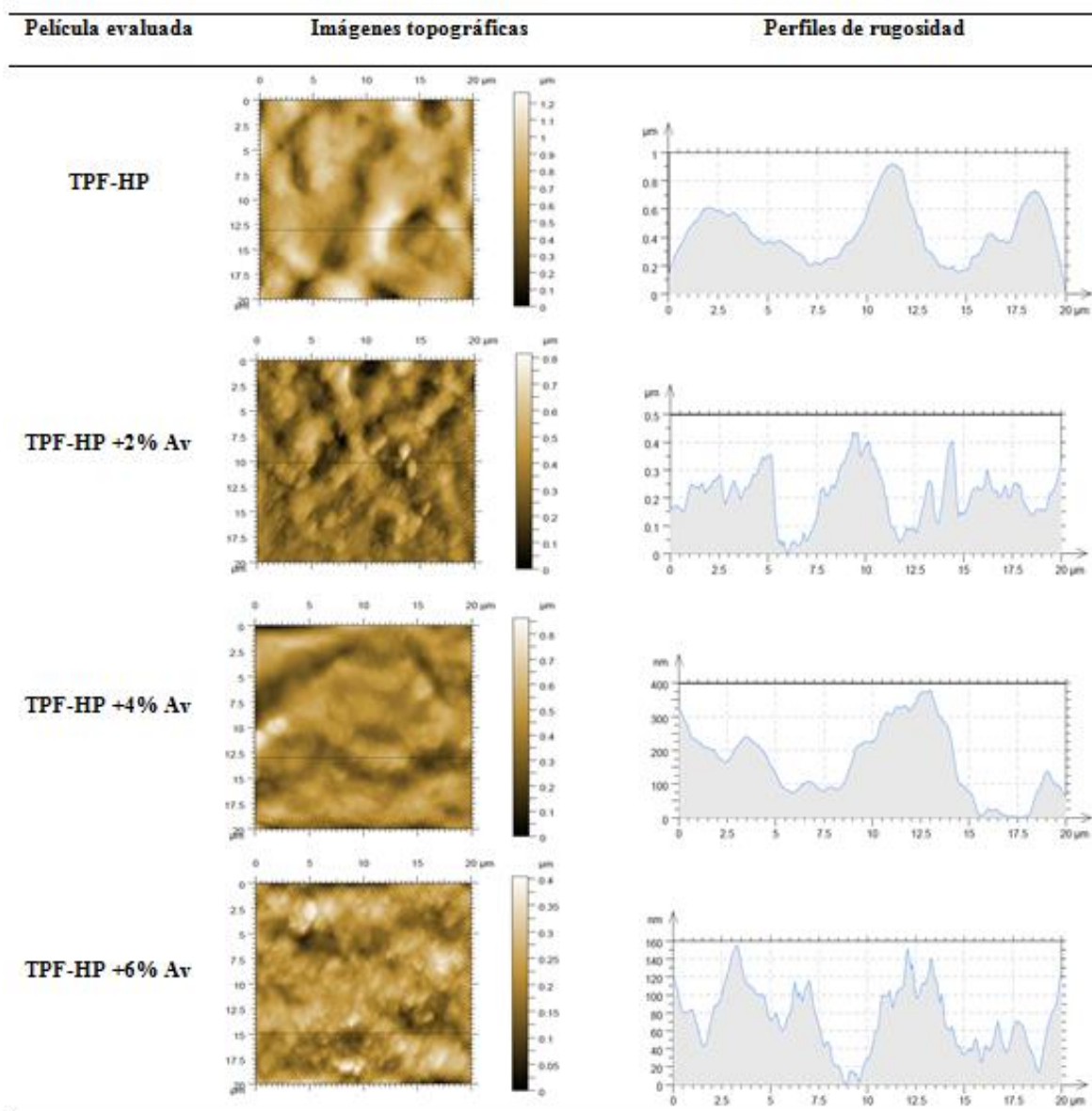


Figura 10. Imágenes de AFM de las películas: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

superficies de película (ver sección IV.2.12). Esta reducción en la rugosidad fue correlacionada positivamente con el aumento del contenido del gel de Av. Por lo tanto, el efecto de entrecruzamiento causado por el gel de Av, evita la torsión de las moléculas de almidón (retrogradación del almidón), por lo que la superficie es más lisa cuando se aumenta la concentración del gel de Av en los sistemas de película a partir de harina de plátano.

IV.2.12- Ángulo de contacto

La **Figura 11** muestra las mediciones de los ángulos de contacto de las películas estudiadas. Se observó un aumento estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) en los valores de ángulo de contacto con un contenido creciente del gel de Av en las películas fabricadas con harina de plátano. Es bien sabido que el ángulo de contacto con el agua aumenta con un aumento de la hidrofobicidad superficial (Ojagh y col., 2019). Karbowiak y col., (2006) sugirieron que un aumento en el ángulo de contacto con agua de los biopolímeros podría deberse a fuertes enlaces de hidrógeno intermoleculares bajo la superficie de la película.

Esto significa que los sitios más polares (sitios Lewis) serían afectados, generando así una reducción en la polaridad superficial de las películas de biopolímero. Por lo tanto, la superficie de las películas de almidón es más seca porque no contiene suficiente energía para romper la fuerza cohesiva del agua (Vogler., 1998). Esto se ajusta bien con los resultados obtenidos aquí, ya que previamente se ha discutido que el gel de Av produce una mayor interacción enlace de hidrógeno entre almidón-glicerol, probablemente debido al entrecruzamiento del almidón, causada por los ácidos orgánicos del gel de Av.

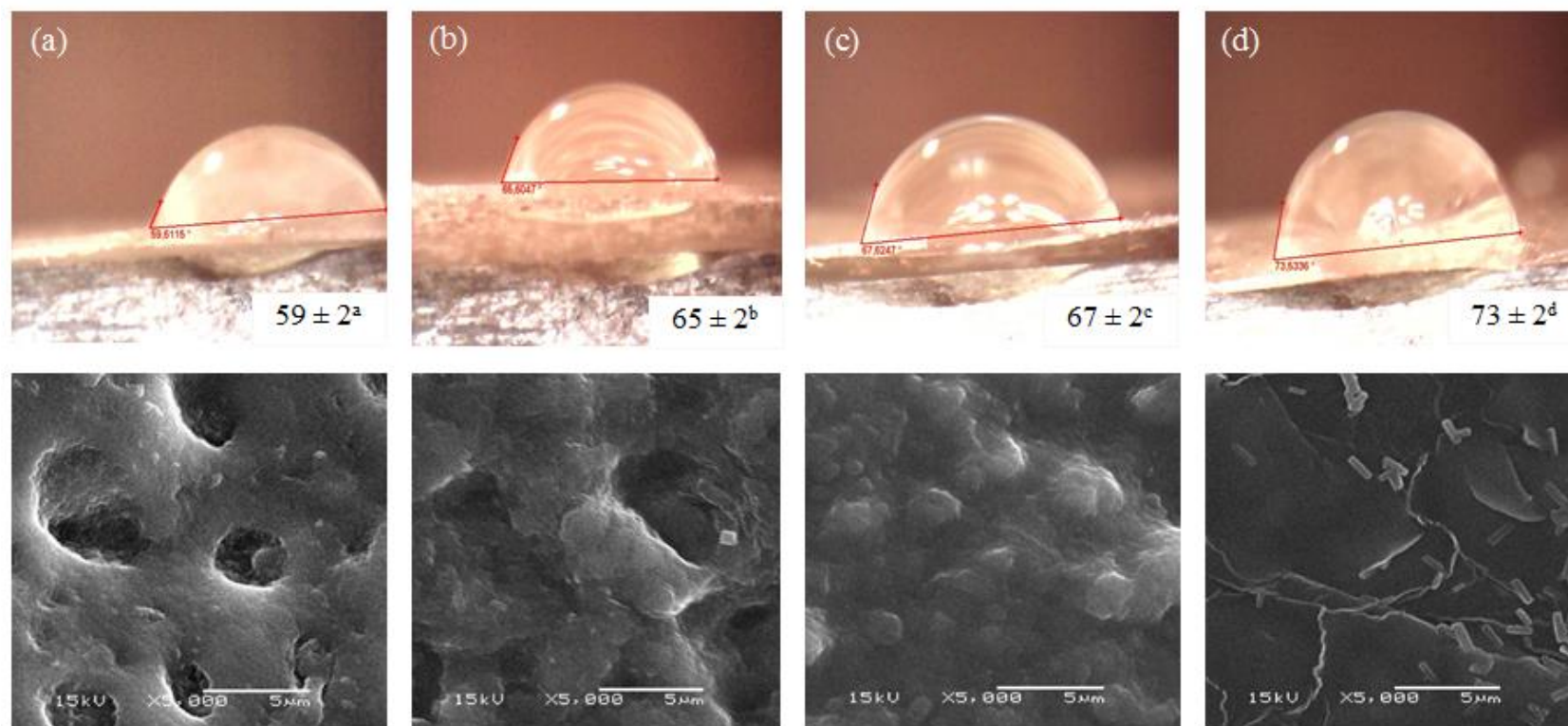


Figura 11. Ángulos de contacto y micrografías SEM de la superficie de las películas a base de: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

La **Figura 11** muestra además los ángulos de contacto y las micrografías SEM de la superficie de las películas estudiadas. La superficie de las películas con mayor contenido del gel de Av fue más hidrófoba que aquellas películas con menor contenido del gel de Av. Esto se correlaciona con las micrografías SEM de la superficie de las películas (**Figura 11**). De acuerdo con Vogler (1998) una superficie hidrofóbica requiere sitios Lewis con el fin de aumentar la humedad. Las películas a base de harina derivadas de plátano con mayor contenido del gel de Av tenían una morfológica cerrada, que actúa como una barrera física al agua.

Curiosamente, este tipo de estructura de agua requiere que la red de enlaces de hidrógeno de agua directamente adyacente a una superficie no polar se interrumpa, dando “enlaces de hidrógeno colgantes”. Estos enlaces de hidrógeno colgantes han sido teóricamente predicho (Lee y col., 1984) y espectroscópicamente resuelto el enlaces de hidrógeno en el agua a granel (Du y Shen., 1994; Du y col., 1993). Un aumento en el ángulo de contacto entre la superficie y el agua generaría enlaces de hidrógeno colgantes en las películas con mayor contenido del gel de Av. Los valores de ángulo de contacto inferior en la película de TPF-HP se debieron a las débiles interacciones entre almidón y glicerol, lo cual condujo a un aumento de la densidad de sitios Lewis en superficie. Los sitios Lewis en la película de TPF-HP se acercarían a la red de enlaces de hidrógeno del agua, compitiendo así con fuerzas cohesivas y llevando al colapso de la estructura de agua sobre una superficie hidrófila con una correspondiente disminución del ángulo de contacto.

La rugosidad superficial puede explicarse por un aumento en el área de contacto y está fuertemente relacionada con la reorganización molecular de la matriz polimérica (Karbowiak y col., 2006). En las películas a partir de harina de plátano sin gel de Av, el enlace con hidrógeno (almidón-almidón) actuaría en apoyo a la retrogradación del almidón. Esto crea fuerzas de torsión en

macromoléculas de almidón, las cuales generan agujeros similares a cráteres en la superficie. Los agujeros aumentan la rugosidad superficial de las películas (**Figura 11**) al crear obstáculos físicos.

Por otra parte, recientemente Gutiérrez y Álvarez (2016), determinaron que un mayor contenido del gel de Av en estos mismos sistemas disminuye la digestibilidad *in vitro*. Por lo tanto, una morfología cerrada y compacta podría actuar como una barrera física a la acción enzimática.

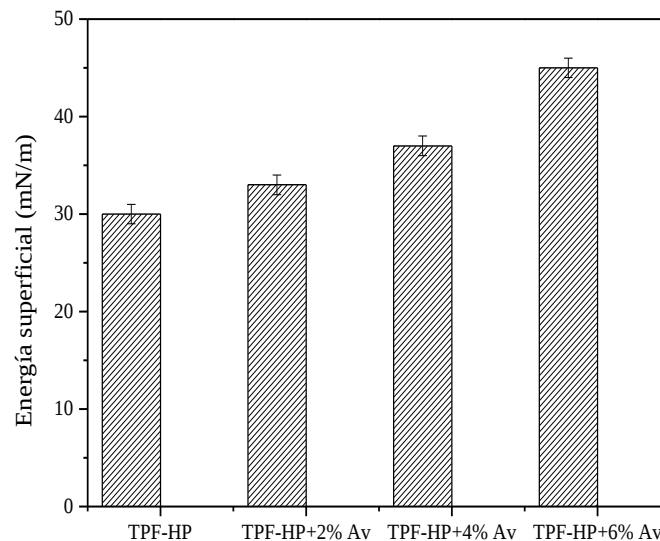


Figura 12. Energía superficial de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

Adicionalmente, se usó el método de ángulo de contacto para comparar la energía superficial de los compuestos de biopolímero. La energía superficial calculada por medio de la ecuación de Owens y Went (1991) para las películas de harina se muestra en la **Figura 12**. Se observó un aumento en la energía superficial, aumentando el contenido del gel de Av. Este comportamiento podría estar relacionado con las fuertes interacciones intermoleculares, principalmente enlaces de hidrógeno entre glicerol y almidón por debajo de la superficie del material.

IV.2.13- Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La **Figura 13** muestra las imágenes SEM de las superficies crio-fracturadas de las diferentes películas. Se puede observar que las películas obtenidas son no porosas. Todos los sistemas presentaron una morfología compacta, pero esto fue mucho más evidente en las películas de harina de plátano con mayor contenido del gel de Av (Gutiérrez y col., 2015; Kaláb, 2011). Similarmente esto ocurrió en la superficie expuesta al secado de las películas (**Figura 11**).

Pelissari y col. (2013) y Gutiérrez y col. (2016) indicaron que una morfología más compacta conduce a menor adsorción de agua, ya que las interacciones almidón-glicerol y las interacciones de almidón y agua son menos propensos al disminuir la naturaleza polar de las películas (García-Tejeda y col., 2013). Los resultados de contenido de humedad obtenidos para los sistemas a base de harina de plátano (**Figura 5**) están de acuerdo con la morfología observada por SEM. Resultados similares y morfologías han sido reportados para las películas de proteína de almidón de yuca por Saavedra y Algecira (2010). Por lo tanto, las superficies con morfologías más compactas

podrían ser una barrera física (impedimento estérico) para la absorción de humedad del medio ambiente.

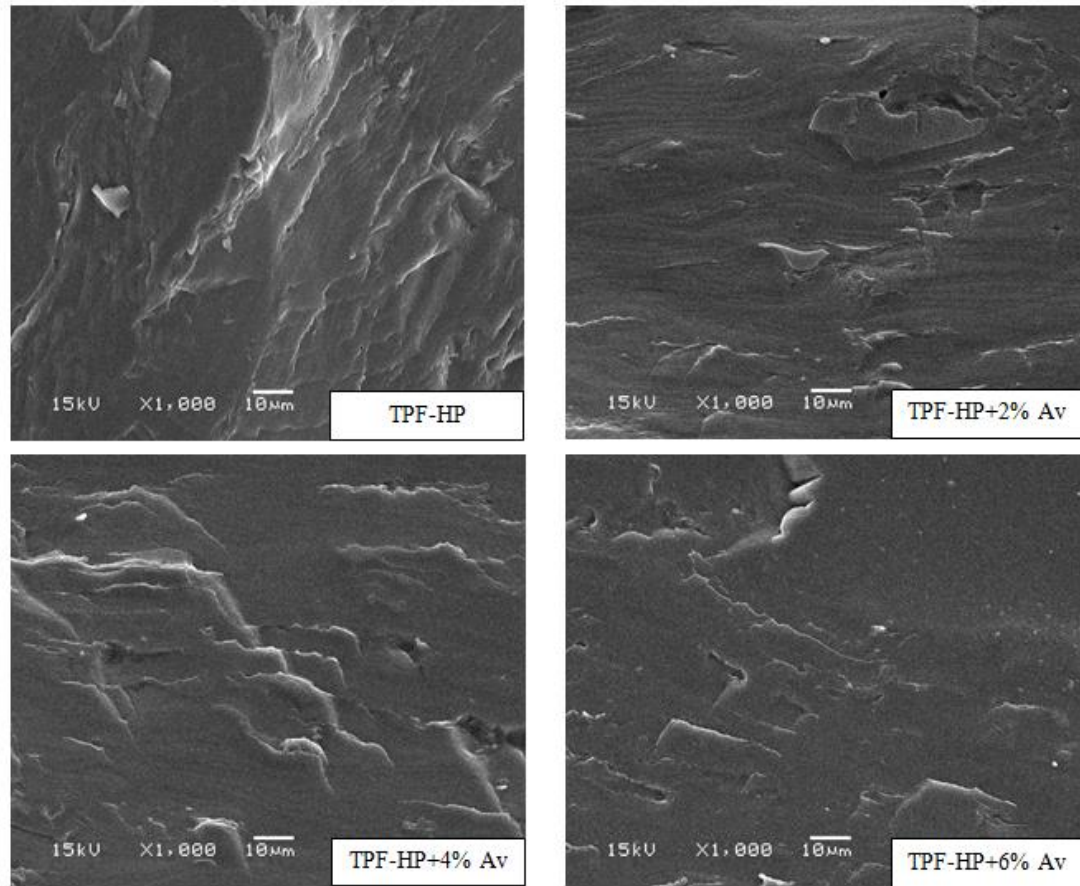


Figura 13. Micrografías de SEM de la superficie crio-fracturada de las películas a base de: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av). A 1kX de aumento.

IV.2.14- Color

La **Tabla 2** muestra los resultados de los parámetros de color de las películas estudiadas. Los valores de L^* para las películas tienden a disminuir con un mayor contenido del gel de Av, lo que indica una menor opacidad en estos sistemas. Fakhouri y col., (2007) indicaron que la opacidad puede variar en función del contenido de amilosa del almidón, así como la estructura de las moléculas en solución, que tienden a alinearse en paralelo lo suficientemente cerca para formar enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de cadenas adyacentes. Esto suele ocurrir durante la retrogradación del almidón, por lo tanto las películas con un menor contenido del gel de Av deben mostrar una tendencia a la retrógrada.

Por otro lado, se observaron índices de blancura (IB) más altos para películas con un mayor contenido del gel de Av. Todas las muestras evaluadas mostraron valores de a^* alrededor de cero, sin embargo, las películas con mayor contenido del gel de Av mostraron valores más bajos, lo que indica una tendencia hacia el color verde en estos sistemas. Esto puede deberse a la clorofila (pigmento verde) que se encuentra en productos vegetales tales como el gel de Av. Por el contrario, las películas con un menor contenido del gel de Av mostraron una tendencia alejada del verde. Un valor positivo de b^* indica una tendencia hacia el amarillo. Los resultados de índice de amarillo (IA) fueron consistentes con los valores de b^* , los cuales fueron positivos en todos los casos, indicando un grado de amarillamiento para todos los materiales evaluados. Esto es posiblemente debido a los carotenoides (pigmento amarillo) que se encuentran en los plátanos.

Las diferencias combinadas observadas para los parámetros cromatográficos L^* , a^* y b^* (diferencia de color total (ΔE)) fueron menores en las películas con menor contenido del gel de Av. Esto es consistente con los

índices IB obtenidos, ya que se calculó ΔE con la placa blanca estándar como referencia.

IV.2.15- Pruebas de tracción uniaxial

Las películas para el envasado de alimentos requieren que tengan buenas propiedades mecánicas para soportar el estrés que se produce durante el transporte, la manipulación y el almacenamiento de los mismos. Las curvas tensión-deformación de cada sistema de película estudiado se muestran en la **Figura 14**. Se observó una pequeña zona lineal seguida de una zona no lineal hasta el punto de ruptura independientemente del contenido del gel de Av incorporado.

La **Tabla 4** muestra claramente un efecto positivo sobre todos los parámetros mecánicos al aumentar el contenido del gel de Av. Se encontró un comportamiento rígido más alto para las películas con mayor contenido del gel de Av (**Tabla 4**). Resultados similares fueron reportados por Pereira y col., (2011) para películas hechas de alginato y gel de Av. Según Pereira y col., (2011) mayor contenido del gel de Av en las películas a base de alginato, posiblemente causa la reticulación entre el alginato y el gel de Av en presencia de cloruro de calcio, por lo tanto un aumento en el máximo estrés fue obtenido, dando lugar a materiales más rígidos. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio.

Otros resultados similares de máximo estrés han sido publicados recientemente por Gutiérrez y col. (2016), en películas inteligentes hechas a partir de harina de plátano nativa y fosfatada.

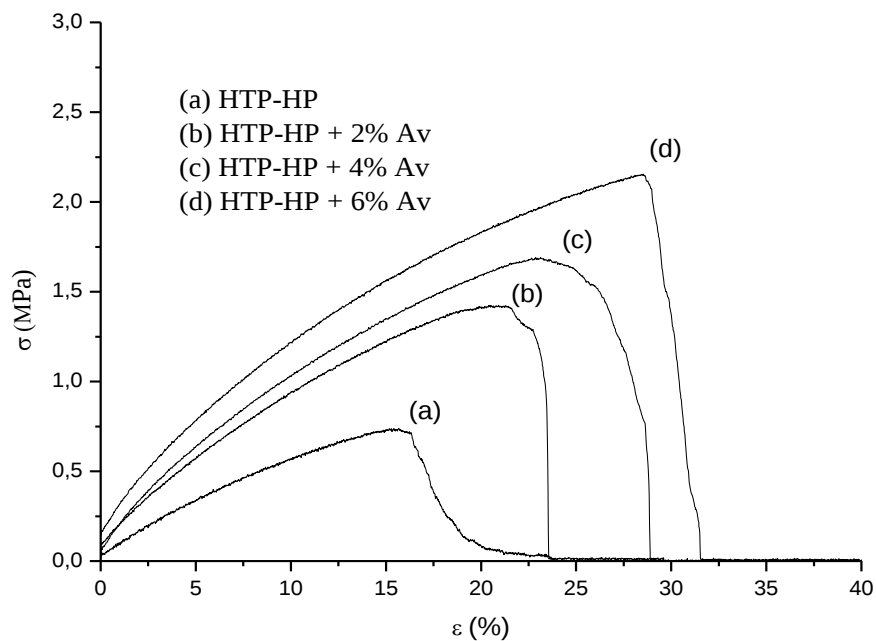


Figura 14. Curvas de estrés (σ) - deformación (ε) de las películas a base de: (a) harina de plátano (TPF-HP), (b) harina de plátano con incorporación de 2% de gel de Av (TPF-HP + 2% Av), (c) harina de plátano con incorporación de 4% de gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y (d) harina de plátano con incorporación de 6% de gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

Como se mencionó anteriormente, el glicerol interactúa más fuertemente con la matriz (harina de plátano) al aumentar el contenido del gel de Av, probablemente debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre el glicerol y el almidón. Esta interacción glicerol-almidón debilitaría las interacciones intra- e intermoleculares entre las macromoléculas de almidón, conduciendo a un aumento en el movimiento y reordenamiento de sus

cadenas y, por tanto, en la flexibilidad de las películas de almidón (Gutiérrez y col., 2015; Gutiérrez y col., 2016). Esto da como resultado un aumento en los valores de tensión a la rotura de las películas con mayor contenido del gel de Av. Resultados similares fueron reportados por Gutiérrez y col., (2015); Gutiérrez y col., (2016) para películas comestibles a base de almidón de maíz, yuca y mapuey, y harina de plátano modificada químicamente por entrecruzamiento con STMP.

Tabla 4. Parámetros de las pruebas de tracción uniaxial: módulo de Young (E), esfuerzo máximo (σ_m), deformación a rotura (ϵ_b) y tenacidad (T).

Material	E (KPa)	σ_m (MPa)	ϵ_b (%)	T ($\times 10^3$) (J/m ³)
TPF-PF	56 $\pm$ 6 ^a	0,81 $\pm$ 0,07 ^a	24 $\pm$ 1 ^a	13,7 $\pm$ 0,9 ^a
TPF-PF+2% Av	82 $\pm$ 2 ^b	1,43 $\pm$ 0,04 ^b	25 $\pm$ 1 ^a	24 $\pm$ 2 ^b
TPF-PF+4% Av	108 $\pm$ 2 ^c	1,52 $\pm$ 0,10 ^b	30 $\pm$ 2 ^b	30 $\pm$ 2 ^c
TPF-PF+6% Av	190 $\pm$ 27 ^d	2,1 $\pm$ 0,2 ^c	31 $\pm$ 1 ^b	45 $\pm$ 7 ^d

Las letras iguales en la misma columna no indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Saavedra y Algecira (2010) propusieron que las películas de proteína de almidón de yuca tienen altos valores de elasticidad debido a su morfología compacta. Esto concuerda con los resultados del presente trabajo, ya que las imágenes SEM obtenidas para películas con mayor contenido del gel de Av (**Figuras 11 y 13**) corresponden a la mayor elasticidad observada.

Se observó un aumento estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) en el módulo de Young y la tenacidad al aumentar el contenido del gel de Av. Según Gutiérrez y col., (2015), esto significa que estas películas podrían absorber

más energía sin ser transmitidas a los alimentos, minimizando los daños causados por los golpes en los alimentos durante el transporte y el almacenamiento. Por lo tanto, las películas hechas de harina de plátano con mayor contenido del gel de Av podrían ser películas biodegradables para ser aplicadas como contenedores de alimentos.

Debe observarse que con base en los resultados analizados hasta ahora, el gel de Av permite el entrecruzamiento de las cadenas de almidón, pero simultáneamente permite una mejor interacción del almidón entrecruzado con glicerol, evitando así interacciones intermoleculares entre las macromoléculas de almidón sin reaccionar, por lo cual, el glicerol funciona como lubricante para el desplazamiento, movilidad y reordenamiento entre las cadenas de almidón. Esto encaja bien con lo establecido en la **Figura 6**.

IV.2.16- Evaluación sensorial

La **Figura 15** muestra los resultados de la evaluación sensorial de las películas desarrolladas. En general, ninguno de los atributos evaluados fue aceptable por los panelistas. Esto nos lleva a sugerir que estas películas podrían desarrollarse como envase secundario de alimentos.

Longares, Monahan, O'riordan, y O'sullivan, (2004) indicaron que los resultados de las evaluaciones sensoriales no pueden ser extrapolados de un sistema alimenticio a otro. Esto significa que las películas se pueden emplear como recubrimientos para ciertos alimentos, como las rodajas de kiwi, que tienen atributos favorables (Benítez, Achaerandio, Pujolà, y Sepulcre, 2015). A pesar de esto, los resultados de la evaluación sensorial

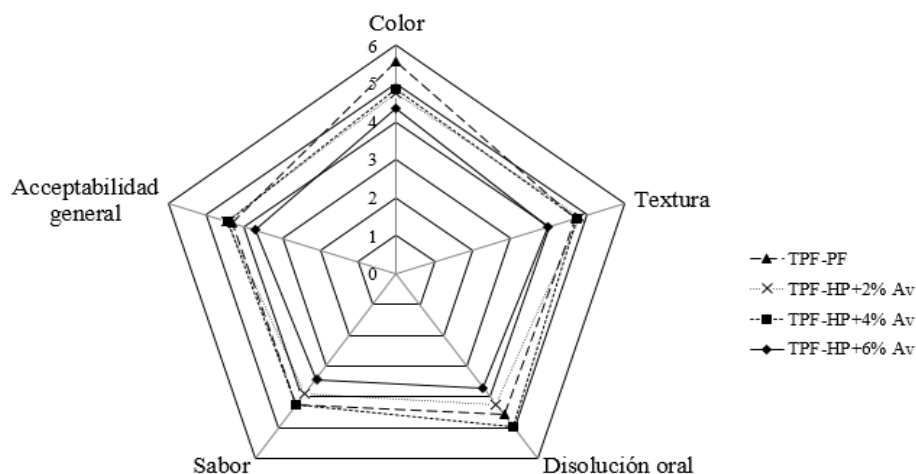


Figura 15. Evaluación sensorial de las diferentes películas estudiadas: harina de plátano (TPF-HP), harina de plátano con incorporación de 2% del gel de Av (TPF-HP + 2% Av), harina de plátano con incorporación de 4% del gel de Av (TPF-HP + 4% Av) y harina de plátano con incorporación de 6% del gel de Av (TPF-HP + 6% Av).

podrían estar relacionados con las propiedades fisicoquímicas de las películas de forma interesantes, tales como: (1) Una menor solubilidad en películas con un mayor contenido del gel de Av fue relacionado con una menor aceptabilidad en cuanto a la disolución oral de las películas. Por lo tanto, los porcentajes de solubilidad deseable en películas comestibles y revestimientos podrían establecerse, (2) películas más gruesas se describieron como difíciles de masticar, lo cual influyó negativamente en el atributo de textura. Una explicación posible de este resultado es que se requiere una fuerza mayor sobre un área mayor para conseguir la máxima tensión en la rotura de las películas. Resultados similares han sido reportados por Longares y col. (2004)

para películas basadas en aislados de proteína de suero y plastificadas con glicerol, (3) El color de las películas con menor contenido del gel de Av fue menos aceptable, posiblemente porque eran más opacas. Resultados similares fueron obtenidos por Pereira y col., (2011) para películas derivadas a partir de alginato y Av, y (4) No hubo cambio notable en el sabor de las películas con el añadido del gel de Av, posiblemente debido a la preferencia *per se* de cada panelista.

CAPÍTULO V

Conclusiones

V.1- Conclusiones

Conclusiones generales:

- 1) El efecto de entrecruzamiento causado por los ácidos orgánicos del gel de Av sobre la harina de plátano provocó un aumento en la naturaleza hidrófoba de la superficie y aumentó la energía superficial debido a las interacciones de enlace de hidrógeno más altas.
- 2) Sustitución, espesor, solubilidad en agua, a_w , comportamiento de hinchamiento, TGA y DRX demostraron que el gel de Av actúa como agente de entrecruzamiento para la matriz amilácea (harina de plátano), resultando en películas más gruesas, más estables y secas.
- 3) En cuanto a la evaluación sensorial: ninguno de los atributos de las películas desarrolladas fueron aceptables para los panelistas. Sin embargo, se obtuvieron correlaciones entre los parámetros físico-químicos y los atributos analizados.

Referencias bibliográficas

- AACC (2003). Métodos aprobados por la Asociación Americana de Químicos de Cereales. Métodos no. 44-15A, 30-10, 08-01, 46-13, 02-52 & 02-31. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Ahmed, M. J., Singh, Z., & Khan, A. S. (2009). Pos-cosecha gel de Aloe Vera-recubrimiento modula la maduración del fruto y la calidad de la nectarina 'Arctic Snow' mantenido en almacenamiento a temperatura ambiente y frío. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, de 44 años, de 1024 1033.
- Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Entezami, A. A. (2010). Propiedades fisicoquímicas de películas biodegradables de almidón-CMC-nanopartículas de arcilla. *Revista Internacional de macromoléculas biológicas*, 46 (1), 1-5.
- Amani, N., Buléon, A., Kamenan, A., & Colonna, P. (2004). La variabilidad en la fisicoquímica del almidón y propiedades funcionales de ñame (*Dioscorea sp*) cultivada en Costa de Marfil. *Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura*, 84 (15), 2085-2096.
- Angellier, H., Molina-Boisseau, S., Dole, P., & Dufresne, A. (2006). Termoplásticas de almidón ceroso almidón de maíz nanocristales nanocompuestos. *Biomacromolecules*, 7, 531-539.
- Arancibia, M. Y., Alemán, A., López-Caballero, M. E., Gómez Guillén, M. C., & Montero, P. (2015). Desarrollo de las películas de quitosano activos aislados por extracción suave con concentrado de proteína añadida a partir de residuos de camarón. *Alimentación Los hidrocoloides*, 43, 91-

99.

- Asp, N. G. (1992). Almidón resistente. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 (S2), S1. ASTM D-1925 (1995). Método de prueba estándar para el índice de amarilleamiento de plásticos. Philadelphia, PA: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- Atarés, L., Bonilla, J., & Chiralt, A. (2010). Caracterización de caseinato de sodio a base de películas comestibles incorporadas con canela o jengibre aceites esenciales. *Journal of Food Engineering*, 100 (4), 678-687.
- Ayala, G., Agudelo, A., & Vargas, R. (2012). Efecto del glicerol sobre las propiedades eléctricas y el comportamiento de fase de los biopolímeros de almidón de yuca. *Dyna*, 79 (171), 138-147.
- Ayo-Omogie, H.N., Adeyemi, I.A., Otunola, E.T. (2010). Effect of ripening on some physicochemical properties of cooking banana (*Musa ABB Cardaba*) pulp and flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(12), 2605-2611.
- Benítez, S., Achaerandio, I., Pujolà, M., & Sepulcre, F. (2015). El aloe vera como alternativa a los recubrimientos comestibles tradicionales que se utilizan en las frutas recién cortadas: Un caso de estudio con rodajas de kiwi. *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 61 (1), 184-193.
- Benítez, S., Achaerandio, I., Sepulcre, F., & Pujolà, M. (2013). Aloe vera recubrimientos comestibles a base de mejorar la calidad de los mínimamente procesados kiwis 'Hayward'. *Biología y Tecnología de Postcosecha*, 81, 29-36.
- Björck, I. M., Granfeldt, Y., Liljeberg, H., Tovar, J., & Asp, N. G. (1994). propiedades de los alimentos que afectan a la digestión y absorción de hidratos de carbono. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 699S-705S.

- Björck, I., & Asp, N. G. (1994). El control de las propiedades nutricionales de almidón en los alimentos: Un desafío para la industria alimentaria. *Tendencias en Ciencia y Tecnología*, 17, 591-599 Alimentación.
- Boudreau, M. D., & Beland, F. A. (2006). Una evaluación de las propiedades biológicas y toxicológicas de Aloe barbadensis (Miller), Aloe vera. *Revista de Ciencias del Medio Ambiente y la Parte C de la Salud*, 24 (1), 103-154.
- Carpano, S. M., Castro, M. T., & Spegazzini, E. D. (2009). Caracterización morfoanatómica comparativa entre Aloe vera (L.) Burm. F., Aloe arborescens Mill., Aloe saponaria Haw. y Aloe ciliaris Haw.(Aloeaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19(1B), 269-275.
- Chauhan, O. P., Raju, S. P., Singh, A., & Bawa, A. S. (2010). Goma laca y revestimientos de superficies de aloe-gel a base de mantener la calidad de conservación de los trozos de manzana. *Food Chemistry*, 126, 961-966.
- Choi, S., & Chung, M. H. (2003, March). A review on the relationship between Aloe vera components and their biologic effects. In *Seminars in integrative medicine* (Vol. 1, No. 1, pp. 53-62). WB Saunders.
- Colak, B. Y., Peynichou, P., Galland, S., Oulahal, N., Assezat, G., Prochazka, F., & Degraeve, P. (2015). Películas activas biodegradables caseinato de sodio fabricado por extrusión-soplado de películas: Efecto de los parámetros de procesamiento termo-mecánica y la estabilidad en la formulación de la lisozima. *Cultivo de plantas industriales y los productos*, 72, 142-151.
- Cutter, C.N. (2006). Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat science*, 74(1), 131-142.

- Dang, K. M., & Yoksan, R. (2015). Desarrollo de almidón termoplástico soplado de película mediante la incorporación de quitosano plastificado. *Los polímeros de hidratos de carbono*, 115, 575-581.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). El proceso térmico mejora el valor nutritivo de los tomates mediante el aumento de la actividad antioxidante total. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 50 (10), desde 3010 hasta 3014.
- Dhakal, H. N., & Zhang, Z. (2012). Polímeros compuestos de matriz: efectos de la humedad y estabilidad dimensional. En L. Nicolais y A. Borsachiello (Eds.), *Wiley, la enciclopedia de los materiales compuestos* (pp. 279- 323). NewYork: JohnWiley & Sons, Inc.
- Donhowe, I. G., & Fennema, O. R. (1993). Los efectos de los plastificantes sobre la cristalinidad, la permeabilidad y las propiedades mecánicas de las películas de metilcelulosa. *Diario de procesamiento y conservación*, 17, 247-257.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Clasificación y valoración de fracciones de almidón nutricionalmente importantes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 (S2), S30-S50.
- Eshun, K., & Él, P. (2004). Aloe vera: Un ingrediente valioso para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética industrias con un comentario. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44 (2), 91-96.
- Evans, D. F., Pye, G., Bramley, R., Clark, A. G., Dyson, T. J., & Hardcastle, J. D. (1988). La medición de perfiles de pH gastrointestinales en sujetos humanos normales ambulantes. *Gut*, 29 (8), 1035- 1041.
- Fakhouri, F. M., Fontes, L. C. B., Gonçalves, P. D. M., Milanez, C. R., acero, J. C., & Collares-Queiroz, F. P. (2007). Filmes e Coberturas comestíveis compostas una base de gelatina amidos Nativos e na conservação e

- aceitação sensorial de uvas Crimson. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27 (2), 369-375.
- Farhat, I. A., Oguntona, T., & Neale, R. J. (1999). Caracterización de almidones y masas from West África. *Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura*, 79, 2105-2112.
- Flores, S., Famá, L., Rojas, A. M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of film making and potassium sorbate. *Food Research International*, 40(2), 257-265.
- Francis, F. J., & Clydesdale, F. M. (1975). *colorimetría alimentos: Teoría y applications*. Westport, CT: AVI Publishing Co. Inc.
- Franz, C., Bauer, R., Carle, R., Tedesco, D., Tubaro, A., & Zitterl-Eglseer, K. (2005). CFT / EFSA / FEEDAP, 01.
- García, I., Flettes, P., Verdura, T., Ledesma, L., Pérez, R. (2000). Cantidad y calidad antioxidante de alimentos de origen vegetal consumidos en Cuba. *Alimentaria*, (316), 103-110.
- García-Alonso, A., y Goñi, I. (2000). Efecto del procesamiento de fécula de patata: En la disponibilidad vitro e índice glucémico. *Nahrung / Alimentos*, 44, 19-22.
- García-Tejeda, YV, López-González, C., Pérez-Orozco, JP, Rendón-Villalobos, R., Jiménez-Pérez, A., Flores-Huicochea, E., Solorza-Feria, J., & Bastida, CA (2013). propiedades físico-químicas y mecánicas de los laminados extrusionados a partir de almidón de plátano nativo y oxidado durante el almacenamiento. *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 54, 447-455.
- Gennadios, A., Weller, C., Hanna, M., & Froning, G. (1996). Las propiedades mecánicas y de barrera de películas albúmina de huevo. *Journal of Food Science*, 61 (3), 585-589.

- Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. L. (1992). películas de gluten de trigo comestibles: Influencia de las principales variables de proceso en las propiedades de película utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Journal of Food Science*, 57 (1), 190-195.
- González, A., & Igarzabal, C. I. A. (2015). películas de proteína de soja de nanocristales reforzado y su aplicación como envases activos. *Alimentación Los hidrocoloides*, 43, 777-784.
- Granda, R., D.M., Mejía, A.I., Jiménez, Gloria, A. (2005). Utilización de residuos de plátano para la producción de metabolitos secundarios por fermentación en estado sólido con el hongo *Lentinus crinitus*. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 12(2), 13-20.
- Granfeldt, Y., Bjorck, I., Drews, A., & Tovar, J. (1992). Un procedimiento in vitro basado en la masticación para predecir la respuesta metabólica a. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, 649-660.
- Grover, J. K., Yadav, S., & Cubas, V. (2002). Las plantas medicinales de India with potencial antidiabético. *Diario de Etnofarmacología*, 81, 81-100.
- Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., & Martínez-Romero, D. (2013). Aloe arborescens y geles de aloe vera como revestimientos para retrasar la maduración postcosecha en el melocotón y la ciruela. *Biología y Tecnología de Postcosecha*, 83, 54-57.
- Gutiérrez, JK. 2001. Red Iberoamericana de Plantas Medicinales y sus Derivados. *Memorias del Primer Congreso Internacional FITO 2001. PERÚ*. 19-20 p.
- Gutiérrez, T. J., & González, G. (2016). Efectos de la exposición a la luz pulsada sobre las propiedades estructurales de las películas comestibles a base de almidón de yuca y la malanga y la superficie.

Alimentos y Tecnología de Bioprocesos, doi: 10.1007 / s11947-016-1765-3; En prensa.

- Gutiérrez, T. J., Guzmán, R., Medina, C., & Fama, L. (2016). Efecto de la harina de remolacha en películas hechas de macromoléculas biológicas: Nativo y harina de plátano modificada. *Revista Internacional de macromoléculas biológicas*, 82, 395-403.
- Gutiérrez, T. J., Morales, N. J., Pérez, E., Tapia, M. S., y & Fama, L. (2015). Propiedades físico-químicas de las películas comestibles derivados de ñame Cus-Cus y yuca almidones nativos y fosfatados. *Envasado de Alimentos y vida útil*, 3, 1-8.
- Gutiérrez, T. J., Morales, N. J., Tapia, M. S., Pérez, E., & Fama, L. (2015). Almidón de maíz 80:20 "cerosa": Regular, "nativo" y fosfatado, como bio-matrices para películas comestibles. *Procedia Ciencia de los Materiales*, 8, 304-310.
- Gutiérrez, T. J., Pérez, E., Guzmán, R., Tapia, M. S., & Fama, L. (2014). Propiedades funcionales de, oscuro-Cus-Cus ñame y yuca almidones nativos y modificados por reticulación. *Diario de Polímeros y Biopolímeros Química Física*, 2 (1), 1-5.
- Gutiérrez, T. J., Suniaga, J., Monsalve, A., & García, N. L. (2016). Influencia de la harina de remolacha en la relación superficie-propiedades de las películas comestibles e inteligentes a base de harina de plátano nativo y modificado. *Alimentación Los hidrocoloides*, 54, 234-244.
- Gutiérrez, T. J., Tapia, M. S., Pérez, E., & Fama, L. (2015A). películas comestibles a base de nativos y fosfatados 80:20 ceroso: Largo almidón de maíz. *El almidón-Stärke*, 67 (1-2), 90-97.
- Gutiérrez, T. J., Tapia, M. S., Pérez, E., & Fama, L. (2015b). Las propiedades estructurales y mecánicas de películas comestibles a base de ñame

- Cus-Cus nativos y modificados y almidón de yuca. *Alimentación Los hidrocoloides*, 45, 211-217.
- Gutowski, W. (1991). Thermodynamics of adhesion. In *Fundamentals of adhesion* (pp. 87-135). Springer US.
- Han, J. A., & BeMiller, J. N. (2007). Preparación y características físicas de digerir lentamente almidones alimentarios modificados. *Los polímeros de hidratos de carbono*, 67, 366-374.
- Hansen, N. M., & Plackett, D. (2008). películas y recubrimientos sostenibles de hemicelulosas: Una revisión. *Biomacromolecules*, 9 (6), 1493-1505.
- Haslinda, W.H., Cheng, L.H., Chong, L.C., Aziah, A.N. (2009). Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata* × *balbisiana* Colla cv. *Awak*) flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(s4), 232-239.
- Hermans, P. H., & Weidinger, A. (1961). En la determinación de la fracción cristalina de polietilenos de difracción de rayos X. *Makromolecular Chemistry*, 44, 24-36.
- Hernández, O., Emaldi, U., & Tovar, J. (2008). La digestibilidad in vitro de películas comestibles de diversas fuentes de almidón. *Los polímeros de hidratos de carbono*, 71, 648-655.
- Hu, G., Chen, J., & Gao, J. (2009). Preparación y características de las películas de almidón de patata oxidado. *Los polímeros de hidratos de carbono*, 76, 291- 298.
- Jafari, S. M., Khanzadi, M., Mirzaei, H., Dehnad, D., Chegini, F. K., & Maghsoudlou, Y. (2015). Hidrofobicidad, térmica y las propiedades microestructurales de películas concentrado-pullulanbeeswax de proteína de suero. *Revista Internacional de macromoléculas biológicas*, 80, 506-511.

- Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Taylor, R. H., Barker, H., Fielder, H., Baldwin, J. M., Bowling, A. C., Newman, H. C., Jenkins, A. L., & Goff, D. V. (1981). El índice glucémico de los alimentos: Una base fisiológica para el intercambio de hidratos de carbono. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34, 362-366.
- Kampeeraappun, P., Aht-ong, D., Pentrakoon, D., & Srikulkit, K. (2007). Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 155-163.
- Kapelko-Z eberska, M., Buksa, K., Szumny, A., Zie ba, T., & Gryszkin, A. (2016). Análisis de la estructura molecular de citrato de almidón obtenido por un método bien establecidos. *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 69, 334-341.
- Kester, J.J., Fennema, O.R. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food technology*, 36, 323-329.
- Khoshgozaran-Abras, S., Azizi, M. H., Hamidy, Z., & Bagheripoor- fallah, N. (2012). propiedades mecánicas, fisicoquímicas y el color de quitosano basada en películas como una función de Aloe vera gel incorporación. *Los polímeros de hidratos de carbono*, 87 (3), 2058-2062.
- Klaushofer, H., Berghofer, E., & Steyrer, W. (1978). Desarrollo de nuevas tecnologías de modificación del almidón en el ejemplo de citratos de almidón. *Ernährung / Nutrition*, 2, 51-55, (en alemán).
- Krishnan, P. (2006). El estudio científico de las terapias a base de hierbas de curación de heridas: Situación actual. *Anestesia y Cuidados Críticos actual*, 17, 21-27.
- Kristo, E., & Biliaderis, C. G. (2007). Las propiedades físicas de almidón nanocrystalreinforced películas de pululano. *Los polímeros de hidratos de carbono*, 68, 146-158.

- Lin, D., Zhao, Y., (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 6 (3): 60–75
- Liu, H., Xie, F., Yu, L., Chen, L., & Li, L. (2009). El proceso térmico de los polímeros a base de almidón. *Avances en la Ciencia de los Polímeros*, 34 (12), 1348-1368.
- Liu, X., Yu, L., Liu, H., Chen, L., & Li, L. (2008). En la descomposición termal situ de almidón con humedad constante en un sistema sellado. *La degradación del polímero y de estabilidad*, 93 (1), 260-262.
- Loesecke, H. V. (1950). *Plátanos*. NewYork: Interscience.
- Longares, A., Monahan, F. J., O'Riordan, E. D., & O'Sullivan, M. (2004). Las propiedades físicas y la evaluación sensorial de las películas de WPI de espesor variable. *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 37 (5), 545-550.
- MacFarlane, D. S., MacFarlane, D. K., & Billmeyer, F. W. (1936). Método e instrumento para la selección de colores compatibles personales. La patente de Estados Unidos 5313267. (Hastings-on-Hudson, Nueva York), (Hastings-on-Hudson, Nueva York), (Schenectady, Nueva York). <Http: // www.freepatentsonline.com/5313267.html>. Accessed 05/20/16.
- Majzoobi, M., & Beparva, P. (2014). Efectos del ácido acético y ácido láctico en las características físico-químicas de los almidones de trigo nativo y reticuladas. *Food Chemistry*, 147, 312-317.
- Manzocco, L., Nicoli, M. C., & Labuza, T. (2003). Estudio de envejecimiento del pan mediante análisis de difracción de rayos X. *Italiano Tecnología de los Alimentos*, 12, 17-23.

- Marier, J. R., & Boulet, M. (1958). La determinación directa de ácido cítrico en la leche con un método de anhídrido acético piridina-mejorado. *Journal of Dairy Science*, 41 (12), 1683-1692.
- Marpudi, S. L., Abirami, L. S. S., Pushkala, R., & Srividya, N. (2011). Mejora del período de conservación y mantenimiento de la calidad de los frutos de papaya mediante recubrimiento antimicrobiano a base de Aloe vera. *Indian Journal of Biotechnology*, 10 (1), 83-89.
- Marques, P. T., Lima, A. M. F., Bianco, G., Laurindo, J. B., Borsali, R., Le Meins, J. F., & Soldi, V. (2006). Las propiedades térmicas y la estabilidad de las películas de almidón de yuca reticulado con diacrilato de tetraetilenglicol. La degradación del polímero y de estabilidad, 91 (4), 726-732.
- Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Poscosecha calidad de cerezas dulces y mantenimiento de seguridad mediante el tratamiento de aloe vera: Un nuevo recubrimiento comestible. *Biología y Tecnología de Postcosecha*, 39, 93-100.
- Mei, J. P., Zhou, D. N., Jin, Z. Y., Xu, X. M., & Chen, H. P. (2015). Efectos de la esterificación del ácido cítrico sobre las propiedades de la digestibilidad, estructurales y fisicoquímicas del almidón de yuca. *Food Chemistry*, 187, 378-384.
- Melo, E.A., Lima, V.L.A.G. (2006) Poliphenols, ascorbic acid and total carotenoid contents in common fruits and vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology*, 9(2), 89-94.
- Mestres, C., MATENCIO, F., Pons, B., Yajid, M., & Fliedel, G. (1996). Un método rápido para la determinación del contenido de amilosa mediante calorimetría de exploración diferencial. *El almidón-Stärke*, 48 (1), 2-6.

- Moore, E. D., & MacAnalley, B. H. (1995). Una bebida que contiene polisacáridos mucilaginosos y su preparación. Patente de los Estados Unidos, 5, 443, 830.
- OMS (1999). Monografías sobre plantas medicinales seleccionadas (Pág. 1). Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Internacional de Normalización. Norma ISO 527-2, Determination of tensile properties of plastics. (2012) In: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:56046>
- Organización Internacional de Normalización. Norma ISO 8589: 2007. (2007). Orientación Análisis sensorial General para el diseño de la prueba Rooms. ISO.
- Organización Mundial de la Salud. Portal de Información-Medicamentos Esenciales y Productos de Salud Un recurso de la Organización Mundial de la Salud. Enlace: <http://www.who.int/medicinedocs/es/d/Js2200e/6.html>
- Ou, S., Kwok, K. C., & Kang, Y. (2004). Los cambios en la digestibilidad in vitro y la lisina disponible de proteína de soya aislar después de la formación de películas. Journal of Food Engineering, 64, 301-305.
- Pacheco, E. (2001). Evaluacion Nutricional de sopas Deshidratadas una base de harina de plátano verde. Digestibilidad in vitro de almidón. Acta Científica Venezolana, 52 (4), 278-282.
- Patel, P., Hull, T. R., McCabe, R. W., Flath, D., Grasmeder, J., & Percy, M. (2010). Mecanismo de descomposición térmica del poli (éter-éter-cetona) (PEEK) a partir de una revisión de estudios de descomposición. La degradación del polímero y de estabilidad, 95 (5), 709-718.
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral do Amaral, P. J., & Menegalli, F. C. (2013). Estudio comparativo sobre las propiedades de

- las películas de harina y almidón de plátano de plátano (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids*, 30 (2), 681-690.
- Pereira, R., Carvalho, A., Vaz, D. C., Gil, M. H., Mendes, A., & Bártolo, P. (2013). Desarrollo de nuevas películas de hidrogel a base de alginato para aplicaciones de curación de heridas. *Revista Internacional de macromoléculas biológicas*, 52, 221-230.
- Pereira, R., Tojeira, A., Vaz, D. C., Mendes, A., & Bártolo, P. (2011). Preparación y caracterización de películas basadas en alginato y aloe vera. *Revista Internacional de Análisis de Polímeros y caracterización*, 16 (7), 449-464.
- Pérez, E., Segovia, X., Tapia, M. A., & Schroeder, M. (2012). Nativo y reticulado *Dioscorea trifida* modificado (Cus-Cus ñame) almidones como los bio-matrices para películas comestibles. *Diario de plástico celular*, 48 (6), 545-556.
- Piermaria, J., Diosma, G., Aquino, C., Garrote, G., & Abraham, A. (2015). Películas comestibles como vehículo para los microorganismos probióticos. *Innovative Food Ciencia y Tecnologías Emergentes*, doi: 10.1016 / j.ifset.2015.09.009.
- Reddy, N., & Yang, Y. (2010). El ácido cítrico reticulación de películas de almidón. *Food Chemistry*, 118 (3), 702-711.
- Reynolds, T., & Dweck, A. C. (1999). El gel de aloe vera de la hoja: Una actualización de la revisión. *Diario de Etnofarmacología*, 68 (1), 3-37.
- Robson, M. C., Heggors, J. P., & Hagstrom Jr, W. J. (1982). Myth, magic, witchcraft, or fact? aloe vera revisited. *Journal of Burn Care & Research*, 3(3), 154-163.
- Rolland-Sabaté, A., Amani, G., Dufour, D., Guilois, S., & Colonna, P. (2003). macromoleculares características de ñame diez (*Dioscorea spp*)

- almidones. *Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura*, 83 (9), 927-936.
- Romero-Bastida, A. C., Bello-Pereza, L. A., García, M. A., Martino, M. N., Solorza-Feriaa, J., & Zaritzkyb, N. E. (2005). Caracterización físico-química y microestructural de las películas preparadas por gelatinización térmica y frío a partir de fuentes no convencionales de almidones. *Carbohydrate Polymers*, 60, 235-244.
- Ruiz, G. (2006). Obtencion y Caracterización de las Naciones Unidas Polímero biodegradable A partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 2 (4), 5-28.
- Rutenberg, M. W., & Solarek, D. (1984). derivados de almidón: Propiedades y usos. En R. L. Whistler, J. N. Bemiller, y E. F. Pachall (Eds.), *Starch: Chemistry & Technology* (2ª ed, pp 312-388..). Orlando, FL: Academic Press Inc.
- Saavedra, N., & Algecira, N. A. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Nova*, 8(14).
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2015). Efecto del tipo de plastificante y la concentración de las propiedades de tracción, térmicas y de barrera de películas biodegradables a base de azúcar de palma (*Arenga pinnata*) El almidón. *Polymers*, 7 (6), 1106-1124.
- Sarmiento, J (2009). Proceso de extracción y concentración del mucilago de sábila. [Online]. Consultado Noviembre 29, 2016, en <http://higuerilla.lacoctelera.net/post/2006/07/31/proceso-extraccion-y-concentracion-del-mucilago-sabila>

- Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. (1993). El almidón resistente en alimentos: método de modificación de los residuos de fibra dietética. *Journal of Food Science*, 58 (3), 642-643.
- Serrano, M., Castillo, S., Valverde, J., Martiánez-Romero, D., Guilleán, F., & Valero, D. (2006). El uso del recubrimiento de gel de Aloe vera conserva las propiedades funcionales de la uva de mesa. *Diario Agricultural and Food Chemistry*, 54, 3882 a 3.886.
- Sharraf, M., & Verma, S. K. (2011). Aloe vera su composición sustancias químicas y aplicaciones: Una revisión. *Revista Internacional de Investigación Biológica y Médica*, 2 (1), 466-471.
- Shi, R., Zhang, Z., Liu, Q., Han, Y., Zhang, L., Chen, D., & Tian, W. (2007). Caracterización de almidón termoplástico plastificado co-ácido cítrico / glicerol preparado por mezcla en estado fundido. *Polímeros de carbohidratos*, 69 (4), 748-755.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Análisis de fenoles totales y otros sustratos de oxidación y antioxidantes por medio de reactivo de Folin-Ciocalteu. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Sívoli, L., Pérez, E., Rodríguez, P., De Abrisqueta, A., & Raymúndez, M. B. (2005). Cambios en la Estructura granular Durante el Proceso de Modificación química (fosfatado-acetilado) del almidón de yuca analizados por microscopía óptica y electrónica. *Acta microscópica*, 14 (1-2), 5-9.
- Sothornvit, R., y Krochta, J. M. (2000). efecto plastificante sobre la permeabilidad al oxígeno de las películas β -lactoglobulina. *Diario de Ingeniería de Alimentos*, 50, 149-155.
- Soukoulis, C., Singh, P., MacNaughtan, W., Parmenter, C., & Fisk, I. D. (2016). factores de composición y físico-químicas que regulan la viabilidad de

- Lactobacillus rhamnosus GG incrustado en películas comestibles a base de almidón-proteína. Alimentación Los hidrocoloides, 52, 876-887.
- Tonnesen, H. H., J, Karlsen. (2002). Alginate in drug delivery systems. Drug Dev. Ind. Pharm. 28: 621–630. En: Pereira, R., Tojeira, A., Vaz, Daniela., Mendes, A., Bartolo, P. (2011). Preparation and Characterization of Films Based on Alginate and Aloe Vera. Rev: International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 6:449-464.
- Tovar, J., Melito, C., Herrera, E., Laurentín, A., & Pérez, E. (1999). Modificación de almidón desde un punto de vista nutricional. Agro-Food Industry Hi-Tech, 10 (2), 27-30.
- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2005). recubrimiento novela basada en gel de aloe vera para mantener la calidad de la uva de mesa y la seguridad. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, desde 7807 hasta 7813.
- Van Soest, P. U., & Vino, R. H. (1967). Uso de detergentes en el análisis de alimentos fibrosos. IV. Determinación de los componentes de la pared celular de las plantas. Diario Oficial de la Asociación de Química Analítica, 50 (1), 50-55.
- Wilhelm, H. M., Sierakowski, M. R., Souza, G. P., & Wypych, F. (2003). Películas de almidón reforzados con arcilla mineral. Polímeros de carbohidratos, 52 (2), 101-110.
- Wilpiszewska, K., Antosik, A. K., y Szychaj, T. (2015). Novel carboximetil almidón hidrófilo / películas de nanocompuestos de montmorillonita. Carbohydrate Polymers, 128, 82-89.
- Xiao, X. B., Guo, J. M., Liu, D. H., & Zhang, S. (2007). Aloe-emodina induce in vitro G2 / Marrest y la activación de la fosfatasa alcalina en células KB cáncer orales humanos. Oral Oncología, 43, 905-910.

- Xu, F. G., Liu, Y., Zhang, Z. J., Song, R., Dong, H. J., & Tian, Y. (2008). la cuantificación rápida y simultánea de los cinco componentes activos en plasma de rata de alto rendimiento de cromatografía líquida / espectrometría de masas después de la administración oral de Da-Cheng Qi-decocción. *Journal of Pharmaceutical y Análisis biomédico*, 47, 586-595.
- Yoo, S. H., & Jane, J. L. (2002). Los pesos moleculares y radios de giro de amilopectinas determinados por cromatografía sizeexclusion de alto rendimiento equipado con multi-ángulo de dispersión luz láser y detectores de índice de refracción. *Polímeros de carbohidratos*, 49 (3), 307-314.
- Yu, Z., Jin, C., Xin, M., & Jianmin, H. (2009). Efecto de Aloe vera polisacáridos sobre la inmunidad y las actividades antioxidantes en modelos animales de úlceras orales. *Carbohydrate Polymers*, 75 (2), 307- 311.
- Zamora-Gasga, V. M., Bello-Pérez, L. A., Ortiz-Basurto, R. I., Tovar, J., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2014). Barritas de cereales preparados con ingredientes Agave tequilana: composición química y en la hidrólisis del almidón in vitro. *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 56 (2), 309-314.
- Zobel, H. F. (1994). estructura de gránulo de almidón. En R. J. Alexander & H. F. Zobel (Eds.), *La evolución de la química de carbohidratos* (pp. 1-36). St. Paul, MN: La Asociación Americana de Químicos de Cereales.
- Zobel, H. F., francés, A. D., & Hinkle, M. E. (1967). Difracción de rayos X de fibras orientadas de amilosa. II. Estructura de amilosas V. *Biopolímeros*, 5, 837-845.