



Universidad Autónoma de Sinaloa
Facultad de Ciencias Químico Biológicas
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**“Efecto de los recubrimientos comestibles
elaborados a partir de almidones extrudidos sobre
las propiedades fisicoquímicas, microestructurales y
enzimáticas de la pared celular de papaya (*Carica
papaya* L.) mínimamente procesada”**

TESIS

Que presenta

IBQ. Marco Antonio Sánchez Chilero

Para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIA

Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Director de tesis:

Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos

Culiacán, Sinaloa, México

Abril de 2018

El presente trabajo de investigación titulado “Efecto de los recubrimientos comestibles elaborados a partir de almidones extrudidos sobre las propiedades fisicoquímicas, microestructurales y enzimáticas de la pared celular de papaya (*Carica papaya* L.) mínimamente procesada” se realizó en el laboratorio de Caracterización Fisicoquímica y Reológica, y Análisis Nutracéuticos de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, bajo la dirección del Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos, a su vez, conto con la asesoría de Dr. Misael Odín Vega García, Dra. Irma Leticia Camacho Hernández y MC. Perla Rosa Fitch Vargas. Marco Antonio Sánchez Chilero recibió apoyo del CONACYT.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán de Rosales el día 12 del mes abril del año 2018, el (la) que suscribe I.B.Q. Marco Antonio Sánchez Chilero alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos con número de cuenta 0703381-8, de la Unidad Académica Facultad de Ciencias Químico Biológicas, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos y cede los derechos del trabajo titulado “Efecto de los recubrimientos comestibles elaborados a partir de almidones extrudidos sobre las propiedades fisicoquímicas, microestructurales y enzimáticas de la pared celular de papaya (*Carica papaya* L.) mínimamente procesada”, a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I.B.Q. Marco Antonio Sánchez Chilero

Firma manuscrita en tinta negra que dice "Marco A. Sánchez Chilero".

Firma

AGREDECIMIENTOS

A Dios, señor de toda la sabiduría del mundo, porque siempre está en los momentos que lo he requerido, a mi integridad como ser humano, espíritu y alma. El impulso de realizar mas logros y quizá hoy uno de los más que me tiene encomendado la vida.

A mi madre **Sebastiana Chilero** que sigue siendo un ejemplo de vida para mí, su paciencia, sus consejos, amor incondicional, alimentación. Gracias por todo hermosa madre, te amo. A mi padre **Juan Sánchez** que siempre ha tratado de darme lo mejor, por nunca soltarme de las manos en situaciones complicadas, te amo.

A mis hermanos **IE. Paúl, Eduardo y Diego**, que estimo, unas grades personas que me han enseñado, acompañado, sus consejos, diversión, paciencia, peleas, ustedes que sin duda alguna son mi motivación más grande y en especial a mi hermano **Hernán** que aunque ya no este con nosotros en vida, sé muy bien que desde el cielo nos brinda su apoyo incondicional a mí y cada uno de mis hermanos, este logro es por ustedes, los amo gordos.

A mi tío **Sergio** y tía **Estela**. Así mismo a mis primos **Jesús, Kevín y Pablo**, por su ayuda, comprensión y amor, a lo largo de este proyecto.

A la LN. en proceso, **Abigaíl Sánchez**, por su apoyo incodicional, aguantar mi estrés, escucharme, su paciencia y por convertirte en alguien especial en mi vida.

Al programa de la **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos** de la Universidad Autónoma de Sinaloa por haberme aceptado y así contribuir con el fortalecimiento de mi desarrollo personal.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por la beca y el financiamiento otorgados para llevar a cabo el presente trabajo.

Al instituto de investigación de **Centro de Desarrollo y Productos Bióticos (CeProBi)** de Yautepec de Zaragoza, Morelos, por brindarme la oportunidad de elaborar una estancia para culminar los trabajos de investigación de este proyecto.

A los maestros del programa de la **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos** por las enseñanzas que me brindaron.

A mi director de tesis, el **Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos**, por su dirección tan concreta, enseñanzas, confianza, paciencia, entre muchas otras cosas, me faltarían palabras para describir todo el agradecimiento que tengo hacia él, por que además de ser mi mentor ha sido un gran amigo.

A la **Dra. Irma Leticia Camacho Hernández**, por su apoyo, comprensión, consejos, pero sobre todo gracias a su amistad durante todo este tiempo. Al **Dr. Misael Odín Vega García** por su amistad, consejos, enseñanzas y sobre todo por apoyarme en la parte experimental de este proyecto en las instalaciones del laboratorio de poscosecha.

Al **Dr. José de Jesús de Zazueta Morales**, por brindarme siempre su apoyo en todos los aspectos y por su confianza, además de seguirme otorgando la oportunidad de pertenecer al equipo de trabajo, también agradezco enormemente al **Dr. Carlos Iván Delgado Nieblas**, **Dra. Noelia Jacobo Valenzuela**, **Dr. Armando Carrillo López** y **MC. Víctor Limón Valenzuela**, por sus consejos y amistad.

A mis amigos de laboratorio: **IIA. Ana Patricia León Leyva**, **MC. Abraham Calderón Castro**, **IIA. Santos Arturo Figueroa Pérez**, **IIA. Samuel Arturo Delgado Murillo**, **MC. Jesús Ahumada Aguilar**, **MC. Luis Alejandro Felix Salazar**, por su

valiosa amistad, palabras de aliento, convivios y un sinfín de cosas. En especial a la **MC. Perla Rosa Fitch Vargas, MC. Xóchitl Ariadna Ruíz Armenta, MC. Christian Valenzuela Berrelleza**, por estar siempre dispuestos a ayudar y a guiarme a lo largo de toda mi maestría; por brindarme su amistad y demostrar siempre confianza e interés. Gracias por siempre escuchar y aconsejarme tanto en temas de laboratorio como en lo personal, y sobre todo muchas gracias por el cariño que me tienen.

A mis ayudantes estrellas **Luis Fernando Pérez Vega, Karen Itzel Carillo y Paola Crisabel Reyes Urrea Cañedo**, gracias por su amistad y compañía en esta etapa de mi vida, así cómo también a **Sarahi Agramón Velázquez**.

A los integrantes del laboratorio de Fisiología y Poscosecha: **Dra. Martha Edith López López y Dra. Lidia Ayón Reyna**, por su asesorías, pláticas y sobre todo por brindarme la confianza de trabajar en sus instalaciones.

A mis compañeros de generación de maestría; **LN. Malenny Rivas Medina, LN. Fernanda Sánchez Osuna, LN. Blanca López Zazueta, LN. Melissa de Jesús Vega Burgueño, LN. Denisse Díaz Corona e IBQ. Dennise Chairez Vega**, gracias por su apoyo, amistad y grandes experiencias vividas.

A todas las personas que directa e indirectamente contribuyeron a la realización de este proyecto, y contribuyeron con mi formación personal y profesional, muchas gracias.

Dedicatoria

***A Dios y mi Familia, en especial a una persona que amo con todo mí
ser, mi hermano Juan Hernán Sánchez Chilero †.***

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
I. RESUMEN	1
ABSTRACT.....	3
II. INTRODUCCIÓN	5
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
A. RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	7
1. Historia	7
2. Importancia y funciones	9
3. Materiales utilizados para la formación de recubrimientos.....	11
a. Proteínas.....	11
1) Gelatina	13
b. Lípidos	15
c. Polisacáridos.....	15
1) Celulosa y derivados	16
2) Quitosano	16
c) Alginato.....	17
d) Almidón.....	18
1) Mecanismos de formación de recubrimientos de almidón.....	22
a) Casting.....	22
b) Extrusión	22
B. PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS (PMP)	27
1. Antecedentes y definición	27
2. Ventajas de productos mínimamente procesados.....	30
3. Proceso de preparación de los PMP	31
a. Cambios bioquímicos.....	36
1) Respiración.....	36

b.	Cambios fisicoquímicos de calidad	36
1)	pH y acidez titulable.....	37
2)	Sólidos solubles totales	37
3)	Pérdida de peso.....	38
4)	Color	39
5)	Aroma y sabor	39
c.	Cambios inducidos enzimáticamente	40
1)	Firmeza.....	40
a)	Pared celular de los frutos.....	41
b)	Enzimas involucradas en la pared celular	42
1.1.	Pectinmetilesterasa (PME).....	42
1.2.	Poligalacturonasa (PG)	45
d.	Cambios microestructurales.....	46
1)	Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA)	48
C.	PAPAYA (<i>Carica Papaya</i> L.).....	48
1.	Origen	50
2.	Taxonomía y morfología.....	50
3.	Variedades	51
a.	Maradol	53
4.	Composición química y aspecto nutricionales.....	53
5.	Maduración y senescencia.....	56
6.	Producción mundial y nacional de la papaya	59
a.	Importancia en el estado de Sinaloa.....	59
7.	Formas de consumo y uso	61
IV.	JUSTIFICACIÓN	62
V.	HIPÓTESIS.....	63
VI.	OBJETIVOS	64
A.	OJETIVO GENERAL	64
B.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	64
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	65
A.	MATERIALES	65
B.	METODOLOGÍA	65

1. Formulación de los recubrimientos comestibles	65
a. Recubrimiento comestible de almidón-plastificantes.....	65
b. Recubrimiento comestible de almidón-gelatina-plastificantes.....	67
c. Recubrimiento comestible de alginato	67
2. Aplicación de recubrimientos comestibles en papaya mínimamente procesada	68
3. Análisis fisicoquímicos de calidad	69
a. Color	69
b. Pérdida de peso	69
c. Sólidos solubles totales.....	72
d. pH	72
e. Acidez titulable	72
f. Firmeza	73
4. Cambios bioquímicos	73
a. Análisis de gases	73
1) Composición de gases (O ₂ y CO ₂) dentro del envase	73
b. Análisis enzimático.....	74
1) Extracción enzimática	74
2) Evaluación de la actividad de PME.....	74
3) Evaluación de la actividad de PG	75
5. Cambios microestructurales	76
a. Análisis microestructura de la pared celular.....	76
6. Análisis estadístico.....	76
VIII.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
A. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE CALIDAD	78
1. Color.....	78
a. Parámetro de color L*	78
b. Valor b*	82
2. Pérdida de peso	86
3. Sólidos solubles totales.....	89
4. pH.....	93
5. Acidez titulable (AT)	95
6. Firmeza	98

B. CAMBIOS BIOQUÍMICOS	103
1. Análisis de gases	103
a. Composición de gases (O ₂ y CO ₂) dentro del empaque	103
2. Cambios enzimáticos	109
a. Pectinmetilesterasa (PME).....	110
b. Poligalacturonasa (PG)	114
C. CAMBIOS MICROESTRUCTURALES	118
1. Análisis microestructural	118
a. Microscopio Electronico de Barrido Ambiental (MEBA)	118
IX. CONCLUSIONES	126
X. BIBLIOGRAFÍA	128
XI. APÉNDICE	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	Descripción	Pág.
1	Función selectiva y activa de recubrimientos comestibles	10
2	Componentes básicos del almidón; amilosa y amilopectina	19
3	Representación esquemática del almidón procesado por extrusión	25
4	Diagrama de flujo del procesado de productos vegetales cortados	33
5	Modelo aceptado de la pared celular	43
6	Principales enzimas que actúan sobre el homogalacturonano. Algunos residuos de ácido galacturónico (AG) se encuentran metilestirificados	47
7	Representación esquemática del detector de electrones y el papel del gas en la formación de imágenes en MEBA	49
8	Planta y Fruto de Papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	52
9	Aspecto visual de la representación de papaya Maradol para cada estado de madurez	59
10	Extrusor de doble tornillo Shandong Light M&E LT32L	66

11	Diagrama de flujo del desarrollo del experimento	70
12	Diagrama que ilustra el desarrollo del experimento	71
13	Cambios en el parámetro L* de la escala del color CIE durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	79
14	Cambios en el parámetro b* de la escala de color CIE durante el almacenamiento a 5°C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	83
15	Apariencia de las rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato durante su almacenamiento por 10 días a 5 °C	85
16	Porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	87
17	Sólidos solubles totales (°Brix) durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	90
18	Cambios en el pH durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	94
19	Cambios en la acidez titulable (AT) (% ácido cítrico) durante el almacenamiento a 5°C de rebanadas de papaya “Maradol”	96

mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.

20	Pérdida de firmeza durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	99
21	Cambios en % de concentración de CO ₂ en las charolas cerradas herméticamente almacenadas a 5 °C con papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	105
22	Cambios en el % de concentración de O ₂ en las charolas cerradas herméticamente almacenadas a 5 °C con papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	107
23	Actividad de pectinmetilesterasa (PME) durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	111
24	Actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato.	115
25	Microfotografías electrónicas de barrido ambiental en tejidos de papaya sin recubrir en posición longitudinal y transversal, durante los días de evaluación 0, 6, 10	120
26	Microfotografías electrónicas de barrido ambiental en tejidos de papaya en posición longitudinal recubiertos con AP (A), AG (B) y	122

ALG (C) en los días de evaluación 0, 6 y 10

- 27** Microfotografías electrónicas de barrido ambiental en tejidos de papaya en posición transversal recubiertos con AP (A), AG (B) y ALG (C) en los días de evaluación 0, 6 y 10 124

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
1	Usos Posibles de Películas Comestibles y Recubrimientos	12
2	Composición en fresco del fruto de papaya (100 g)	55
3	Características de los índices de madurez del fruto de papaya Maradol	57
4	Producción mundial de papaya	60

I. RESUMEN

El estilo de vida actual, ha provocado la demanda de productos vegetales naturales, frescos, saludables y listos para consumirse, como los productos mínimamente procesados (PMP). Los PMP son definidos como cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco. La papaya (*Carica papaya* L.) en esta presentación, durante el pelado y troceado, sufre alteraciones fisiológicas, principalmente un incremento en la tasa de respiración, exudación de agua y liberación de enzimas que se ven involucrados en el ablandamiento de la pared celular; por lo que se buscan nuevas alternativas para mejorar la calidad y prolongar su vida anaquel. Entre estas alternativas se encuentran la aplicación de recubrimientos comestibles (RC), que ayudan a generar una barrera contra el intercambio de gases. Estudios previos han demostrado que la elaboración de RC a partir de almidón de maíz mediante la tecnología de extrusión promueve una modificación estructural del gránulo de almidón generando un biopolímero resistente y flexible. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de los recubrimientos comestibles elaborados a partir de almidones de maíz extrudidos, sobre los cambios físicoquímicos, microestructurales y enzimáticos de pared celular en papaya (*Carica papaya* L.) mínimamente procesada. La primera etapa del proyecto consistió en la elaboración de los recubrimientos por extrusión seguida por la técnica conveccional “casting”, primero se llevo a cabo a partir de una mezcla de almidón de maíz-plastificantes (AP) y el segundo recubrimiento a partir de almidón de maíz-gelatina-plastificantes (AG). También se utilizó un recubrimiento comercial, alginato (ALG) y

como Control se utilizó rebanadas de papaya sin recubrir. Estos fueron aplicados, sobre rebanadas de papaya y se almacenaron a 5 °C, las evaluaciones fueron realizadas los días 0, 2, 4, 6, 8 y 10 para todas las pruebas a excepción del análisis microestructural que se realizó los días 0, 6 y 10. Se evaluaron parámetros de calidad (color, pérdida de peso (PP), sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), firmeza), acumulación de gases CO₂ y O₂, análisis enzimáticos (pectinmetilesterasa (PME), poligalacturonasa (PG)) y microestructural (Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental (MEBA)). En producción de CO₂, el Control presentó el mayor valor el día 4 y respecto al O₂ todos los valores de los tratamientos cayeron hasta 18.5 % al final de la evaluación, sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre estos. Las respuestas de color L* y b*, no lograron repercutir en la apariencia del fruto para el consumidor. El %PP, pH y SST, no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos al inicio y final de la evaluación. En AT los tratamientos Control y AG, presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con los demás tratamientos. Todos los tratamientos presentaron pérdida de firmeza, siendo AP y ALG los que lograron retener la mayor firmeza durante el almacenamiento. Respecto a las enzimas el incremento fue evidente para PME y PG, donde el valor máximo registrado para ambas enzimas fue para el tratamiento Control, siendo estadísticamente diferente con AP y ALG, a través de toda la evaluación. Los estudios microestructurales lograron verificar la adherencia de los RC sobre la superficie del fruto y el cierre de los espacios intracelulares de la pared celular. Los resultados obtenidos indican que se pueden utilizar RC elaborados a partir de almidones extrudidos en papaya mínimamente procesada, siendo AP la mejor opción para ayudar a prolongar la vida de anaquel y preservar la calidad del producto.

ABSTRACT

The current lifestyle, has caused the demand for natural, fresh, healthy and ready-to-eat vegetable products, such as minimally processed products (MPP). The MPP are defined as any fruit or vegetable that has been physically altered from its original form, but maintains its freshness. The papaya (*Carica papaya* L.) in this presentation, during the peeled and cut, suffers physiological alterations, mainly an increase in the respiration rate water exudation and enzyme release seems to be involved in the softening of the cell wall; so new alternatives are sought to improve the quality and prolong shelf life. Among these alternatives are the application of edible coatings (EC), that helps to generate a barrier against the exchange of gases. Previous studies have shown that the elaboration of EC from corn starch by means of extrusion technology promotes a structural modification of the starch granule generating a resistant and flexible biopolymer. Therefore the objective of the present work was to evaluate the effect of the application of the edible coatings elaborated from extruded corn starches, on the physicochemical, enzymatic and microstructural changes in minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). The first stage of the project consisted in the elaboration of the coatings by extrusion and casting, the first formulated from a mixture of corn starch-plasticizers (SP) and the second from a mixture of corn starch-gelatin-plasticizers (SG). A commercial coating, alginate (ALG) was also used and uncoated papaya slices were used as Control. These were applied, on slices of papaya and stored at 5 ° C, the evaluations were carried out on days 0, 2, 4, 6, 8 and 10 for all the tests except for the microstructural analysis that was carried out on days 0, 6 and 10. Quality parameters were evaluated (color, total

soluble solids (TSS), pH, titratable acidity (TA), and firmness), accumulation of gases, enzyme analysis (pectin methyl esterase (PME), polygalacturonase (PG)) and microstructural (Environmental Scanning Electron Microscopy (ESEM)). In CO₂ production, the Control presented the highest value on day 4 and with respect to the O₂ all the values of the treatments fell until 18.5% at the end of the evaluation without presenting significant difference ($p \geq 0.05$) between these. The color replies b^* and L^* , they failed to affect the appearance of the fruit for the consumer. The % PP, pH and TSS, they did not present significant difference ($p \geq 0.05$) between treatments at the beginning and end of the evaluation. In AT Control and SG treatments, presented a significant difference ($p \leq 0.05$) with the other treatments. All treatments showed loss of firmness, being SP and ALG those that managed to retain the greatest firmness during storage. Regarding enzymes, the increase was evident for PME and PG, where the maximum value recorded for both enzymes was for the Control treatment, being statistically different with SP and ALG, through the entire evaluation. The microstructural studies were able to verify the adherence of the EC on the surface of the fruit and the closing of intracellular spaces of the cell wall. The results obtained indicate that extruded starches EC can be used in minimally processed papaya, being SP the best option to help prolong shelf life and preserve product quality.

II. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria percibe que los consumidores exigen lo conveniente en productos mínimamente procesados, siendo más saludables, sin conservantes sintéticos, que mantengan la calidad (sabor, color, aspectos nutricionales, firmeza y mayor vida de anaquel) de los productos frescos. El verdadero desafío se centra en poder mantener las características de estos productos que se deterioran más rápidos que un fruto pretratado, teniendo un margen de vida de anaquel de 4-7 días (Tzortzakis y col 2007; Ayala-Zavala y col 2008).

Las tecnologías para conservar la calidad de los frutos, demanda la seguridad, estabilidad de los alimentos y también la conciencia de impacto negativo al medio ambiente, principalmente los residuos no biodegradables y por tal motivo existe un interés en los recubrimientos comestibles. La tecnología de extrusión consiste en un proceso termofísico que logra modificar la estructura del almidón, confiriendo una mejor red polimerica mediante el uso de aditivos (glicerol y sorbitol y gelatina), generando un almidón termoplástico y menos hidrofílico, apto para la elaboración de RC (Fitch-Vargas 2014; Valenzuela-Navarro 2016). Un recubrimiento comestible es un tipo de material delgado que se usa para el envolvimiento en los distintos alimentos para extender la vida útil del producto que se desea consumir, proporcionando una cubierta protectora que sirve como barrera a la humedad, intercambio de gases (O_2 y CO_2) y compuestos aromáticos (Gulzar y col 2015; Vargas y col 2012) que a su vez genera una atmósfera modificada que retrasa los procesos metabólicos.

Los recubrimientos elaborados a partir de almidones son biodegradables, transparentes o traslucidos, insípidos, baratos, con buenas propiedades mecánicas y

relativamente fácil de manejar (Xu y col 2005; Shamekh y col 2002; Bierhals y col 2011). Para poder emplear los recubrimientos sobre un alimento se deben cumplir los siguientes requisitos: buenas propiedades sensoriales, compatibles con la naturaleza del alimento, solubilidad y dispersabilidad en su preparación y posterior consumo, propiedades mecánicas y protectoras, buena adhesión a la superficie del alimento y no toxicidad (Pérez de los Bueis 2012).

La papaya (*Carica papaya* L.) es una de las frutas tropicales más apetecidas por los consumidores debidos a que se le atribuyen buenas propiedades nutricionales, digestivas y medicinales; además, posee un agradable aroma, sabor y textura (Barrera y col 2012). Además se ha reportado un gran contenido de compuestos bioactivos en este fruto entre los que destacan los fenoles y caratenoides (Ayón y col 2015). Sin embargo, es un fruto climatérico, cuya maduración ocurre rápidamente poco después de la cosecha, lo cual lo vuelve muy perecedero. Se han declarado que las pérdidas poscosecha de la papaya pueden alcanzar el 30 % (Rivera-López y col 2005). La papaya se consume principalmente como fruta fresca, además se usa para preparar jugos, mermeladas, fruta en almíbar o cristalizada (Castro y col 2011).

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles elaborados a partir de amidonres extrudidos sobre los cambios de calidad, enzimáticos de pared celular y microestructurales de papaya variedad “Maradol” (*Carica papaya* L.) mínimamente procesada.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Los recubrimientos comestibles han sido objeto de investigación durante las últimas dos décadas con el fin de mejorar las propiedades sensoriales de los alimentos, incrementar la vida de anaquel y reducir el uso de materiales de embalajes no degradables, además el consumidor es más conciente en la importancia de consumir alimentos naturales que se ven reflejados en su salud (Galiotta y col 2005; Vargas y col 2012). Un recubrimiento comestible es una capa delgada de material comestible aplicado directamente sobre el alimento, formando un revestimiento sobre los componentes del mismo, jugando un papel importante en su conservación, la cuál puede ser consumida con seguridad, controlar la pérdida de sabores y aromas, mejorar las propiedades mecánicas y proveer una barrera a la humedad, gases y movimiento de solutos (Fakhouri y col 2015; Bourtoom 2008).

La principal diferencia entre término película comestible y recubrimiento comestible es que el primero es una estructura independiente y el segundo es aplicado directamente sobre el alimento en forma líquida, usualmente por inmersión, aspersión y frotación, estos son formados mediante una solución de matrices estructurales (carbohidratos, proteínas, lípidos o multicomponentes) (Krochta y De Mulder 1997; MCHugh 2000).

1. Historia

Los recubrimientos comestibles se han empleado durante siglos principalmente para prevenir la pérdida de humedad y mantener la calidad y textura de los alimentos durante su almacenamiento (Jooyandeh 2011). Existen informes que datan de los

siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión de naranjas y limas en cera para retardar la pérdida de agua (Kaplan 1986; Greener y Fennema 1994). En Europa este proceso era conocido como “larding”, el cual consistía en el almacenamiento de frutas con ceras o grasas para su posterior consumo. Este proceso prevenía la pérdida de agua, pero el grosor de la envoltura interfería en el intercambio gaseoso natural, lo que producía productos de menor calidad (Contreras y Labuza 1981). Posteriormente en el siglo XV, una película comestible proteínica denominada “yuba”, elaborada a partir de leche de soya hervida, se utilizó en Japón y otras regiones de Asia para mejorar la apariencia y mantener la calidad de algunos alimentos (Gennadios y col 1993). En el siglo XIX, la sacarosa comenzó a utilizarse como una capa protectora en nueces, almendras y avellanas para prevenir la oxidación y rancidez durante el almacenamiento (Contreras y Labuza 1981); además se emplearon películas a base de gelatina para la preservación de carnes y otros alimentos (Nussinovitch y Lurie 1995). Pero quizá la aplicación más importante se produciría en el siglo XX, con el desarrollo de emulsiones de ceras y aceite en agua utilizadas en frutas para optimizar su apariencia, ser vehículo de fungicidas y para controlar su maduración y retrasar la pérdida de agua (Kester y Fennemma 1986). Existe un gran número de compuestos comúnmente utilizados para la elaboración de recubrimientos comestibles de polisacáridos incluyendo almidón, quitosano, celulosa, alginato, carragenano, gelatina, zeína, carnauba, cera de abeja y ácidos grasos (Fakhouri y col 2015). A lo largo de los últimos 40 años, se han realizado un gran número de investigaciones en la formulación, aplicación, y caracterización de películas y recubrimientos comestibles (Debeaufort y col 1998).

2. Importancia y funciones

Los recubrimientos en frutas y hortalizas funcionan como barreras selectivas para la transferencia de gases, humedad y nutrientes; son utilizadas porque ayudan a disminuir el deterioro de productos alimenticios causado por factores ambientales. De igual manera, se buscan que eviten o disminuyan la oxidación y pérdida de compuestos volátiles responsables de sabores y propiedades específicas de los alimentos (**Figura 1**) (Domínguez-Courtney y Jiménez-Munguía 2012). Se han establecido ciertas características deseables en un recubrimiento como son: no estar compuesto de tóxicos o alérgenos; proveer al alimento de estabilidad estructural y prevenir de daños mecánicos durante su transporte, manipulación y distribución; de cobertura uniforme al alimento para lo cual debe contar con una buena adherencia a su superficie; mantener el contenido adecuado de humedad por lo que su composición debe diseñarse para controlar en ambos sentidos la migración de agua de alimento protegido; ser semipermeable de modo que mantenga un equilibrio de los gases implicados en la respiración y como consecuencia de este efecto retardar la senescencia; estabilizar el aroma, sabor y valor nutritivo previniendo la pérdida de absorción de componentes que afecten esos parámetros sin afectar las características organolépticas; proporcionar protección contra el deterioro; servir como soporte para aditivos como antioxidantes y nutrientes y que la tecnología y la materia prima involucrada en la producción de estos recubrimientos sea accesible y viable económicamente (Debeaufort y col 1998; Pavlath y Orts 2009; Dhall 2013).

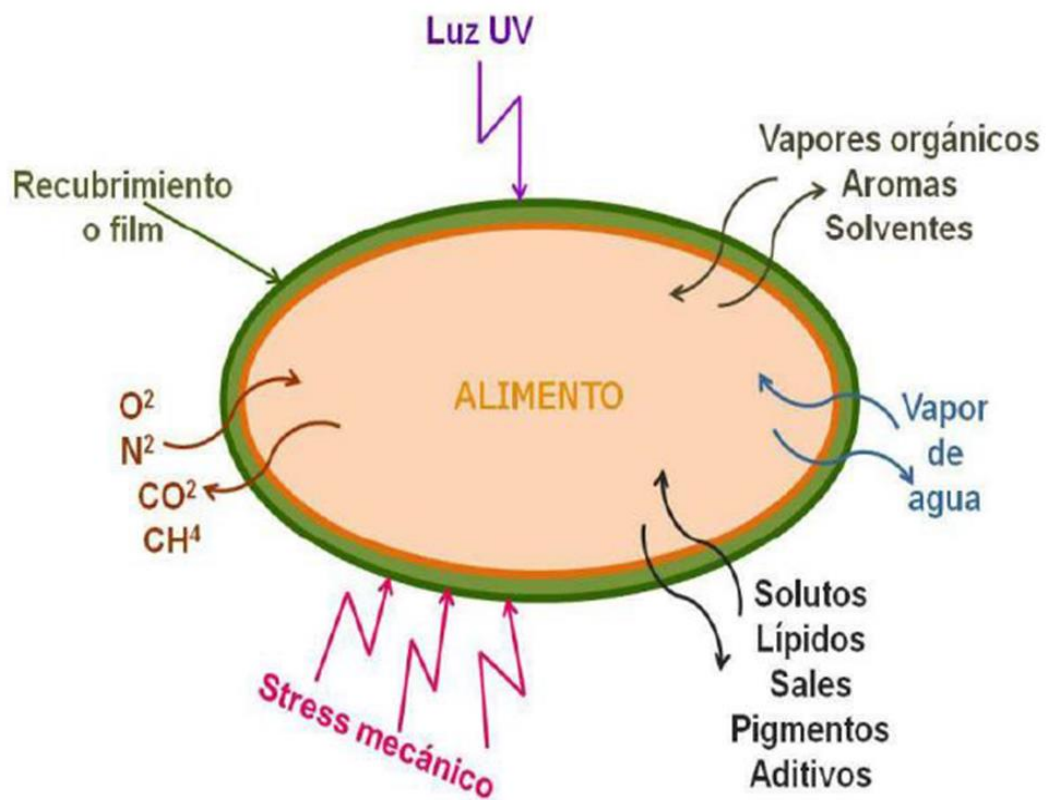


Figura 1. Función selectiva y activa de recubrimientos comestibles.

Fuente: Debeaufort y col 1998

Finalmente, una de las ventajas de esta tecnología es el hecho de que estos materiales pueden servir como vehículos de otros ingredientes con un propósito específico diferente. Así por ejemplo, se han incorporado en las formulaciones agentes antimicrobianos, saborizantes, antioxidantes, pigmentos, nutrientes, fármacos y componentes nutraceuticos (**Cuadro 1**) (Pavlath y Orts 2009).

3. Materiales utilizados para la formación de recubrimientos

Para la formación de una película o recubrimiento comestible se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión (Debeaufort y col 1998). En los últimos años una variedad de polímeros naturales, tales como proteínas, lípidos y polisacáridos, (solos o combinados) han sido utilizados (Da Silva y Taylor 2005). Las formulaciones pueden incluir, además, plastificantes y emulsificantes de distinta naturaleza química con el fin de mejorar las propiedades de las películas (Saavedra y Algecira 2010). Dentro de los agentes plastificantes utilizados más frecuentemente se encuentran: glicerol, polietilenglicol, sorbitol, aceites, ácidos grasos, ceras, entre otros (McHugh y Krochta 1994). A continuación, se muestran algunos de los diferentes tipos de materiales utilizados para la elaboración de recubrimientos.

a. Proteínas

Los polímeros naturales como las proteínas, ofrecen una gran oportunidad para ser utilizados como materia prima en la elaboración de películas comestibles debido a su biodegradabilidad, y además, pueden suplementar el valor nutritivo de los alimentos (Bourtoom 2009). Las proteínas conumente utilizadas son de fuentes de animal entre ellos el colágeno, gelatina, caseína, proteínas miofibrilares de pescado,

Cuadro 1. Usos Posibles de Películas Comestibles y Recubrimientos.

Función/Aplicación	Tipo adecuado de película
Retardar migración de humedad	Lípido, compuesta*
Retardar migración de gas	Hidrocoloide, lípido, o compuesta
Retardar migración de aceite y grasa	Hidrocoloide
Retardar migración de soluto	Hidrocoloide, lípido, o compuesta
Mejorar la integridad estructural o propiedades de manejo	Hidrocoloide, lípido, o compuesta
Retener compuestos volátiles del sabor	Hidrocoloide, lípido, o compuesta
Vehículo de aditivos alimentarios	Hidrocoloide, lípido, o compuesta

* Una película compuesta consiste de una combinación de componentes lipídicos e hidrocoloides para formar una bicapa o conglomerado.

Fuente: Greener y Fennema 1994

queratina, proteínas de clara de huevo, proteínas del suero de quesería, etc.. La formación de una red macromolecular de proteína requiere de tres pasos: 1) ruptura de enlaces intermoleculares de baja energía que estabilicen a los polímeros en el estado nativo, 2) arreglo y orientación de las cadenas poliméricas, y 3) formación de una red tridimensional que se estabilice por la formación de nuevos enlaces (Cuq y col 1998).

1) Gelatina

La gelatina es un biopolímero comestible, biocompatible y soluble en agua. Es obtenido por degradación química o física de la estructura terciaria y cuaternaria del colágeno dejando a las cadenas α libres (Ward y Courts 1977); dependiendo del grado de hidrólisis puede tener en promedio un peso molecular de 65 a 300 kDa. Se compone de varios aminoácidos pero principalmente por glicina, prolina y 4-hidroxiprolina (Peña y col 2010). Hay dos tipos de gelatina, el tipo A y B, clasificación que se da de acuerdo al tratamiento de obtención; A la gelatina obtenida a través de un pre-tratamiento ácido esta tiene un punto isoeléctrico entre 7 y 9, por su parte la gelatina B se somete a pre-tratamiento alcalino con un punto isoeléctrico de 4.7 a 5.2 (Lukasik y Ludescher 2006).

La clasificación comercial de la gelatina es dada por su fuerza de gelificación (formación de un gel) conocida como el índice de Bloom, que es una medida estándar de la fuerza aplicada para provocar una deformación a una concentración y temperatura estandarizada en un gel (Wainwright 1977).

La gelatina es única entre los hidrocoloides en la formación de una sustancia termorreversible con un punto de fusión cercano a la temperatura corporal, que es

particularmente importante en la elaboración de películas comestibles y aplicaciones farmacéuticas. A nivel molecular la gelificación es la propiedad que resulta de la renaturalización de la estructura de triple hélice nativa del colágeno, confiriendo la formación de una red tridimensional que posteriormente genera la biopelícula. Entre mayor número de enlaces de triple hélice se formen, el gel se vuelve más fuerte y aumenta su índice de Bloom. La estructura de la red y las propiedades físicas están condicionadas por su grado de renaturalización, se ha demostrado que las propiedades mecánicas están relacionadas fuertemente a este parámetro (Achet y He 1995). La gelatina es usada como materia prima para películas fotográficas y para microencapsular aromas, vitaminas y endulzantes (Cuq y col 1998). En cuanto a en aplicación en frutos, se ha observado que las películas de gelatina reducen la permeabilidad al oxígeno, la difusión del vapor de agua y la migración de las grasas (Krochta y De Mulder 1997).

Una de las características más remarcables e inconcebibles de la gelatina es su solubilidad en agua (Sobral y col 2001). En consecuencia, tienen un carácter higroscópico generando una gran influencia en las propiedades mecánicas y de barrera de las biopelículas de proteínas (Yakimets y col 2005). Estas desventajas han limitado las aplicaciones industriales de biopelículas a base de gelatina (Langgmeir y col 2008). En este sentido se han realizado intentos para superar estas limitaciones, entre ellas principalmente el uso de plastificantes como el glicerol (Rivero y col 2010).

b. Lípidos

Los lípidos se caracterizan por ser hidrofóbicos y no poliméricos, presentando excelentes propiedades de barrera frente a la humedad, sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hace que presenten malas propiedades mecánicas formando recubrimientos quebradizos; sin embargo, reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior y pueden mejorar el brillo y apariencia de muchos de los alimentos (Kester y Fennema 1986).

Los componentes lipídicos utilizados como recubrimientos de protección son monoglicéridos acetilados, cera natural y surfactantes. Las sustancias lipídicas más efectivas son cera de parafina y cera de abeja (Bourtoom 2008). Por otra parte, los lípidos pueden ocasionar problemas en la aplicación a consecuencia de su estructura heterogénea y su pobre adherencia al alimento. Además, debido a su fragilidad y susceptibilidad a sufrir oxidación pueden alterar las propiedades organolépticas del producto resultando en recubrimientos o películas opacos y de sabor ceroso (Gontard y col 1995).

c. Polisacáridos

Los recubrimientos obtenidos con polisacáridos son una opción atractiva porque estos compuestos son abundantes en la naturaleza y renovables, además provienen de diversas fuentes (Domínguez-Courtney y Jiménez-Munguía 2012). En general, los carbohidratos producen recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y son barreras eficientes contra compuestos de polaridad baja. Sin embargo, su naturaleza hidrofílica hace que presenten una baja resistencia a la pérdida de agua (Parra y col 2004). Su selectividad en cuanto a la permeabilidad al oxígeno y al dióxido de

carbono, condiciona la creación de atmósferas modificadas en el interior del alimento, lo que se traduce en un aumento de la vida útil del producto (Da Silva y Taylor 2005).

Los carbohidratos, incluyendo almidón, derivados de la celulosa, quitosano, alginato, entre otros, han sido estudiados como materiales formadores de películas comestibles (Bósquez-Molina 2003).

1) Celulosa y derivados

La celulosa, y sobre todo sus formas esterificadas como la carboximetilcelulosa (CMC), metilcelulosa (MC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), hidroxipropilcelulosa (HPC) e hidroxietilcelulosa (HEC) son considerados buenos agentes formadores de películas, ya que son capaces de formar redes continuas en soluciones acuosas (Soliva y Martín 2001). Este tipo de cubiertas se emplea para controlar la difusión de oxígeno y dióxido de carbono, con el fin de retrasar los procesos de maduración de frutos y vegetales. Aunque las propiedades de barrera a la humedad, de las películas a partir de celulosa, no son muy buenas, pueden mejorarse con la adición de sustancias hidrofóbicas (Pérez y col 2003).

2) Quitosano

El quitosano es un polímero natural, no tóxico y biodegradable, derivado por desacetilación de quitina [poli β - (1 $\rightarrow$ 4) -N -acetil-D -glucosamina], que es el segundo más abundante biopolímero natural después celulosa (Tassadit y col 2010). Las películas elaboradas con este polisacárido son claras, resistentes, flexibles y presentan buenas características de barrera al oxígeno (Gulzar y col 2015). El uso de este material en recubrimientos puede proteger a los alimentos contra ataques

microbianos y modificar la atmósfera de frutas frescas (Rodriguez y col 2005). Los recubrimientos de quitosano se utilizan generalmente en los productos hortofrutícolas tales como fresas, pepinos, pimientos como recubrimiento antimicrobiano y en manzanas, peras, melocotones y ciruelas como barrera a los gases (Cha and Chinnan 2004).

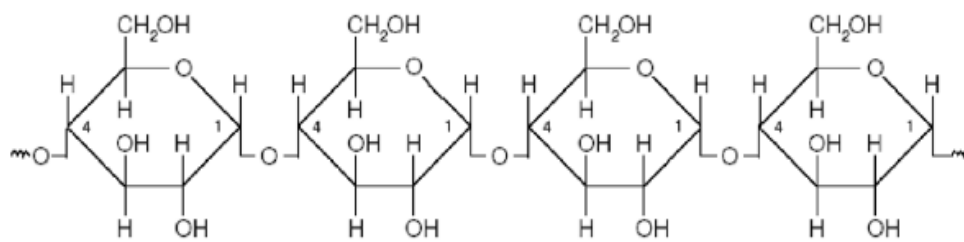
c) Alginato

El alginato es un polímero lineal compuesto de ácido β -D-munorónico y ácido α -L-gulorónico lo que le confiere ser un material indigestible, producido por algas pardas, siendo un biopolímero muy apropiado para la formación de películas y recubrimientos comestibles debido a sus propiedades coloidales y la capacidad de formar geles fuertes o polímeros insolubles al reaccionar con cationes metálicos multivalentes (Rhim 2004; Avendaño y col 2013). Los alginatos en solución acuosa forman películas tras la adición de agentes formadores de puentes salinos, el secado y/o la precipitación en presencia de un alcohol. Aunque este tipo de películas presenta buenas barreras contra el oxígeno, aceites y grasas, su permeabilidad a la humedad es alta. La incorporación de una sustancia lípidica a la mezcla puede contribuir a mejorar la barrera de vapor de agua (Rojas-Graü y col 2008b). Los recubrimientos a base de alginato se han utilizado para extender la vida útil de los cortes de piña (Azarakhsh, 2012), los cortes de sandía (Poverenov y col 2014) y en cortes frescos en manzana Fuji y papaya Maradol (Rojas-Graü y col (2006,2008), logrando mantener las propiedades de calidad.

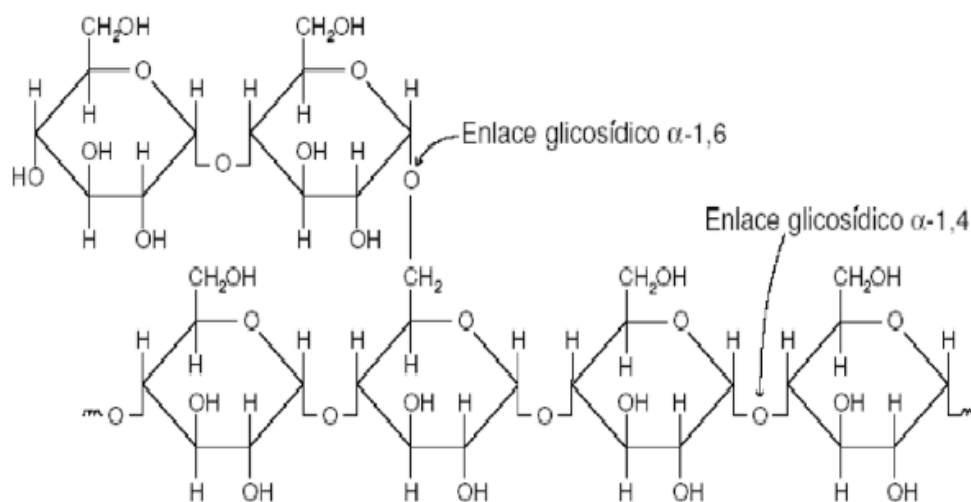
d) Almidón

El almidón es de las materias primas más utilizadas en la elaboración de recubrimientos, debido principalmente a que es renovable, barato, abundante y relativamente fácil de manejar (Cazón y col 2016). El biopolímero está conformado por polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos α (1-4) y α (1-6), dando lugar a dos fracciones básicas, la amilosa y la amilopectina (**Figura 2**). La amilosa está formada exclusivamente por cadenas lineales de glucosa, conteniendo aproximadamente 1500 moléculas de este monosacárido. Por su parte, la amilopectina está conformada por cadenas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α (1-4), así como por ramificaciones que ocurren cuando el enlace es α (1-6). El almidón de maíz contiene aproximadamente 25 % de amilosa y 75 % de amilopectina (Bourtoom 2008).

El hecho de que el almidón sea biodegradable lo hace altamente atractivo debido a la creciente preocupación sobre el problema que generan en el ambiente los desechos industriales obtenidos de los derivados del petróleo (Bastioli 2001; Xu y col 2005). Para obtener recubrimientos de almidón, se utilizan principalmente dos técnicas; proceso en seco y proceso húmedo. El proceso en seco se basa en las propiedades termoplásticas del almidón por extrusión. En este método, el almidón se plastifica y se calienta por encima de su temperatura de transición vítrea en condiciones de bajo contenido de agua. En el proceso húmedo, los polímeros se solubilizan y luego la solución formadora se aplica directamente sobre el alimento (Cazón y col 2016).



Estructura de molécula de amilosa



Estructura de la molécula de amilopectina

Figura 2. Componentes básicos del almidón; amilosa y amilopectina.

Fuente: Meneses y col 2007

Los recubrimientos elaborados a partir de este carbohidrato son claros, flexibles, transparentes y presentan excelente propiedades de barrera al O_2 y el CO_2 (Shamekh y col 2002; Soliva y Martín 2001). Sin embargo, la principal limitante es su naturaleza hidrofílica y su alta permeabilidad al vapor de agua, promovido por sus pobres propiedades mecánicas. Una alternativa para reducir estos inconvenientes es la modificación de almidones por extrusión y adición de plastificantes (Fitch-Vargas y col 2015). Los plastificantes como glicerol, sorbitol, polietilenglicol, aumentan la flexibilidad de las películas debido a su capacidad para reducir los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de los polímeros mientras aumentan el espacio molecular. La naturaleza hidrofílica o hidrofóbica del plastificante determina su efecto en las propiedades de barrera del recubrimiento. Así, los plastificantes hidrofílicos aumentan en mayor medida la permeabilidad al vapor de agua de la película que la permeabilidad a los gases; mientras que con los plastificantes hidrofóbicos sucede lo contrario. El sorbitol tiene una mayor capacidad para interaccionar con las cadenas poliméricas de almidón, esto debido a su estructura molecular es similar a la glucosa, por lo tanto, las películas plastificadas con sorbitol presenta mayor resistencia y menor permeabilidad al vapor de agua, por otra parte el glicerol es de cadena corta y naturaleza hidrofílica el cuál puede interaccionar más fácil a través de la red polimérica del almidón confiriendo mayor flexibilidad, sin embargo mayor permeabilidad al vapor de agua (Fitch-Vargas y col 2016, Calderon-Castro y col 2018) Los plastificantes más usados en las películas de almidón son el sorbitol y el glicerol (Mali y col 2005). La incorporación de gelatina a la formulación de almidón promueve una buena barrera contra el intercambio de gases (O_2 , CO_2 y compuestos aromáticos) (Vázquez-Briones y col 2013).

De acuerdo con Cazón y col (2016), la amilosa es la molécula del almidón mayormente asociada a la capacidad formadora de RC en vista de su naturaleza lineal que tienen los almidones. La preponderancia de la amilosa (>70%) en almidones de amilomaíz otorga mayor fuerza y más flexibilidad a películas elaboradas con este tipo de materiales. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente conlleva a películas con pobres propiedades mecánicas, es decir, la fuerza de tensión y elongación son bajas (Tharanathan 2003).

Chiumarelli y col (2010) elaboraron recubrimiento comestibles a base de almidón de tapioca y glicerol, aplicando en mango “Tommy Atkins” mínimamente procesado, logrando disminuir la tasa de respiración y mantener las propiedades mecánicas. Fakhouri y col (2015) generaron un recubrimiento de almidón-gelatina con plastificantes, aplicado en uvas, obteniendo mantener buenas propiedades de resistencia al vapor del agua, buena apariencia de color y resulto ser aceptable por el consumidor. Por otra parte Calderón-Castro y col (2018) obtuvo un recubrimiento de almidón alto en amilosa con plastificantes por extrusión, seguido de la técnica conveccional “casting”, logrando mantener las características de calidad de mango “Tommy Atkins”.

Existe evidencia suficiente para establecer los efectos benéficos de las recubiertas en la producción agrícola, entre las cuales están: (1) mejora de la retención de sabores, ácidos, azúcares, la textura y el color, (2) incremento de la estabilidad durante el transporte y el almacenamiento al disminuir la velocidad de respiración, (3) mejora de la apariencia, y (4) reducción de la contaminación. La incapacidad de estas cubiertas para proporcionar suficiente brillo o mejorar la pérdida

de humedad puede ser mejorada por la incorporación de ingredientes funcionales alimenticios (Mali y col 2002).

1) Mecanismos de formación de recubrimientos de almidón

Los recubrimientos comestibles de almidón generalmente son formados después de una solubilización, dispersión o emulsificación de un polímero formador de película en un solvente o en un medio de grado alimenticio (etanol, ácido orgánico, agua, etc.), y son aplicadas directamente de la solución formadora de películas sobre el alimento o sobre un soporte, el cual requiere de la evaporación del solvente (Guilbert y Biquet 1995). Pero existen diversas técnicas, ya sea generando un recubrimiento sobre el alimento o bien configurando películas independientes. A continuación, se presentan las técnicas más comunes en el área de investigación.

a) Casting

Es la técnica que se utiliza para formar recubrimientos a partir de una solución que contenga el polímero formador. Para esto, es necesario un calentamiento con exceso de agua, posteriormente se vierte la solución en un contenedor para finalmente esta solución se seque a determinadas condiciones de temperatura y humedad relativa, esta técnica también es conocida como gelatinización térmica (Zamudio-Flores 2008).

b) Extrusión

Los extrusores eran principalmente usados para el procesamiento de plásticos y posteriormente adaptados para la gelatinización de almidones. La gelatinización o cocimiento de almidones es la conversión de un almidón crudo e indigerible a un

almidón digerible, mediante la aplicación de humedad y calor (Aguilar-Palazuelos 2007; Calderón-Castro 2012; Fitch-Vargas 2014).

En este proceso se emplean temperaturas altas, presión y agitación mecánica vigorosa que facilita la integración de los aditivos (glicerol, sorbitol, gelatina, etc.) (Marzo-Rojas 2010). El principio fundamental del proceso de extrusión es convertir un material sólido en un fluido mediante la aplicación de calor y trabajo mecánico, promoviendo así la termoplastificación del mismo. El tornillo gira y transporta el material en dirección de una matriz, aplicándole un esfuerzo mecánico, transformándolo en una masa uniforme. Es un proceso extremadamente versátil y el equipo se puede comportar como un intercambiador de calor, debido a las chaquetas de calentamiento y/o enfriamiento que envuelven las paredes del cañón. Desempeña también una función de reactor químico de procesamiento de diversos materiales como polímeros y alimentos, en condiciones de temperaturas altas (hasta de 250 °C), presiones altas (hasta de 25 MPa), y tiempos cortos de residencia (1 a 2 min). En estas condiciones de procesamiento, se puede producir una abertura de las diversas estructuras terciarias y cuaternarias de los biopolímeros, resultando en el rompimiento y re-arreglo de los enlaces de hidrógeno y puentes di-sulfuro, permitiendo la plastificación y la formación de las texturas deseadas (Olkku y Linko 1977).

El procesamiento del almidón es mucho más complejo y difícil de controlar que para muchos otros polímeros, implicando una transformación (ruptura granular, fusión cristalina, etc.) del almidón desde un estado granular nativo a un estado fundido (Xie y col 2012). Durante la extrusión los enlaces de hidrógeno entre las

cadenas de almidón que proporcionan integridad de los gránulos de almidón se pueden romper bajo alta fuerza de cizallamiento y temperatura. Como resultado, se pueden producir cambios significativos estructurales, incluyendo la gelatinización, fusión, y la fragmentación (Herrera y col 2017). **La Figura 3** da una representación esquemática del procesamiento de almidón mediante la tecnología de extrusión (Xie y col 2012).

La estructura granular se somete, debido al calor y al cizallamiento, a una transición de orden y desorden denominada gelatinización. Durante la gelatinización, los granulos se hinchan cuando absorben agua. Esta hinchazón se produce principalmente en las capas amorfas de amilosa, y la amilosa es capaz de filtrarse fuera del gránulo. Las dobles hélices de amilopectina en esta región se disocian, y el gránulo pierde rápidamente toda cristalinidad. Este proceso puede acelerarse por el corte (Herrera y col 2017).

Una diferencia principal en la modificación del almidón en un extrusor, en comparación con el simple calentamiento en presencia de humedad, es la degradación de las moléculas de almidón en unidades oligosacáridas más pequeñas debido a las fuerzas mecánicas. La gelatinización del almidón típicamente causa que la viscosidad aumente a medida que las moléculas de almidón se despliegan y se enredan más fácilmente. Sin embargo, las fuerzas de corte en una extrusora rompen estas hebras en unidades más pequeñas, lo que causa una disminución en la viscosidad debido al tamaño de partícula más pequeño. Cuando los materiales amiláceos salen del molde de una extrusora, estas estructuras moleculares se enfrían y se forman en redes y hebras que influyen en la textura del producto. La

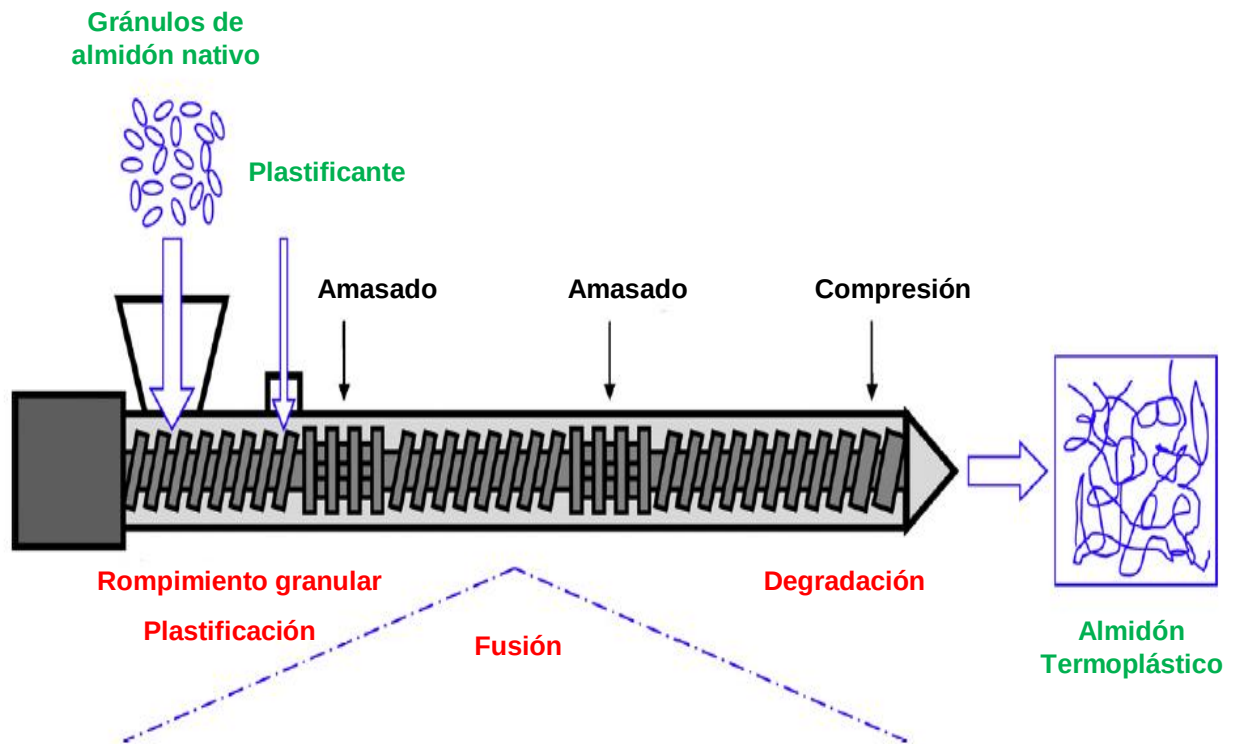


Figura 3. Representación esquemática del almidón procesado por extrusión.

Fuente: Xie y col 2012.

extensión de estos procesos que ocurren durante la extrusión determina las características físicas del producto (solubilidad, estructura interna, etc.) (Hartel y Heldman 2012)

Durante los últimos años pocos investigadores han obtenido recubrimientos a base de almidón por medio de este proceso mediado por dos etapas principales. Empleando la tecnología de extrusión y técnica de casting. Primeramente, el almidón es mezclado con plastificantes y extrudido para destruir los gránulos de almidón para obtener un almidón termoplástico (pellets) y posteriormente son recibidos en agua para evitar la retrogradación, finalmente son modificados por la técnica de casting, para obtener los recubrimientos (Fitch-Vargas y col 2016, Calderón-Castro 2012 y Valenzuela-Navarro 2015). Los investigadores consideran que la variable más importante en el procesamiento térmico del almidón, es la temperatura. La velocidad de tornillo también es un parámetro importante en el procesamiento, por ejemplo, a velocidades altas de tornillo se puede incrementar el esfuerzo cortante en el extrusor, lo cual es favorable en el rompimiento y mezclado del material. Sin embargo, velocidades altas disminuyen el tiempo de residencia del material en el extrusor, lo que podría dar como resultado un almidón mal procesado (Chaudhary y col 2008). Calderón-Castro (2012) elaboró películas comestibles a base de almidón alto en amilosa y glicerol utilizando un extrusor de tornillo simple donde las condiciones de procesamiento fueron temperatura de extrusión (TE)= 100 °C y velocidad de tornillo (VT)= 120 rpm y concentración de glicerol= 16.73%. Estas películas mostraron buenas propiedades mecánicas, obteniendo valores de resistencia a la ruptura (RR) = 12.46 ± 3.92 N y deformación (D)= 9.25 ± 1.30 mm; mientras que para las

propiedades de barrera obtuvieron valores de permeabilidad al vapor de agua (PVA)= $2.78 \times 10^{-11} \pm 0.38 \times 10^{-11} \text{ g m pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y de solubilidad en agua (S)= $75.97 \pm 5.52\%$. Fitch-Vargas (2014) elaboró películas de almidón de maíz nativo empleando un extrusor de doble tornillo donde las temperaturas de extrusión fueron $Z1= 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $Z2= 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $Z3= 89 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $VT= 66 \text{ rpm}$, mientras que la relación de plastificante (Sorbitol/Glicerol) fue $79.7/20.3 \%$. Los valores de las propiedades mecánicas fueron; $RR= 10.39 \pm 2.73 \text{ N}$ y $D= 12.41 \pm 1.34 \text{ mm}$, mientras los resultados de barrera fueron, $PVA= 3.05 \times 10^{-11} \pm 3.5 \times 10^{-12} \text{ g m Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y $S= 65.98 \pm 4.15 \%$. Así mismo Valenzuela-Navarro (2016) elaboró películas comestibles de almidón: 76.68% , gelatina: 3.32% y plastificantes (sorbitol/glicerol): 20% , a través del mismo extrusor de doble tornillo pero difiriendo los parámetros de extrusión, TE: $Z1= 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $Z2= 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $Z3=99 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $VT= 180 \text{ RPM}$, obteniéndose valores de las propiedades de; $RR=16.71 \pm 3.23 \text{ N}$, $D= 11.71 \pm 0.74 \text{ mm}$, $PVA= 6.27 \times 10^{-12} \pm 3.5 \times 10^{-12} \text{ g m Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y $S= 71.33 \pm 5\%$. Cabe mencionar que dichos autores mencionados anteriormente lograron obtener películas comestibles con características iguales o mejores a las reportadas en la bibliografía.

B. PRODUCTOS MINIMAMENTE PROCESADOS (PMP)

1. Antecedentes y definición

Los hábitos de alimentación han cambiado mucho en las últimas décadas. El estilo de la vida actual con escaso tiempo para preparar comidas equilibradas, ha provocado la demanda de productos vegetales naturales, frescos, saludables y dispuestos a consumir, cómo los productos mínimamente procesados (PMP), denominados comercialmente productos de la “IV gamma” de la alimentación (IFPA

2017; Ayón y col 2015). Por cuestiones de costo, comodidad, tiempo e higiene, las empresas que trabajan con alimentación están procurando utilizar frutos y hortalizas mínimamente procesados para así ofrecer un producto práctico, con calidad y similar al producto fresco (Hernández y col 2007; Della-Cruz 2004). Además, este tipo de producto proporciona un mayor rendimiento, reduce los accidentes en las cocinas y requiere menos espacio en el refrigerador (Pízato y col 2012). Sin embargo, son también los consumidores directos quienes demandan estos productos debido a la mayor conciencia de los beneficios para la salud que implica el consumo de productos naturales, contemplando que la participación creciente de las mujeres en el mercado de trabajo laboral ha reducido el tiempo disponible para la compra y preparación de frutos y hortalizas para las comidas en casa (Salinas y col 2007).

Por definición los PMP son cualquier fruta o vegetal o combinación de los mismos que han sido modificados físicamente (lavado, pelado y cortado) alterando su forma original, y permanecen en estado fresco, además, subsecuentemente envasado y almacenado en refrigeración (IFPA 2017).

Martín-Belloso y Rojas-Graü (2005) consideran que un producto fresco cortado de buena calidad es aquel que presenta apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, así como una seguridad microbiológica y vida útil suficientemente larga que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución aceptable, así mismo este mismo proceso aumenta la actividad metabólica y críticamente a la vida útil de los frutos fresco se ven afectados.

El procesamiento mínimo engloba el alimento fresco, producto o proceso que adicione valor sin hacer uso de procesos convencionales como el enlatado,

congelado o secado. La utilización de técnicas combinadas en poscosecha tales como el pre-enfriamiento, la refrigeración, la atmósfera modificada o controlada, la preparación para el consumo y el embalaje individual son consideradas como procesamiento mínimo (Sanjinez y col 2010).

Desde el punto fisiológico, las operaciones del procesamiento mínimo hieren el tejido vivo, con lo cual comienza una serie de reacciones que resultan aceleración del proceso metabólico, generando descompartmentación de enzimas y sustratos, causando oscurecimiento, ablandamiento, deterioro microbiológico, desarrollo de sabores y olores indeseables, causando la senescencia del fruto, que hacen que el producto no sea apto para ser comercializado en el mercado (Baldwin y Bai 2011; Angos y col 2008). Los frutos frescos cortados son un tipo de producto preparado mediante operaciones unitarias de selección, lavado, pelado, deshuesado, cortado, etc.; higienizados mediante derivados clorados, peróxido de hidrógeno, ozono, antimicrobianos naturales y otros; tratados con agentes estabilizadores de color tales como ácido ascórbico y eritórbico, retenedores de firmeza (sales de calcio) y envasados en bolsas o charolas con la inyección de distintos sistemas gaseosos que permitan mantener una atmósfera modificada en su interior. Son conservados, distribuidos y comercializados bajo refrigeración (2-5°C) y están listos para ser consumidos durante 7 a 14 días según el producto y la técnica de conservación utilizada (Robles-Sánchez y col 2007). Lo ideal sería conseguir garantizar entre 2-3 semanas (Sanjinez y col 2010).

Los frutos climatéricos, que pueden recolectarse cuando llegan a la madurez fisiológica, no deben ser procesados hasta que manifiesten las características organolépticas que el consumidor demanda a su favor (Hernández y col 2007).

El deterioro de los frutos y vegetales mínimamente procesados, puede producirse por la degradación de sus características físicas, color, textura, sabor o aroma, así como por la degradación causada por microorganismos (Rivera-López y col 2005). Por ello, es necesaria la aplicación de nuevas tecnologías de conservación que retrasen los procesos de actividad metabólica, posteriormente el deterioro y mantengan la calidad e inocuidad microbiológica durante la comercialización de estos productos (González y col 2005).

Sin embargo, el verdadero reto se centra en conseguir procesos novedosos lucrativos o estrategias de conservación que permitan obtener alimentos seguros, con sus propiedades nutricionales y características benéficas para la salud muy poco modificadas e incluso potenciadas en su mayoría (Robles-Sánchez y col 2007). Una alternativa viable es el uso de recubrimientos comestibles.

2. Ventajas de productos mínimamente procesados

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas aparecen en Estados Unidos a mediados de los años 70, inspirados por el auge de los productos ya preparados y listos para comer, que crecieron en gran medida por el uso del microondas en los hogares, y por el cambio socioeconómico que por distintos factores llevaba a disponer de menos tiempo para la elaboración de las comidas (Chavarrias 2010). Entre otras ventajas que impulsaron el alto consumo de PMP fueron la alta calidad

nutrimental proporcionada, viéndose reflejada principalmente en la salud del ser humano (Oms-Oliu y col 2010).

Además según informaciones de algunas cocinas industriales, las elementales ventajas de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son el menor costo al final de la producción, la estandarización del producto y menor generación de residuos dentro de la cocina. El precio de compra superior al vegetal mínimamente procesado, en relación al producto en fresco, absorbe los costos de la cocina industrial no tendrá como; almacenaje, mano de obra, basura, pérdidas, desperdicios y hasta mantenimiento. La cuestión de espacio también es un punto a favor de los vegetales mínimamente procesados (Pizato y col 2012; de-Oliveira-Silva y col 2005).

3. Proceso de preparación de los PMP

La alta demanda de consumo de PMP no es para nada una tarea sencilla en la producción de estos alimentos de forma segura, siendo así un gran desafío para los tecnólogos en alimentos. La obtención de PMP de calidad radica en la adecuada selección de cultivares, en condiciones apropiadas antes y después de la cosecha, implementación de HACCP, buena higiene y mantenimiento de la calidad sensorial y nutricional del fruto (Bansa y col 2015).

La cadena de producción de los productos mínimamente procesados o vegetales frescos cortados consiste principalmente de operaciones unitarias incluyendo selección, lavado, secado, pelado, deshuesado, cortado, rebanado, etc. (Vandekinderen y col 2008); higienizados mediante derivados clorados, peróxido de hidrogeno, ozono, compuestos antimicrobianos naturales y otros; tratados con agentes estabilizadores tales como el ácido ascórbico y eritórbico, retenedores de

firmeza (sales de calcio) y envasados en bolsas o charolas con la inyección de distintos sistemas gaseosos que permitan mantener una atmósfera modificada en su interior (Bansa y col 2015). En la **figura 4** se muestra el diagrama de flujo del procesado de productos vegetales cortados.

Los frutos y vegetales frescos cortados son procesados en instalaciones refrigeradas, es decir, en un ambiente donde se mantiene una temperatura entre 0 y 7 grados Celsius con el objetivo de mantener las características del producto fresco (Valero-González 2008; Bansa y col 2015).

Además, una vez procesados deben continuar la cadena del frío conservándose a baja temperatura durante su distribución y comercialización, ya que en su forma cortada no sufren daño por frío cuando se almacenan a 4 °C obteniendo una vida útil de 7 a 14 días dependiendo del producto y técnica de conservación utilizada (Bansa y col 2015).

4. Cambios inducidos por el procesamiento mínimo

Desde el punto de vista fisiológico, las operaciones de procesamiento mínimo hieren al tejido vivo, con lo cual comienza una serie de reacciones metabólicas generadas por el incremento de la velocidad de respiración, trayendo como resultado cambios de textura, aceleración del proceso de maduración, senescencia y desarrollo de aromas desagradables, cambio de color del tejido y otros eventos indeseables, lo cual da un giro límite de vida de anaquel del producto (Baldwin y Bai 2011; Oms-Oliou y col 2010).

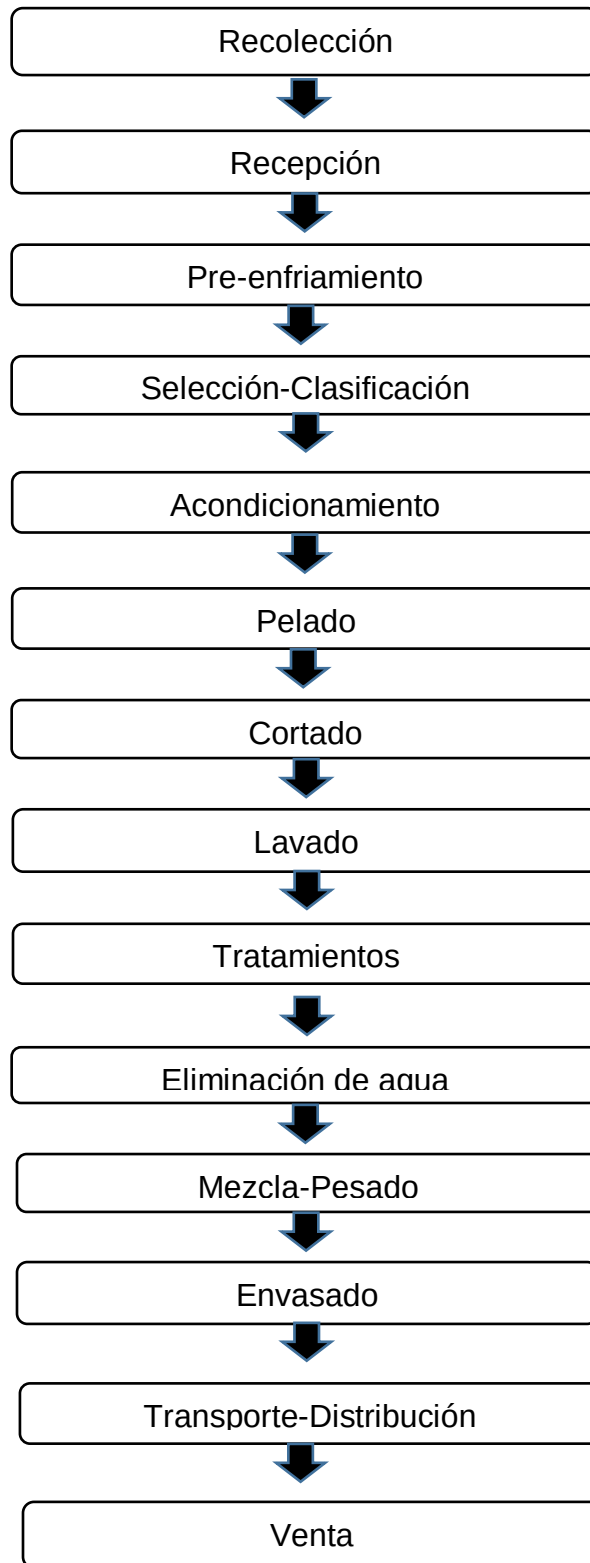


Figura 4. Diagrama de flujo del procesado de productos vegetales cortados

Fuente: González y Lobo 2005.

Las operaciones de pelado y troceado así como la manipulación del producto procesado previo al envasado y almacenamiento, influyen significativamente en los distintos mecanismos de alteración al provocar cambios físicos, químicos y fisiológicos. El estrés abiótico en frutos frescos recién cortados genera decoloración, especialmente pardeamiento de las superficies, mediante enzimas como la polifenol oxidasa (POD) por procesos oxidativos (Toivonen y Brummell 2008). La Interrupción celular producida por el corte aumenta la tasa de respiración permitiendo la exudación de enzimas pectinolíticas que se mezclan con el sustrato en el citoplasma generando graves pérdidas de textura (Beirão-da-Costa y col 2013). El fruto mínimamente procesado está expuesto a una contaminación microbiana al entrar en contacto con el aire se infecta de bacterias, mohos y levaduras, además generalmente esto va acompañado de otros factores como un pH ácido (5.8-6), alta humedad que permiten una mayor proliferación, esto se ve reflejado en mala apariencia del tejido y desarrollo de olores desagradables (Pérez-Pérez y López-Malo 2011; Bansa y col 2015). La vida de anaquel está comprometida por el tiempo requerido para que cualquiera de las características de calidad llegue a un nivel inaceptable. La importancia relativa de cada factor de calidad está relacionada con el producto y con el tipo de mercado al que este destinado (Salinas y col 2007).

La maduración de frutos es un fenómeno biológico crucial e importante en frutos mínimamente procesados, producida por el incremento de la respiración celular, que esta asociado con la producción de la hormona de la maduración “etileno”, a partir de ello nace la clasificación de frutos climatéricos y no climatéricos, los primeros pueden ser madurados después de la planta, aumentando significativamente la respiración y

producción de etileno, generando un pico climatérico y los segundos una vez separados de las plantas no prosiguen con el fenómeno de maduración, además estos frutos producen una cantidad pequeña de etileno y no responden al etileno exógeno (Pérez-Pérez y López-Malo 2011). En frutos climatéricos los procesos de maduración puede reducir la vida media de anaquel de 1-2 semanas a tan solo 1-3 días, aun cuando las temperaturas sean las óptimas (Robles-Sánchez y col 2007). Durante el fenómeno ocurren una serie de eventos fisiológicos y bioquímicos que están genéticamente programados y que influyen en la apariencia, textura, sabor y aroma de los frutos haciéndolos menos atractivos y comestibles (Fischer y Bennett 1991; Giovannoni 2001; 2004; Prasanna y col 2007; Goulao y Oliveira 2008).

Los cambios fisiológicos y bioquímicos que se presentan durante la maduración varían de acuerdo al tipo de fruto, los más comunes son:

1. Modificaciones de color a través de alteraciones en los niveles de clorofila, carotenoides y flavonoides.
2. Conversión de almidón en azúcares simples.
3. Producción de altos niveles de volátiles del aroma y sabor.
4. Ablandamiento por la modificación y degradación de la estructura de la pared celular (Fischer y Bennett, 1991; Giovannoni, 2001; 2004; Prasanna y col 2007).

a. Cambios bioquímicos

1) Respiración

La respiración es un indicador de la actividad metabólica y juega un papel significativo en la fisiología poscosecha y en el deterioro de la calidad de los alimentos. Es un proceso que implica la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como almidón, azúcares y ácidos orgánicos, a moléculas más simples como CO₂ y agua, con la consiguiente liberación de energía (Álvarez-Quintero 2012). La respiración aumenta durante las operaciones de pelado y cortado del fruto de 2 a 3 veces (Wassim y col 2011).

Entre los factores más importantes que afectan a la respiración, destacan la temperatura, la concentración de los gases de las atmósferas que envuelve al producto, el estado de madurez y tipo de fruta, los tratamientos en los que se ha sometido, etc. (Ceballos-Chan 2005).

Las películas o recubrimientos comestibles pueden reducir la respiración debido a un cambio en la atmósfera del alimento fresco y, por lo tanto, pueden aumentar su vida útil (Olivas y Barbosa 2009).

b. Cambios fisicoquímicos de calidad

El mayor obstáculo en la comercialización de los frutos y vegetales mínimamente procesados es su limitada vida de anaquel, la cual es debida al procesamiento (Torri y col 2010), produciendo pérdida en la calidad que ocurren principalmente a la maduración consumiéndose los azúcares que son reportados como sólidos solubles totales (SST) o ° Brix, y que están relacionados directamente con el pH y acidez

titulable (AT). También se realizan pérdidas en la calidad debido a cambios indeseables de color, marchitamientos causados por la pérdida de agua y posteriormente de firmeza, los cuales son unos de los principales atributos que se basa el consumidor para aceptar un producto, claro después del aroma y sabor característico del fruto u hortaliza mínimamente procesada (Piga y col 2003; Barraza-Elenes 2005).

1) pH y acidez titulable

La acidez titulable representa el contenido de ácidos orgánicos en cualquier fruta u hortaliza (Barraza-Elenes 2005). Generalmente existe un aumento de pH durante el proceso de maduración y almacenamiento del fruto, referido principalmente a la disminución de ácidos orgánicos que son utilizados como sustratos de reacciones enzimáticas durante el transcurso de la respiración (glucólisis, ciclo de Krebs y el sistema de transporte de electrones) o simplemente son convertidos en azúcares (Ayón-Reyna y col 2015; Fonseca y col 2002).

2) Sólidos solubles totales

Al madurar las frutas, aumenta la concentración de sólidos disueltos en éstas, que en su mayoría están formados por azúcares; sin embargo, cuando el fruto comienza a sobremadurarse el contenido de azúcares disminuye debido a que son utilizados para la respiración del fruto y las reservas de almidón están agotadas (Fuchs y col 1980). Al momento de procesar los frutos, estos deben tener una madurez adecuada para el consumo, por otro lado, el daño causado por el corte aumenta su velocidad de respiración requiriendo mayor consumo de energía (azúcares) para llevar a cabo las diferentes reacciones metabólicas (López-López 2010). Estos azúcares (glucosa,

fructosa y, en menor sacarosa) representan, finalmente, entre el 1.5 y % del peso total del fruto, reciben el nombre genérico de sólidos solubles y su concentración varía de un fruto a otro (Agustí 2000). Además los azúcares son de gran importancia porque representan el estado fisiológico y la calidad del fruto ya que su sabor y palatabilidad dependen de la cantidad de azúcares, ácidos orgánicos, sales y demás compuestos solubles presentes en las partes estructurales del fruto (Ramful y col 2011).

3) Pérdida de peso

El agua esta presente en espacios intercelulares de frutas y hortalizas intactas, por lo que no está directamente expuesta a la atmósfera exterior, pero en el caso de los PMP las operaciones severas (pelado y cortado) hacen carecer al fruto de piel y cutícula, dejando los tejidos interiores expuestos a la atmósfera y así aumentando drásticamente la tasa de evaporación del agua (Wassim y col 2011). Este parámetro fisiológico constituye una de las principales causas de deterioro en la mayoría de las frutas y hortalizas frescas, no sólo por la pérdida cuantitativa del producto, sino también por la pérdida de apariencias (marchitamiento), en firmeza (ablandamiento, flacidez, jugosidad y el contenido nutrimental (Caleb y col 2013). El padecimiento se se asocia principalmente, con la transpiración y es propia de cada vegetal, la velocidad de la pérdida de agua depende del gradiente de presión entre el tejido de la fruta, la atmósfera circundante y la temperatura de almacenamiento (Fitch-Vargas 2014).

4) Color

El color es uno de los parámetros más importantes que indican la calidad de frutas y hortalizas, el cual está relacionado con la maduración y vida de anaquel. El color del fruto tiene un fuerte efecto sobre la calidad según la percepción del consumidor y es un índice de maduración aceptable para muchos. Este parámetro depende del grado de estabilidad de los pigmentos presentes en el alimento y de los posibles cambios químicos que puedan haberse desarrollado durante el procesamiento y almacenamiento (Vega-Espinoza 2010).

El oscurecimiento de la superficie cortada es la principal preocupación relacionada con la vida de anaquel de frutas y vegetales frescos cortados. Esto ocurre en la superficie de las frutas y verduras debido a la interrupción de la compartimentación que ocurre cuando las células se rompen, sustratos y sus enzimas oxidasa se ponen en contacto entre sí (Wassim y col 2011; Oms-Oliu y col 2010).

5) Aroma y sabor

Los cambios en el aroma y sabor de frutas y hortalizas constituyen uno de los factores más importantes en la aceptación de las mismas por parte del consumidor, debido a que una buena apariencia del fruto no necesariamente implica que éste sea de buena calidad, ya que pueden tener un olor desagradable (Gorny y col 1998; Mercado y Aquino 2005). El estrés mecánico o daño provoca la aparición de componentes del aroma del producto que no se dan en el producto intacto (Mercado-Silva y Aquino-Bolaños 2005).

La calidad de sabor y aroma son importantes atributos sensoriales para los consumidores y podrían ser medidos durante la vida de anaquel de los PMP (Torri y

col 2010). El sabor de frutas y hortalizas está determinado por el contenido de azúcares, azúcares, ácidos orgánicos, componentes fenólicos y volátiles, donde los compuestos volátiles son principalmente ésteres, alcoholes, cetonas y aldehídos que confieren el aroma de los frutos, y los ácidos orgánicos contribuyen al sabor creando un balance con los azúcares en frutos específicos (Ayón-Reyna 2009).

c. Cambios inducidos enzimáticamente

1) Firmeza

El reblandecimiento en cualquier fruta se debe principalmente al cambio en el metabolismo de los carbohidratos de la pared celular, lo que lleva a una disminución neta en ciertos componentes estructurales (Chen y col 2015). La presión de la turgencia celular, viscoelasticidad de la pared celular y laminilla media y la permeabilidad hidráulica del citoplasma son las encargadas de determinar las características mecánicas del fruto (Beirão-da-Costa y col 2013).

El ablandamiento y los cambios en la textura ocurren a medida que la pared celular es modificada y parcialmente degradada por enzimas. La textura es un atributo importante de las frutas frescas cortadas que determinan la aceptación o rechazo por los consumidores (Montero y col 2008). Los mecanismos por los cuales durante la maduración los frutos sufren ablandamiento, continúan siendo confusos y se prestan a mucha especulación. Aunque la pérdida de turgencia por la pérdida de agua (cambios osmóticos) y la degradación de almidón pueden contribuir, a lo cambios en la estructura y la composición de la pared celular, el principal factor es la acción de enzimas que catalizan el ablandamiento del fruto. El grado de sus modificaciones catalizadas por enzimas varía marcadamente con el tipo de fruta.

Además de las enzimas que funcionan como catalizadores para las modificaciones de la pared celular, las diferencias en la arquitectura de la pared celular primaria entre las frutas, pueden contribuir con las diferencias en la velocidad de ablandamiento. En la papaya recién cortada, la cantidad de etileno producido está relacionada con la magnitud del daño infligido, y la firmeza del tejido en rodajas disminuye rápidamente durante 48 h, en relación con la disminución lenta en la firmeza de la fruta intacta (Paull y Chen 1997; Toivonen 2008; Natalini y col 2010).

a) Pared celular de los frutos

La pared celular es un organelo dinámico, muy complejo y de vital importancia para las plantas, es fuerte, flexible, plástica y elástica, la cuál sufre modificaciones constantemente (Waldron y col 2003; Fry 2004; Zykwiniska y col 2007; Gurjanov y col 2008). Desempeña una gran diversidad de funciones como soporte y estructura celular, facilita y regula el crecimiento y la división en la expansión, es importante en el metabolismo, la unión, la comunicación, señalización y transporte intercelular, almacenamiento de reservas alimentarias, en la interacción con el medio ambiente, protección contra organismos patógenos y el estrés medioambiental (Waldron y col 2003; Fry 2004; Minic y Jouanin 2006; Prasanna y col 2007).

La pared celular de frutos se conforma de proteínas, compuestos fenólicos y polisacáridos de alto peso molecular (Fry 2004; Brummell 2006). La pared celular se puede clasificar en pared celular primaria compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa, pectina y proteínas estructurales, hallándose generalmente en frutos y la pared secundaria es la que se encuentra como sostén estructural (tejido xilemático y tejido esclerénquima) está altamente hidratada (65% de agua). Dicho

componente acuoso contiene solutos y proteínas solubles, que incluyen enzimas (Brummell 2006) (**Figura 5**). Las pectinas, son el componente mayoritario de la pared celular, corresponden al éster metílico del ácido (α 1-4) poligalactúronico con diversos grados de esterificación (Carabalí y col 2009).

b) Enzimas involucradas en la pared celular

Los diferentes componentes de la pared celular se mantienen unidos por numerosos tipos de enlaces, de tal suerte que, durante la maduración de los frutos, la degradación y modificación de su estructura molecular juega un papel crucial en el ablandamiento (Brummell 2006; Prasanna y col 2007). Prácticamente el deterioro de los productos mínimamente procesados se debe a una variedad de causas; como el desarrollo microbiano, la deshidratación, el oscurecimiento o pardeamiento, el blanqueado, los cambios de textura y desarrollo de aromas y sabores extraños; una buena parte de ellos están relacionados con los cambios enzimáticos que se dan durante el almacenamiento de los productos y que limitan su vida de anaquel (Mercado y Aquino 2005).

1.1. Pectinmetilesterasa (PME)

La pectinmetilesterasa (PME) (EC 3.1.1.11) también conocida como pectinesterasa (PE), es una enzima que degrada las sustancias pécticas que están ampliamente distribuidas en los tejidos vegetales, catalizando la hidrólisis de los ésteres metílicos de pectina, removiendo los grupos metoxilo y generando grupos carboxílicos libres, cambiando la solubilidad de la pectina, haciéndola más susceptible al ataque de otras enzimas (Menéndez y col 2006; Gayosso-García y col 2010), por lo que disminuye el grado de esterificación afectando el pH y balance ióni-

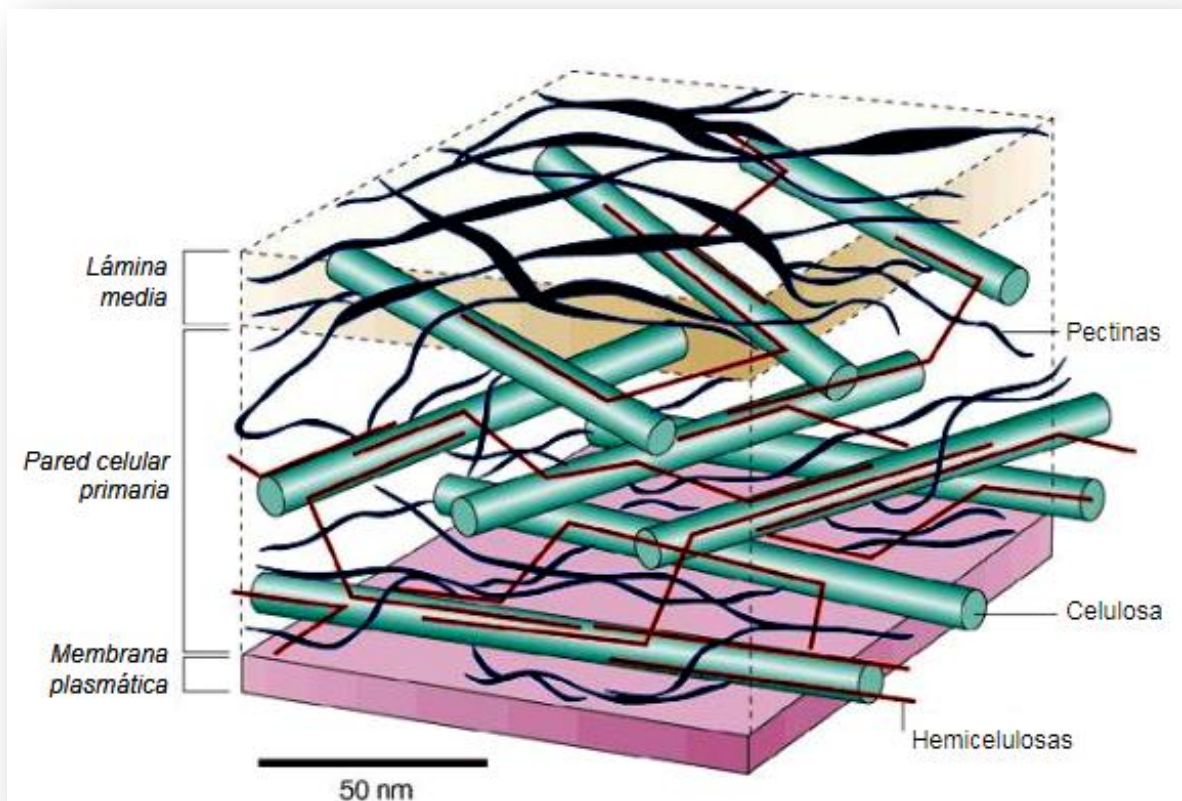


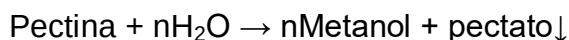
Figura 5. Modelo aceptado de la pared celular. Se aprecian las hemicelulosas (líneas de color rojo) entrecruzando microfibrillas de celulosa (cilindros de color celeste). Las pectinas (líneas irregulares de color negro) se disponen ocupando los espacios entre la red celulosa-hemicelulosa. Por sobre la pared celular primaria se observa la lámina media.

Fuente: Rosli 2008.

co de la pared celular, se reduce la adhesividad y la rigidez celular (Carabalí y col 2009). Además se generan superficies con carga eléctrica que pueden alterar el movimiento de otros componentes cargados de la pared y el apoplasto (Rosli 2007). La pectina, el principal componente de la lámina media de las plantas, es deesterificadas a metanol y ácido poligalacturónico por la acción de PME (Reignault y col 1994).

La PME tiene un peso molecular medio de 25 a 54kDa, su punto isoeléctrico varía ampliamente desde 3.1 para PME fúngica hasta 11 para tomate, tiene termosensibilidad moderada (40-70°C) y su pH óptimo se encuentra entre 6 y 8 (Mercado y Aquino 2005).

La reacción asociada con PME se describe enseguida:



Pectinmetilesterasa convierte pectina de alto metoxilo a pectina de bajo metoxilo, la cual además es hidrolizada a pectato por acción de poligalacturonasa (PG), y ablanda el tejido de frutas y vegetales durante el proceso de maduración (Jiang y col 2003). Sin embargo, PME puede incrementar la firmeza en frutos y vegetales por deesterificación de pectina y unión de calcio como enlaces cruzados entre grupos carboxil de cadenas adyacentes (Banjongsinsiri y col 2003). Dado que por un lado la PME actúa permitiendo la formación de puentes de Ca^{+2} y por otro vuelven más susceptibles a los polímeros pécticos a la degradación por PG, aparentemente PME intervendría tanto en el refuerzo como en el debilitamiento de la pared dependiendo de su modo de acción (Phan y col 2007).

1.2. Poligalacturonasa (PG)

La poligalacturonasa (PG) rompe los enlaces α (1-4) galactosídicos del ácido poligalacturónico, causando degradación de las pectinas, la disolución de la pared celular y, finalmente el ablandamiento de la fruta a través de un mecanismo de hidrólisis (Wei y col 2010). Dependiendo del ataque del sustrato éstas pueden ser endopoligalacturonasas (EC 3.2.1.15) o exopoligalacturonasas y generan monómeros de ácido galacturónico (EC 3.2.1.67) o digalacturónidos (EC 3.2.1.82) a partir del extremo no reductor, estos pudiendo ser una gran variedad de azúcares y ácidos orgánicos. Las PGs actúan fundamentalmente sobre los homogalacturonanos. Pertenecen a la familia de las glicosil hidrolasas con un peso molecular que varía de 30-75 kDa. Su pH óptimo de actividad se encuentra entre 3.8 hasta 4.2, aunque generalmente están activas entre 3.5 a 6. La mayoría de ellas tienen actividad alta a temperaturas altas (40-55°C) (Mercado y Aquino 2005).

Es bien sabido que PG es una enzima regulada por etileno y que su actividad se incrementa por daños tales como hematomas (Toivonen y col 2008). La PG es considerada la principal enzima relacionada con la degradación de la pectina (Van Linden y col 2008) y se le asocia a su vez con el ablandamiento de los frutos durante la maduración (Bennett y Labavitch 2008). En papaya los niveles de poligalacturonasa se incrementan después del corte y se mantienen más altos que en la fruta intacta durante el subsecuente almacenamiento (Pinheiro y Almeida 2011).

El ablandamiento durante la maduración de frutos debido a enzimas pécticas tales como PG, es influenciada por PME (Banjongsinsirí y col 2003). La actividad de PME

usualmente inicia antes que la de PG, ya que al separar los metilésteres PME provee un sustrato a PG (Gayosso-García y col 2010) (**Figura 6**). En contra parte los cambios generados por la degradación de laminillas medias durante la maduración es visible bajo el microscopio electrónico de barrido (Teivone 2008).

d. Cambios microestructurales

Se puede pensar que el procesamiento de alimentos altera la estructura y composición natural de los materiales alimenticios e históricamente estos cambios, particularmente en la estructura, se han considerado visibles escala de un microscopio (James 2009). Esto es impulsado en gran parte por la escala de longitud relevante de los componentes de los alimentos, entre algunos nanómetros y alrededor de 100 μm que influyen en fenómenos de transporte de masa, propiedades físicas, reología y atributos de textura. Generando así mayor interés en la investigación para el esclarecimiento en el cambio de valor nutricional del alimento (Aguilera 2005).

El número y la sofisticación de las técnicas disponibles para el estudio microestructural de alimentos se han estado desarrollando rápidamente en las últimas dos décadas, aunque en muchos casos estas técnicas se desarrollan fuera del campo de la ciencia de los alimentos y tecnología. La microscopia de luz y el microscopio electrónico siguen siendo las dos herramientas de uso común para estudiar la microestructura de los alimentos (James 2009; Arzate-Vázquez y col 2012).

1) Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA)

El microscopio electrónico de barrido tradicional es empleado generalmente para la visualización de imágenes en estado seco, lo cual provee un inconveniente en el uso de alimentos. En este sentido aparece el Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA), que permite la examinación de muestras húmedas, generando imágenes de tejidos en estado fresco y además tiene ciertas ventajas de no requerir un tratamiento en especial al introducirse en el microscopio (Newbury 2002; James 2009).

El funcionamiento del equipo (**Figura 7**) está dado por la presencia de un detector de electrones (cada diseño utiliza su propio detector) y la presencia de un gas que es de suma importancia para la creación de las imágenes. Una vez que el haz de electrones principal golpea la muestra genera electrones secundarios y el gas comienza a jugar el papel más importante debido a la ilustración de la ionización de cascada generada, amplificando así una señal electrónica que suprime la formación de la imagen en el detector (Donald 2003).

C. PAPAYA (*Carica Papaya* L.)

La papaya (*Carica papaya* L.) es un fruto, que se cultiva en zonas tropicales y subtropicales, con importantes valores nutricionales (Maruchi y col 2008; Gayosso-García y col 2010). También posee compuestos reconocidos como antioxidantes y que proporcionan importante protección contra el cáncer y otros trastornos comunes del cuerpo (Lee y col 2005; Moret y col 2010). El consumo diario concibe un efecto favorable a la digestión y su acetibilidad es muy grande por su atractivo color de la pulpa, sabor, succulencia y aroma característico (linalol) (Rivera-López y col 2005).

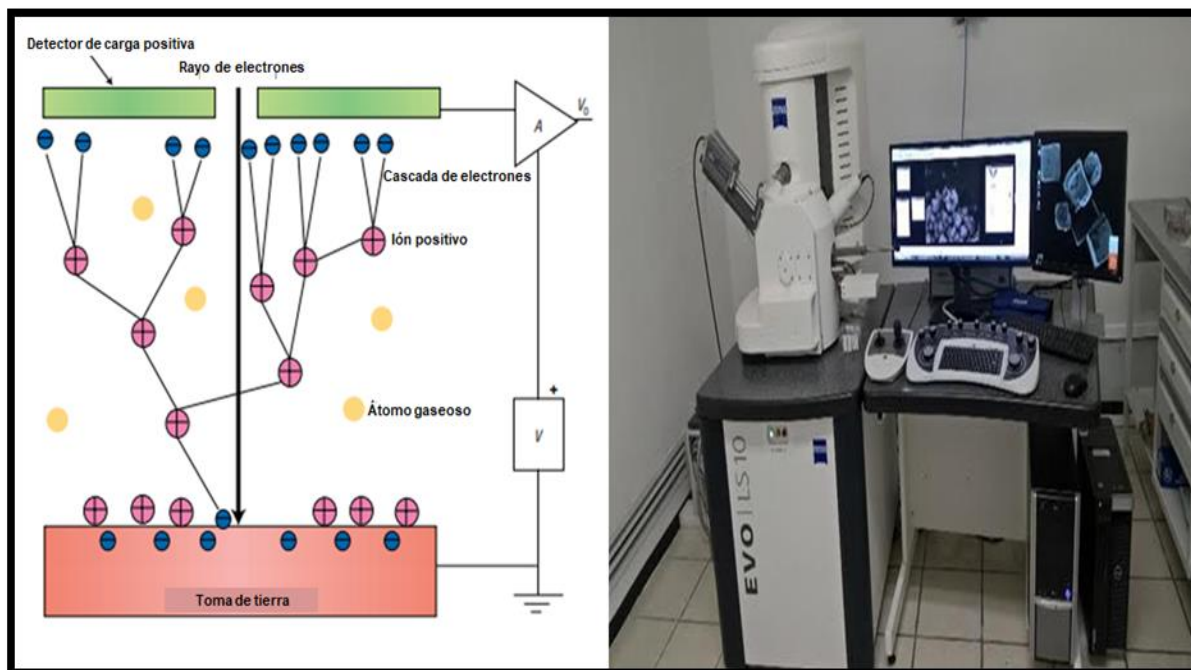


Figura 7. Representación esquemática del detector de electrones y el papel del gas en la formación de imágenes en MEBA. A: Amplificador o voltaje de salida, V: Voltaje de energía.

Fuente: Donald 2003

Además es un fruto relativamente fácil de cultivar, está disponible todo el año y tiene muchos usos a nivel doméstico e industrial (Chavez-Sánchez 1996; Bari y col 2006). Por todos estos motivos y más, el fruto es comercializado internacionalesmente (Leyva y col 2011).

1. Origen

La primera mención de la existencia del árbol de papaya (*Carica papaya* L.) se hizo en Europa en 1535 por el autor español, GH de Oviedo, en su libro, "La física Historia de las Indias", en la que informó al Rey de España del descubrimiento de las papayas que crecen entre el sur de México y el norte de Nicaragua. Se cree que fue a partir de esta región que las primeras semillas fueron llevadas a Panamá, Santo Domingo, ciertas islas del Caribe, y partes de América del Sur (Lassoudière 1968).

Algunos informes sostienen que esta especie se originó en el sur de México y Nicaragua (Chan y Paull 2008), mientras que otros sugieren un origen en el noroeste de América del Sur (Serrano y Cattaneo 2010). Tras el descubrimiento del Nuevo Mundo, el árbol de la papaya se extendió ampliamente en las zonas tropicales, sobre todo en África y Asia.

En México se encuentra en los estados de Baja California, Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Sánchez-Espíndola 2001).

2. Taxonomía y morfología

La papaya pertenece a la clase *Magnoliopsida*, al orden *Violales*, a la familia *Caricaceae* y al género *Carica* L. (Barahona y Sancho 1991).

La papaya (*Carica papaya* L.) es un fruto, una baya que contiene alrededor de 500 semillas ovoides, negras, de 5 mm de largo y encerradas en una cavidad central en forma de estrella, transparente y gelatinoso. Las flores de la planta son axiales y las hay femeninas, masculinas o hermafroditas. Los frutos presentan diversas formas, pueden ser redondos si provienen de una flor femenina, y ovalados, periformes (forma de pera) o alongados si es una flor hermafrodita (Paull 1996; Paull y Chen 1997). En cuanto al tamaño y peso del fruto, éste puede ser de entre 10-25 cm o más de largo y 7-15 cm o más de diámetro, y oscila entre 400 gramos y 6 kilos, dependiendo de la variedad y de su posición en la planta; los más grandes son aquellos ubicados en la parte baja del tallo, y conforme aumenta la altura va disminuyendo el tamaño del mismo, de manera que los ubicados en la zona superior son los más chicos (Barahona y Sancho 1991). La cascara es muy delgada y suave de color amarillo-naranja cuando madura (**Figura 8**), mientras que la pulpa toma un atractivo color amarillo-rojizo con un característico sabor y aroma (Desai y Wang 1995; Paull y Chen 1997; Nakasone y Paull 1998).

3. Variedades

Debido a que el papayo se reproduce por semilla, se han desarrollado un gran número de variedades, empleándose en cada zona de cultivo las mejores adaptadas a sus condiciones climatológicas (INFOAGRO 2017).

En países como Cuba, Brasil, Taiwán y otros del África del Sur se han desarrollado variedades e híbridos que han podido adaptarse a diferentes países de condiciones climáticas similares (SAGARPA 2017).



Figura 8. Planta y Fruto de Papaya (*Carica papaya* L.).

Fuente: Nakasone y Paull 1998.

En países como Cuba, Brasil, Taiwán y otros del África del Sur se han desarrollado variedades e híbridos que han podido adaptarse a diferentes países de condiciones climáticas similares (SAGARPA 2017).

Destacan las variedades Solo, Bluestem, Graham, Betty, Fairchild, Rissimee, Puna, Hortusgred, Higgins, Wilder, Hortus Gold, Petersen, Zapote, Pusa y Maradol (INFOAGRO 2017).

a. Maradol

Es un cultivar ginodioico (población compuesta por plantas hermafroditas y femeninas), de origen cubano, introducido a México en 1977 por CONAFRUT. La fruta es alargada, cilíndrica, de gran tamaño y pueden llegar a pesar entre 1 y 3 Kg. La piel de la fruta es lisa y delgada, de color verde y no se torna amarilla conforme va madurando. La pulpa es de color roja o amarilla que se atribuye a la presencia de criptoxantina β , licopeno y caroteno ζ y β (Sañudo-Barajas y col 2008) y su sabor es muy dulce, aunque no es tan intenso como las variedades Hawaianas. Resultan muy sensibles a enfermedades poscosecha como la antracnosis. (Chan y Paull 2008).

4. Composición química y aspecto nutricionales

La papaya es un fruto sumamente deleitable alimenticio, y es muy solicitado por los consumidores que tienen preferencia por las frutas que además de agradable sabor poseen un contenido alto de nutrientes (Arango-Wiesner 2012). La papaya es baja en calorías (Teixeira-da-Silva y col 2007; CONAFRUT-FAO 2012). Además prácticamente no contiene almidón (Chávez-Sánchez 1996). El contenido de azúcar en la papaya varía considerablemente, dependiendo de la variedad y las condiciones

de cultivo. La composición de azúcares en la papaya madura es de 48.13% de sacarosa, 29.8% de glucosa y 21,9% de fructosa (Ceballos-Chan 2005).

El contenido de vitaminas, minerales y proteínas, hacen sobresalir esta fruta por sus características medicinales, debido a su contenido en carotenos, que son las sustancias precursoras de la vitamina A; y por su contenido en vitaminas B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B6 (folato), B12 (cobalamina), C y D, además de minerales como el calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), sodio (Na^+) y magnesio (Mg^{2+}) y fibra (CONAFRUT-FAO 2012; Arango-Wiesner 2012; Pendziev, 2002; Wall 2006; Parker y col 2010). Su valor nutritivo es alto: 100 gramos de pulpa (**Cuadro 2**) suministra los requerimientos mínimos diarios de vitamina C y la mitad de la vitamina A. El contenido de vitamina C se incrementa gradualmente durante el desarrollo y maduración de las frutas a diferencia de las demás frutas cuyos niveles de vitamina C disminuyen a medida que estas maduran (Arango-Wiesner 2012).

El fruto de papaya también es una fuente importante de diferentes compuestos bioactivos tales como compuestos fenólicos (ácido ferúlico, ácido caféico y rutina), carotenoides (licopeno, β -criptoxantina y β -Caroteno) y vitaminas (vitamina C) (Gayosso-García y col 2010; Robles-Sánchez y col 2007). Contiene unos 106 compuestos volátiles siendo el linalol el compuesto mayoritario el causante del olor característico de la papaya fresca (Ceballos-Chan 2005).

Cuadro 2. Composición en fresco del fruto de papaya (100 g).

Componente	Cantidad
Humedad	85.90-92.6 g
Proteínas	0.081-0.34 g
Grasas	0.05-0.096 g
Hidratos de carbono	6.17-6.75 g
Fibra cruda	0.51-1.30 g
Ceniza	0.31-0.66 g
Calcio	12.9-40.8 mg
Hierro	0.25-0.78 mg
Potasio	183 mg
Sodio	4.0 mg
Fósforo	12 mg

Fuente: Ceballos-Chan 2005

5. Maduración y senescencia

La maduración de la papaya afecta las características sensoriales, farmacológicas y calidad nutricional del fruto, es por ello que es importante identificar las etapas de maduración (Gonçalves y Pierre 2011).

La papaya es un fruto climatérico de corta vida de anaquel que se cosecha en madurez fisiológica para extender su periodo de comercialización, ya que su maduración continua después de cosechado, produciendo cantidades significativas de etileno, conjuntamente con la presencia de un alto ritmo respiratorio (Sañudos-Barajas y col 2008). En etapa de maduración ocurren una serie de eventos y reacciones, donde las moléculas de alto peso molecular (tales como el almidón) son degradadas, resultando moléculas con bajo peso molecular (tales como azúcares y ácidos orgánicos), ocurren cambios de color, aroma, síntesis de proteínas, traslucidez de la pulpa y cambios de textura en el fruto (Gayosso-García y col 2010). El ablandamiento del mesocarpio y el endocarpio se deben a la actividad de enzimas que degradan la pared celular (Paull y Chen 1997).

Aproximadamente el 95 % de la producción nacional de papaya corresponde a la variedad Maradol, por lo que debido a su importancia se han desarrollado los índices de madurez no objetivos para esta variedad (**Cuadro 3, Figura 9**) basados en el cambio de color externo. Estos parámetros son ampliamente usados como un índice de madurez visual en muchos frutos, mientras que los sólidos solubles totales y firmeza pueden ser usados como estándares de calidad (Santamaría-Basulto y col 2009).

Cuadro 3. Características de los índices de madurez del fruto de papaya Maradol.

Estado de madurez	Descripción
Fruto verde	Piel verde sin rayas amarillas; pulpa muy dura y de color blanca; semillas bien formadas pero de color blanco o ligeramente oscuras.
1	Piel verde con ligeras rayas amarillas; la pulpa presenta algunas áreas con el color naranja; es muy dura y contiene grandes cantidades de látex.
2	Piel verde con rayas de color amarillo bien definidas; la pulpa cercana a la cavidad de las semillas es de color naranja y ligeramente verde la cercana a la piel aunque toda vía dura y con grandes cantidades de látex.
3	Una o más rayas de color naranja en la piel; la pulpa casi completamente de color naranja, excepto cerca de la piel; toda vía dura pero contiene menos látex.
4	Piel claramente color naranja con algunas áreas ligeramente verdes, pulpa completamente naranja, excepto cerca del pedúnculo, más blando que en estado 3, pero sigue estando dura para consumo, bajo contenido de latex
5	La piel muestra el color naranja característico de la variedad maradol, la pulpa se encuentra firme apropiada para el consumo; ya no presenta látex.
6	Condiciones similares al estado 5, pero con un color naranja más intenso en la piel y la pulpa toda vía más blanda adecuada para el consumo.

Fuente: Santamaría-Basulto y col 2009.

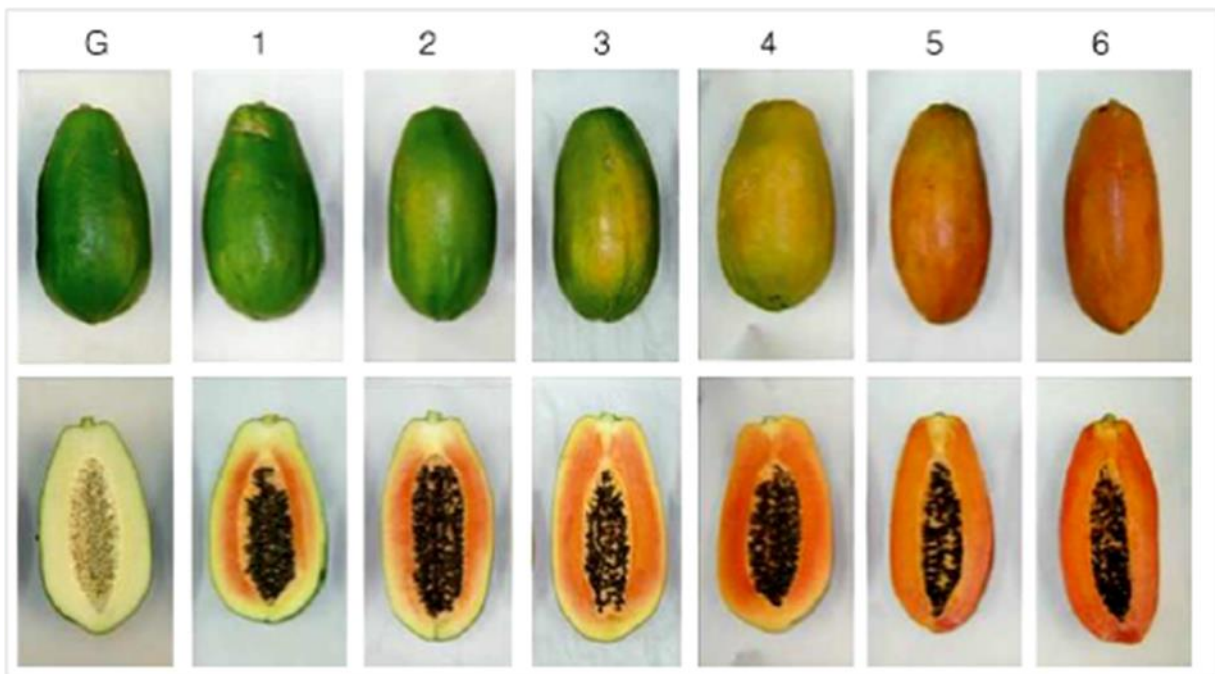


Figura 9. Aspecto visual de la representación de papaya Maradol para cada estado de madurez

Fuente: Santamaría-Basulto y col 2009.

6. Producción mundial y nacional de la papaya

La papaya se produce en más de 60 países y su producción se concentra en naciones en vías de desarrollo. En 2014 la producción mundial de papaya se estimó en 12.67 millones de toneladas y la tasa de crecimiento anual de su producción a nivel mundial fue del 4.35 % (FAOSTAT 2017).

En la actualidad, India representa el primer productor mundial de papaya con 5,639,300 toneladas; mientras que Brasil ocupa el segundo lugar con 1,603,351 toneladas producidas, Nigeria ocupa el tercer lugar con 850,000 toneladas e Indonesia ocupa el cuarto lugar con una producción 840,121 toneladas (FAOSTAT 2017) (**Cuadro 4**).

México por su parte ocupa el quinto lugar en producción con 836,370 toneladas y el primer lugar en exportación, con un valor de producción de \$2,600 millones lo cual indica su importancia económica en los mercados nacionales e internacionales. Los principales estados productores son Oaxaca (que aporta un tercio del volumen nacional), le siguen, Colima, Chiapas, Veracruz, Michoacán, Guerrero, Campeche, Jalisco, Yucatán y Quintana Roo (SAGARPA 2016).

a. Importancia en el estado de Sinaloa

Sinaloa ocupa actualmente el décimo quinto lugar (de 20 estados productores), donde se reporta que para el ciclo 2014 una superficie plantada de 378 hectáreas, de las cuales 217 corresponden a el municipio de el Rosario (con una producción de 55 t/ha), Mazatlán con 120 hectáreas (80.0 t/ha), Culiacán con 30 hectáreas (13.8 t/ha), Elota con 6 hectáreas (17.8 t/ha) y Escuinapa con 5 hectáreas (6.5 t/ha). Donde se siembra principalmente la variedad Maradol (SAGARPA, 2016).

Cuadro 4. Producción mundial de papaya.

País	Cantidad (Ton)
India	5,639,300
Brasil	1,603,351
Nigeria	850,000
Indonesia	840,121
México	836,370
República Dominicana	704,786
República Democrática del Congo	220,483
Filipinas	172,628
Venezuela	165,102
Tailandia	157,571
Colombia	155,290
China	150,974
Perú	148,280
Cuba	139,531
Bangladesh	131,000
Kenya	125,141
China, providencia de Taiwan	115,780
Costa Rica	90,000
Guatemala	62,020
Malí	59,754

Fuente: FAOSTAT 2017.

7. Formas de consumo y uso

La papaya se consume principalmente como fruta fresca, por su excelente sabor y textura (Arango-Wiesner y Román-Hoyos 2012). Se utiliza también para la fabricación de refrescos, mermeladas y helados, inclusive se conserva en almíbar. Se utiliza en la medicina, en tratamientos de los sistemas digestivos, circulatorio y urinario, etc. La papaya también se ha utilizado en la cosmetología, especialmente en la fabricación de cremas, enjuagues, acondicionadores, tratamientos reductivos, etc. Asimismo, la papaya es importante en el aspecto industrial, por su contenido en papaína, que es una enzima proteolítica, utilizada con diversos propósitos, principalmente ablandamiento de carnes (Hernández-Albítier 2004).

La papaína, que se encuentra en los tejidos verdes de las plantas y en especial de los frutos verdes posee la cualidad de disolver y digerir los albuminoides. Gracias a estas cualidades es utilizada en la medicina para el control de insuficiencia gástrica, en la digestión de tejidos putrefactos, en heridas gangrenosas y para estudios citológicos en la determinación del cáncer estomacal. En la industria textil se usa la papaína para suavizar la lana, la ceda. Además, se emplea para el ablandamiento de carnes mediante la inyección a la res, minutos antes de su sacrificio o en forma directa rociando con papaína el corte de carne al momento de su cocción (Arango-Wiesner y Roman-Hoyos 2012).

IV. JUSTIFICACIÓN

El estilo de vida actual, con poca disposición de tiempo para preparar comidas equilibradas, ha generado el consumo de frutos frescos y naturales, dispuestos para consumir, cómo los productos mínimamente procesados. Es por ello que los consumidores exigen las características de calidad des estos productos, asegurando su economía y comodidad. La papaya (*Carica papaya* L.) es uno de los frutos que más se consume en esta presentación por su agradable sabor y aroma, además de contener propiedades benéficas nutritivas y saludables.

Sin embargo contemplando las operaciones del procesamiento mínimo (pelado y cortado) provocan desordenes fisiológicos que dañan principalmente la integridad de la pared celular generado a su vez por elevada tasa de respiración. El verdadero reto se centra en encontrar tecnologías innovadoras que sustituyan los métodos tradicionales (atmósferas controladas) que requieren de un gran gasto energético e inversión económica. Una alternativa para atender esta problemática es la utilización de recubrimientos comestibles elaborados por extrusión. Proceso por el cual se obtienen revestimientos resistentes, con buenas propiedades al intercambio de gases, biodegradables, no tóxicos, de bajo costo y fáciles de elaborar. Obteniendo así una mayor estabilidad, calidad y seguridad del fruto.

V. HIPÓTESIS

La aplicación de recubrimientos comestibles de almidones de maíz extrudidos en papaya mínimamente procesada, permite la disminución de la tasa de respiración del fruto, retrasando los procesos enzimáticos involucrados en el ablandamiento de pared celular y ayudando a mejorar las características físicas y estructurales del mismo, obteniendo así una mayor vida de anaquel y calidad.

VI. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de los recubrimientos comestibles elaborados a partir de almidones extrudidos sobre las propiedades fisicoquímicas, microestructurales y enzimáticas de la pared celular de papaya (*Carica papaya* L.) mínimamente procesada.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar los recubrimientos por tecnología de extrusión-casting, el primero formulado a partir de almidón de maíz-plastificantes y el segundo por almidón de maíz-plastificantes y gelatina.
2. Evaluar el efecto de los recubrimientos de almidones extrudidos sobre las características de calidad físicas (pérdida de peso, color, firmeza) y químicas (sólidos solubles totales, pH, acidez titulable) en papaya mínimamente procesada.
3. Analizar el efecto de los recubrimientos de almidones extrudidos sobre la acumulación de CO₂ y O₂.
4. Evaluar el efecto de los recubrimientos de almidón extrudido, aplicados en papaya, sobre la actividad enzimática de PME y PG, durante el almacenamiento.
5. Analizar el efecto de los recubrimientos de almidón extrudido, sobre las propiedades microestructurales de la pared celular (pulpa) de papaya a través de microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MATERIALES

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó como materia prima papaya (*Carica papaya* L.) variedad “Maradol”. Los frutos fueron obtenidos de un mercado local y se seleccionaron con base en la libertad de defectos, uniformidad de color y tamaño, generando un material experimental homogéneo (Estado de madurez 5). Los frutos se trasladaron al Laboratorio de Procesos Térmicos de la Maestría en Ciencia y Tecnología en Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Para la elaboración de los recubrimientos comestibles se utilizó almidón de maíz (Ingredion Colombia) y dos plastificantes, glicerol anhidrido marca JT Baker y sorbitol marca Cedrosa S675.

B. METODOLOGÍA

1. Formulación de los recubrimientos comestibles

a. Recubrimiento comestible de almidón-plastificantes

La elaboración del recubrimiento comestible de almidón-plastificantes (AP), se realizó de acuerdo a la metodología de Fitch Vargas y col (2016), utilizando almidón de maíz nativo y plastificantes (glicerol (20.3 %) y sorbitol (79.7 %)) en una relación 80:20. La mezcla a extrudir se acondicionó a una humedad de 20%. Posteriormente se empleó un extrusor de doble tornillo (Shandong Light M&E LT32L, China) (**Figura 10**) para procesar la muestra empleando temperaturas de extrusión (TE) de: 70-80-89 °C, para las tres zonas de calentamiento respectivamente y una velocidad de tornillo (VT) de 66 rpm y alimentación de 22.82 g/min. Al producto obtenido se le



Figura 10. Extrusor de doble tornillo Shandong Light M&E LT32L.

asignó el nombre de formulación extrudida (FE) el cual se recibió en agua destilada en una relación 4:1 (por cada 100 g de muestra/ 400 mL de agua destilada). La FE se dejó reposar 24 h posteriormente los restos de pellets se molieron con un mezclador Moulinex (DD701145, México) y se filtró con manta cielo para obtener una solución libre de grumos. Se empleó la técnica de casting para obtener los recubrimientos comestibles, donde se tomaron 300 mL de la FE y se calentaron durante 10 minutos con agitación mecánica vigorosa hasta alcanzar una temperatura de 80°C obteniendo como resultado una solución gelatinizada. Finalmente se dejó enfriar la solución a temperatura ambiente y consecuentemente se llevó la aplicación en el fruto mínimamente procesado de papaya variedad “Maradol”.

b. Recubrimiento comestible de almidón-gelatina-plastificantes

Para la elaboración de los recubrimientos comestibles de Almidón-Gelatina-Plastificantes (AG) se utilizó la metodología de Valenzuela Navarro (2016), empleando maíz nativo (Fabpsa S.A. de C.V.) (76.68%), plastificantes (Glicerol: 20.3 % y sorbitol: 79.7%) (20%) y gelatina (3.32%) marca diamante 315 bloom. La mezcla se acondicionó a una humedad del 20%. El proceso de extrusión se llevó a cabo tomando en cuenta las siguientes condiciones TE: 80, 90, 99 °C, para las tres zonas de calentamiento respectivamente, VT: 180 rpm y alimentación de 50.3 g/min. Posterior a esto, se volvió a realizar el mismo procedimiento que se siguió para AP.

c. Recubrimiento comestible de alginato

La elaboración del recubrimiento de alginato (ALG) se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Rojas-Graü (2007). Se disolvieron 2 g de alginato de sodio por cada 100 mL de H₂O destilada y se calentó a 70 °C con agitación vigorosa

hasta conseguir una homogeneización, para posteriormente agregar glicerol en una concentración de 1.5 g por cada 100 mL de la disolución. A continuación se obtuvo una emulsión agregando 0.025g de aceite de girasol por cada 100mL de solución formadora de recubrimiento, las fases se dispersaron en un ultraturrax (IKA® T18, basic) por 5 minutos a 24,500 rpm. Para la eliminación de gases generados por la emulsión, principalmente oxígeno, se empleó una bomba de vacío.

2. Aplicación de recubrimientos comestibles en papaya mínimamente procesada

Los frutos de papaya se sometieron a un lavado usando una solución de 200 $\mu\text{L L}^{-1}$ de hipoclorito de sodio, enseguida fueron pelados, se les removió las semillas y se cortaron transversalmente para formar rebanadas de 1.5 cm de espesor. Posteriormente los recubrimientos de AP, AG y ALG se aplicaron sobre la papaya mínimamente procesada, a una temperatura de 12 °C (simulando las condiciones de un cuarto frío). Los frutos fueron clasificados en los siguientes tratamientos:

- Control (agua destilada)
- AP (almidón-plastificantes)
- AG (almidón-gelatina-plastificantes)
- ALG (alginato)

Se formaron 4 lotes de aproximadamente 160 piezas c/u. La aplicación consistió en la frotación del recubrimiento correspondiente con una tela manta (método obtenido por un estudio preliminar) de 8 cm x 8 cm (sanitizada a presión de vapor) sobre la superficie del fruto. Una vez aplicado el recubrimiento los frutos mínimamente procesados se secaron a 12°C. Posteriormente se colocaron 4

rebanadas de papaya en charolas de tereftalato de polietileno (PET) (Nutrigo S.A. de C.V., México) (aproximadamente 160 g por charola), se emplearon con una película autodherible de policloruro de vinilo (PVC) (INIXFILM S.A. de C.V., México), para mantener una atmosfera modificada en la caja y fueron almacenadas a una temperatura de 5 °C por 10 días, con una HR del 90 %, simulando las condiciones de almacenamiento de PMP (**Figura 11 y 12**). Se llevaron a cabo retiros cada 2 días (días de evaluación 0, 2, 4, 6, 8, 10) y se tomaron 5 charolas para los análisis de calidad por tratamiento (pH, acidez titulable, color, firmeza y enzimas (PME y PG)). Para las pruebas de pérdida de peso y análisis de gases, se monitorearon otras 5 charolas por tratamiento.

3. Análisis fisicoquímicos de calidad

a. Color

La determinación de color se llevo a cabo de acuerdo a la metodología reportada por Djoua y col (2009) utilizando un colorímetro Minolta CR 200 (Minolta Chromameter, Japón) en la escala CIELAB. Registrándose los valores L* (Luminosidad) y b* (Azul-Amarillo). Se tomaron 15 lecturas por réplica y se registró tres mediciones por rebanada.

b. Pérdida de peso

Se determinó de acuerdo a la metodología reportada por Vega-Espinoza (2010). Mediante la utilización de 5 charolas para cada tratamiento, registrándose el peso cada dos días con el uso de una balanza analítica marca Sartorius (modelo TE4101 USA). Los valores se expresaron como porcentaje de pérdida de peso (% P/P) en

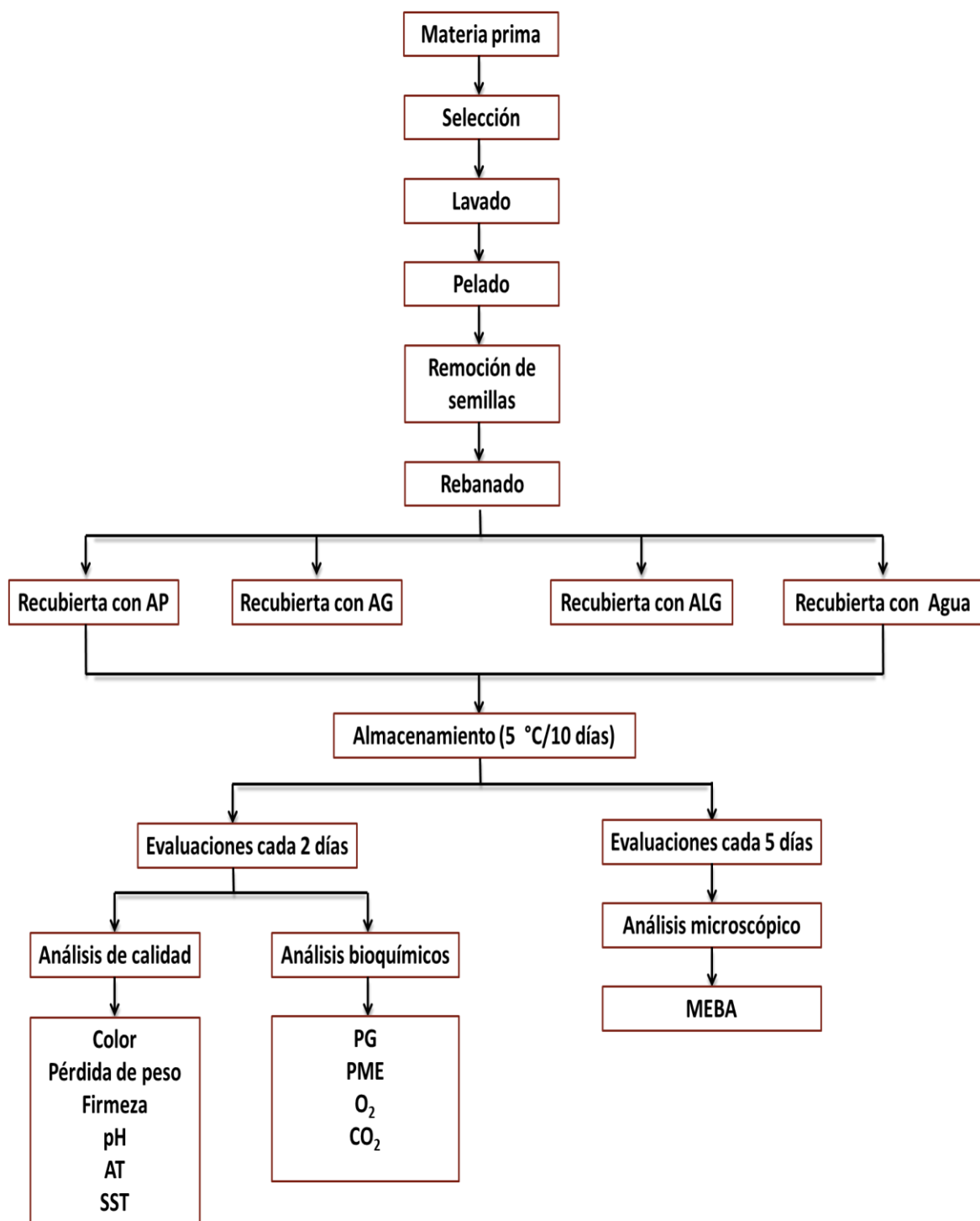


Figura 11. Diagrama de flujo del desarrollo del experimento.

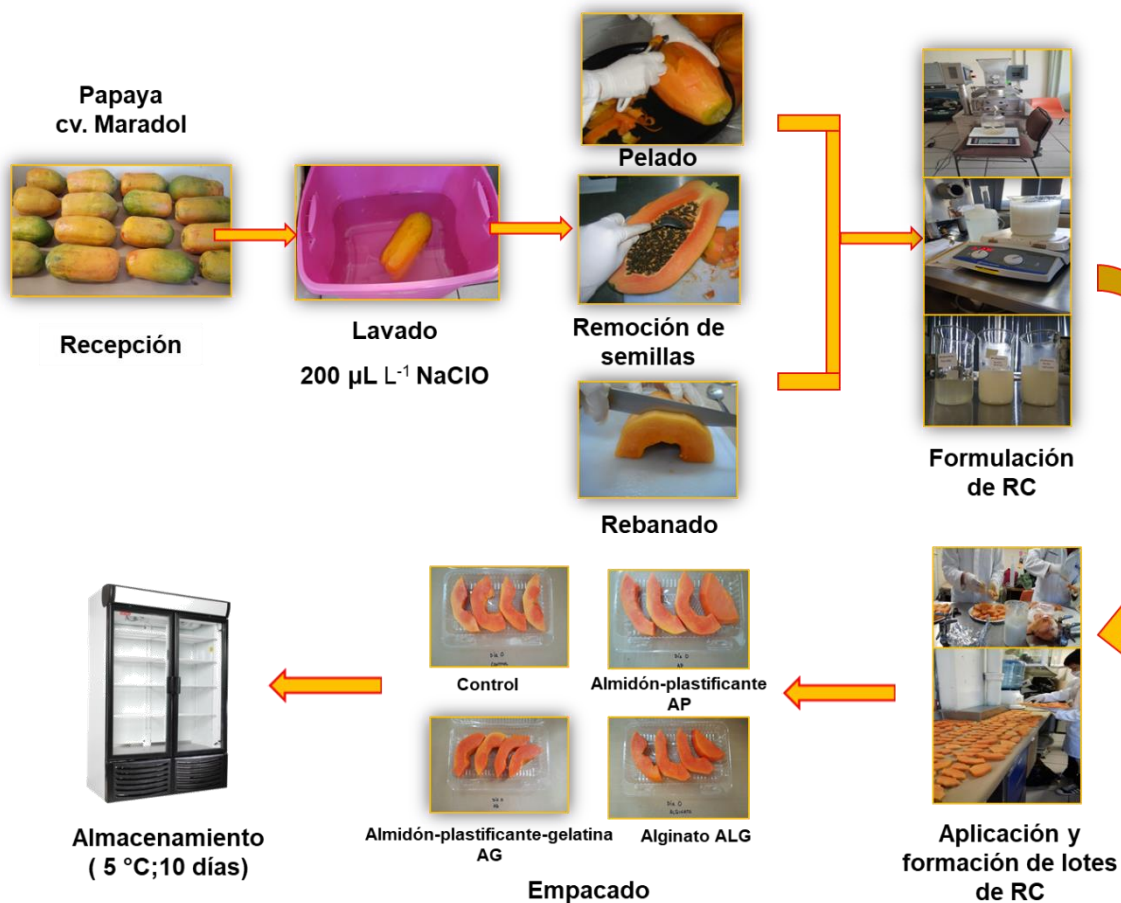


Figura 12. Diagrama que ilustra el desarrollo del experimento

relación al peso inicial del mismo, según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Pérdida de Peso} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

c. Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se evaluó de acuerdo al método oficial 932.12 de la AOAC (2012) utilizando un refractómetro manual de marca ATAGO (Modelo 1-877-USA). La evaluación se realizó colocando una gota de jugo de la pulpa de papaya variedad “Maradol” directamente sobre el refractómetro. Se reportó como porcentaje de sólidos solubles totales o porcentaje de azúcar (°Brix). Las mediciones se realizaron por triplicado.

d. pH

Se efectuó utilizando el método 943.02 de la AOAC (2012). Se homogeneizaron 10 g de muestra con agua destilada neutra, posteriormente se filtraron empleando una tela de organza y se aforó a 50 mL. El pH se avaluó mediante la inmersión directa del electrodo de vidrio de un potenciómetro Orion (Orion research inc, Boston, MA USA) en la solución aforada. Las evaluaciones se llevaron por triplicado, expresándose los resultados como iones de hidrógeno.

e. Acidez titulable

La acidez titulable se evaluó de acuerdo al método oficial 942.15 de la AOAC (2012). A partir de la solución aforada para la determinación de pH, se tomaron alícuotas de 10 mL y se titularon con NaOH 0.1 N hasta obtener un viraje de pH de 8.1 ± 0.2 . Las evaluaciones se realizaron por triplicado y se reportó cómo porcentaje de ácido cítrico.

f. Firmeza

La firmeza de la pulpa se evaluó de acuerdo a lo reportado por Ayón-Reyna y col (2015), con algunas modificaciones. Para ello se emplearon rebanadas de papaya de aproximadamente 1.5 cm de grosor y 5 cm de longitud. Cada trozo fue colocado con el pericarpio hacia arriba en la base de un texturómetro universal INSTRON 3342 (Modelo Mass U.S.A.), con una punta de 11 mm de diámetro tocando ligeramente la superficie donde ésta se introdujo en el tejido a una profundidad de 5 mm con una velocidad constante de 50 mm min^{-1} . Se reportó la fuerza de compresión máxima en unidades básicas de Newton (N). Se tomaron 15 lecturas por replica y se registraron 3 mediciones por cada rebanada.

4. Cambios bioquímicos

a. Análisis de gases

1) Composición de gases (O_2 y CO_2) dentro del envase

La concentración de O_2 y CO_2 en los empaques fue evaluada empleando un analizador de gases modelo GCS-250 (Gas Control Systems, Dual Gas Analyser U.S.A.). A las charolas se le colocaron septas de plástico en las que se les insertó la aguja del registrador para tomar las concentraciones de los gases. El análisis se realizó por triplicado. Los resultados fueron expresados en % de concentración de O_2 y CO_2 .

b. Análisis enzimático

1) Extracción enzimática

Las enzimas de la pared celular fueron extraídas siguiendo la metodología reportada por Carrillo-López y col (2002), con ciertas modificaciones. Se homogeneizaron 7.5 g de pulpa de papaya variedad “Maradol” con 12.5 mL de NaCl 1 M a 4 °C por un minuto en un Ultra-turrax (IKA T18 B asic). El homogeneizado se centrifugó (Centrifuga Thermo Fisher Scientific Sorvall LYNX 4000, Alemania) a 18,500 g por 45 min a 4 °C y se filtró con papel Whatman No. 4. El sobrenadante se saturó al 80 % con sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) y se puso en agitación por 1 hora en refrigeración para precipitar la proteína, enseguida se recibió una segunda centrifugación a 18,500 g por 20 min. El botón que contenía la proteína se re-suspendió en 15 mL de agua destilada a 4°C y se almacenó en un REVCO (ULT2090-3-A31 US) a -70 °C donde posteriormente se retiraba para cada medición de la actividad enzimática.

2) Evaluación de la actividad de PME

La actividad de PME se evaluó siguiendo la metodología de Hagerman y Austin (1986) basándose en el cambio de color de un indicador de pH durante la reacción catalizada por PME. Los enlaces ésteres de las pectinas fueron hidrolizados produciendo grupos ácidos, generando un pH bajo. Este cambio fue monitoreado espectrofotométricamente (Modelo GENESYS 10 UV Serie 2H7G229001, USA). Se mezclaron 2 mL de pectina cítrica (0.5 %) con 0.5 mL de azul de bromotimol (0.01 %) en buffer de fosfato de potasio (0.003 M) y 4 mL de agua destilada. La mezcla se ajustó a pH 7.5 y la reacción se inició al añadir 100 µL del extracto enzimático de

PME. La reacción se llevó a cabo a 30 °C y se monitoreó durante 5 min a 620 nm. Se realizó una curva estándar de ácido galacturónico. Las unidades de PME fueron expresadas como μm de H^+ liberados/100 gff-min. Se obtuvieron 3 lecturas por replica.

3) Evaluación de la actividad de PG

Se evaluó la actividad específica de la PG de acuerdo a la metodología reportada por Chávez-Sánchez y col (2011) con algunas modificaciones. Se notificó la formación de grupos reductores del ácido poligalacturónico. Se mezclaron 2 mL del extracto enzimático de PG y 2 mL de ácido poligalacturónico (0.5 %) en buffer de acetato de sodio con pH 4.6 y se incubó por una hora a 37 °C. La medición de la actividad se realizó mezclándose 400 μL del extracto incubado, 4 mL de buffer de tetraborato de sodio 0.1 M (pH 9) y 400 μL de 2-Cianoacetamida al 1 %, cada 15 min. Esta mezcla se agitó por un minuto y se calentó en baño maría a temperatura de ebullición por 10 min, posteriormente se enfrió a temperatura ambiente (agua con hielo) y se registró el cambio de absorbancia en un espectrofotómetro (Modelo GENESYS 10 UV Serie 2H7G229001, USA) a una longitud de onda de 276 nm. El blanco se preparó de la misma forma pero sin agregar la enzima. La curva estándar se construyó con ácido galacturónico. La actividad de PG se reportó como μmoles de ácido galacturónico formado por hora sobre la base de 100 g de fruta fresca. Se obtuvieron 2 lecturas por replica.

5. Cambios microestructurales

a. Análisis microestructura de la pared celular

El análisis de la microestructura celular se llevó a cabo durante toda la poscosecha por Microscopia Electrónica de Barrido Ambiental (MEBA), mediante la metodología propuesta por James y col (2009).

La morfología de los recubrimientos adheridos en papaya mínimamente procesada (superficie y corte transversal) fue analizada en un Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental Marca Carl Zeiss (modelo EVO LS10, Alemania), utilizando 20 kV, presión 10 Pa y magnificaciones a 100X. Se realizaron dos tipos de posiciones para la adquisición de las imágenes corte transversal y superficie, del fruto. Las muestras de papaya en cubos de 1 cm³ aproximadamente, se introdujeron en el portaobjeto, previo a ello se le adhirió una cinta de carbono para conducir los electrones retrodispersadores. El brillo y el contraste fueron controladas durante la examinación; por lo tanto, los valores de estos parámetros se mantuvieron constantes o muy similar para todas las muestras. El análisis de las imágenes se determinó a partir de las microfotografías, mediante observación empírica.

6. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio con dos factores: tratamiento (Control, AP, AG y ALG) y tiempo de almacenamiento (0, 2, 4, 6, 8 y 10 días), realizándose las replicas correspondientes para cada prueba. La diferencia estadística entre los resultados se analizó utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS Centirun XV. Los análisis fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias se realizaron

mediante la diferencia mínima significativa (LSD, Least significant Difference) de Fisher con un nivel de confianza del 95 %. La descripción de las microfotografías se realizó de manera empírica mediante información consultada en bibliografía. Se realizó una replica.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE CALIDAD

1. Color

En el fruto de papaya, su coloración rojiza característica es un indicativo de su estado de madurez y de una buena calidad (Mahmud y col 2008). Los parámetros L^* , a^* y b^* son comúnmente utilizados para describir los cambios de color en los frutos. Siendo L^* y b^* , los parámetros que se ven mayormente afectados durante la maduración en papaya (González y Ayala 2005).

a. Parámetro de color L^*

El parámetro L^* representa la luminosidad del fruto y exhibe valores que van desde 0 (tonos negros) hasta 100 (tonos blancos) (Gayosso-García y col 2010). En la **Figura 13** se muestran los resultados del parámetro L^* con respecto a los días de almacenamiento a 5 °C para los tratamientos Control, AP, AG y ALG. Se puede observar que los tratamientos Control, AG y AP no presentaron efecto significativo sobre la luminosidad al inicio (día 0) y fin (día 10) del almacenamiento. Mientras que ALG mostró un incremento significativo ($p \leq 0.05$) en esta respuesta durante todo el almacenamiento.

Los tratamientos Control y AG, presentaron comportamientos similares, los cuales mostraron un ligero descenso en los valores de parámetro L^* en el día 2 (55.1 ± 1.5) y 4 (54.7 ± 1.9), respectivamente en el día 6 tuvieron un incremento sin embargo en el día 10 alcanzaron un valor de 60.6 ± 1.23 , pero sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre estos tratamientos.

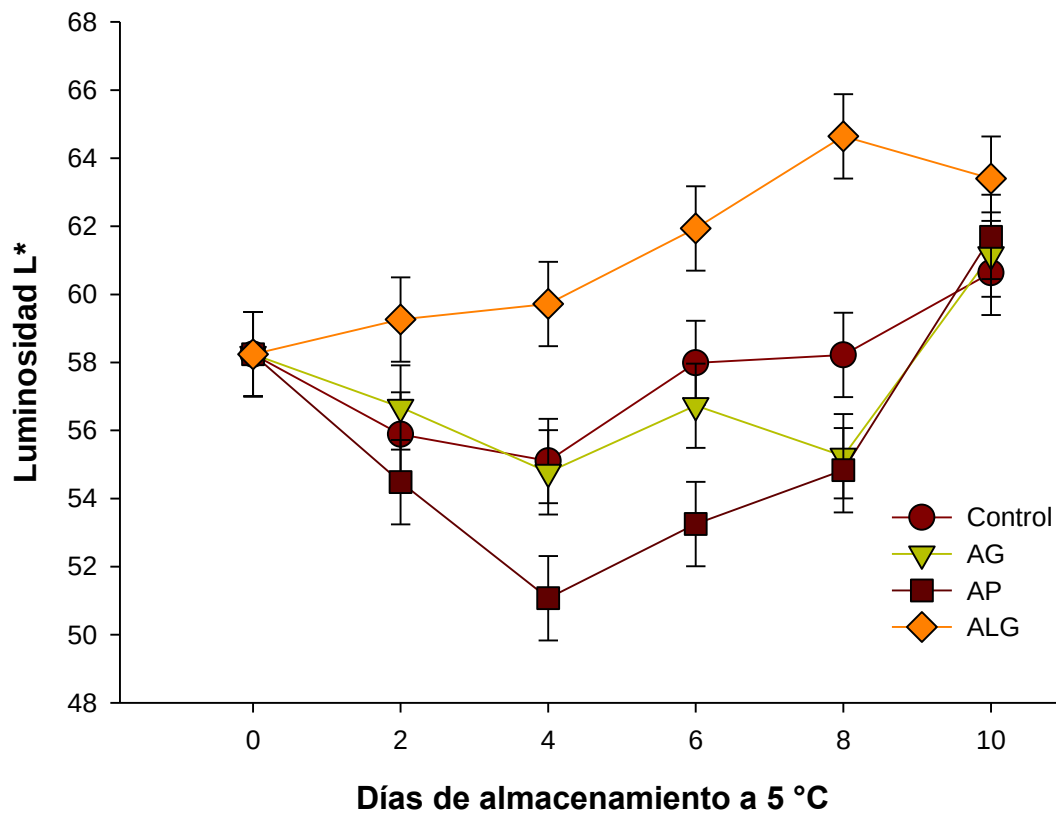


Figura 13. Cambios en el parámetro L* de la escala del color CIE durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 7 repeticiones. Las barras verticales indican LSD= 2.47 ($\alpha= 0.05$).

En el tratamiento AP presentó una disminución en los días 2 y 4, atribuido posiblemente a la opacidad que genera los recubrimientos de almidón, mostrando los respectivos valores de 54.4 ± 1.23 y 51 ± 1.23 , sin embargo a partir del día 6 se presentó un ascenso con un valor de 61.6 ± 1.23 hasta el final de la evaluación, este mismo, presento diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los días 4 y 6, en comparación con los demás tratamientos. El tratamiento ALG siempre mantuvo un incremento en el parámetro de L^* , hasta el día 8 en un rango de valor de 58-64 presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los demás tratamientos, así mismo presento un valor de 63.4 ± 1.23 para el último día de evaluación.

Los valores del parámetro L^* siempre se mantuvieron en el mismo rango para todos los tratamientos, inclusive el último día presentaron valores similares. Por lo cual se cree que los recubrimientos de comestibles de almidón no repercutieron en los valores de L^* para que el producto pueda ser comercializado. Fakhouri y col (2015) aseguran que una alta concentración de almidón puede permitir una matriz más compacta debido a la presencia de anillos de glucósidos de almidón, obstaculizando el paso de la luz. Este mismo autor estudió el efecto de un recubrimiento elaborado a partir de almidón con gelatina, aplicado en uvas rojas almacenadas durante 21 días en condiciones de refrigeración, percantándose que la adición de gelatina a los revestimientos de almidones disminuye la opacidad, justificándose que esta genera una estructura triple helicoidal, permitiendo la penetración de la luz. Respecto al aumento de L^* a partir del día 6 posiblemente fue ocasionado por una despigmentación por la senescencia del fruto. El aumento más notorio de L^* para el tratamiento ALG durante casi toda la evaluación puede deberse

principalmente a la presencia de aceite en su formulación, permitiéndole mayor brillantez, mismo que al final se perdió.

Por otra parte Ayón-Reyna y col (2015) observaron una disminución en los valores de L^* durante el almacenamiento de papaya “Maradol” mínimamente procesada empleando un tratamiento hidrotérmico y recubrimientos de quitosano con sales de calcio. Estos autores mencionan que este comportamiento pudiera deberse a la pérdida de humedad y el fenómeno de traslucidez, ocasionados por una alteración de la textura producida por las sales de calcio, otorgándole una apariencia transparente, cristalina y sobremadurada, y como consecuencia una coloración más opaca sobre las rebanadas de papaya. Bierhals y col (2011) estudiaron el efecto de recubrimientos elaborados a partir de almidón de yuca, con y sin lactato de calcio en piña variedad Pérola mínimamente procesada, encontrando una disminución del parámetro L^* para todos los tratamientos (de 45 a 39), atribuyendo este cambio a la presencia de la enzima polifenol oxidasa (POD), misma que se encarga del oscurecimiento de la gran mayoría de los frutos. Chiumarelli y col (2010) utilizaron recubrimientos de almidón de yuca con glicerol aplicados en mango Tommy Atkins mínimamente procesado, promoviendo una mejora en la pérdida del parámetro de L^* , mostrando un brillo en la superficie de las frutas, sin embargo observaron una disminución en este parámetro después de 15 días de almacenamiento a 5 °C. Los mayores valores de L^* se observaron en los tratamientos con glicerol, ellos indican que el recubrimiento pudo crear una buena barrera contra la permeabilidad del oxígeno en la superficie del mango generando retrasos de los procesos metabólicos, principalmente las reacciones de oscurecimiento enzimático y como resultado una

mejor preservación del color. Roble-Sánchez y col (2012) indican que L^* es un parámetro indicador de oscurecimiento enzimático. Dichos autores utilizaron recubrimientos de alginato (2% V/V, glicerol y aceite de girasol) con cloruro de calcio, con y sin antioxidantes (ácido ascórbico y ácido cítrico), en rebanadas de mango que exhibieron una reducción gradual de L^* , los valores más altos fueron de alginato + antioxidantes para los 12 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C, en comparación con los demás tratamientos (control y alginato sin antioxidantes), estos resultados corroboran el efecto favorable de los recubrimientos. Además la adición de agentes antioxidantes inhibe la expresión de POD, reduciendo las o-quinonas a difenoles y además promueven un pH reductor (Hu y col 2007).

b. Valor b^*

El parámetro de cromaticidad b^* se utiliza para estimar los cambios en la intensidad del color amarillo (-azul→+amarillo) (Ayón-Reyna y col 2015).

El valor inicial promedio del parámetro b^* fue de 42, el experimento mostró un cambio muy notorio a partir del día 2, para los tratamientos AG y Control donde se mostraron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) en comparación a los demás tratamientos (**Figura 14**). A partir del día 4 los tratamientos AP, AG y ALG se comportaron de forma similar hasta llegar a un rango de valor en b^* de 34-36 para el

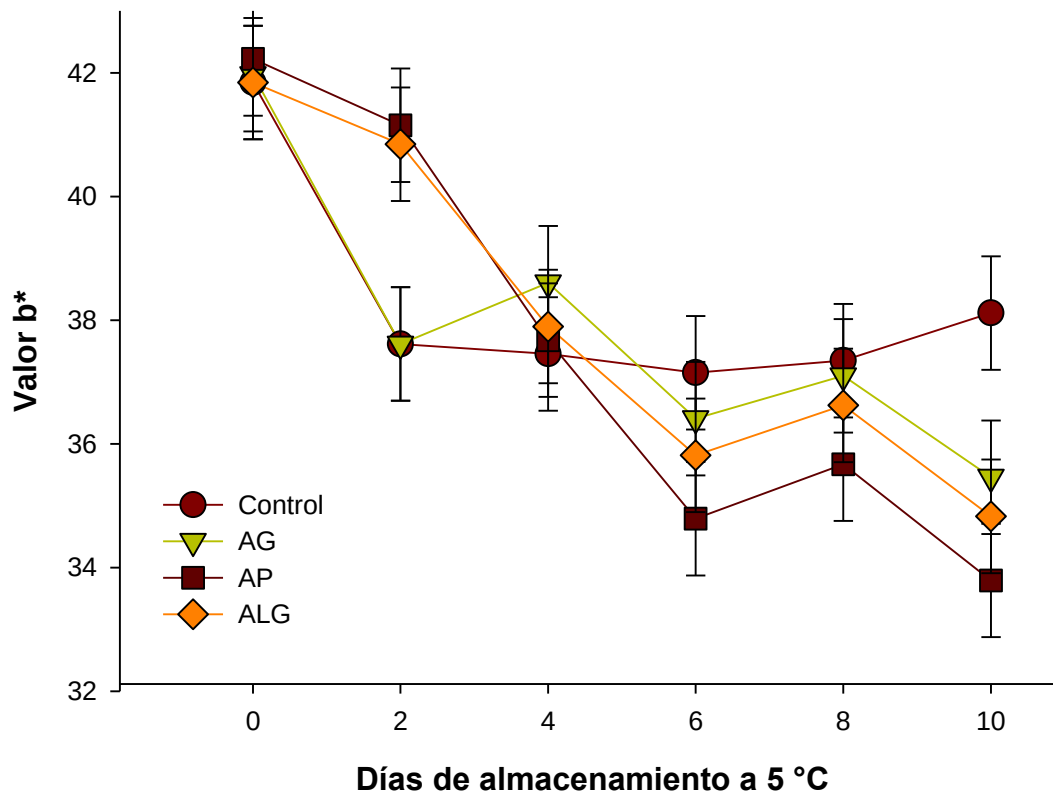


Figura 14. Cambios en el parámetro b^* de la escala de color CIE durante el almacenamiento a 5°C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 7 repeticiones. Las barras verticales indican $LSD=1.83$ ($\alpha=0.05$).

último día de evaluación, sin existir diferencia significativa ($p \geq 0.05$). El tratamiento Control se comportó de una manera irregular a partir del día 4 hasta el final de la evaluación, alcanzando valores de b^* de 38.

Por otra parte los valores obtenidos en este trabajo no lograron repercutir la apariencia del fruto de papaya mínimamente procesado, debido principalmente a que se encuentran dentro del rango de aceptación 42-32. No obstante en este estudio el color amarillo se le atribuye a la presencia de almidón que promovió una adherencia del recubrimiento al tejido provocando esta coloración (**Figura 15**). También pudiese deber a la descomposición de pigmentos fenólicos y/o a la formación de nuevos pigmentos debido al fenómeno de carategenosis, tal como describió Ayón-Reyna y col (2015).

Bierhals y col (2011) utilizaron recubrimientos de almidón con glicerol y lactato de calcio en mango mínimamente procesado, sin encontrar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el parámetro b^* debido a la incorporación de antioxidantes en las formulaciones, las cuales previnieron el oscurecimiento enzimático. Los resultados de este trabajo coinciden con lo reportado por Ayón-Reyna y col (2015), quienes aplicaron un recubrimiento de quitosano con calcio y tratamientos hidrotérmicos en rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesada, almacenados a 5 ° C por 10 días, los valores de b^* oscilaron para todos los tratamientos de 32 a 22, provocando un aumento en color amarillo, pero se percataron de que el tratamiento hidrotérmico con sales de calcio y quitosano lograron preservar el valor original de b^* .

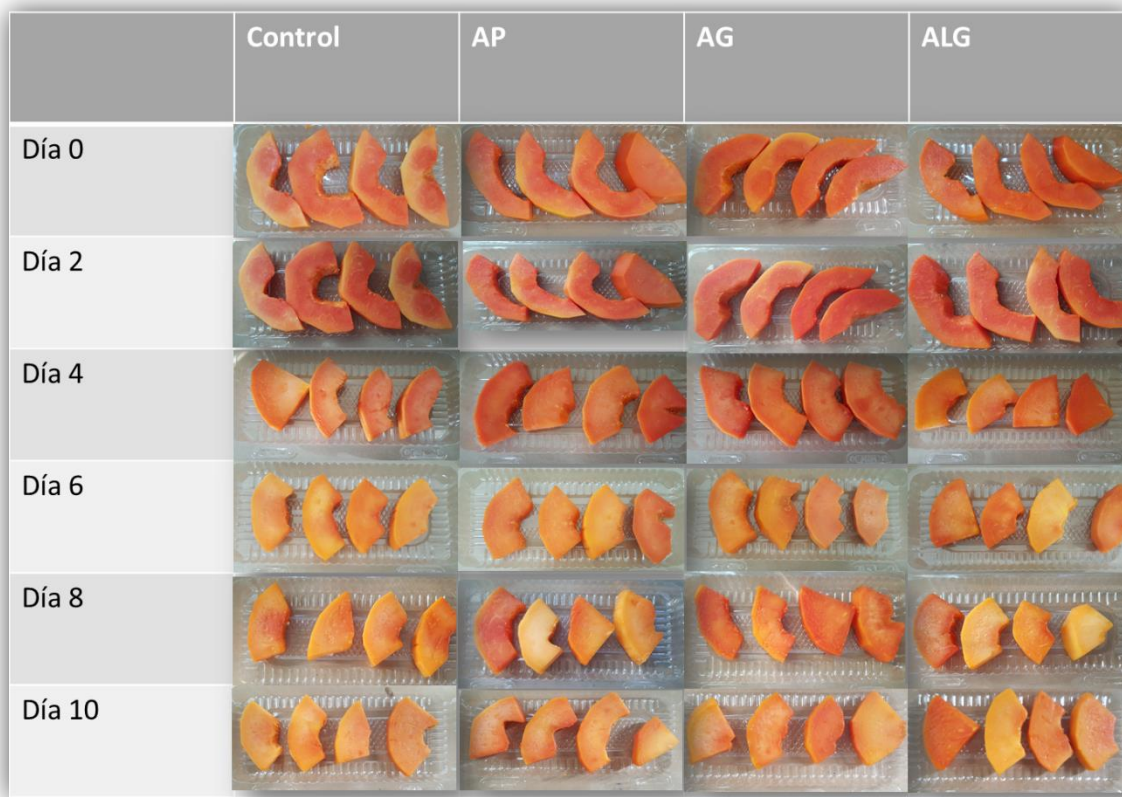


Figura 15. Apariencia de las rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato durante su almacenamiento por 10 días a 5 °C.

2. Pérdida de peso

La pérdida de peso es un parámetro de calidad crucial, ya que esta puede ser transformada en poca ganancia económica. Además, la cantidad de agua tiene un efecto en la apariencia del fruto. El mecanismo básico de pérdida de peso de hortalizas y frutas mínimamente procesadas se ha relacionado con un incremento de velocidad de respiración generado por el corte del fruto, exudado de la pared celular y una diferencia de entre la presión de vapor del fruto y el medio ambiente en el que se encuentra (Ali y col 2010). En la **Figura 16** se presentan los valores obtenidos para el porcentaje de pérdida de peso (% PP) con respecto a los días de almacenamiento a 5 °C para frutas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas. Se puede observar un incremento significativo ($p \leq 0.05$) en el % PP para los frutos de todos los tratamientos, con respecto al día inicial, siendo el tratamiento control el que presentó mayor pérdida de peso (1.51%) sin mostrar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con los tratamientos AP, AG. Por otro lado, el tratamiento ALG presentó el menor % PP al día 10 de almacenamiento con un valor de 1.14, mostrando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con el Control a partir del día 4, pero comportándose similarmente a los tratamientos AP y AG, alcanzando valores finales de 1.14 y 1.18 % PP, respectivamente. El comportamiento de esta respuesta refleja que pesar de que los recubrimientos de almidón (AP y AG), tienen sensibilidad a la exposiciones altas de humedad debido a la naturaleza del almidón por ser hidrofílico, lograron perder menos % PP que el control (Gulzar y col 2015; Fitch-Vargas 2014; Chiumarelli y col 2010; Rocculi y col 2007). Además, el glicerol presente en las formulaciones podría estar contribuyendo a la pérdida de peso de las rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesada.

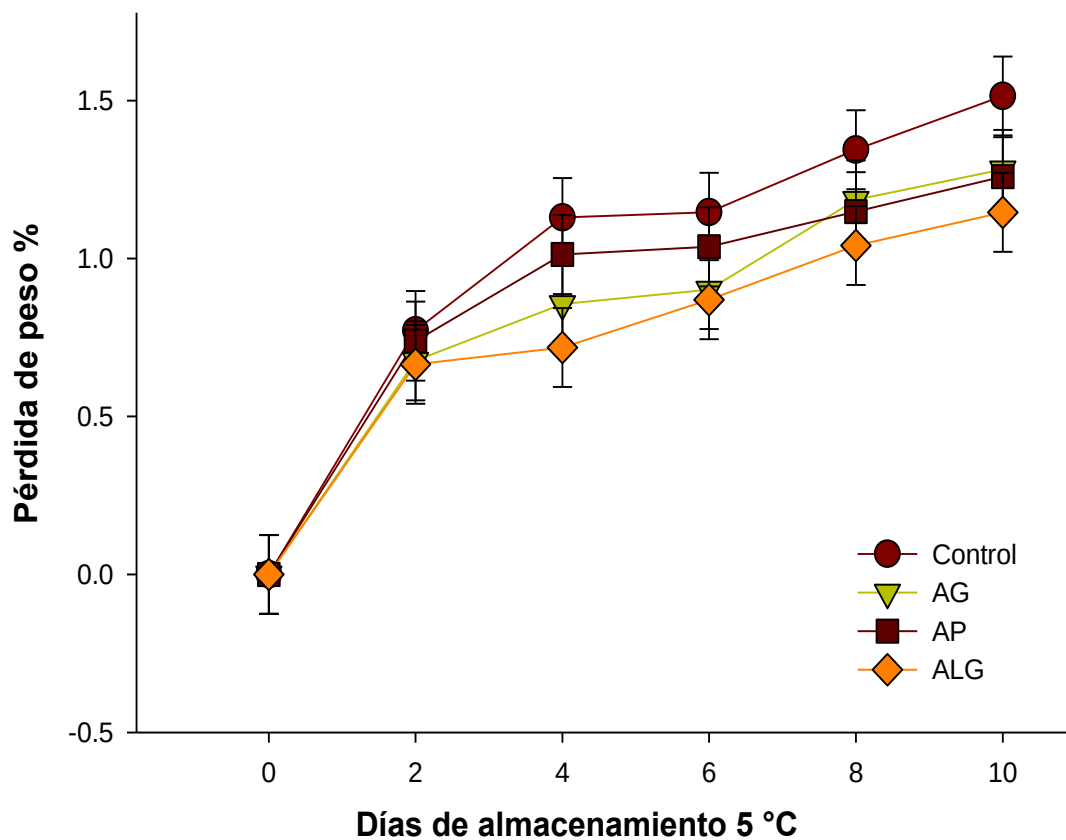


Figura 16. Porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 5 repeticiones. Las barras verticales indican $LSD = 0.24 \%$ ($\alpha = 0.05$).

De acuerdo con Krochta (2002), la adición de plastificantes en recubrimientos interrumpe los enlaces de hidrógenos, incrementado la distancia entre moléculas de polímeros y modificación a la permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos, causando la pérdida de peso en los alimentos. Sin embargo los recubrimientos de almidón fueron mejor que el Control, y no tuvieron diferencia significativa con ALG. El proceso de extrusión a los cuales fueron sometidos los tratamientos, posiblemente contribuyeron a que los plastificantes y principalmente sorbitol, debido a su gran cantidad de grupos hidroxilo en su estructura, pudieran reacomodarse termofisicamente junto con el almidón, generando una matriz más fuerte, que a pesar de su naturaleza hidrofílica pudo evitar una mayor pérdida de peso (Fitch-Vargas 2014).

Por otra parte, García y col (1998) elaboraron recubrimientos de almidón de maíz con un contenido medio y alto de amilosa, glicerol o sorbitol en fresas, reportando que los recubrimientos formulados con almidón alto en amilosa y sorbitol fueron los que redujeron el % PP; esto ocurrió debido a que la amilosa es la encargada de formar mejores redes, por lo que el recubrimiento se hizo más compacto con su incremento, mientras que el sorbitol ayudó a formar un mayor número de interacciones entre almidón-plastificante generando una película mucho más fuerte. Así mismo Calderón-Castro y col (2018) elaboraron un recubrimiento de almidón de maíz alto en amilosa mediante la tecnología de extrusión y técnica de casting, aplicando en fruto entero de mango Tommy Atkins, obteniendo un menor %PP en comparación a los demás tratamientos, atribuyendo dicho comportamiento a la

formación de una buena matriz polimérica por el alto contenido de amilosa y el proceso de extrusión que contribuyó a la interacción con los plastificantes.

Chiumarelli y col (2010) aplicaron una cubierta de almidón de yuca y glicerol en mango mínimamente procesado, reportando que el almidón sin presencia de glicerol ayudó a reducir la pérdida de humedad. Bierhals y col (2011) estudiaron el efecto de un recubrimiento de almidón de yuca con y sin lactato de calcio, aplicado en piña mínimamente procesada, reduciendo significativamente el % PP.

En cuanto a los resultados obtenidos para ALG, Montero y col (2008), reportó que el uso de alginato al 2% aplicado como recubierta en piña mínimamente procesada fue eficiente para tener menor pérdida de jugosidad. Por otra parte, Tapia y col (2007) obtuvieron menor % PP en papaya recubierta con alginato al 2 %, atribuyendo dicho comportamiento, a la presencia de aceite de girasol en la formulación, así mismo afirmaron que dicha recubierta se adherió adecuadamente a la superficie de papaya formando una reticulación entre alginato-calcio-pectina, generando así una mayor barrera contra la humedad.

3. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) expresado en °Brix son un indicativo del contenido de azúcares y relacionan la gravedad específica de una solución con la concentración equivalente de sacarosa pura; por lo tanto constituyen un factor importante en el sabor de los frutos y grado de madurez (Ayón-Reyna 2012).

En la **Figura 17** se muestra el contenido de SST durante el almacenamiento a 5 °C de las rebanadas de papaya. Al inicio del experimento de los frutos mostraron un

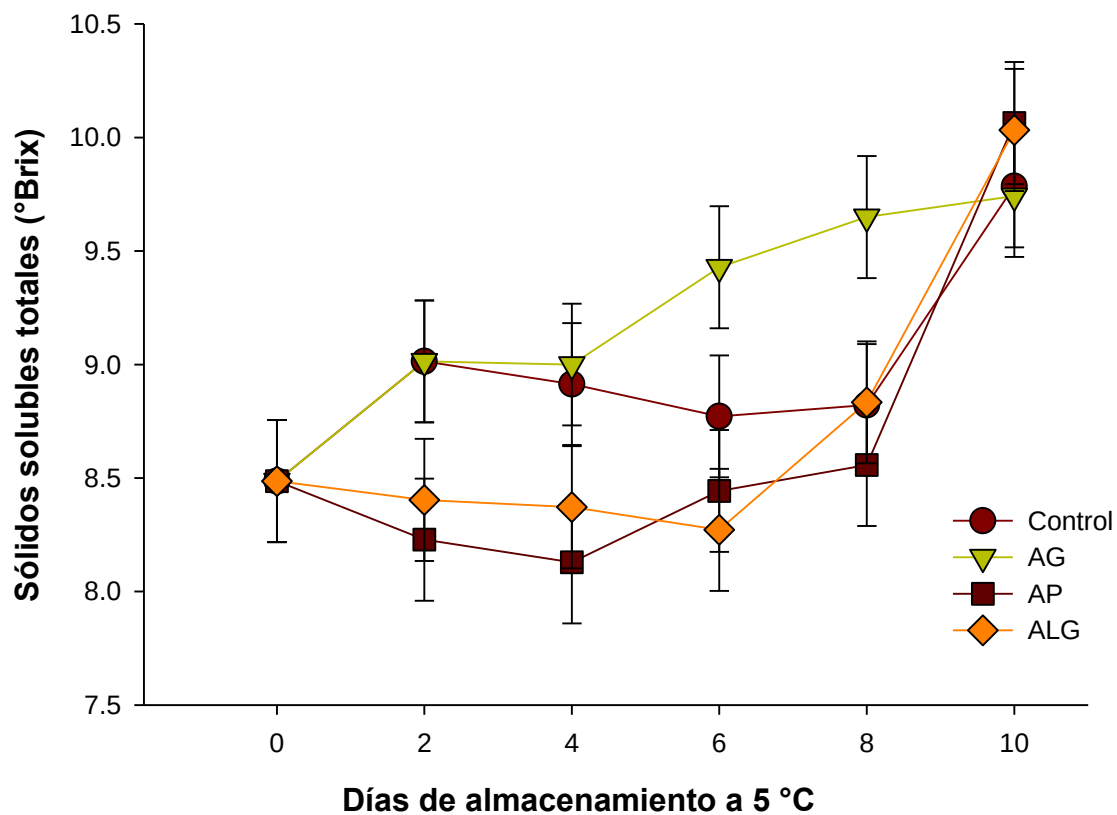


Figura 17. Sólidos solubles totales (°Brix) durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 9 repeticiones. Las barras verticales indican $LSD = 0.537$ °Brix ($\alpha = 0.05$).

valor de 8.5 ° Brix. Los resultados de este trabajo son comparables con los obtenidos por Rivera-López y col (2005) quienes reportaron un contenido de SST de 9 °Brix al principio de la evaluación, en cubos y rebanadas de papaya almacenados a 5 °C. Se puede observar un ligero incremento de los valores de SST a partir del día 2 en los tratamientos Control y AG. AG fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) con respecto a ALG y AP, hasta el día 8, mientras que el Control se comportó de forma similar con AG en los días 2 y 4. Por su parte ALG se comportó de manera similar a AP, quienes obtuvieron los menores valores hasta el día 8.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, los tratamientos no generaron cambios significativos en la concentración de SST para la aceptación del consumidor, ya que están dentro de lo requerible para PMP. Además cabe mencionar que las recubiertas de almidón y alginato disminuyen el contenido ° Brix, posiblemente gracias a la generación de una capa protectora que disminuye el intercambio de gases, metabolismo de la fruta y por consiguiente la tasa de respiración, requiriendo menos ácidos orgánicos para este proceso. Por otra parte, el poco incremento de SST para todos los tratamientos puede ser atribuido al estado de madurez fisiológico del fruto que requieren los PMP, donde probablemente después sólo existe senescencia.

Ayón-Reyna y col (2015) mencionaron que no existe una gran acumulación de azúcares en papaya “Maradol” durante su maduración, inclusive bajo el tratamiento que la inducen, tipo de almacenamiento y el aumento de enzimas que degradan la pared celular, lo que presenta similitud encontrado en este trabajo.

Trujillo y col (2012) evaluaron el empleo de recubrimientos de almidón de papa y yuca en mango Zapote verde, almacenados a 20 °C con una HR de 60% por 12 días, al inicio de la evaluación el valor fue de 1.93 °Brix, obteniéndose valores hasta el final de la evaluación de 3.33, 2.83 y 7.57 °Brix para los tratamientos de almidón de papa, yuca y control, respectivamente. Por su parte Fitch-Vargas (2014) aplicó un recubrimiento comestible de almidón de maíz elaborado mediante la combinación de extrusión y técnica de casting, en tomate cv "Imperial", almacenados durante 20 días a una temperatura de 12 ± 1 °C, mostrándose un aumento de SST para todos los tratamientos hasta el día 10 (5.4 °Brix) y posteriormente registró una caída con un valor de 3.8 °Brix, ninguno de los tratamientos mostró diferencia significativa. Este mismo autor menciona que este comportamiento pudiera deberse a que inicialmente la velocidad de producción de azúcares aumento como consecuencia de la degradación de almidón del fruto; posteriormente las reservas de almidón se agotaron y el contenido de SST empezaron a disminuir. Calderón-Castro y col (2018) aplicaron un recubrimiento de almidón de maíz alto en amilosa elaborado mediante la combinación de extrusión y técnica de casting en mango Tommy Atkins, almacenados a 12 ± 1 °C por 16 días con una HR de 90 %, donde encontraron un aumento de SST para el control (11-16.2 °Brix) en comparación los frutos recubiertos. Ali y col (2011) aplicaron recubrimientos de quitosano al 0.5, 1, 1.5 y 2 % en frutos de papaya durante 6 semanas y encontraron diferencia significativa al presentar los menores valores de SST (8.5 °Brix) en comparación con la papaya sin recubrir y 0.5 % (10.7 °Brix), mismo autor menciona que el quitosano reduce los SST probablemente gracias a la propiedad filmogénica alrededor del fruto, desacelerando la respiración y por consiguiente la actividad del metabólica.

4. pH

Se puede observar (**Figura 18**) un incremento en los valores de pH para todos los tratamientos durante el periodo de almacenamiento, siendo más evidente para los tratamientos Control y AG, sin embargo no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con los demás tratamientos.

De manera general los valores de pH que se muestran al inicio de la evaluación fueron de 5.75. Los mayores valores al final de la evaluación fueron 5.93-5.98, para ALG y Control respectivamente. El tratamiento AG presentó los mayores valores de pH a través de toda la evaluación, inclusive mostró el mismo comportamiento que el Control a excepción del día 6, debido posiblemente a la presencia de gelatina en su formulación produciendo una solubilización sobre el tejido fresco de papaya al ser de naturaleza hidrofílica y promoviendo una barrera pobre al intercambio de gases. Los tratamientos que mantuvieron los menores valores de pH fueron AP y ALG, lo cual probablemente fue debido a que el recubrimiento actuó como una capa protectora que logró regular el intercambio de gases, disminuyendo la velocidad de respiración, requiriendo así menos ácidos orgánicos para las diferentes reacciones bioquímicas del metabolismo.

El comportamiento observado para esta respuesta es similar a lo reportado por Argañosa y col (2008) en papaya fresca cortada, almacenada por 10 días a 4 °C. Dichos autores mencionan que los ácidos orgánicos (predominando en papaya los ácidos cítrico y málico) son los sustratos de diversos procesos metabólicos durante la respiración, por lo que se espera que haya un aumento en el pH durante el almacenamiento.

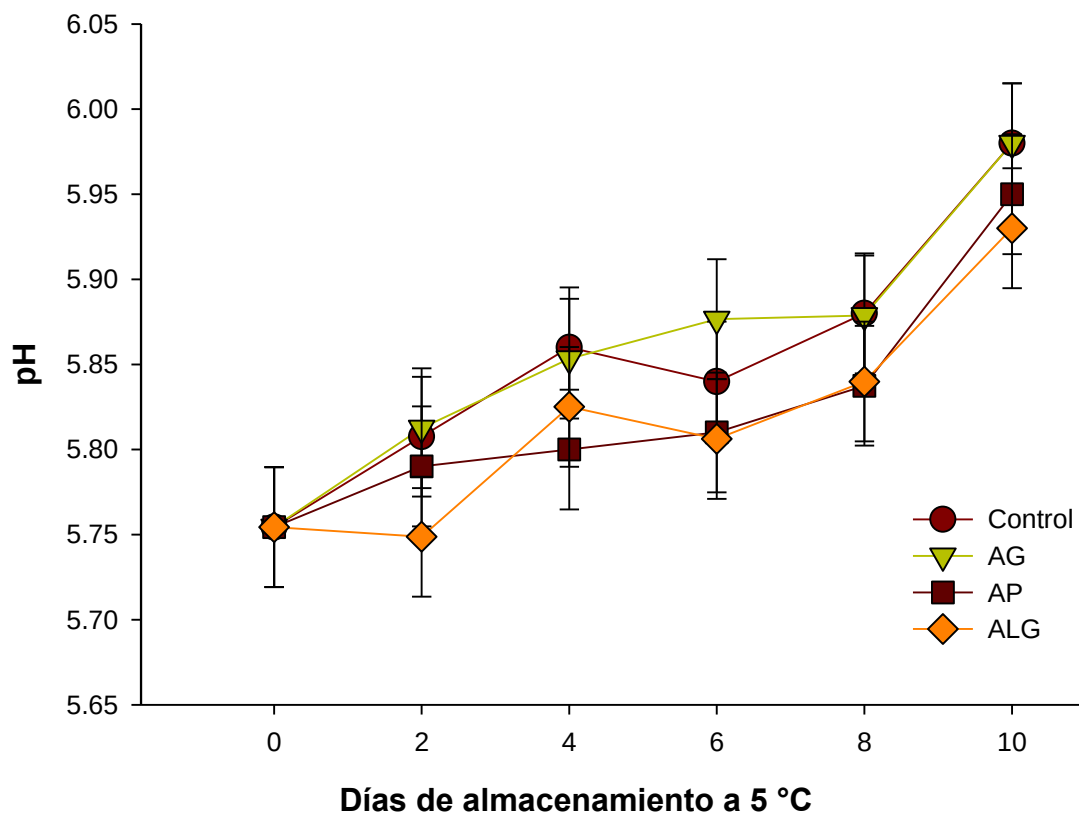


Figura 18. Cambios en el pH durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 5 repeticiones. Las barras verticales indican $LSD = 0.0704$ ($\alpha = 0.05$).

Por otra parte Ayón-Reyna y col (2015) estudiaron el efecto de recubrimientos de quitosano con sales de calcio y tratamientos hidrotérmicos en papaya mínimamente procesada, almacenadas a 5 °C por 10 días, donde se presentó un mayor valor de pH en los frutos sin recubrir (pH 6.2). Calderón y col (2018) evaluaron el efecto de recubrimientos de almidones altos en amilosa elaborados por extrusión-casting, en fruto de mango Tommy Atkins, en donde el pH no fue afectado por la maduración, gracias a la formación de una atmósfera interna con el fruto que disminuyó el intercambio de gases. Bibi y Baloch (2014) estudió el efecto de un recubrimiento de almidón comestible en mangos cosechados en etapa verde, los resultados indicaron que los valores de pH fueron estadísticamente menores en comparación con los controles. Por otra parte Trujillo y col (2012) evaluaron recubrimientos comestibles elaborados con almidón de papa y yuca, en mango variedad Zapote almacenado a 20 °C por 12 días, encontrando una respuesta favorable en comparación con el control.

5. Acidez titulable (AT)

Generalmente, durante la maduración y senescencia de los frutos, el pH muestra una tendencia aumentar y la acidez titulable a disminuir (Martínez y col 2002). En papaya el contenido de ácido es muy bajo, y viene a partir de cantidades casi iguales de los ácidos cítrico y málico (Argañosa y col 2008).

En la **Figura 19** se muestran el porcentaje de AT (Ácido cítrico) durante el almacenamiento de rebanadas de papaya almacenados a 5 °C durante 10 días. De manera general se puede apreciar una disminución de % de ácido cítrico para todos los tratamientos. Al inicio de la evaluación las frutas de papaya contenían una AT de

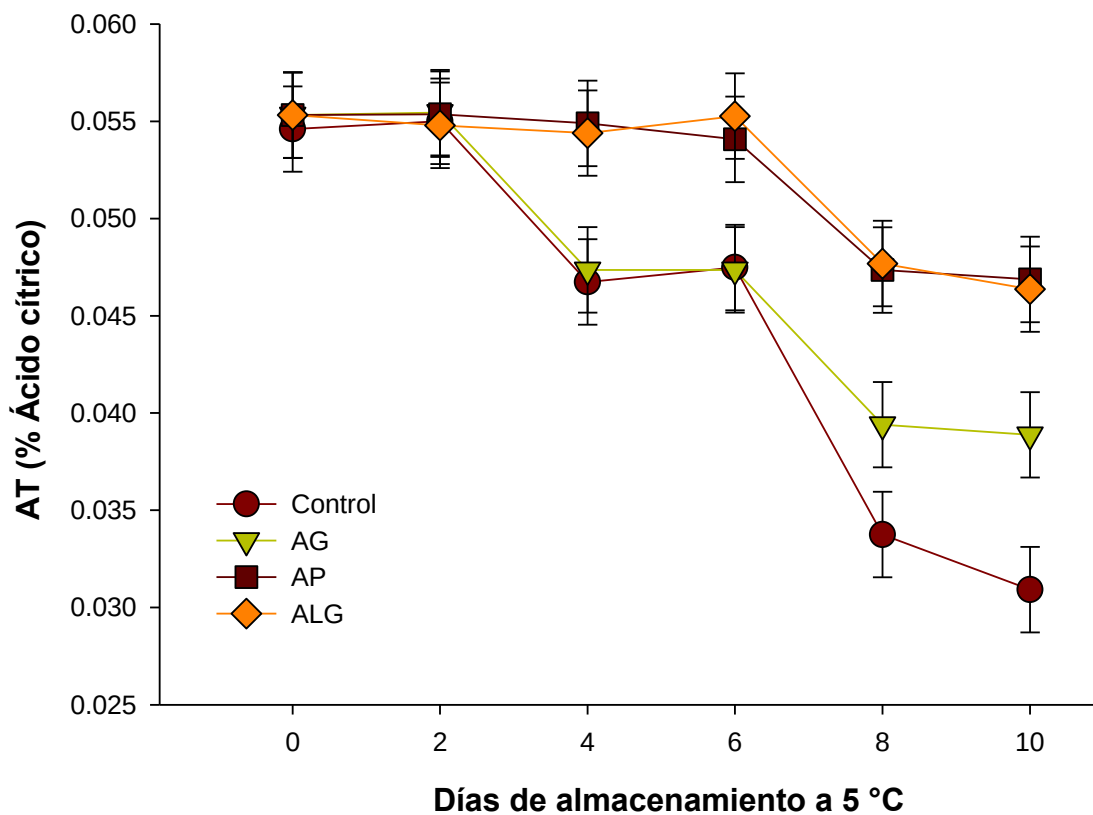


Figura 19. Cambios en la ácida titulable (AT) (% ácido cítrico) durante el almacenamiento a 5°C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 5 repeticiones. Las barras verticales indican LSD= 0.0043 ($\alpha=0.05$).

0.055% $\pm$ 0.001 para todos tratamientos sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$). A partir del día 4 los tratamientos Control y AG, disminuyeron el % AT, con valores al final de la evaluación de 0.030 y 0.038 %, respectivamente, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás tratamientos. Los tratamientos AP y ALG mantuvieron los valores constantes a partir del día 4 hasta el final de la evaluación de 0.046 % AT. La disminución de AT presentada en este estudio puede ser el resultado de la utilización de los ácidos orgánicos en la respiración y en otros procesos biológicos (Martínez y col 2002). Los resultados que se obtuvieron pueden correlacionarse con los de pH, ya que mientras la AT disminuía el pH aumentaba.

El comportamiento resultante para AP y ALG se atribuye principalmente a una barrera formada contra los gases, generando así una menor respiración y por consiguiente una menor degradación de ácidos orgánicos que son indispensables sustratos para muchas de las reacciones catalizadas por enzimas durante la respiración aeróbica en las células vegetales (Fitch-Vargas 2014).

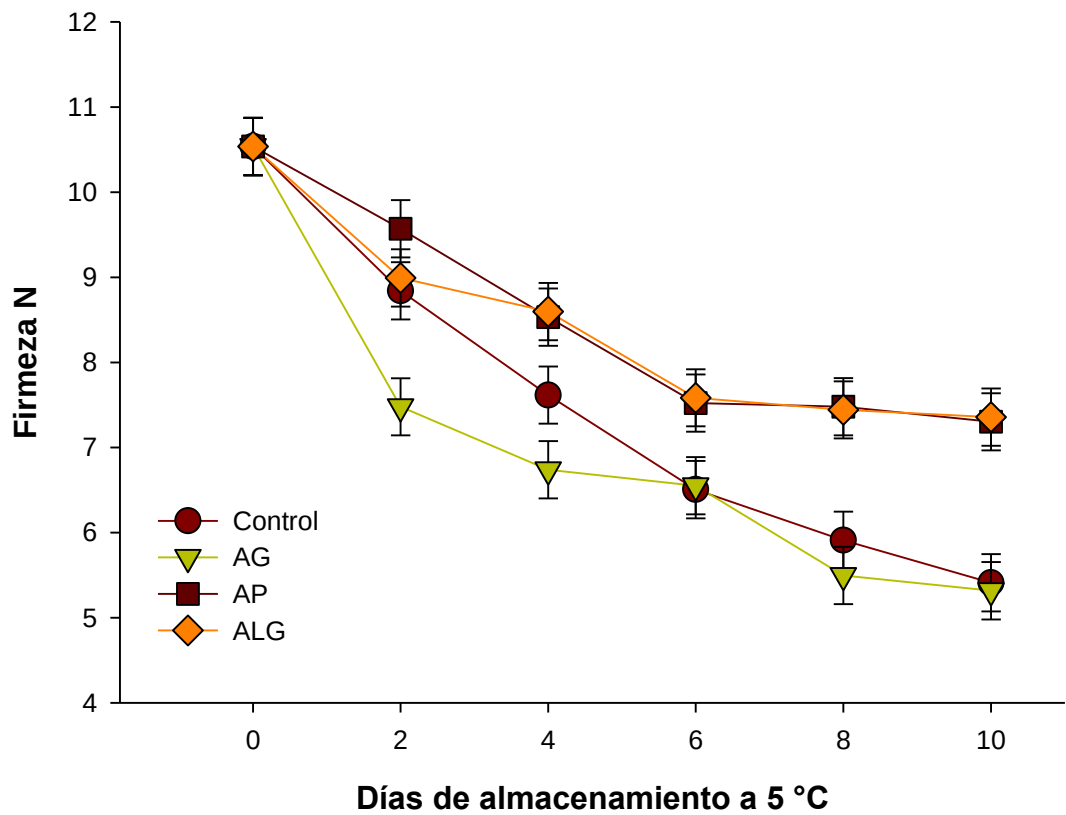
Ayón-Reyna y col (2015) obtuvieron para esta respuesta valores similares a lo reportado en este estudio. Los números obtenidos al inicio de la evaluación para el estudio de quitosano fueron de 0.058 $\pm$ 0.002 %. Así mismo de manera general la AT tendió a disminuir para todos los tratamientos, observándose una disminución notoria a partir del día 2 hasta el final de la evaluación. Poverenov y col (2014) aplicaron recubrimientos de quitosano-gelatina y gelatina en pimientos rojos, almacenados a 5 °C por 14 días en primera estancia y posteriormente 5 días a 20 °C, sin encontrar diferencia significativa entre los tratamientos. Fitch-Vargas 2014 aplicó

recubrimientos de almidón con glicerol-sorbitol elaborados por extrusión-casting en tomate cv Imperial obteniendo un % AT significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en comparación con el control en los días 5 y 15. Achipiz y col (2013) al emplear recubrimientos con base en almidón en guayaba obtuvieron como resultado una menor disminución en el % AT al aplicar los recubrimientos. Calderón y col (2018) aplicaron un recubrimiento de almidón de maíz alto en amilosa elaborado por extrusión-casting en mango Tommy Atkins, obteniendo valores para el inicio de la evaluación de 0.9 % y al final de 0.5 %, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control a la mitad de la evaluación, respaldando que probablemente existe una menor tasa de respiración y por tanto un menor consumo de sustratos de reserva.

6. Firmeza

El ablandamiento de los tejidos es frecuentemente el principal problema que limita la vida útil de los productos recién cortados que incluso cuando se refrigeran pueden convertirse en inaceptables en tan sólo 2 días para frutas tropicales como papaya (Toivonen y col 2008). Los cambios en firmeza se deben principalmente al cambio en el metabolismo de los carbohidratos en la pared celular que se involucran ciertamente en los componentes estructurales (celulosa, pectinas y hemicelulosa) (Ruiz y col 2002; Chen y col 2015).

En la **Figura 20** se muestran los valores de firmeza expresados en Newton (N) durante el almacenamiento de las rebanadas de papaya a 5 °C. Al inicio de la evaluación el valor promedio de firmeza para los tratamientos fue de 10.53 ± 0.63 N, indicando que se necesitaba más fuerza para penetrar el tejido del fruto. En general



Las

Figura 20. Pérdida de firmeza durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 15 repeticiones. Las barras verticales indican $LSD=0.674\text{ N}$ ($\alpha=0.05$).

los cuatro tratamientos presentaron un comportamiento similar, con la tendencia a disminuir su firmeza, mostrando una textura menos rígida conforme aumentó el tiempo. Los tratamientos AG y Control, presentaron una disminución de firmeza a partir del día 2 de almacenamiento, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) hasta el final de la evaluación, respecto a los otros tratamientos, posiblemente dicho comportamiento debido principalmente al aumento de la pectina total soluble en agua y el desensamblaje de la pared celular primaria y las estructuras de la lámina media (Chen y col 2015). Así mismo este comportamiento se avala que además del almidón presente en la formulación, existe la gelatina y glicerol en la formulación, confiriendo una mayor afinidad por el agua presente en el fruto, dejando en mayor disposición la pectina con las enzimas que se involucran con el ablandamiento de pared celular. Al final de la evaluación los tratamientos alcanzaron valores de 5.31 y 5.41 N, que corresponde a un porcentaje de pérdida fuerza de 49.58 y 48.68 %, para AG y Control respectivamente.

Los tratamientos que lograron preservar la mayor firmeza del fruto fueron ALG y AP hasta el final de la evaluación. La pérdida de firmeza para ambos tratamientos fue más evidente hasta el día 6 donde se alcanzaron valores de 7.52 y 7.58 N, para AP y ALG respectivamente, a partir de este día ambos tratamientos se comportaron igual. Estos mismos valores corresponden a una menor porcentaje de pérdida en firmeza para AP en un 30.67 % y para ALG en un 29.91 %, en comparación al valor del día 0. Posiblemente este comportamiento viene a reforzar que los revestimientos comestibles de almidón elaborados por extrusión-casting y principalmente AP, lograron modificar la estructura del almidón para generar una mejor matriz polimérica

que permitiera crear buenas propiedades de barrera a los gases que, a su vez promovieron una atmósfera con bajas concentraciones de O_2 y altas de CO_2 reduciendo la actividad enzimática de la fruta, resultando una mejor retención de firmeza (Calderón-Castro y col 2008; Aguilar y col 2008). Por otra parte ALG logro mantener la mayor firmeza debida a que el alginato tiene la capacidad de formar una reticulación con el calcio a través de su grupo carboxilo terminal que tiene gran afinidad por Ca^{2+} junto a la misma pectina del fruto (Rojas-Graü y col 2008; Avnedaño y col 2013). Se cree que posiblemente también que el almidón tiene la misma naturaleza favorecida por el proceso termofísico de extrusión dejando mas expuestos los grupos hidroxilos del almidón para formar la reticulación, también influyó en gran medida el pH (5.75-5.98) del fruto ayudando a crear una electronegatividad y así poder tener mayor afinidad por los iones de Ca^{2+} , promoviendo una mayor firmeza del fruto para el tratamiento AP, pero no para AG debido a la presencia de gelatina que tiene mayor afinidad por el agua. Aunque no existe información respecto a esto, la nixtamalización podría ayudar a comprender los mecanismos de reacción, la cal o el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) al disolverse en el agua y a la alta temperatura expuesta, los iones de Ca^{2+} se disocian en el agua permitiendo la introducción en los granulos de maíz para formar enlaces almidón-calcio y principalmente con amilosa (Agama y col 2004).

Por otra parte la pérdida de firmeza observada en este estudio puede ser debido al proceso natural de senescencia del fruto; sin embargo generalmente el procesamiento mínimo provoca una pérdida dramática de la firmeza en el tejido de las frutas como resultado del estrés ocasionado por el corte, rompiendo células y sus

organelos, permitiendo que las enzimas se difundan en el interior del tejido y entren en contacto con los sustratos, reaccionando y provocando el ablandamiento, aún más cuando no se le aplica una tecnología emergente (González y col 2008; Chen y col 2015). Existen otros factores que se ven involucrado en la pérdida de textura, como son pérdida de agua y cambios osmóticos (Saladie y col 2007). En la formulación de alginato existe la presencia de aceite de girasol lo cual promueve una capa a la retención de la humedad y por consiguiente una mejor textura (Olivas y Barbosa 2009). Rojas-Graü y col (2006,2008) aplicaron recubrimientos de alginato en papaya mínimamente procesada almacenada a 4 °C por 8 días, logrando mantener la firmeza desde el inicio con un valor de 3.4 N y al final de la evaluación con un valor de 3.2 N, mismos autores recubrieron piezas de manzana mínimamente procesada almacenadas a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 23 días donde la firmeza se logró mantener hasta en un 90 %.

Chiumarelli y col (2010) estudiaron el efecto de una cubierta de almidón de yuca, glicerol y ácido cítrico en mango mínimamente procesado almacenado a 4 °C por 15 días con HR 80 %, reportando que el almidón sin presencia de glicerol ayudó a reducir la pérdida de firmeza, atribuyendo dicho comportamiento al alto nivel higroscópico del glicerol, por consiguiente la recubierta sin presencia de glicerol, ayudo a reducir la tasa de respiración y menor expresión de enzimas que catalizan el ablandamiento de la pared celular (pectinmetilesterasa y poligalacturonasa). Cabe mencionar que en nuestro estudio las formulaciones contienen plastificantes en una proporción del 20 % (79.7 % sorbitol y un 20.3 % para glicerol), con la finalidad de crear recubiertas más flexibles, resistentes y adheribles al tejido de la fruta.

Por otra parte Bierhals y col (2011) evaluaron la firmeza en piñas recubiertas con almidón de yuca, lactato de calcio y antioxidantes, almacenadas a 5 °C por 12 días con una HR de 80%, encontrando una mayor retención de firmeza en comparación con control al final de la evaluación, dicha respuesta fue atribuida a la presencia de lactato de calcio en la formulación, debido a que las sales de calcio pueden formar pectatos de calcio, que confieren una mejor firmeza, optando por ser una alternativa para mejorar la firmeza de las frutas de papaya de este estudio. Ayón-Reyna y col (2015) aplicaron recubrimientos de quitosano con sales de calcio y tratamientos hidrotérmicos en papaya mínimamente procesada, encontrando una menor pérdida de firmeza en un porcentaje de 30.9%, en comparación al primer día de evaluación, atribuyendo el comportamiento al tratamiento hidrotérmico que pudo haber provocado que la enzima pectinmetilesterasa fuera activada en respuesta a la alta temperatura, desmetilando pectinas de la pared celular y laminilla media, favoreciendo la unión de calcio endógeno y exógeno con grupos carboxilos libres que dan como resultado una actividad baja de poligalacturonasa y por consiguiente una menor pérdida de firmeza.

B. CAMBIOS BIOQUÍMICOS

1. Análisis de gases

a. Composición de gases (O₂ y CO₂) dentro del empaque

En frutas y hortalizas, las operaciones propias de productos mínimamente procesados como son, la remoción de la piel y cortado, aumenta la tasa de respiración en el fruto de 1 a 7 veces en comparación a uno intacto (Rivera-López y

col 2005). Los recubrimientos comestibles preparados con polisacáridos, particularmente de almidones confieren una baja permeabilidad al oxígeno, lo que reduce la tasa de respiración de productos frescos (Campos y col 2011).

En la **Figura 21** se muestran los porcentajes de CO₂ dentro de los empaques de PET empleadas con PVC que contenían las rebanadas de papaya almacenadas a 5 °C por 10 días. Se observó para el inicio de la evaluación valores de 0.73, 0.52, 0.3, 0.47 % de CO₂ para los tratamientos Control, AG, AP y ALG, respectivamente, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) exclusivamente AP en comparación al Control, en el día 0. Al inicio de la evaluación existió un aumento en las concentraciones de CO₂ para todos los tratamientos y siendo más evidente en el día 4, donde el valor mayor de producción fue de 2.36 % para el Control, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación a los demás tratamientos. Este comportamiento probablemente indica un aumento de respiración acelerada y principalmente en rebanadas de papaya sin recubrir, confirmando un mayor intercambio de gases con la atmósfera del empaque y en comparación a los frutos que si fueron recubiertos, mostrando menor producción de CO₂. En el día 6 las concentraciones de CO₂ descendieron de nueva forma para todos los tratamientos alcanzando valores 0.77, 0.67, 0.57, 0.63 % CO₂, para los tratamientos Control, AG, AP y ALG, respectivamente, posiblemente indicando que el fruto tiende a la senescencia. En el día 8 y 10 todos los tratamientos registraron un aumento en el % de CO₂ alcanzando valores para el último día de evaluación de 1.64, 1.34, 1.31 y 1.42 % para Control, AG, AP y ALG, respectivamente. En respuesta a esto se cree que las rebanadas de papaya alcanzaron el máximo consumo de sustrato para las

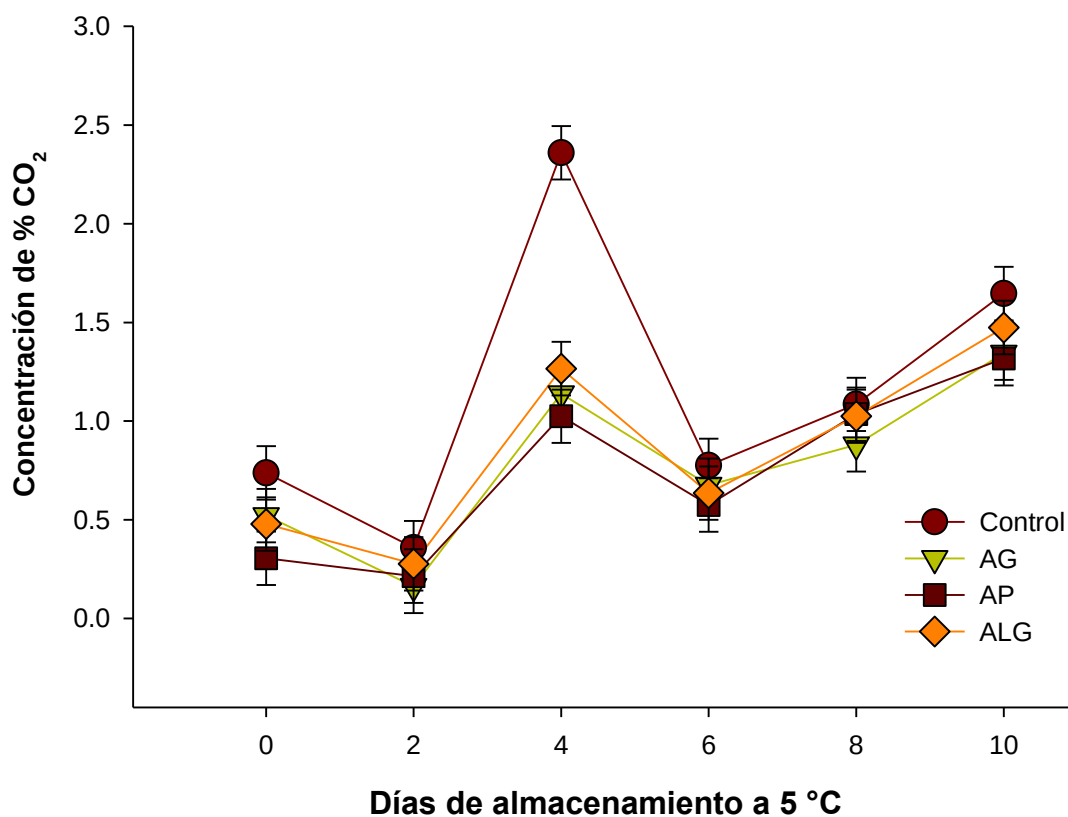


Figura 21. Cambios en % de concentración de CO₂ en las charolas cerradas herméticamente almacenadas a 5 °C con papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 6 repeticiones. Las barras verticales indican LSD= 0.271 ($\alpha=0.005$).

reacciones de oxidación y por tal motivo empezó el metabolismo anaeróbico. De acuerdo a Fakhouri y col (2015), los revestimientos de almidón trabajan como barreras semipermeables contra el oxígeno y dióxido de carbono reduciendo la respiración.

En la **Figura 22** se presentan los porcentajes de O₂ dentro de los empaques de PET empleados con PVC que contenían las rebanadas de papaya almacenadas a 5 °C por 10 días. Se puede observar de manera general una disminución en el % de O₂ para todos los tratamientos. Al inicio de la evaluación los valores fueron de 20.25, 20.91, 21.98, 20.63 % O₂, para Control, AG, AP y ALG respectivamente. En el día 2 se mostró un descenso más pronunciada de % O₂ para todos los tratamientos observándose valores de 19.25, 19.4, 19.38, 19.36 % O₂, para Control, AG, AP y ALG respectivamente, sin existir diferencia significativa entre estos ($p \geq 0.05$). A partir del día 6 todos los tratamientos siguieron disminuyendo hasta llegar hasta el último día de evaluación con valores de 18.6, 18.65, 18.61, 18.7 % O₂ para Control, AG, AP y ALG, sin existir diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre ellos.

El bajo consumo de oxígeno es indispensable para retrasar los diferentes procesos metabólicos del fruto, entre ellos la producción de ácidos orgánicos, ablandamiento de la pared celular, entre otros (Vargas y col 2008).

De manera general se puede observar en este estudio que la modificación de la atmósfera alrededor de las rebanadas de papaya no fueron significativas ($p \geq 0.05$) para AP, AG y ALG, en comparación con el Control, indicando que el sistema de empaque (cajas PET y envolturas de PVC) actuó en el sentido de protección de las rebanadas de papaya al no interactuar con ellas.

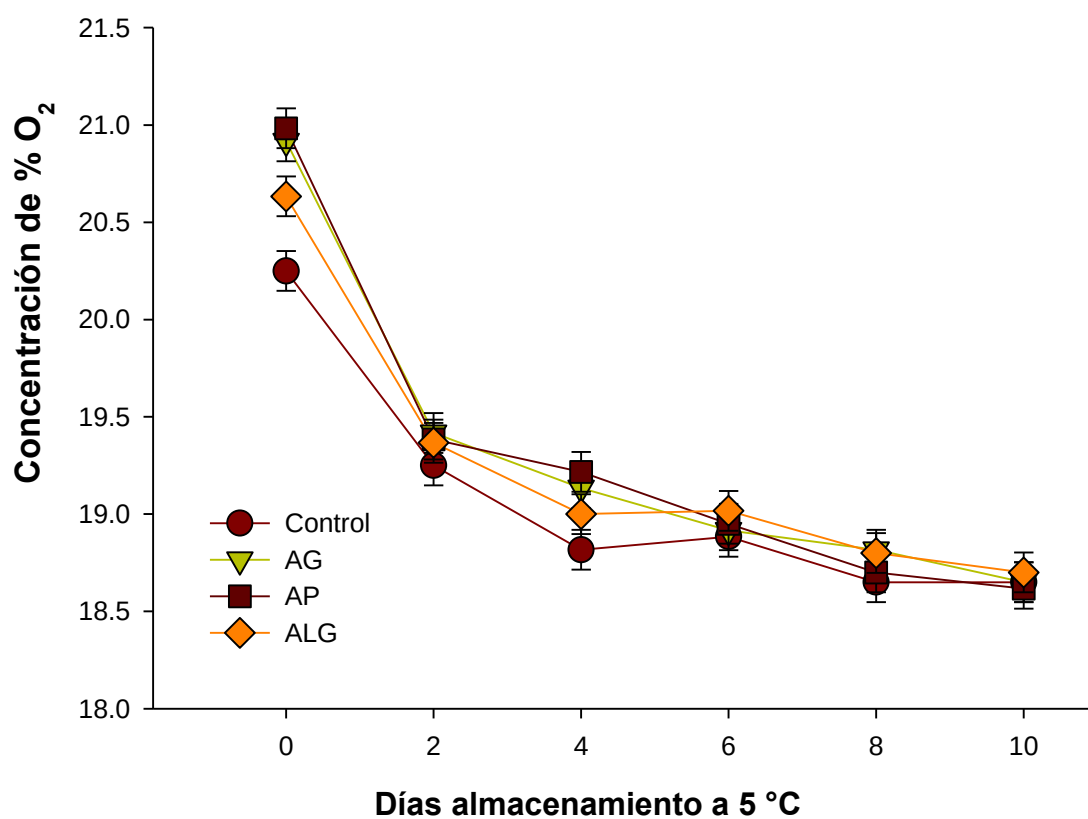


Figura 22. Cambios en el % de concentración de O₂ en las charolas cerradas herméticamente almacenadas a 5 °C con papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 6 repeticiones. Las barras verticales indican LSD= 0.204 ($\alpha=0.005$).

El sistema de empaque exhibe una atmósfera interna cerrada al aire, con concentración de CO₂ debajo del 2.5 % y concentraciones de O₂ alrededor del 21 a 18 % en todas las cajas a través del almacenamiento y posiblemente los recubrimientos ayudaron sinérgicamente para obtener mejores resultados. Chiumarelli y col (2010) encontraron resultados similares a este trabajo en un estudio utilizando recubrimientos comestibles a partir de almidón de yuca, ácido cítrico y glicerol, en mango mínimamente procesado almacenados por 15 días a 5 °C, encontrando composiciones de gases dentro de los empaques (PET y PVC) de 1 % de CO₂ y O₂ alrededor del 20 %, al final de la evaluación, este mismo autor describe que existe una baja permeabilidad al oxígeno en recubrimientos de almidón generando una reducción en la disponibilidad del gas para la actividad respiratoria en las rebanadas de mango, mismo comportamiento que puede haber sucedido en rebanadas de papaya. Por otra parte Fitch-Vargas (2014) aplicó recubrimientos comestibles de almidón, sorbitol y glicerol, elaborados por extrusión-casting en tomates cv Imperial, logrando disminuir la velocidad de respiración al producir menos concentración de CO₂ durante 25 días de evaluación a 12 ± 1 °C, el proceso de extrusión contribuyó a una mejor formación de una red polimérica al incorporarse en las cadenas de almidón los plastificantes, obteniendo una matriz más fuerte y menos permeable a los gases, mismo comportamiento que pudo haber sucedido en este estudio.

Fontes y col (2008) observaron una reducción en la tasa de respiración con el uso de almidón de yuca en rebanadas de manzanas recién cortadas, con una tasa de respiración del 18 %, menor que el de las muestras sin recubrir. Así mismo Ribero y

col (2007) asumen que la tasa de respiración disminuye en frutos recubiertos con soluciones de almidón debido al coeficiente de cohesión alta, que da como resultado fuerzas atractivas entre moléculas formando una alta barrera material al gas.

Poverenov y col (2014) aplicaron recubrimientos de quitosano-gelatina en frutos de pimientos almacenados por 14 días a 7 °C, encontrando que los recubrimientos no afectaba la producción de CO₂, logrando mantener la producción regular en la respiración del fruto, cabe mencionar que este es un fruto no climatérico. En contra parte no se encontró reporte en la bibliografía para esta respuesta en recubrimientos de almidón y gelatina, pero apoyándose de los resultados de estudio se podría decir que ayudo a regular la tasa de respiración en rebanadas de papaya. Además, la aplicación de recubrimientos de alginato en frutos mínimamente procesados genera una atmósfera alrededor de cada pieza, reduciendo la tasa de respiración y por consiguiente los procesos metabólicos (Rojas-Graü y col 2008).

2. Cambios enzimáticos

Es evidente que los cambios de textura y ablandamiento del tejido en frutos, se generaban a través de la acción de una multitud de enzimas localizadas en la pared celular que actuaban sobre sustratos altamente específicos (Brummell y Harpster 2001). Las enzimas más importantes involucradas en la degradación de la estructura de la pared celular son, la pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) (Zhou y col 2011). La actividad de la enzima PME usualmente inicia antes que PG. Estas enzimas desempeñan un papel importante en los cambios de textura de los frutos de papaya (Gayosso-García y col 2010).

a. Pectinmetilesterasa (PME)

En la **Figura 23** se presenta el comportamiento de la actividad de la enzima PME durante el almacenamiento de las rebanadas de papayas “Maradol” almacenadas a 5 °C. Se puede observar un incremento en la actividad de la enzima para todos los tratamientos durante el almacenamiento, partiendo de valores de $2.96 \pm 0.1 \mu\text{mol H}^+$ liberados/100 gff-min para el tratamiento Control y valores de $3.04 \pm 0.1 \mu\text{mol H}^+$ liberados/100 gff-min tanto para el tratamiento AP y ALG.

El aumento fue más evidente para el tratamiento Control durante todo el periodo de evaluación mostrando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con AP y ALG. AG presentó un comportamiento similar a Control a diferencia del día último día de evaluación, donde presentaron valores de 10.17 y 9.0 $\mu\text{mol H}^+$ liberados/100 gff-min, para Control y AG. Los valores más bajos y mejores de la actividad de la enzima fueron registrados para los tratamientos AP y ALG, con valores hasta el final de la evaluación de 8.3 y 8.2 $\mu\text{mol H}^+$ liberados/100 gff-min, respectivamente. Durante el corte del fruto mínimamente procesado se produce una rotura de la pared celular, generando la liberación de enzimas pectinolíticas y proteolíticas (Toivonen y col 2008).

Respecto a lo encontrado en este estudio, no se datan información de efectos de recubrimientos de almidón en enzimas de pared celular, pero se tienen expectativas de lo sucedido. Probablemente los recubrimientos produjeron una barrera contra gases generando un retraso en la senescencia del fruto y consecuentemente una disminución en la actividad de PME, además considerando que el etileno es la hor-

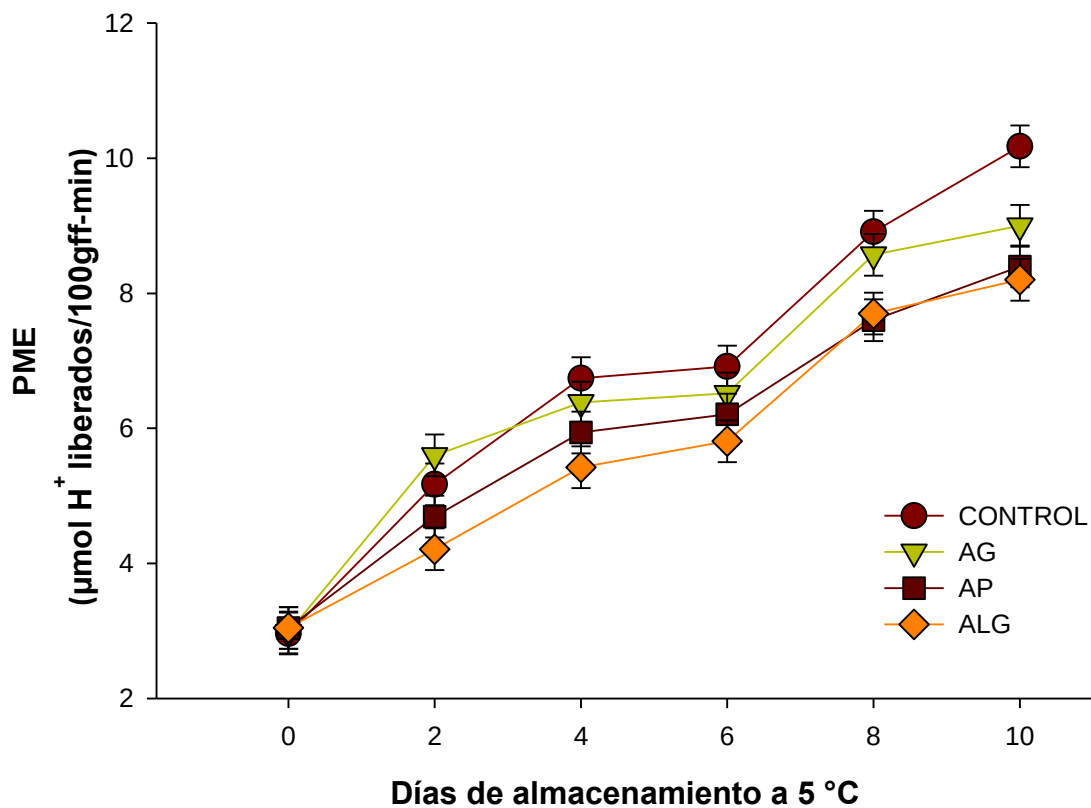


Figura 23. Actividad de pectinmetilesterasa (PME) durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 6 repeticiones. Las barras verticales indican LSD= 0.30 μmol H⁺ liberados/100 gff/min (α=0.005).

mona de la maduración, pudo haberse inhibido para tener una menor expresión de la enzima. Badui-Dergal (2013), indica que al aumentar la actividad de PME disminuye la firmeza. Por otra parte los altos valores de PME para el tratamiento AG se pudo deber a la presencia de gelatina y almidón, promoviendo una mayor solubilización de la pectina y posiblemente esto provoco que la barrera generada por el recubrimiento sobre el fruto desapareciera y así formara una pobre barrera contra el intercambio de gases, favoreciendo la expresión de la enzima PME (Galus y Kadzińska 2015; Chen y col 2015). Mientras que en el tratamiento AP, la expresión de la enzima fue menor, posiblemente porque se mostró menos hidrofílica, al no tener presencia de gelatina, pero sí de plastificantes mismos que se incorporaron para obtener una mejor red polimérica mediante el proceso de extrusión. Para el tratamiento de ALG, se adherió al tejido de la fruta mediante puentes de Ca^{2+} promoviendo la formación de pectatos de calcio, exponiendo una baja disponibilidad de Ca^{2+} para PME, debido a que es uno de los principales cofactores (Ayon-Reyna y col 2015). Una vez que la actividad de PME disminuye quedan escasos los ésteres metílicos que son el sustrato indispensable para PG. Así mismo PME se ve involucrado en el aumento de pH en paredes celulares promoviendo la activación de otras enzimas que se ven involucradas en el ablandamiento (Chisari y col 2009; Avendaño y col 2013).

El comportamiento de este estudio coincide con lo reportado por Gayosso-García y col (2010), quienes evaluaron frutos de papaya en 4 estados de maduración medidos subjetivamente conforme a la totalidad de coloración amarilla en la piel del fruto: 1-25%, 25-50%, 50-75 % y 75-100%, encontrándose una mayor actividad de la enzima en el porcentaje 50-75%, el cual refiere al fruto de papaya utilizado en este

estudio debido a la madurez fisiológica que se requiere para productos mínimamente procesados. La actividad de la enzima disminuyó para el estado 75-100 %, el cual indicaba la senescencia del fruto. Krongyut y col (2011) detectaron un aumento en la actividad de PG y PME en frutos de papaya conforme aumentaba la coloración amarilla de la piel, misma que era provocado por la maduración. Ayón-Reyna 2012 estudió el efecto de recubrimientos de quitosano, sales de calcio y tratamientos hidrotérmicos en papaya mínimamente procesada, encontrando un aumento en la actividad de PME conforme aumentaba el tiempo de almacenamiento, sin embargo el tratamiento control presentó menor actividad enzimática los primeros 6 días, pero al final de la evaluación volvió a presentar la mayor actividad. Este comportamiento se atribuyó a la temperatura del tratamiento hidrotérmico que sufrieron las rebanadas de papaya, activando la enzima, no obstante la disminución de esta misma enzima después del día 6 se le atribuyeron a la presencia de quitosano, que pudo interferir directamente sobre la pectina que es un polisacárido cargado negativamente que se une al Ca^{+2} (pectatos de calcio) previniendo efectivamente el acceso a la enzima PME. Además González-Aguilar y col (2008) aplicaron recubrimientos de quitosano en papaya mínimamente procesada, dichos autores atribuyeron el aumento de la enzima a la senescencia del fruto para el control y la reducción de la enzima al recubrimiento. Zhou y col (2011) aplicaron un recubrimiento de gala en peras almacenadas a 4 °C con una HR de 95 % por 60 días logrando disminuir la actividad de PME debido a la atmosfera que crearon en el fruto ayudando a retrasar los procesos metabólicos de este mismo.

b. Poligalacturonasa (PG)

La poligalacturonasa es otra enzima directamente vinculada a la degradación de la pared celular (Mohamed y col 2016). La enzima PME elimina grupos metilos favoreciendo las condiciones iónicas para la esterificación de ácidos galactúronicos que son el sustrato primordial para activar PG, que cataliza la hidrólisis, provocando la despolimerización y disolución de las pectinas, induciendo el ablandamiento de la pared celular (Karakurt y Huber 2003; Wei y col 2010; Zhou y col 2011).

En la **Figura 24** se muestra el comportamiento para la actividad de la enzima PG durante el periodo de almacenamiento de las rebanadas de papaya “Maradol” almacenadas a 5 °C.

El valor promedio al inicio de la evaluación para la actividad de PG en los distintos tratamientos fue $15.64 \pm 1.28 \mu\text{mol } \acute{\text{a}}\text{c.gal./100 gff-h}$, indicando que al momento del procesamiento los frutos se encontraban en una misma madurez fisiológica. Es evidente de manera general que existió un aumento en la actividad de PG para todos los tratamientos a lo largo de la evaluación, siendo más notorio para el tratamiento Control que fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) con AP y ALG a partir del día 2 hasta el final de la evaluación. Con respecto a AG sólo presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) los días, 0 y 4. Los tratamientos AP y ALG se comportaron de manera similar, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ellos el día 6, a partir de este día los valores de PG se mantuvieron constantes hasta alcanzar valores finales de 19. Y $23.54 \mu\text{mol } \acute{\text{a}}\text{c.gal./100 gff-h}$ para AP y ALG, respectivamente. En contra parte los tratamientos que presentaron mayor actividad en PG al final de la evaluación fue Control con un valor de $35.45 \mu\text{mol } \acute{\text{a}}\text{c.gal./100 gff-h}$.

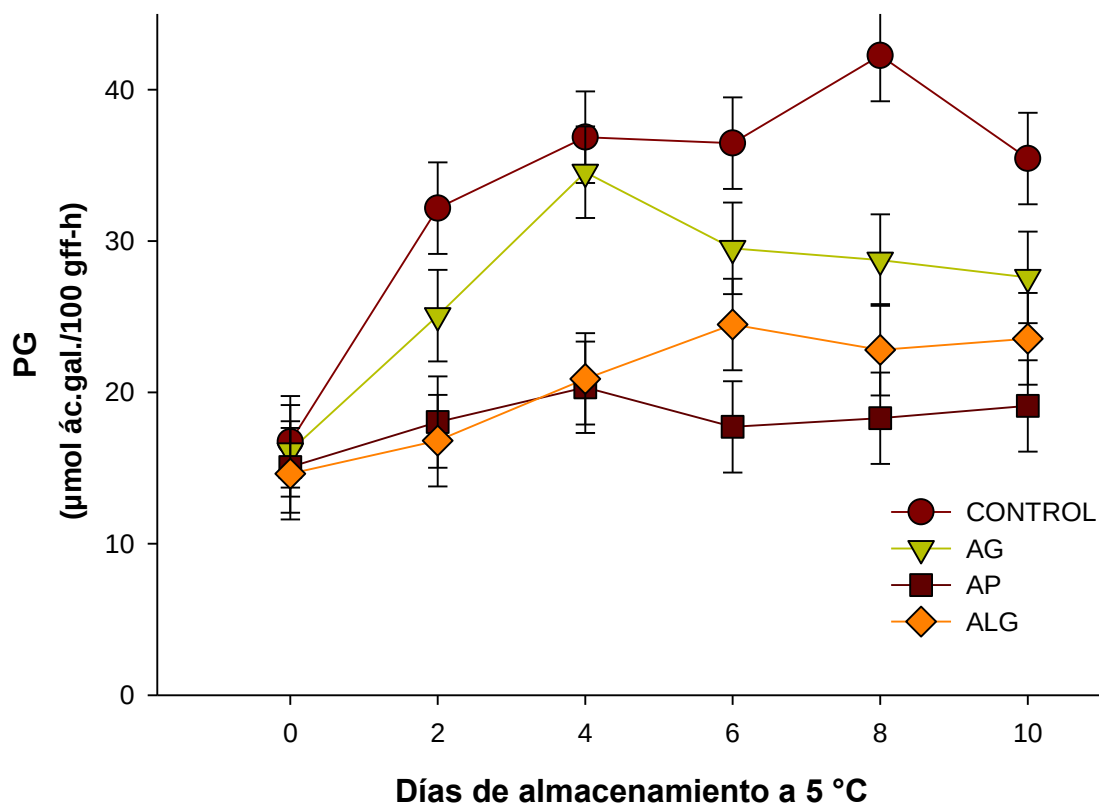


Figura 24. Actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) durante el almacenamiento a 5 °C de rebanadas de papaya “Maradol” mínimamente procesadas tratadas con recubrimientos comestibles de almidón y alginato. Cada punto representa la media de 5 repeticiones. LSD = 3.02 $\mu\text{mol ácido gal.} / 100 \text{ gff-h}$ ($\alpha=0.005$).

h y para AG con 27.6 $\mu\text{mol } \text{ác.gal.}/100 \text{ gff-h}$. Asimismo se puede observar que la actividad de PG alcanzó un punto máximo para todos los tratamientos en diferentes días y después declinó, esto puede ser debido al agotamiento del sustrato para la enzima.

Referente a nuestros estudios los resultados indican que existió una buena adherencia de la cobertura sobre el fruto, generando así un menor retraso en la aparición de la enzima PG y principalmente para AP, el proceso de extrusión contribuyó a generar una mejor estructura polimérica, misma que quizá no fue de todo favorable para AG por la presencia de gelatina, pero posiblemente también el fruto recién cortado no contribuya en mucha ayuda, de forma que en un fruto entero pudiese formarse una buena barrera contra el intercambio de gases. Otra idea que probablemente sucedió para AP fue que los grupos hidroxilos libres generados por el proceso de extrusión, y el pH presente en el fruto pudieron haber formado una reticulación con el Ca^{2+} y pectina del fruto, confiriendo así una menor disponibilidad para PME, la cual requiere ser activada antes que PG. Además la baja temperatura de almacenamiento de 5 °C pudo contribuir a la inhibición de las actividades de PME y PG (Chen y col 2015).

La pectina de papaya recién cortada declina en su cantidad total, aumenta en solubilidad y exhibe despolimerización, todo en consonancia con el aumento observado en la actividad de PG (Karakurt y Huber 2003). Resultados similares fueron encontrados por González-Aguilar y col (2008), quienes evaluaron el efecto de un recubrimiento de quitosano en papaya mínimamente procesada logrando reducir la actividad de PG en un 30 %, en comparación al control. Mismos autores relacionan

la pérdida de firmeza de papaya con el aumento de PG. Karakurt y col (2003) evaluaron la actividad de PG en papaya entera y mínimamente procesada, almacenada por 8 días a 5 °C, encontrando un incremento en la actividad de PG conforme aumentaba el tiempo en ambos tratamientos, obteniendo una mayor presencia en la fruta mínimamente procesada, esta respuesta fue correlacionada con el incremento de la despolimerización de poliurónidos, encontrándose mayores concentraciones molares de ácidos urónicos. Zhou y col (2011) aplicaron un recubrimiento de gala en peras almacenadas a 4 °C con una HR de 95 % por 60 días, encontrando un aumento de PG durante todo el periodo de almacenamiento, siendo más evidente en la fruta sin recubrir; este aumento se lo atribuyeron a la maduración del fruto. Gayosso-García y col 2010 reportaron que la enzima PG presentó un aumento en su actividad conforme avanzaba su estado de madurez del fruto de papaya (25% a 100%), medida subjetiva generada por la coloración amarilla de la piel del fruto, encontrando valores de 8.1 U/gff para el estado de 25 %, hasta 22.4 U/gff para más del 75 %, donde una unidad de actividad la definen como la cantidad de enzima necesaria para liberar 1 μmol de azúcares por hora, atribuyendo el comportamiento a la aparición de hematomas mismas que fueron generados por de etileno, encargada de regular la expresión de PG (Brummell y col 2004; González-Aguilar y col 2008).

Por otra parte Mohamed y col (2016) aplicaron recubrimientos de quitosano-gelatina-sorbitol (QGS) y quitosano-almidón-sorbitol (QAS) en fresas que fueron almacenadas por 7 días a 4 °C, encontrando valores finales de 40.96, 26.34, 23.3, U/mg proteína⁻¹ min⁻¹ para Control, QGS y QAS, respectivamente. Atribuyendo dicho

comportamiento a la presencia de recubierta de fresa que probablemente inactivó la enzima reduciendo la solubilidad del ácido poligalacturónico y pectina, promoviendo un ablandamiento lento (Ruoyi y col 2005).

Sin embargo Ayón-Reyna 2012 observaron un comportamiento contrario al obtenido en este estudio, quienes aplicaron un recubrimiento de quitosano con sales de calcio y tratamientos hidrotérmicos en papayas mínimamente procesadas, encontrando una disminución de PG a través de todo el periodo de evaluación, atribuyendo dicho comportamiento al tratamiento hidrotérmico que posiblemente activo PME promoviendo la activación de PG, aumentando los primeros días de evaluación sin embargo posteriormente disminuyó al transcurso de almacenamiento.

C. CAMBIOS MICROESTRUCTURALES

1. Análisis microestructural

a. Microscopio Electronico de Barrido Ambiental (MEBA)

El análisis de imagen de textura se ha sugerido para medir cuantitativamente los cambios microestructurales de los alimentos, convirtiéndose en una de las herramientas más poderosas para evaluar los cambios mecánicos inducidos por el estrés y a su vez dar mejor entendimiento a su función nutricional y nutracéutica del alimento (Du y Sun 2004; Quevedo y col 2008). Así mismo el conocimiento del estado microestructural en papaya puede esclarecer los procesos degradativos y el adherimiento del recubrimiento, al final del almacenamiento (Soliva-Fortuny y col 2002).

En la **Figura 25** se muestran las microfotografías en una resolución de 100 X de los tejidos vegetales del fruto de papaya sin recubrir mostrándose en posiciones longitudinal (superficie) y transversal (examinación en un ángulo de 90°), durante los días 0, 6 y 10 de almacenamiento.

En la figura **25-I**, se pueden observar los espacios intracelulares generados por el corte del procesamiento mínimo. Las células vivas están encerradas en una pared celular primaria, que consiste en una matriz tridimensional hidratada constituida por multicomponentes de microfibrillas de celulosa, hemicelulosa, pectina y proteínas estructurales, rodeadas por una laminilla formada principalmente por pectina responsable de la adhesión de célula a célula (Cosgrove 2016; Goulao y Oliveira, 2008). Estos compartimientos intracelulares pudieron ser los responsables del incremento en la respiración y posiblemente la disminución de la integridad de la membrana, que a su vez causaría el colapso afectando la textura debido a la acción de enzimas con sus sustratos (Soliva-Fortuny y col 2002). En la figuras 25-II y 25-III se muestra el cierre de los espacios intracelulares posiblemente generado por inundaciones de exudado. Así mismo se pudo haber generado una cera como mecanismo de defensa al estrés abiótico. Por lo tanto, la interrupción de las paredes celulares y la laminilla media conducen a la suavización, progresión de la senescencia y otros cambios en los niveles macro y microestructurales (Cáez-Ramírez y col 2015).

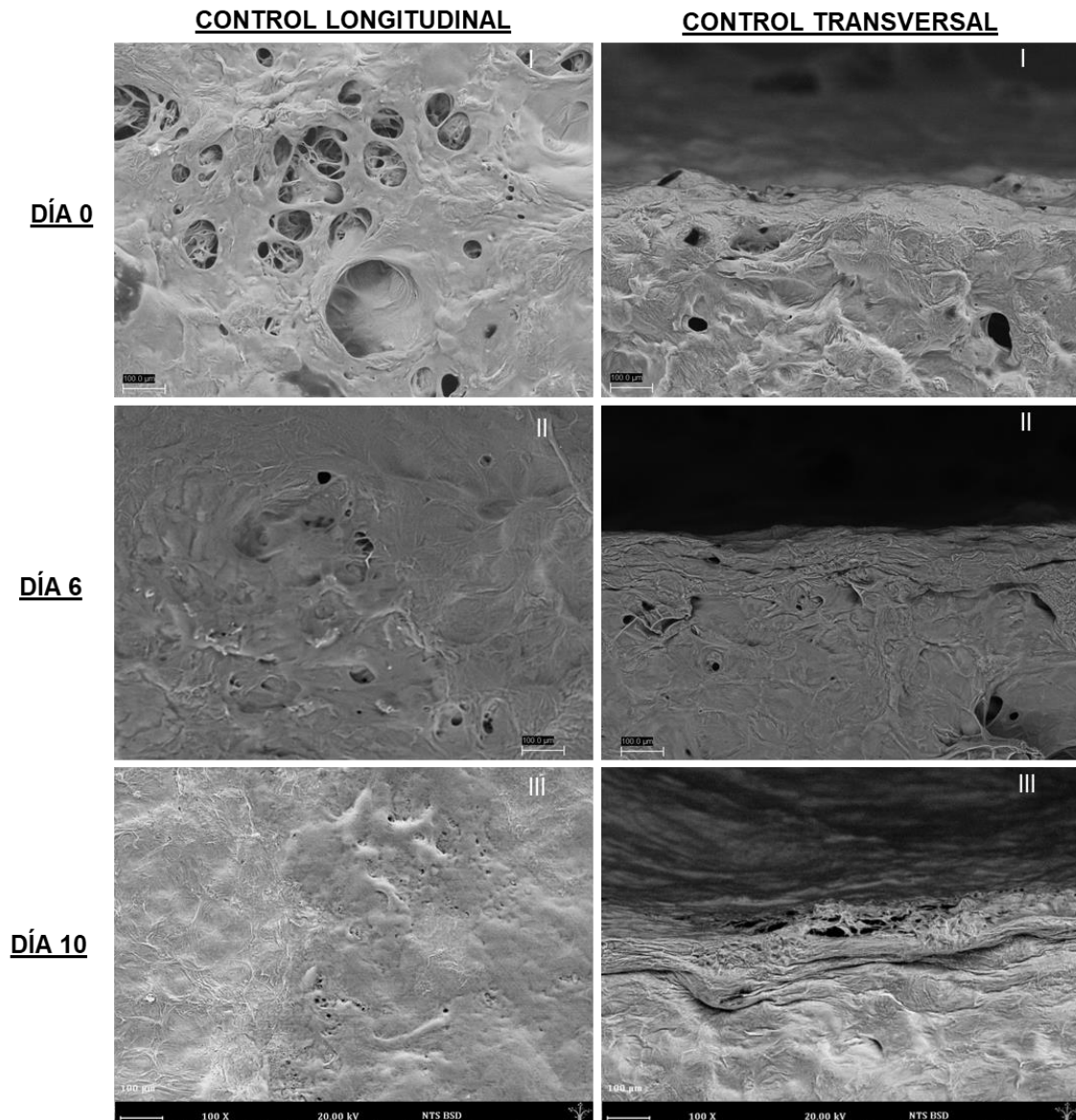


Figura 25. Microfotografías electrónicas de barrido ambiental en tejidos de papaya sin recubrir en posición longitudinal y transversal, durante los días de evaluación 0, 6, 10.

En la **Figura 26** se muestran las microfotografías en posición longitudinal con una resolución de 100 X en tejidos de papaya recubiertos con los diferentes tratamientos (AP, AG y ALG) en los días de evaluación. De manera general se aprecia una homogeneidad de las recubiertas sobre las superficies de las frutas (**Figura 26-A, B y C**). La adherencia de los recubrimientos al tejido contribuyó al cierre de espacios intracelulares induciendo un menor intercambio de gases, promoviendo un retraso en el proceso metabólico, reflejado principalmente en la firmeza y apariencia del fruto. En el día 6 (**Figura 26-A, B y C**) se observaron para B (AG) zonas rugosas en la superficie del fruto, debido posiblemente a un indicativo de la degradación del almidón y/o las zonas rugosas probablemente pudiesen deberse a la amilopectina y las superficies lisas para amilosa. Por otra parte se cree que la presencia de gelatina y plastificantes en la formulación, pudieron ser generados por una absorción en el agua, generando así la rugosidad, mientras que A (AP) y C (ALG), siguieron manteniendo su uniformidad. En el día 10 las microfotografías generaron cambios conforme al tiempo, en la Figura 26-A se pueden observar diferentes irregularidades distribuidas heterogéneamente, sobre la superficie del recubrimiento, esto debido a la naturaleza del almidón, además al no tener presencia de gelatina, pudo haber demorado la aparición de estas, por otra parte se puede observar pequeños puntos que pudieron ser generados por la aglomeración del almidón con el agua o posiblemente sean burbujas de gases atrapados. En la Figura **26-B** presentó una mayor rugosidad, en cuanto al tratamiento ALG en la Figura **26-C**

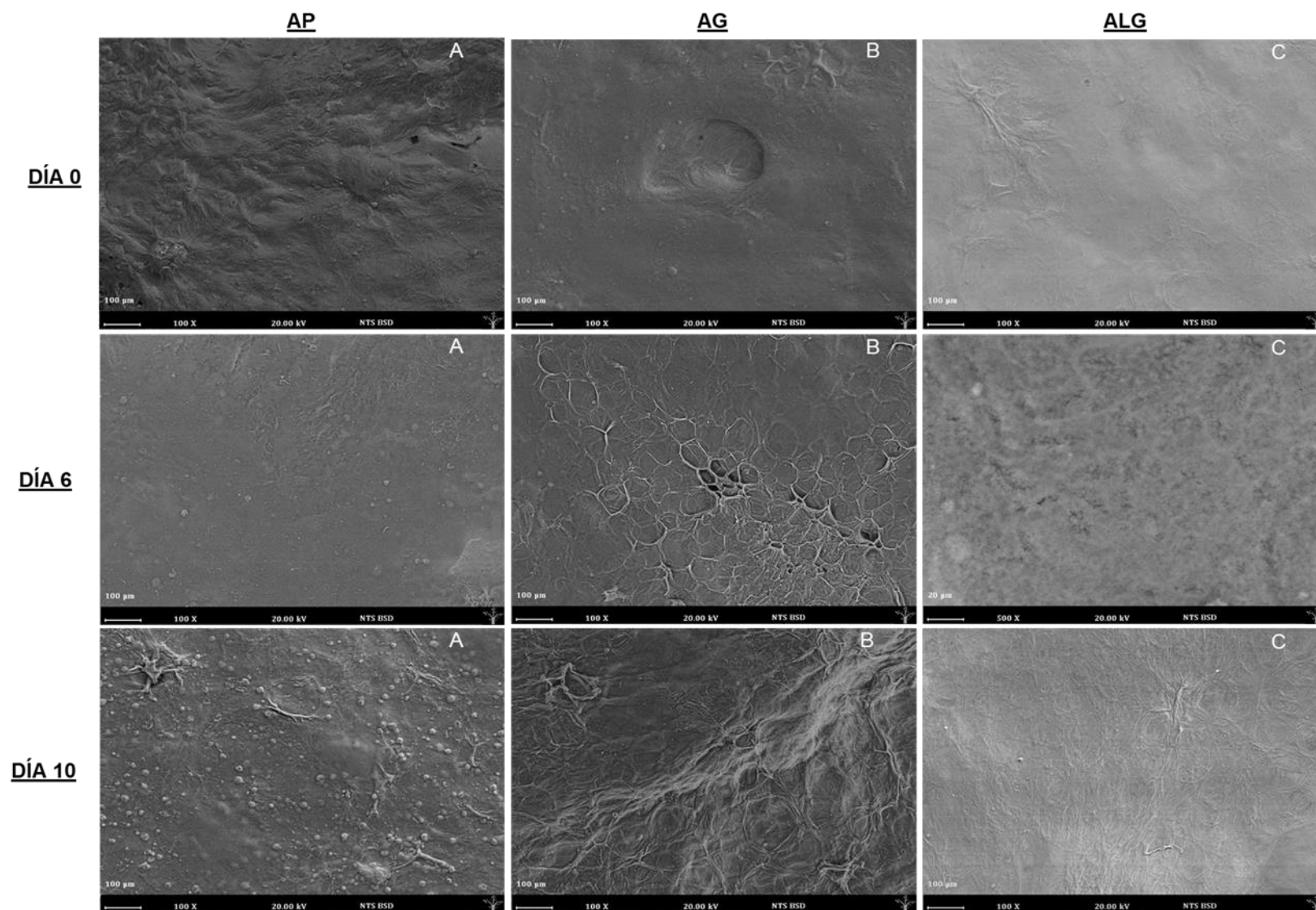


Figura 26. Microfotografías electrónicas de barrido ambiental en tejidos de papaya en posición longitudinal recubiertos con AP (A), AG (B) y ALG (C) en los días de evaluación 0, 6 y 10.

mostró tener una menor rugosidad, al no presentar espacios intracelulares descubiertos y las irregularidades fueron disminuidas, tanto longitudinal como transversal, esto creado principalmente por la naturaleza del alginato, algo muy similar encontrado por Norajit y col (2010) quienes mencionan que el alginato tiene la capacidad de adherirse a la superficie del fruto gracias a la formación de una reticulación con calcio y pectina.

En la **Figura 27** se muestran las microfotografías en posición transversal con una resolución de 100 X de tejidos de papaya recubiertas con los diferentes tratamientos, en sus respectivos días de evaluación. De manera general se puede observar que el grosor de los recubrimientos varió para cada tratamiento y día de evaluación. En el día 0 se puede apreciar la irregularidad de la adherencia de los recubrimientos sobre el tejido del fruto (A, B, C). Así mismo se aprecia que el grosor de los recubrimientos varió, siendo mayor para el tratamiento AG y menor para AP, estas variaciones pudieron deberse al modo de aplicación (frotación con tela), la composición del recubrimiento y el tiempo que tardó en adherirse en el tejido. En la **Figura 27-B** se observa los espacios intracelulares generados por el corte para realizar la visualización en el equipo. En el día 6 los recubrimientos mostraron ser más uniformes sobre los tejidos del fruto, generando para AG (B) la formación de una superficie rugosa, en ALG (C) se puede observar una red tridimensional creada por las microfibrillas (principalmente polisacáridos de pared celular), mientras que AP (A) presentó una rugosidad heterogénea.

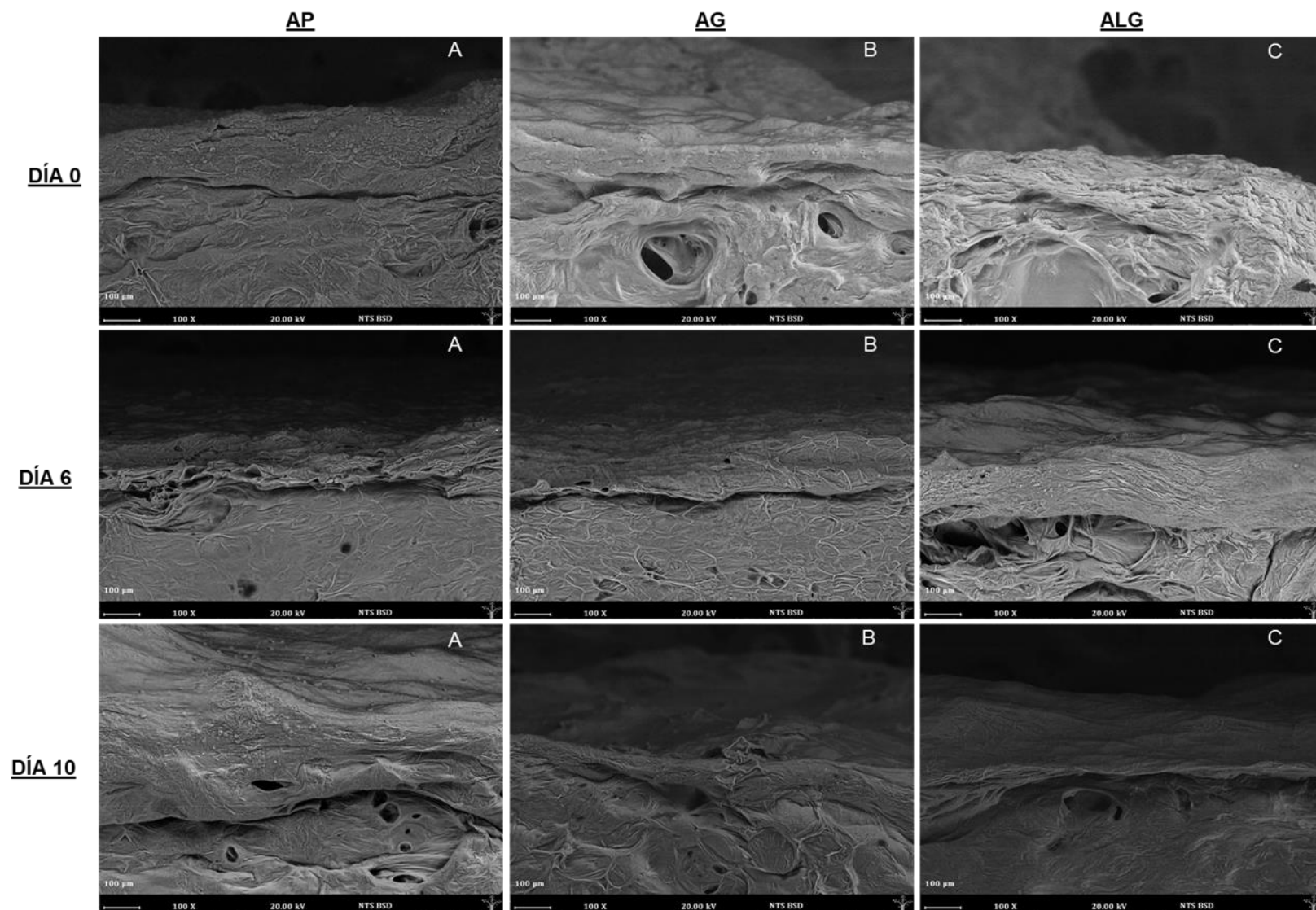


Figura 27. Microfotografías electrónicas de barrido ambiental en tejidos de papaya en posición transversal recubiertos con AP (A), AG (B) y ALG (C) en los días de evaluación 0, 6 y 10.

Al final de la evaluación los recubrimientos siguieron estando adheridos a la superficie, siendo mejor para AP y ALG, los grosores de los recubrimientos variaron de 5-20 μm . Por otra parte la aparición de grietas fue más visible para AG, debido principalmente a la resequedad que se produjo con este tratamiento.

Felton y col 1997 informaron que las propiedades de adhesión de los recubrimientos dependen directamente de su elasticidad, que es inversamente proporcional al estrés interno que se desarrolla dentro la capa durante el plegamiento. Acordando Olivas y Barbosa (2009), afirma que los recubrimientos son considerados una buena opción para cubrir las frutas recién cortadas debido a que pueden adherirse a la superficie a través de una reticulación con el Ca^{+2} y pectina. Además el aditamento de recubrimientos puede contribuir a una mejor composición atmosférica obteniendo una mejor textura y microestructura del fruto (Soliva-Fortuny y col 2002). Por otra parte científicos confirman que el tener las muestras en un estado más natural para el análisis de microscopia electrónica de barrido, implica tener interferencias en la obtención de imágenes (James 2009).

IX. CONCLUSIONES

1. El tratamiento AP logró retener los parámetros de calidad (firmeza, color, SST, AT, pH y % PP) en papaya (*Papaya Carica* L.) mínimamente procesada, encontrando valores iguales o mejores a los recubrimientos utilizados comercialmente.
2. El análisis de gases mostró un incremento notorio de CO₂ en el día 4 para el Control y una disminución de O₂ para todos los tratamientos hasta el final de la evaluación de 18.2 %, indicando que los revestimientos actuaron como barrera semipermeable contra el O₂ y CO₂, reduciendo la tasa de respiración y por consiguiente las reacciones de metabolismo, principalmente para AP y ALG.
3. Las frutas tratadas con el tratamiento AP y ALG presentaron una menor actividad de pectinmetilesterasa a partir del día 4 y en poligalacturonasa a partir del día 2 mostrando diferencia significativa con respecto a los demás tratamientos hasta el final de la evaluación, indicando una inhibición parcial de las enzimas que se ven involucradas en el ablandamiento del tejido.
4. El tratamiento AP pudo haber actuado similarmente que ALG, debido a que el proceso de extrusión dejó más libres grupos hidroxilos de la estructura del almidón teniendo una mayor afinidad por el Ca²⁺, misma que es conferida por los grupos carboxilos del alginato, para formar una reticulación. El tratamiento AG no mostró el mismo comportamiento probablemente a la presencia de los aminoácidos de la gelatina que pudieron interferir en las cargas electrostáticas. Sería interesante profundizar la investigación en este tema.

5. El análisis microestructural evidenció el adherimiento de los recubrimientos comestibles en la superficie del fruto, logrando cerrar los espacios intracelulares que generaban el intercambio de gases y además ayudo corroborar el entendimiento de los procesos metabólicos en los cambios de firmeza y textura del fruto.

6. Los resultados obtenidos a través de la investigación, confieren que el uso de los recubrimientos comestibles elaborados por extrusión-casting en PMP y principalmente AP, pueden ser una alternativa para obtener una mejor calidad, prolongar la vida de anaquel del fruto, que permitirá aumentar la red de comercialización.

X. BIBLIOGRAFÍA

Achet D y He XW. 1995. Determination of the renaturation level in gelatin films. Polymer 36:787-791.

Agama AE, Ottenhof MA, Farhat IA, Paredes O, Ortíz DJ y Bello LA. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. Interciencia 29(11):643-649.

Aguilar-Méndez MA, Martin-Martínez S, Tomas SA, Cruz-Orea A, Jaime-Fonseca MR. 2008. Gelatine–starch films: physicochemical properties and their application in extending the postharvest shelf life of avocado (*Persea americana*). Journal of the Science of Food and Agriculture 88:185–193.

Aguilar-Palazuelos E. 2007. Obtención y caracterización de materias biodegradables utilizando las tecnologías de extrusión termoplástica y moldeo por inyección [Tesis de Doctorado]. Santiago de Querétaro, Querétaro: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. 211 p. Disponible en: Biblioteca de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Aguilera JM. 2005. Why food microstructure?. Journal of Food Engineering 67:3-11.

Agustí M. 2000. Crecimiento y maduración del fruto. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, J. Azcón-Bieto M. Talón. (Eds.) McGraw-Hill Interamericana de España SAU y Ed. Univ. Barcelona, Madrid, España p 419-433.

Álvarez-Quintero RM. 2012. Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabólica y

evaluación de calidad poscosecha [Tesis de Doctorado]. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. p 221.

Angos I Vírveda P, Fernández T. 2008. Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 48: 22.

AOAC. 2012. Official Methods of Analysis. 19^a ed. Washington, D.C. Association of Official Analytical Chemists.

Arango-Wiesner L. 2012. Manual de Asistencia técnica no.4: El cultivo de papaya en los llanos orientales de Colombia. Disponible de: <http://www.agronet.gov.co/www/docs/si2/Cultivo%20de%20la/20papaya.pdf>. Consultado el 28 de marzo del 2017.

Achipiz SM, Castillo AE, Mosquera SA, Hoyos JL, Navia DP. 2013. Efecto de recubrimientos a base de almidón sobre la maduración de la guayaba. *Biotechnología en Sector Agropecuario y Agroindustrial* 2:92-100.

Argañosa AC, Reposo MF, Texteira P, Morais A. 2008. Effect of cut-type on quality of minimally processed papaya. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88 (12): 2050-2060.

Arredondo-Ochoa T. 2012. Diseño de empaques comestibles a base de almidón modificado para su posible aplicación en alimentos en fresco [Tesis de Maestría]. Santiago de Querétaro, Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro 82 p.

Avendaño RGC, López MA, Palou E. 2013. Propiedades de alginato y aplicaciones en alimentos. Temas selectos en ingeniería de alimentos, Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas de Puebla, San Andrés Cholula Puebla, México p 86-96.

Ayala-Zavala JF, Del-Toro-Sánchez L, Alveréz-Parrilla E, González-Aguilar GA. 2008. High relative humidity in-package of fresh-cut and vegetables: Advantage or disadvantage considering microbiological problems and antimicrobial delivering systems?. Journal Food Science 71: 41-47.

Ayón-Reyna LE, Tamayo-Limón R, Cárdenas-Torres F, López-López ME., López-Ángulo G, López-Moreno HS, López-Cervantes J, López-Valenzuela JA, Vega-García MO. 2015. Effectiveness of Hydrothermal-Calcium Chloride Treatment and Chitosan on Quality Retention and Microbial Growth during Storage of Fresh-Cut Papaya. Journal of Food Science 00:1-8.

Ayón-Reyna LG. 2009. Cambios bioquímicos y de calidad de rebanadas de piña mínimamente procesada tratadas con antioxidantes y empacadas en atmósferas modificadas [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa: Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa. p151.

Azarakhsh N, Osman A, Ghazali HM, Tan CP, Mohd AN. 2012. Optimization of alginate and gellan-based edible coating formulations for fresh-cut pineapples. International Food Research Journal 9(1):279-285.

- Badui-Dergal S. 2013.** Química de alimentos: Revisión de enzimas de importancia en alimentos. 5ª ed. Estado de México: Pearson Educación p 306-308.
- Baldwin EA y Bai J. 2011.** Physiology of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Martin-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds.) Advances in Fres-Cut Fruits and Vegetable Processing. Boca Raton p. 87-113.
- Banjongsinsiri P, Kenney J y Wicker L. 2003.** Detection of Vacuum Infusion of Pectinmethylesterase in Strawberry by Activity Staining. Journal of Biological Sciences 9(1):137-140.
- Barahona Cockrell M., Sancho Barrantes E.1991.** Piña y papaya. Fruticultura Especial. San José (Costa Rica). EUNED. Teixeira-da-Silva JA, Rashid Z, Tan-Nhut D, Sivakumar D, Gera A, Teixeira-Souzan M. p72.
- Barí L, Hassan P, Absar P, Haque ME, Khuda MIIE, Pervin MM, Khatun MS y Hossain MI. 2006.** Nutritional analysis of two local varieties of papaya (*Carica papaya* L.) at different maturation stages. Pakistan Journal of Biological Sciences 9(1):137-140.
- Barraza-Elenes C. 2005.** Efecto de dosis y etapa de aplicación de 1-metilciclopropano en la maduración de mango “Keitt” (*Mangifera indica* L.) durante el almacenamiento [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa: Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa p105.

- Beirão-da-Costa S, Empis J, Moldão-Martins M. 2013.** Fresh-Cut Kiwifruit Structure and Firmness as Affected by Heat Pre-treatments and Post-cut Calcium Dips. Food and Bioprocess Technoly 7: 1128-1136.
- Bennett AB y Labavitch JM. 2008.** Ethylene and ripening-regulated expression and function of fruit cell wall modifying proteins. Plant Science 175:130-136.
- Bertuzzi MA, Castro-Vidaurre EF, Armada M, Gottifredi JC. 2007.** Water vapor permeability of edible starch based films. Journal of Food Engineering 80:972-978.
- Bierhals SV, Chiumarelli M, Hubinger DM. 2011.** Effect of Cassava Starch Coating on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Pineapple (*Ananas Comosus* L. Merrill cv “Pérola”). Journal of Food Science 76:62-72.
- Bósquez-Molina E. 2003.** Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) [Tesis de Doctorado]. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana 147p.
- Bourtoom T. 2008.** Edible films and coatings: characteristics and properties. International Food Research Journal 3:237-248.
- Brummell DA y Harpster MH. 2001.** Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. Plant Molecular Biology 47:311-340.
- Brummell DA. 2006.** Cell wall disassembly in ripening fruit. Functional Plant Biology. 33:103-119.

- Calderón-Castro A, Vega-García MO, Zazueta-Morales JJ, Fitch-Vargas PR, Carrillo-López A, Gutiérrez-Dorado R, Limón-Valenzuela VL y Aguilar-Palazuelos E. 2018.** Effect of extrusion process on the functional properties of high amylose corn starch edible films and its application in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. Journal of Food Science and Technology Association of Food Scientists & Technologists 55:905-914.
- Calderón-Castro A. 2012.** Obtención de películas comestibles a partir de una formulación de almidón de maíz alto en amilosa utilizando el proceso de extrusión. [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa. Disponible en: Biblioteca de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. p71.
- Caleb OJ, Mahajan PV, Al-Said FA, Opara UL. 2013.** Transpiration rate and quality of pomegranate arils as affected by storage conditions. Journal of Food 11(3): 199-207.
- Campos C, Gerschenson L, Flores S. 2011.** Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. Food and Bioprocess Technology 4:849-875.
- Carabalí MIL, Narváez CCE, Restrepo SLP. 2009.** Extracción y medida de la actividad de pectinmetilesterasa en pitahaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*), enzima relacionada con el ablandamiento. Acta Colombiana 14(2):73-83).

- Carrillo-López A, Cruz-Hernández A, Cáramez-Trejo A, Guevara-Lara F, Paredes-López O. 2002.** Hydrolytic activity and ultrastructural changes in fruit skins from two prickly pear (*Opuntia* sp.) varieties during storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50:1681-1685.
- Cazón P, Gonzalo Velázquez G, Ramírez JA, Vázquez M. 2016.** Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. Food Hydrocolloids 1-13.
- Ceballos-Chan GE. 2005.** Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica. [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de alimentos. Consultado en febrero del 2017. Disponible en: <http://riunet.upv.es/bistream/handle/10251/1885/tesisUPV2366>.
- Cha DS y Chinnan MS. 2004.** Biopolymer-based antimicrobial packaging-A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 44(4):223-237.
- Chan K. y Paull R.E. 2008.** *Carica papaya* L., *Caricaceae*. In J. Janick, & RE. Paull. Encyclopedia of fruit and nuts. Wallingford, United Kingdom: CABI. p 237-247.
- Chaudhary AL, Miler M, Torley PJ, Sopade PA, Halley PJ. 2008.** Amylose content and chemical modification effects on the extrusion of thermoplastic starch from maize. Carbohydrate Polymers 4:907-913.
- Chaudhary DS. 2010.** Competitive plasticization in ternary plasticized starch biopolymer system. Journal of Applied Polymer Science 118:486-495.

Chavarrias M. 2010. El auge de los alimentos de IV gama. Disponible: <http://www.consumer.es> . Consultado el 20 noviembre de 2017.

Chávez-Sánchez I, Carrillo López A, Vega-Garcia M, Yahia EM. 2011. The effect of antifungal hot-water treatments on papaya postharvest quality and activity of pectinmethylesterase and polygalacturonase. *Journal of Food Science and Technology* 10:7-11.

Chávez-Sánchez I. 1996. Efectos de tratamientos hidrotérmicos sobre la calidad postcosecha y actividad de enzimas degradativas de la pared celular en papaya variedad maradol. [Tesis de maestría]. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa.

Chen H, Caob S, Fanga X, Mua H, Yangc H, Wang X, Xua Q, Gaoa H. 2015. Changes in fruit firmness, cell wall composition and cell walldegrading enzymes in postharvest blueberries during storage. *Scientia Horticulturae* 188:44-48.

Chisari M, Silveira AC, Barbagallo R, Spagna G, Artes F. 2009. Ripening stage influenced the expression of polyphenol oxidase, peroxidase, pectin methylesterase and polygalacturonase in two melon cultivars. *International Journal of Food Science & Technology* 44: 940-946.

Chiumarelli M, Pereira LM, Ferrari CC, Sarantópoulos CIGL, Hubinger MD. 2010. Cassava Starch Coating and Citric Acid to Preserve Quality Parameters of Fresh-Cut “Tommy Atkins” Mango. *Journal of Food Science* 75:297-304.

- Contreras MR y Labuza TP. 1981.** Prediction of moisture protection requerimientos for foods. *Cereal Food World* 26:335-343.
- Cosgrove DJ. 2016.** Plant cell wall extensibility: connecting plant cell growth with cell wall structure, mechanics, and the action of wall-modifying enzymes. *Journal of Experimental Botany* 67(2):463-476.
- Cuq B, Gontard N, Guilbert S. 1998.** Proteins as agricultural polymers for packaging production. *Cereal Chemistry* 75:1-9.
- Da Silva LS y Taylor JR. 2005.** Physical, mechanical and barrier properties of kafirin films from red and white sorghum milling fractions. *Cereal Chemistry* 82:9-14.
- Debeaufort F, Quezada-Gallo JA, Voilley A. 1998.** Edible films and coatings: tomorrow's packagings: A review. *Critical Reviews in Food Science* 38:299-313.
- Della-Cruz R. 2004.** Understanding and evaluating fresh-cut produce. *Fresh-cut*, Washington 12(9): 7-8.
- de-Oliveira SE, Gutiérrez CM, Jacomino AP, Puschmann R, Ferreira SN, Elesbão AR, Mosca JL, Cunha FH, Rocha BM, Dussán SS, Yagui P. 2005.** Formas de presentación. En: González-Aguilar GA, Gardea AA, Cuamea-Navarro F, Editores. *Nuevas Tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. México: CIAD 37-73 p.
- Desai UT y Wagh AN. 1995.** Papaya In *Handbook of Fruit Science and Technology*. Production, Composition, Storage, and Processing. New York: Marcel Dekker p 39-65.

Dhall RK. 2013. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 53 (5):435-450

Djioua T, Charles F, López-Lauri, Filgueiras H, Coudret A, Freire M, Ducam-Collin MN, Sallanon H. 2009. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L) by hot water treatments. Postharvest Biology and Technology 52:221.

Domínguez-Courtney M y Jiménez-Munguía M. 2012. Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas de Puebla, San Andrés Cholula Puebla, México p 110:121.

Donald AM. 2003. The use of environmental scanning electron microscopy for imaging wet and insulating materials. Nature Materials 2:511-516.

Du CJ y Sun DW. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. Trends in Food Science y Technology 15:230-249.

Fagundes C, Palou L, Monteiro AR, Pérez MB. 2014. Effect of antifungal hidroxypopil methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 92:1-8.

Fakhouri FM, Martellia SM, Caon T, Velasco JI, Mei LH. 2015. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on

quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology* 109:57–64.

FAOSTAT. 2017. Base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>

Felton LA y McGinity J. 1997. Influence of plasticizers on the adhesive properties of an acrylic resin copolymer to hydrophilic and hydrophobic tablet compacts. *International Journal of Pharmaceutics* p154-167.

Fischer RL y Bennett AB 1991. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42:675-703.

Fitch-Vargas PR, Aguilar-Palazuelos E, Zazueta-Morales JJ, Vega-García MO, Valdez-Morales JE, Martínez-Bustos F y Jacobo-Valenzuela N. 2016. Physicochemical and Microstructural Characterization of Corn Starch Edible Films Obtained by a Combination of Extrusion Technology and Casting Technique. *Journal of Food Science* 81:2224-2232.

Fitch-Vargas PR. 2014. Elaboración de películas comestibles a partir de almidón termoplástico obtenido por extrusión: Caracterización y aplicación en un fruto modelo. [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa. 60 p. Disponible en: Biblioteca de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

- Fonseca SC, Oliveira FAR, Brecht JK. 2002.** Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*. 52: 99-119.
- Fontes LCB, Sarmiento SBS, Spoto MHF, Dias CTS. 2008.** Preservation of minimally processed apple using edible coatings. *Food Science and Technology* 28:872–80.
- Fry SC. 2004.** Primary cell wall metabolism: tracking the careers of wall polymers in living plant cells. *New Phytologist*. 161:641-675.
- Fuchs Y, Pesis E, Zauberman G. 1980.** Changes in amylase activity, starch and sugar contents in mango fruit pulp. *Horticultural Science* 13:155-160.
- Galietta G, Harte F, Molinari D y Capdevielle R. 2005.** Aumento de la vida útil poscosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha* 2:117-223.
- Galus S y Kadzińska J. 2015.** Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology* 45:273-283.
- Gayosso-García LE, Yahia EM, Martínez-Téllez MA, González-Aguilar GA. 2010.** Effect of maturity stage of papaya Maradol on physiological and biochemical parameters. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5(2):194-203.
- Gennadios A, Weller CL, Testin RF. 1993.** Property modification of edible wheat, gluten based films. *American Society of Agricultural Engineering* 36(2):465-470.

- Giovannoni JJ. 2001.** Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology 52:725-749.
- Giovannoni JJ. 2004.** Genetic Regulation of Fruit Development and Ripening: Plant Cell. The American Society of Plant Biologists 16:170-180.
- Gonçalves DJGJ y Pierre VA. 2011.** Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. Food Research International 44: 1306–1313.
- Gontard N, Marchesseau S, Cuq JL, Guilbert S. 1995.** Water vapor permeability of edible bilayer films of wheat gluten and lipids. International Journal of Food Science and Technology. 30:49-56.
- González-Aguilar, Monroy-García GI, Goycoolea F, Díaz-Cinco M y Ayala-Zavala J. 2005.** Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. Symposium “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados” La Habana, Cuba p 121.
- González-Aguilar G y Ayala-Zavala F. 2005.** Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Hermosillo, Sonora, México: CIAD. P 98.
- González AGA, Celis J, Sotelo MRR, de la Rosa LA, Rodrigo GJ, Álvarez PE. 2008.** Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. International Journal of Food Science y Technology 43:91-101.

- González M, Lobo MG. 2005.** Técnicas de conservación. En: González-Aguilar GA, Gardea AA, Cuamea-Navarro F, editores. Nuevas Tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Hermosillo, Sonora, México: CIAD p 98.
- González-Aguilar GA, Valenzuela-Soto E, Lizardi-Mendoza J, Goycoolea F, Miguel Martínez-Téllez MA, Villegas-Ochoa MA, Monroy-García I y Ayala-Zavala JF. 2008.** Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. Journal of the Science of Food 89:15-23.
- Gorny JR, Hess PB, Kader AA. 1998.** Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices. Hort Science 33(1):110-113.
- Goulao L y Oliveira C. 2008.** Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. Trends in Food Science and Technology 19(1):4-25.
- Greener DI y Fennema O. 1994.** Edible Films and Coatings: Characteristics, Formation, Definitions and Testing Methods. En: Krochta JM, Baldwin EA, Nisperos-Carriedo M, editores. Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Lancaster, Pensilvania: Technomic p 1-21.
- Guilbert S y Biquet B. 1995.** Películas y envolturas comestibles. En Embalaje de los alimentos de gran consumo. Acribia Zaragoza 57:190-199.

- Gulzar A, Ishrat M, y Varun K. 2015.** Developments in Edible films and Coatings for the extension of Shelf Life of Fresh Fruits. American Journal of Nutrition and Food Science 2(1): 16-20.
- Gurjanov OP, Ibragimova NN, Gnezdilov OI y Gorshkova TA. 2008.** Polysaccharides, tightly bound to cellulose in cell wall of flax bast fibre: isolation and identification. Carbohydrate Polymers 72:719-729.
- Hagerman AE y Austin PJ. 1986.** Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. Journal of Agriculture Food Chemistry 34(3):441-444.
- Hartel RW y Heldman DR. 2012.** Principles of food processing. New York : Springer Science & Business Media. 288 p.
- Hernández Y, Lobo MG, González M. 2007.** Optimización del tipo de troceado de papaya mínimamente procesada y su efecto en la translucidez. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, Cartagena, España p751.
- Hernández-Albíter. 2004.** Evaluación del potencial antifúngico de extractos vegetales crudos en la germinación de esporas de *Colletotrichum gleosporioides* (Penz.) Sacc. [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional. Centro de desarrollo de productos bióticos.
- Herrera MP, Vasanthan T, Chen L. 2017.** Rheology of starch nanoparticles as influenced by particle size, concentration and temperature. Food Hydrocolloids 66:237-245.

Hu W, Jiang A, Qi H, Pang K y Fan S. 2007. Effects of initial low oxygen and perforated film package on quality of fresh-cut cabbages. Journal of the Science of Food and Agricultural. 87: 2019-2025.

IFPA. International Fresh-Cut Produce Association. 2017. The convenience, nutritional value and safety of fresh-cut produce. Disponible: <http://www.creativew.com/sites/ifpa/about.html>. Consultado el 23 de febrero del 2017.

INFOAGRO Información Técnica Agrícola. 2017. El cultivo de papaya. Disponible de: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/papaya.htm. Consulta el 5 de marzo del 2017.

James B. 2009. Advances in wet electron microscopy techniques and their application to the study of food structure. Trends in Food Science & Technology 20:114–124.

Jiang CM, Wu MC, Wu CL, Chang HM. 2003. Pectinesterasa and poligalacturonase activities and textural properties of Rubbery papaya (*Carica papaya* Linn). Food Chemistry and Toxicology. Disponible en <http://www.aseanfood.info/Articles/11017095>. Consultado 15 Noviembre de 2017.

Jooyandeh H. 2011. Whey protein films and coatings: A review. Pakistan Journal of Nutrition. 10(3):296-301.

Kaplan HJ. 1986. Washing, Waxing and Color Adding. En: Wardowski WF, Nagy S, Grierson W, editores. Fresh Citrus Fruits. New York: AVI Publishing Co p 379.

- Karakurt Y y Huber DJ. 2003.** Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya* L.) fruit. *Postharvest Biology Technology* 28:219-229.
- Kester JJ y Fennema OR. 1986.** Edible films and coating: A review. *Food Technology*. 40:47-59.
- Krochta JM y De Mulder JC. 1997.** Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technology* 51 (2):61-74.
- Krochta JM. 2002.** Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities. In: Gennadios A, Editor. *Protein-based films and coatings*. CRC Press LLC p 1–41.
- Krongyut W, Srilaong V, Uthairanakij A, Wongs-Aree C, Esguerra EB, Kanlayanarat S. 2011.** Physiological changes and cell Wall degradations in papaya fruits cv. “Keek Dum” and “Red Maradol” treated with 1-methylcyclopropene. *International Food Research Journal* 18(4):1251-1259.
- Lassoudière A. 1968.** Le papayer: Description e genetique. *Fruits*, Paris 23(11):585–596.
- Lee GJ, Chung HW; Lee KH y Ahn HS. 2005.** Antioxidant vitamins and lipid peroxidation in patients with cervical intraepithelial neoplasia. *Journal of Korean Medical Science*. 20:267-72.
- Leyva LN, Heredia JB, Contreras ALA, Muy RMD, Campos SJP, González LI. 2011.** Sales de calcio mejoran vida de anaquel y aceptabilidad general de

papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol) fresca cortada. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2(1): 1-15.

Lin D y Zhao Y. 2007. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. Comprehensive reviews in food safety. Food Science and Technology 6:60-75.

López-López ME. 2010. Efecto de la aplicación de tratamientos hidrotérmicos, aditivos químicos y envasados en atmósferas modificadas sobre la calidad de manzana (*Malus Sylvestris*) mínimamente procesada [Tesis de maestría]. Culiacán, Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa. 60 p. Disponible en: Biblioteca de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Lukasik KV y Ludescher RD. 2006. Molecular mobility in wáter and glicerol plasticized cold and hot-cast gelatin films. Food Hydrocolloids. 20: 96-105.

Mahmud TMM, Al Eryani-Raqeeb A, Syed-Omar SR, Mohamed-Zaki AR, Al Eryani, Abdual-Rahman.2008. Effects of different concentrations and applications of calcium on stronge life and physiochemical characteristic of papaya (*Carica Papaya* L.) American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 3:526-533.

Mali S, Grossmann MV, García MA, Martino MN y Zaritzky NE. 2002. Microstructural characterization of yam starch films. Carbohydrate Polymers 50(4):379-386

- Martín-Belloso O y Rojas Graü MA. 2005.** Factores que afectan la calidad. En: González Aguilar GA, Gardea AA y Cuamea Navarro F, editores. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Ed. CIAD. México p: 76-90.
- Martínez FM, Harper C, Pérez MF y Chaparro M. 2002.** Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. Journal of Food Science 67:3365-3371.
- Maruchi A, Tornet Y, Arangueren M, Ramos R, Rodriguez K., Pastor MC. 2008.** Caracterización de los frutos de cuatro cultivares de papaya del grupo solo introducido en Cuba. Agronomía Costarricense 32 (2)169-175.
- Marzo-Rojas I. 2010.** Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína [Titulo de Licenciatura]. Pamplona: Universidad Pública de Navarra p 171.
- MCHugh TH. 2000.** Protein-lipid interactions in edible films and coatings. Nahrung 44:148-151
- Menéndez AO, Lozano SE, Ocampo MA, Torres KB, de Villar Martinez A, Jimenez AA. 2006.** Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración de maracuyá amarillo (*Pasiflora Edulis* var. Flavicarpa degener). Interciencia 31(10):728-733.
- Meneses J, Corrales CM, Valencia M. 2007.** Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. Revista EIA 8:57-67.

- Mercado-Silva E y Aquino-Bolaños EN. 2005.** Enzimas involucradas en el deterioro. En: González Aguilar GA, Gardea AA y Cuamea Navarro F, editores. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Ed. CIAD. México p 177-202.
- Minic Z y Jouanin L. 2006.** Plant glycoside hydrolases involved in cell Wall polysaccharide degradation. *Plant Physiology and Biochemistry* 44:435-449.
- Minic Z. 2008.** Physiological roles of plant glycoside hydrolases. *Planta* 227:723-740.
- Mohamed EIB, Entsar IR, Mahmoud AME-N, Rania IAI y Nehad EMT. 2016.** Strawberry Shelf Life, Composition, and Enzymes Activity in Response to Edible Chitosan Coatings. *International Journal of Fruit Science* 1-20.
- Montero CM, Rojas GMA, Martín-Belloso O. 2008.** Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology* 50:182-189.
- Moret Y, López J, Sánchez C. 2010.** Quimioprevención de condiciones potencialmente malignas y cáncer bucal. *Acta Odontológica Venezolana*. 48(1):1-8.
- Nakasone H Y y Paull R E 1998.** Papaya. En: *Tropical fruits*. CBA International Wallingford England p 445.
- Natalini A, Schouten RE y Woltering EJ. 2010.** The locular gel differentially affects translucency development and firmness decay in fresh-cut tomato slices. *Postharvest Biology and Technology* 58(2):38-44.

- Newbury, DE. 2002.** X-ray microanalysis in the variable pressure (environmental) scanning electron microscope. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 107(6):567-603.
- Norajit K, Kim KM y Ryu GH. 2010.** Comparative studies and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract.. *Journal of Food Engineering*. 98: 377–384.
- Nussinovitch A y Lurie S. 1995.** Edible coatings for fruits and vegetables. *Postharvest News and Information*. 6:53-57.
- Olivas GI y Barbosa CG. 2009.** Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. En: Embuscado ME, Huber KC, editores. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer p 211-239.
- Olkku J y Linko P. 1977.** Effects of thermal processing on cereal based food systems. En: Downey WK, editor. *Food Quality and Nutrition, Research Priorities for Thermal Processing*. Dublin, Ireland: Elsevier. P 575-579.
- Chemical treatments to preserve quality of fres-cut: A rewwie. *Postharvest Biology and Technology* 36:359-364.
- Oms-Oliu G, Rojas- Graüa MA, Alandes GL, Varela P, Soliva-Fortunya R, Hernando HMI, Pérez MI, Fiszman S y Martin-Belloso O. 2010.** Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*. 57:139-148.

- Parker TL, Esgro ST, Miller SA, Myers LE, Meister RA, Toshkov SA, Engeseth NJ. 2010.** Development of an optimised papaya pulp nectar using a combination of irradiation and mild heat. *Food Chemistry* p861-869.
- Parra DF, Tadini CC, Ponce P, Lugão AB. 2004.** Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers* 58:475-481.
- Paul R.E. 1996.** Pineapple and papaya. In: *Biochemistry of Fruit Ripening* Seymour.
- Paul RE y Chen W. 1997.** Minimal processing of papaya (*Carica papaya* L.) and the physiology of halved fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 12: 93–99.
- Pavlath A, Orts W. 2009.** Edible Films and Coatings: Why, What, and How?. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer p 30.
- Pen LT y Jiang YM. 2003.** Effects of chitosan coating of shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut. *Lebensm.-Wiss. U.-Technology* 36:359-364.
- Peña C, De La Caba, K, Eceiza A, Ruseckaite R, Mondragon I. 2010.** Enhancing water repellence and mechanical properties of gelatin films by tannin addition. *Bioresource Technology* 101: 6836-6842.
- Pérez RB, Bringas E, Cruz L, Báez S. 2003.** Aplicación de cera comestible en mango. Parte i: Efecto en las características físico-químicas durante el almacenamiento comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 5:100-112.

- Pérez de los Bueis MP. 2012.** Caracterización de la liberación de carvacrol y eugenol contenidos en films de WPI [Tesis de Licenciatura]. Pamplona, España: Universidad Pública de Navarra p97.
- Pérez-Pérez EP y López-Malo A. 2011.** Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas. Temas selectos en ingeniería de alimentos, Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas de Puebla, San Andrés Cholula Puebla, México p13-27.
- Phan TD, Bo W, West G, Lycett GW y Tucker GA. 2007.** Silencing of the major salt-dependent isoform of pectinesterase in tomato alters fruit softening. *Plant Physiology* 144: 1960-1967.
- Piga A, Del-Caro A, Pinna I, Agabbio. 2003.** Changes in ascorbic acid, polyphenol content and antioxidant activity in minimally processed cactus pear fruits. *Lebensm.-Wiss. U.-Technology* 36:257-262.
- Pizato S, Cortez-Vega W, Andreghetto de Souza J, Prentice-Hernández C, Dellenghausen BC. 2012.** Effects of different edible coatings in physical, chemical and microbiological characteristics of minimally processed peaches (*Prunus persica* L. Batsch). *Journal of Food Safety* 33: 30-39.
- Plotto A, Narciso JA, Rattanapanone N, Baldwin EA. 2010.** Surface treatments and coatings to maintain fresh-cut mango quality in storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2333–2341.

- Poverenov E, Zaitseva Y, Arnona H, Granita R, Alkalai-Tuviaa S, Perzelana Y, Weinberga T, Fallik E. 2014.** Effects of a composite chitosan–gelatin edible coating on postharvest quality and storability of red bell peppers. *Postharvest Biology and Technology* 96:106-109.
- Prakash-Maran JP, Sivakumar V, Sridhar R, Prince-Immanuel V. 2013.** Development of model for mechanical properties of tapioca starch based edible films. *Industrial Crops and Products* 42:159-168.
- Prasanna V, Prabha TN, Tharanathan RN. 2007.** Fruit ripening phenomena: An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47:1-19.
- Quevedo R, Mendoza F, Aguilera JM, Chanona J, Gutiérrez-López G. 2008.** Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering* 84:509-515.
- Reignault P, Mercier M, Bompeix G, Boccara M. 1994.** Pectin methylesterase from *Botrytis cinérea*: physiological, biochemical and immunochemical studies. *Microbiology* 40:3249-3255.
- Rhim JW. 2004.** Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT - Food Science and Technology* 37:323–330.
- Rivera-López J, Vasquez-Ortiz FA, Ayala-Zavala JF, Sotelo-Mundo RR, Gonzalez-Aguilar GA. 2005.** Cutting shape and stronge temperatura affect overrall quality of fresh-cut papaya cv. “Maradol”. *Journal of Food and Agriculture* 90:2358-2365.

- Rivero S, García MA, Pinotti A. 2010.** Correlation between structural, barrier, thermal and mechanical properties of plasticized gelatin films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:369-375.
- Robles-Sánchez RM, Rojas-Graü MA, Odriozola-Serrano I, González-Aguilar G y Martín-Belloso O. 2012.** Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents. *Food Science and Technology* 50: 240-246.
- Robles-Sánchez M, Gorinstein S, Martín-Belloso O, Astiazarán- García H, Gonzalez Aguilar G, Cruz-Valenzuela R. 2007.** Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia* 32(4):227-228.
- Rocculi P, Galino FG, Mendonza F, Wadsö L, Romani S, Dalla-Rosa M, Sjöholm I. 2007.** Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology Technology* 43:151-7.
- Rojas-Graü MA, Tapia MS, Martín-Belloso O. 2006.** Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT- Food Science and Technology*. 41:139-147.
- Rojas-Graü MA, Tapia MS, Rodríguez FJ, Carmona AJ, Martín-Belloso O. 2008.** Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids* 22:1493–1503.
- Rosli HG. 2007.** Degradación de la pared celular en frutillas. Análisis de sus componentes, evolución de la actividad enzimática y expresión de genes

asociados. [Tesis de doctorado] en Biología Molecular y Biotecnología. Universidad Nacional de General San Martín p12-27.

Ruoyi K, Zhifang Y, Zhaoxin L. 2005. Effect of coating and intermittent warming on enzymes, soluble pectin substances and ascorbic acid of *Prunus persica* (Cv. Zhonghuashoutao) during refrigerated storage. Food Research International 38:331-336.

Saavedra N, Algecira NA. 2010. Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. Ciencias biomédicas. 14:171-182

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación .2016. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. SIAP. Servicio de información Agroalimentaria y Pesca. Avances de siembra y cosechas. Disponible de: <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 13 de marzo del 2017.

Salinas HR, González AG, Pirovani ME y Montejo FU. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. Universidad y Ciencia. 23 (2): 183-196.

Sánchez-Espíndola ME.2001. Inducción de Vigor en plántulas de *Carica papaya* L. por efecto de la micorriza arbuscular *Glomus* sp. Disponible de: <http://148.206.53.231/UAM6352.PDF>. Consultado 15 Noviembre 2017.

Sanjinez AE, Branco IG, Takito, SY, Corbary J. 2010. Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la

conservación de kiwis mínimamente procesados. Ciencia e Tecnología de Alimentos. 30 (1): 205-209.

Santamaría-Basulto F, Sauri-Duch E, Espaldas GF, Díaz-Plaza R, Larqué-Saavedra A, Satamaría JM. 2009. Postharvest ripening and maturity índices for Maradol papaya. Interciencia 34(8):583-588.

Sañudo-Barajas J, Osuna T, López G, Labavitch J. 2008. Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. Revista Fitotecnica Mexicana 31(2):141-147.

Serrano LA y Cattaneo LF. 2010. O Cultivo do Mamoeiro no Brasil. Disponible de: URL [http:// www.todafruta.com.br](http://www.todafruta.com.br). Consultado 2 octubre de 2017.

Shamekh S, Myllarinen P, Poutanen K, Forseell P. 2002. Film formation properties of potato starch hydrolysates. Starch/Starke. 54: 20-24.

Sobral PJA, Menegalli FC, Hubinger MD, Roques MA. 2001. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. Food Hydrocolloids 15:423-432.

Soliva R y Martín O. 2001. Envasado de alimentos mediante recubrimientos comestibles. Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos. p29-38.

Soliva-Fortuny RC, Oms-Oliu G y Martín-Belloso O. 2002. Effects of ripeness stages on the storage atmosphere and color and textural properties of minimally processed apple slices. Journal Food Science 67:1958–1963.

- Teixeira-da-Silva JA, Rashid Z, Tan-Nhut D, Sivakumar D, Gera A, Teixeira-Souzan M, Tennant PF. 2007.** Revisión: Papaya (*Carica papaya* L.) Biology and Biotechnology. Tree and Forestry Science and Biotechnology. Global Science Book. p27.
- Tharanathan RN. 2003.** Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends in Food Science and Technology 14:71-78.
- Toivonen PMA y Brummell DA. 2008.** Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. Postharvest Biology and Technology 48:1-14.
- Torri L, Sinelli N, Limbo S. 2010.** Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. Postharvest Biology and Technology 56:239-245.
- Trujillo NY, Pérez GJ y Durán OD. 2012.** Empleo de recubrimientos comestibles con base en almidón de papa y yuca en la conservación del mango cv. Zapote. Ciencia y Tecnología Alimentaria 10: 5-17.
- Tzortzakis N, Borland A, Singleton I y Barnes J. 2007.** Impact of atmospheric ozone-enrichment on quality-related attributes of tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 45: 317-325.
- Valenzuela-Navarro SA. 2016.** Elaboración y caracterización de películas comestibles a partir de una formulación de almidón de maíz y gelatina obtenida por el proceso de extrusión-casting [Tesis de Licenciatura]. Culiacán, Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa. 60 p. Disponible en: Biblioteca de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas.

- Valero-González SP. 2008.** Estudio sobre el comportamiento de compra de ensaladas frescas preparadas (cuarta gamma) en comunas de Santiago. [Tesis de licenciatura]. Escuela de ingeniería en Agronegocios. Chile. Disponible:<http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/estudiocomportamiento-compras-ensaladas-frescas-cuarta-gama/estudio-comportamiento-compras-ensaladas-frescas-cuarta-gama.pdf>. Consultado el 7 abril del 2017.
- Van Linden V, Sila DN, Duvetter T, Baerdemaeker JD, Hendrickx M. 2008.** Effect of mechanical impact-bruising on polygalacturonase and pectinmethylesterase activity and pectin cell wall components in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 47:98-106.
- Vandekinderen I, Devlieghere F, De-Meuleneer B, Veamme K, Ragaert P, Van Camp J. 2008.** Impact of decontamination agents and a packaging delay on the respiration rate of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology* 49:277-282.
- Vargas M, Pastor C, Chiralt A, McClements DJB y González-Martínez C. 2012.** Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48:496-511.
- Vázquez-Briones MC, Guerrero-Beltrán JA, Juárez-Roldán AR, Jiménez-Munguía M, Aguilar-Raymundo VG, Vélez-Ruiz JF, Vigil AL. 2013.** Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 7(2):5-14.

- Vega-Espinoza A. 2010.** Aplicación de métodos secuenciales para la conservación poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Imperial [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa. 60 p. Disponible en: Biblioteca de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- Wainewright FW. 1977.** Physical tests for gelatin and gelatin products. The science and technology of gelatin. p507-531.
- Waldron KW, Parker ML, Smith AS. 2003.** Plant cell wall and food quality. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2:101-118.
- Wall MM. 2006.** Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp) and papaya (*Carica papaya* L.) cultivar grown in Hawaii. Journal of Food Composition and Analysis 19:434-445.
- Ward AG y Courts A. 1977.** The Science and technology of gelatin. Academic Press.
- Wassim SM, Chakraborty I, Ayala-Zavala JF, Dhua RS. 2011.** Advances in minimal processing of fruits and vegetable: a review. Journal of Scientific e Industrial Research 70:823-834.
- Wei J, Ma F, Shi S, Qi X , Zhu X, Yuan J. 2010.** Changes and postharvest regulationof activity and gene expression of enzymes related to cell wall degradation inripening apple fruit. Postharvest Biology and Technology. 56: 147-154.
- Xie F, Halley PJ, Avérous L. 2012.** Rheology to understand and optimize processibility, structures and properties of starch polymeric materials. Progress in Polymer Science 37:595-623.

- Xu XY, Kim KM, Hanna MA, Nag D. 2005.** Chitosan-starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products* 21:185-192.
- Yakimets I, Wellner N, Smith AC, Wilson RH, Farhat I, Mitchell J. 2005.** Mechanical properties with respect to water content of gelatin films in glassy state. *Polymer* 46: 12577-12585.
- Yang L y Paulson AT. 2000.** Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International* 33:563-570.
- Zamudio-Flores PB. 2008.** Caracterización estructural de películas elaboradas con almidón modificado de plátano y con quitosano. [Tesis de Maestría]. Yautepec, Morelos, México: Instituto Politécnico Nacional p141.
- Zhou R, Li Y, Yan L, Xie J. 2011.** Effect of edible coatings on enzymes, cell-membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) during storage. *Food Chemistry* 124:569–575.
- Zykwinska A, Thibault JF, Ralet MC. 2007.** Organization of pectin arabinan and galactan side chains in association with cellulose microfibrils in primary cell Wall and related models envisaged. *Journal of Experimental Botany*. 58:1795-1802.

XI. APÉNDICE

1. Abreviaturas

%	Por ciento.
μ	Micras.
μL	Microlitros.
μm	Micrómetros.
°C	Grados Celsius.
°Brix	Grados Brix.
AA	Antioxidantes.
a*	Parámetro Hunter-Lab.
A-G	Ácido galacturónico.
AG	Almidón-Gelatina-Plastificantes.
AP	Almidón-Plastificantes.
ALG	Alginato.
ANOVA	Analysis of Variance.
AOAC	Association of Official Analytical Chemist.
AT	Acidez Titulable.
b*	Parámetro Hunter-Lab.
cm	Centímetro.

Col	Colaboradores.
CONAFRUT	Consejo Nacional de Frutas.
CO₂	Dióxido de Carbono.
D	Deformación.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
EC	Sistema de nomenclatura de enzimas.
gff/min	Gramos de fruto fresco por minuto.
h	Hora.
ha	Hectárea.
INFOAGRO	Información técnica de gricultura.
Hz	Hertz.
kDa	Kilodaltones.
Kg	Kilogramos.
L	Litro.
L*	Parámetro Hunter-Lab.
LSD	Least Significant Difference.
M	Metros.
M	Molar.

MEqA	Peso Miliequivalente.
MEBA	Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental.
Min	Minuto.
mL	Mililitros.
mm	Milímetros.
MPa	Megapascal.
N	Newton.
N	Normalidad.
NaOH	Hidróxido de sodio.
(NH₄)₂SO₄	Sulfato de amonio.
nm	Nanómetros.
O₂	Oxígeno.
P⁻¹ o Pa	Pascal.
p	Nivel de significancia.
PE	Pectinesterasa.
PET	Tereftalato de polietileno.
PG	Poligalacturonasa.
PME	Pectinmetilesterasa.
PMP	Producto Mínimamente Procesado.

PP	Pérdida de peso.
POD	Polifenol Oxidasa.
Ppm	Partes por millón.
PVA	Permeabilidad al vapor de agua.
PVC	Policloruro de vinilo
RC	Recubrimientos Comestibles.
rpm	Revoluciones por Minuto.
RR	Resistencia a la Ruptura.
t	Toneladas.
S	Solubilidad en agua.
s	Segundos.
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
SST	Sólidos Solubles Totales.
t	Tiempo.
T	Temperatura.
TE	Temperatura de Extrusión.
UV	Ultravioleta.
V	Volumen.

VG	Volumen gastado.
VT	Velocidad del Tornillo.
Z1	Zona 1.
Z2	Zona 2.
Z3	Zona 3.