

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES
DE ALMIDÓN DE CHAYOTEXTLE ADICIONADAS
CON MICROCÁPSULAS**

Tesis

Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencia de los Alimentos

Presenta

Miguel Ángel Martínez Ortiz

Director:

Dr. Apolonio Vargas Torres

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, octubre de 2016



Acta de reunión del comité de tesis de maestría en ciencia de los alimentos
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis titulada: "**Caracterización de películas comestibles de almidón de chayotextle adicionadas con microcápsulas**", que desarrolla el estudiante Miguel Ángel Martínez Ortiz.

Asistentes:

Dr. Apolonio Vargas Torres
Dra. Adriana Inés Rodríguez Hernández
Dra. Heidi María Palma Rodríguez

A. Revisión de trabajo de tesis.

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por el estudiante, comunicando a Miguel Ángel Martínez Ortiz, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención de grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

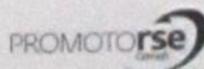
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, a 26 de octubre de 2016

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ICAP, INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dr. Apolonio Vargas Torres

Dra. Adriana Inés Rodríguez Hernández

Dra. Heidi María Palma Rodríguez



Al Creador, Por la vida concedida en este tiempo.

A mis padres por su dedicación, apoyo y entrega.

Al Dr. Apolonio Vargas Torres, por la dirección de la tesis, la ayuda y el tiempo dedicado durante esta investigación.

Al comité revisor por sugerencias y observaciones para mejorar este trabajo de tesis: Dr. Apolonio Vargas Torres, Dra. Adriana Inés Rodríguez Hernández y Dra. Heidi María Palma Rodríguez.

Gracias a todos los profesores que han contribuido en mí formación.

Finalmente a todas las personas que de alguna forma apoyaron a la culminación de este proyecto, por sus palabras, sus ánimos, el interés en el avance de este mundo.

A todos ustedes gracias.

Porque es el tiempo que dedicamos lo que hace tan especial algo.

Se agradece también el apoyo recibido por la beca otorgada por CONACyT (621813), para realizar la Maestría en Ciencia de los Alimentos, en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Dedicado al GRAN CONSTRUCTOR DEL UNIVERSO, de quien proviene el conocimiento infinito, y que me ha regalado la oportunidad de conocer un poco de su inmenso saber, mis PADRES, por su apoyo y fe en las horas que he pasado cultivando mi mente. Con alegría también dedico esta tesis a quienes les sea útil a fin de buscar un mayor beneficio y provecho en bien de la humanidad.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRAC.....	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Uso de materiales plásticos.....	1
1.1.1 Alternativa actual para la reducción del impacto ambiental de plásticos.....	1
2 MARCO TEÓRICO	3
2.1 Generalidades del almidón.....	3
2.2 Fuentes de obtención	4
2.3 Fuentes no convencionales	5
2.3.1 Almidón de chayotextle.....	5
Cuadro 1. Fuentes de producción mundial de almidón	6
2.4 Usos de almidones en la industria de alimentos	7
2.5 Propiedades del almidón	7
2.5.1 Gelatinización.....	7
Cuadro 2. Composición química del almidón de chayotextle.....	8
2.5.2 Formación de pasta.....	9
Cuadro 3. Características de almidones de diferentes fuentes botánicas	10
2.5.3 Gelificación y retrogradación	11
2.6 Modificación del almidón.....	13
2.6.1 Hidrólisis ácida.....	13

2.6.2	Modificación dual.....	14
2.6.3	Almidón resistente.....	15
2.7	Composición, propiedades y tendencias en las películas comestibles.....	16
2.8	Propiedades de las películas de almidón.....	18
2.9	Componentes de las películas	19
2.9.1	Plastificante	19
2.9.2	Otros componentes	19
2.9.3	Ácido ascórbico como compuesto bioactivo antioxidante	20
2.9.4	Encapsulación de compuestos activos de uso en alimentos	21
2.10	Aplicación de películas comestibles	23
2.10.1	Evaluación del recubrimiento en frutos frescos	23
2.10.2	Guayaba como modelo de aplicación.....	24
3	JUSTIFICACIÓN.....	26
4	OBJETIVOS.....	27
4.1	Objetivo general.....	27
4.2	Objetivo específicos.....	27
5	Hipótesis	28
6	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
6.1	Establecimiento del experimento.....	29
6.2	Aislamiento del almidón de chayotextle.....	29
6.3	Modificación del almidón nativo por hidrólisis ácida	29
6.4	Modificación del almidón hidrolizado por tratamiento térmico	30
6.5	Análisis químico proximal.....	30
6.6	Contenido de amilosa.....	30
6.7	Contenido de almidón resistente.....	31

6.8	Propiedades morfológicas de los almidones	31
6.8.1	Microscopía de luz polarizada.....	31
6.8.2	Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	31
6.9	Difracción de rayos X	32
6.10	Tamaño de partícula.....	32
6.11	Propiedades térmicas del almidón nativo y modificado.....	32
6.12	Encapsulado de ácido ascórbico con almidón modificado.....	33
6.13	Caracterización morfológica de las microcápsulas	33
6.13.1	Microscopia electrónica de barrido (MEB).....	33
6.13.2	Distribución de tamaño de partícula.....	33
6.14	Eficiencia de encapsulación	34
6.14.1	Cuantificación de ácido ascórbico.....	34
6.15	Capacidad antioxidante	34
6.16	Solución filmogénica.....	35
6.17	Propiedades de la solución filmogénica.....	35
6.17.1	Perfiles de viscosidad de las soluciones filmogénica	35
6.18	Elaboración de películas.....	35
Cuadro 4.	Formulación para las películas comestibles a base de almidón de chayotextle...	36
6.19	Microscopia electrónica de barrido.....	37
6.20	Propiedades mecánicas.....	37
6.21	Permeabilidad al vapor de agua	38
6.22	Contenido de ácido ascórbico de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas	39
6.23	Propiedades térmicas de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas	39
6.24	Solubilidad de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas.....	40

6.25	Contenido de almidón resistente de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas	40
6.26	Difracción de rayos X de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas	40
6.27	Aplicación de recubrimiento de solución filmogénica a un producto fresco perecedero.....	41
6.27.1	Velocidad de respiración	41
6.27.2	Pérdida de peso.....	42
6.27.3	Firmeza	42
6.27.4	Sólidos solubles totales (°Brix)	42
6.27.5	Acidez titulable.....	42
6.27.6	Determinación de pH.....	43
6.27.7	Color	43
6.28	Análisis estadístico.....	43
7	RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
7.1	Análisis químico proximal, contenido de amilosa y almidón resistente.....	44
	Cuadro 5. Composición químico proximal del almidón de chayotextle nativo y sus modificados	45
7.2	Microscopía electrónica de barrido.....	47
7.3	Microscopía de luz polarizada	49
7.4	Tamaño de partícula.....	49
7.5	Patrones de difracción de rayos X	52
7.6	Propiedades térmicas de almidones	54
	Cuadro 7. Propiedades térmicas del almidón de chayotextle nativo y sus modificaciones..	55
7.7	Características del encapsulado	56

7.8	Perfil de viscosidad de las soluciones filmogénicas adicionadas con microcápsulas	58
7.9	Microscopía de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas	61
7.10	Propiedades mecánicas de películas a base de almidón adicionadas con microcápsulas	63
7.11	Permeabilidad al vapor de agua de películas a base de almidón adicionadas con microcápsulas	68
7.12	Contenido de ácido ascórbico en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.....	70
7.13	Propiedades térmicas de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.....	72
7.14	Solubilidad de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas	74
7.15	Contenido de almidón resistente en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.....	76
7.16	Patrones de difracción de rayos X de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.....	78
7.17	Aplicación del recubrimiento al fruto de guayaba	80
7.17.1	Velocidad de respiración	80
7.17.2	Pérdida de peso.....	82
7.17.3	Firmeza.....	84
7.17.4	Sólidos solubles totales (° Brix), acidez titulable y pH.....	85
7.17.5	Color (L, h,C)	91
8	CONCLUSIONES.....	95
9	REFERENCIAS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representación esquemática de la retrogradación de la amilosa. Fuente:Haralampu (1999).....	12
Figura 2. Micrografía del almidón de chayotextle nativo (ANC), modificado por hidrólisis ácida (ACM), tratado con un ciclo de autoclave (ACM1C) y tres ciclos de autoclave (ACM3C), obtenidas por microscopia electrónica de barrido.....	48
Figura 3. Micrografías del gránulo de almidón de chayotextle nativos (ANC) y modificado por hidrólisis ácida (ACM) vistos por microscopía de luz polarizada a 40X (izquierda) y 100X (derecha).	50
Figura 4. Patrón de difracción de rayos X del almidón de chayotextle nativo (ACN), modificado por hidrólisis ácida (ACM), tratado con un ciclo de autoclave (ACM1C) y tres ciclos de autoclave (ACM3C).	53
Figura 5. Micrografía del encapsulado de ácido ascórbico con almidón modificado. (a) Muestra del encapsulado a 300 aumentos, (b) ampliación de la zona en el círculo negro a 1000 aumentos.....	59
Figura 6. Propiedades de flujo en la solución filmogénica con la adición del microencapsulado de ácido ascórbico	60
Figura 7. Micrografías de películas de almidón donde (A) es la película control a base de almidón, (B) es la película con la adición del 2.5% de microencapsulado, (C) es la película con la adición del 6.25% de microencapsulado y (D) es la película con la adición del 12.5% de microencapsulado.	62
Figura 8. Esfuerzo a la tensión en películas comestibles de almidón adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas.....	64
Figura 9. Porcentaje de elongación en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.....	66
Figura 10. Módulo de Young en películas comestibles de almidón adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas.....	67
Figura 11. Permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles de almidón adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas.	69

Figura 12. Solubilidad a 20 y 60 °C de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.....	75
Figura 13. Contenido de almidón resistente en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.....	77
Figura 14. Patrón de difracción de rayos X de películas de almidón adicionadas con microcápsulas.	79
Figura 15. Velocidad de respiración (mL CO ₂ /kg*h) del fruto de guayaba almacenado a 15 °C.....	81
Figura 16. Pérdida de peso (%) del fruto de guayaba almacenado a 15 °C.	83
Figura 17. Firmeza (N) del fruto de guayaba almacenado a 15 °C.....	86
Figura 18. Evolución del color en los diferentes tratamientos para la aplicación del recubrimiento en el fruto de guayaba en el día 0, 6 y 12, a 15°C.....	92
Figura 19. Luminosidad (L), ángulo de tono (h) y croma (C) en fruto de guayaba almacenado a 15 °C	94

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Fuentes de producción mundial de almidón	6
Cuadro 2. Composición química del almidón de chayotextle	8
Cuadro 3. Características de almidones de diferentes fuentes botánicas	10
Cuadro 4. Formulación para las películas comestibles a base de almidón de chayotextle...	36
Cuadro 5. Composición químico proximal del almidón de chayotextle nativo y sus modificados (% +).	45
Cuadro 6. Distribución del tamaño de partícula del almidón de chayotextle nativo (ANC), modificado por hidrólisis ácida (ACM), modificado por hidrólisis ácida y tratado con un ciclo de autoclave (AMC1C) y tres ciclos de autoclave (AMC3C).	51
Cuadro 7. Propiedades térmicas del almidón de chayotextle nativo y sus modificaciones..	55
Cuadro 8. Características del microencapsulado (contenido de ácido ascórbico, capacidad antioxidante y tamaño de partícula).....	57
Cuadro 9. Contenido de ácido ascórbico en películas adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas con ácido ascórbico.....	71
Cuadro 10. Propiedades térmicas de películas adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas con ácido ascórbico.....	73
Cuadro 11. Sólidos solubles totales (°Brix) de los diferentes tratamientos del fruto de guayaba recubierto y almacenado a 15 °C.	88
Cuadro 12. Acidez titulable (meq totales/100 g muestra) de los diferentes tratamientos del fruto de guayaba recubierto y almacenado a 15 °C	89
Cuadro 13. pH de los diferentes tratamientos del fruto de guayaba recubierto y almacenado a 15 °C	90

Resumen

La tendencia actual en los consumidores se ha enfocado a la reducción del impacto ambiental causado por los plásticos y a su vez en el consumo de productos frescos; debido a esto, la idea de crear empaques activos que preserven la calidad de los productos y que no generen un impacto contaminante ha cobrado un gran interés.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de microcápsulas de almidón modificado conteniendo ácido ascórbico a películas comestibles a base de almidón de chayotextle, en sus propiedades térmicas, mecánicas y de permeabilidad.

Se evaluó también la aplicación como recubrimiento en el fruto de guayaba. Para el desarrollo de este proyecto el almidón nativo de chayotextle fue sometido a una modificación ácida y ciclos de calentamiento-enfriamiento con el propósito de aportar las características necesarias para ser utilizado como material de pared en la microencapsulación mediante secado por aspersión.

La modificación también altera propiedades como la digestibilidad logrando un incremento en el contenido de almidón resistente (AR), de valores iniciales menores a 1% para almidón nativo a valores cercanos al 20% para el almidón modificado. Este almidón modificado se utilizó para la formación de las microcápsulas como protección para el ácido ascórbico (AA), se obtuvieron agregados de un tamaño medio de 27 μm , con formas irregulares parecidas a “palomitas de maíz”.

Las microcápsulas se incorporaron a la solución filmogénica de las películas de almidón en diferentes concentraciones 0, 2.5, 6.25 y 12.5% (p/p). Se cuantificó el contenido de AA en las películas para demostrar la presencia de este compuesto bioactivo, el cual se conserva en un 21% y por medio de microscopía electrónica de barrido se observaron en el interior de la película partículas de morfología similar al microencapsulado. En las propiedades mecánicas de las películas, se observó una reducción en la elongación y un aumento en la rigidez (20%) en las películas, con la incorporación de la máxima concentración de microcápsulas, esto al ser comparado con la película control. No se observó una diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$) en las propiedades térmicas de las películas al adicionar las microcápsulas.

Finalmente, la aplicación de la película en forma de recubrimiento sobre la guayaba redujo la velocidad de respiración disminuyendo la pérdida de peso y conservando los atributos sensoriales como son el color, acidez titulable, sólidos solubles por mencionar algunos. Los resultados obtenidos de este estudio indican la viabilidad del uso de un recubrimiento a base de almidón de chayotextle adicionado con microcápsulas de AA sobre el fruto de guayaba para preservar por un mayor tiempo las propiedades nutricionales y sensoriales, aportando beneficios tanto a la industria como al consumidor.

Abstract

The current trend in consumer has focused on reducing the environmental impact caused by plastic and the consumption of fresh produce; Because of this, the idea of creating active packaging to preserve the quality of the products and minimal environment impact is of great interest.

The aim of this study was to evaluate the effect of incorporation of microcapsules of modified starch containing ascorbic acid applied to edible films based on starch chayotextle in thermal, mechanical properties and permeability.

The application as edible coating on the fruit of guava was evaluated. The development of this project chayotextle native starch was modified by acid and heating-cooling cycles to provide the necessary characteristics to be used as wall material in microencapsulation by spray drying.

The modification alters properties, example the digestibility increase in the content of resistant starch (RS), initial values of less than 1% for native to around 20% for modified starch. The modified starch was used to form the microcapsules as protection for ascorbic acid (AA), they were obtained aggregates of an average size of 27 μm , with irregular shapes "popcorn".

The microcapsules were incorporated to the filmogenic solution of starch films in different concentrations 0, 2.5, 6.25 and 12.5% (w/w). AA content was quantified in the films to demonstrate the presence of this bioactive compound, which retains 21% and by scanning electron microscopy were observed inside the film similar to microencapsulated particles morphology. In the mechanical properties of the films, a decrease in elongation and increased in rigidity (20%) of the films, with the addition of high concentration of microcapsules, statistically was not observed significant difference ($\alpha = 0.05$) in the thermal properties of the films by adding the microcapsules.

Finally, the application of the film coating on guava slowed breathing decreasing weight loss and retaining the sensory attributes such as color, acidity, soluble solids. The results of this study indicate the feasibility of using a coating based on starch chayotextle added

microcapsule AA on the fruit guava preserve for longer nutritional and sensorial properties, providing benefits to the industry and the consumer.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Uso de materiales plásticos

Los plásticos son ampliamente usados en todas las industrias del mundo, generalmente empleados en el empaque de los productos. En el año 2013 fueron obtenidas 299 millones de toneladas, de plásticos en el mundo de las que México produjo alrededor de 5.5 millones de toneladas, habitualmente derivados de petróleo generando un material no biodegradable. Estos plásticos presentan ventajas que los hacen ser elegidos como el material modelo para el diseño de empaques, entre ellas su precio, larga duración, peso ligero y fácil manipulación (ANIPAC, 2015; PlasticsEurope, 2013; Rahmat, Rahman, Sin, y Yussuf, 2009).

Los empaques deben presentar funciones específicas, considerando las siguientes tres como las más importantes, la primera función es formar una barrera entre el producto y el ambiente externo respecto al vapor de agua, oxígeno, dióxido de carbono y microorganismos. La segunda función es que el empaque usado facilite la manipulación y transporte del empacado, finalmente debe proporcionar información clara del producto y que su apariencia sea agradable al consumidor. Normalmente estos envases se encuentran en forma de bolsas, películas o sobres, los cuales tienen una vida media corta que va desde horas o días sumándose al problema de contaminación por desechos sólidos (Fereydoon y Ebnesajjad, 2013; Lalpuria, Anantheswaran, y Floros, 2012; Meiron y Saguy, 2007).

1.1.1 Alternativa actual para la reducción del impacto ambiental de plásticos

Debido al aumento en la contaminación actual se ha acrecentado el interés por parte de los industriales e investigadores en la búsqueda de medidas prontas para reducir el uso excesivo de empaques plásticos no biodegradables y así reducir la contaminación ambiental por desechos sólidos no biodegradables (Aila-Suarez et al., 2013; Qiu, Hu, y Peng, 2013; Romero-Bastida et al., 2005).

Diversas alternativas se han propuesto para la reducción de la contaminación entre las que se puede incluir el aumento de la biodegradabilidad y el desarrollo de materiales a base de polímeros naturales (Rahmat et al., 2009; Silva-Weiss, Ihl, Sobral, Gómez-Guillén, y Bifani, 2013). Para poder utilizar polímeros naturales en aplicaciones para el diseño de empaques o recubrimientos éstos necesitan atributos especiales como la capacidad de formar película y que dicha película presente una fuerza mecánica aceptable que permita su manipulación, almacenamiento y transporte (Fereydoon y Ebnesajjad, 2013).

La naturaleza del polímero otorga propiedades particulares a la película, como el coeficiente de transporte de gases. En los polímeros sintéticos, es importante la orientación de las moléculas debido a que esto influye en que sus propiedades de barrera sean aceptables (Fereydoon y Ebnesajjad, 2013; Lalpuria et al., 2012). Para los materiales de empaque usados en algunos alimentos es preferible que reduzcan la pérdida de humedad o presenten una excelente barrera al transporte de vapor de agua. Además que sean mínimamente afines al alimento evitando la migración de compuestos del paquete a este o viceversa, evitando la adsorción de sabores o afectar las propiedades de barrera del empaque (Fereydoon y Ebnesajjad, 2013; Meiron y Saguy, 2007).

Los materiales usados para la formación de películas son principalmente proteínas, lípidos y polisacáridos, éstos pueden ser utilizados solos o en combinación. Las propiedades que exhiben las películas o las coberturas serán influenciadas por las características físicas y químicas de éstos (Han, 2014; Jiménez, Fabra, Talens, y Chiralt, 2012; Pérez-Gago y Rhim, 2014; Romero-Bastida et al., 2005). La tendencia actual es el desarrollo de materiales de empaque biodegradables, mejorándolos con la incorporación compuestos activos en la matriz filmogénica, aportando beneficios en los productos alimenticios como preservar las características sensoriales y prolongar la vida útil (Mellinas et al., 2016).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del almidón

El almidón es considerado uno de los polisacáridos más abundantes en la naturaleza, con amplio potencial en aplicaciones tecnológicas, puede ser utilizado como materia prima para obtener alcohol, ácidos orgánicos y para la producción de polímeros por procesos fermentativos, por mencionar algunas. Se considera fácil obtener moléculas más pequeñas a partir del almidón comparado con otros polímeros naturales como es la celulosa, aunado a que es una fuente renovable y su proceso de obtención no es complicado, se considera un producto de bajo costo (BeMiller y Huber, 2011; Carvalho, 2013; Jiménez et al., 2012; Núñez-Santiago, Bello-Pérez, y Tecante, 2004; Rahmat et al., 2009).

Físicamente el almidón nativo se encuentra en forma de gránulos, éstos difieren en morfología, composición y propiedades, dependiendo de la fuente botánica de obtención, por ejemplo el almidón de maíz presenta formas poligonales para los gránulos con un tamaño de entre 5 y 25 μm , mientras que el de papa oscila entre 15 y 100 μm con forma ovalada (Joly y Anderstein, 2009). Los polisacáridos que lo integran son dos, la amilosa y la amilopectina éstas se entrelazan por puentes de hidrógeno, formando la estructura del gránulo, donde se distinguen dos regiones: la región amorfa (compuesta en su mayoría por amilosa) y la región cristalina (compuesta por amilopectina) (BeMiller y Huber, 2011; Jiménez et al., 2012).

Los dos polisacáridos del almidón le confieren las propiedades características de este biopolímero, siendo su proporción lo que difiere para cada fuente, lo cual influye en las propiedades funcionales como es su capacidad espesante, emulsionante y formadora de película (Copeland, Blazek, Salman, y Tang, 2009; Jobling, 2004). La amilosa es considerado un polímero lineal formado por unidades de D-glucosa donde predominan los enlaces α -(1,4) con pocas ramificaciones en enlaces α -(1,6), con un peso molecular aproximado de $10^5 - 10^6$ Da y con un grado de polimerización variado dependiendo la fuente (Ahuja, Jaiswal, y Chibbar, 2013), además de presentar la capacidad de formar película. Mientras que la amilopectina es un polímero altamente ramificado con cadenas

cortas de enlaces α -(1,4) las cuales se ramifican por enlaces α -(1,6) y se presentan cada 25-30 unidades de glucosa (BeMiller y Huber, 2011; Carvalho, 2013; Jiménez et al., 2012; Rezler y Poliszko, 2010), su peso molecular aproximado se encuentra entre $10^7 - 10^9$ Da (Ahuja et al., 2013). El arreglo de cada gránulo implica un acomodo complejo con un crecimiento radial, en el que se alterna una región amorfa y una región cristalina dando como resultado lo que se consideran como anillos de crecimiento. Este arreglo radial se puede observar en el fenómeno conocido como birrefringencia que se conoce también como cruz de malta resultado de observar el gránulo en un microscopio de luz polarizada (BeMiller y Huber, 2011).

El arreglo presente en las cadenas de glucosa da un acomodo específico que se ha estudiado por el patrón de rayos X, éste se ha clasificado en tres tipos de polimorfismos. El tipo de cristal observado para cada almidón es dado durante la síntesis de éste en las células vegetales. El polimorfismo tipo A es una estructura monoclinica y menos hidratada, presenta moléculas de agua entre las cadenas, considerado como una doble hélice de 6 unidades de glucosa por vuelta y 8 moléculas de agua, generalmente asociadas a cereales, en lo cual para su formación las condiciones pueden considerarse secas y más cálidas a comparación con el tipo B que es una estructura más compacta con cadenas más largas y el agua que presenta, se encuentra capturada en el interior de la estructura donde las dobles hélices están dispuestas en forma hexagonal con 36 moléculas de agua en el interior de la estructura, las condiciones de formación para este tipo son frías y siendo asociadas en mayor cantidad al almidón de tubérculos, finalmente el tipo C presenta características del tipo A y B (BeMiller y Huber, 2011; Carvalho, 2013; Huang et al., 2015).

2.2 Fuentes de obtención

Debido al amplio uso del almidón en la industria se requieren grandes cantidades de éste. Generalmente existen fuentes convencionales de las cuales se obtiene almidón, el tipo de fuente depende de las condiciones climáticas y geográficas, por ejemplo el maíz puede cultivarse en climas templados y subtropicales, la tapioca en climas tropicales, el arroz requiere condiciones con un mayor contenido de agua y la papa climas fríos. La lista de

producción mundial de almidón la encabeza el maíz, seguido del arroz y trigo como se describe en el Cuadro 1 (Carvalho, 2013; Joly y Anderstein, 2009).

La creciente demanda del almidón debido a su versatilidad ha generado la búsqueda de fuentes alternativas no convencionales que presenten características de importancia para su posible aplicación en las industrias. Ejemplo de ello puede ser el plátano, el mango o el chayotextle (Hernandez-Uribe, Agama-Acevedo, Gonzalez-Soto, Bello-Pérez, y Vargas-Torres, 2011; Romero-Bastida et al., 2005).

2.3 Fuentes no convencionales

2.3.1 Almidón de chayotextle

La búsqueda de propiedades de interés para potenciar las aplicaciones del almidón ha dado como resultado la investigación de fuentes no convencionales que presenten diversas características para ampliar su uso. Una de estas fuentes es el chayotextle, el cual es la raíz tuberizada de la planta del chayote, una planta herbácea perene nativa de México y América Central (Jiménez-Hernández, Salazar-Montoya, y Ramos-Ramírez, 2007), de crecimiento en climas fríos con temperaturas óptimas entre los 13-21 °C. De esta planta es comestible el fruto, los brotes, los tallos y los tubérculos, donde la forma de consumo es muy variada dependiendo de la región en la que se encuentre (Lim, 2012). Se considera de importancia en México debido a que la producción del fruto para el año 2013 fue de 164,197.63 ton según los datos reportados por SAGARPA (2014). La raíz tuberizada del chayote puede ser conocida por diversos nombres en México como chayotextle, cueza, chinchayote; este tubérculo puede ser considerado como una fuente no convencional para la obtención de almidón debido a que el componente mayoritario con un rendimiento de 49% con un 89% de pureza (base seca) es el almidón, el cual comparado con el de papa presenta mayor pico de viscosidad (Hernandez-Uribe et al., 2011).

Cuadro 1. Fuentes de producción mundial de almidón

Fuente	Producción mundial 2005 (1x1000 toneladas métricas)
Maíz	711 762.87
Arroz	621 588.53
Trigo	630 556.61
Papa	324 491.14
Mandioca	213 024.81
Plátano	74 236.88
Batata (Yam)	48 891.21
Sorgo	59 722.09

Fuente: Carvalho (2013)

El contenido de almidón en el tubérculo es cercano al que es reportado en papa. La papa presenta un rendimiento de 140g/kg en base fresca y el chayotextle de 136 g/kg en base fresca (Jiménez-Hernández et al., 2007). El Cuadro 2 muestra la composición químico proximal del almidón de chayotextle.

El almidón de chayotextle presenta formas esféricas, ovales y poligonales, de tamaño pequeño, con diámetro medio de entre 10 y 25 μm (Hernandez-Uribe et al., 2011). Las propiedades de pasta presentan un comportamiento similar al de papa sin embargo muestra un mayor pico de viscosidad (14746 mPa s) comparado con papa (9412 mPa s) (Jiménez-Hernández et al., 2007). La temperatura de gelatinización del almidón de chayotextle según Jiménez-Hernández et al. (2007), se encuentra entre los 65 y 74 °C, y de acuerdo a Hernandez-Uribe et al. (2011) entre los 60 y 71 °C.

2.4 Usos de almidones en la industria de alimentos

En los alimentos puede ser usada una amplia gama de polisacáridos que confieran características de consistencia y textura, siendo el almidón uno de los más empleados debido a que se considera un ingrediente con diversas funciones (espesante, estabilizante y gelificante). En la dieta humana es de importancia debido a su aporte de energía el cual es considerado cercano al 80% (Ellis et al., 1998; Rezler y Poliszko, 2010).

2.5 Propiedades del almidón

2.5.1 Gelatinización

En su mayoría, los alimentos son preparados por cocción u horneado en presencia de agua provocando cambios estructurales en el almidón, otorgándole así las propiedades de textura al producto, estos cambios son debidos al proceso conocido como gelatinización, la cual está relacionada con la temperatura, el contenido de agua y la agitación durante el calentamiento (Berski et al., 2011; Rezler y Poliszko, 2010).

Cuadro 2. Composición química del almidón de chayotextle

Almidón de chayotextle	Composición (%)
Humedad	4.7 ± 0.08
Proteína	0.33 ± 0.01
Grasa	0.34 ± 0.03
Cenizas	0.39 ± 0.01
Almidón	89.1 ± 0.96
Amilosa	26.3 ± 0.38

Promedio de tres réplicas ± el error estándar

Fuente: Hernandez-Urbe et al. (2011)

Los gránulos de almidón nativo son insolubles en agua, sin embargo pueden absorber hasta 0.48-0.56 g de agua por g de almidón, esto debido a la presencia de zonas amorfas, a temperatura ambiente el agua actúa como plastificante en las zonas amorfas, conforme se incrementa la temperatura en la dispersión de almidón se presenta un fenómeno de hinchamiento, el cual en presencia de un exceso de agua genera cambios físicos importantes y es el responsable del aporte de las propiedades espesantes y gelificantes (BeMiller y Huber, 2011).

En la gelatinización, el almidón se hincha durante el calentamiento en presencia de un exceso de agua y la amilosa es lixiviada del gránulo a la solución, el cambio más notable de ello es el aumento de la viscosidad. Durante este proceso el gránulo colapsa lo cual implica la modificación de su orden molecular dando paso a cambios irreversibles como lo es la pérdida de la estructura cristalina y del fenómeno de birrefringencia (Ellis et al., 1998). Estos cambios son particulares para cada fuente en particular, la temperatura de gelatinización de algunos almidones se presenta en el Cuadro 3 donde se puede observar que estas temperaturas se encuentran entre 50 y 90 °C.

2.5.2 Formación de pasta

Uno de los aspectos importantes en las dispersiones de almidón es su capacidad de captación de agua y el aumento considerable de la viscosidad después de la gelatinización (Zaidul, Norulaini, Omar, Yamauchi, y Noda, 2007). La evaluación de este comportamiento generalmente se realiza en equipos como el viscoamilógrafo o el analizador rápido de viscosidad, ambos instrumentos monitorean el cambio de la viscosidad de una suspensión acuosa de almidón en un ciclo de calentamiento y enfriamiento en presencia de agitación. Las condiciones pueden variar dependiendo de los operadores siendo lo más cercano el calentamiento de la dispersión a 95 °C donde se mantiene cierto tiempo y posteriormente se enfría a 50 °C. De esta prueba se obtienen valores como temperatura de pasta, pico de viscosidad y viscosidad final de las dispersiones de almidón.

Cuadro 3. Características de almidones de diferentes fuentes botánicas

Fuente	Tipo	Tamaño (μm)	Forma	Temperatura de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)
Maíz	Cereal	5–25	Poligonal redonda	62–72
Maíz ceroso	Cereal	5–25	Poligonal redonda	63–72
Tapioca	Tubérculo	5–25	Trunca redonda, ovalada	62–73
Papa	Tubérculo	5–100	Redonda, ovalada	59–68
Arroz	Cereal	3–8	Poligonal redonda	68–78
Trigo	Cereal	3–35	Lenticular redonda	58–64
Maíz alto en amilosa	Cereal	3–24	Elongada redonda	50–90

Fuente: Joly y Anderstein (2009)

El tiempo de la prueba debe asegurar que todos los gránulos de almidón han sido gelatinizados. El almidón exhibe un comportamiento único para cada fuente con respecto a la concentración, temperatura y velocidad de cizalla (BeMiller y Huber, 2011; Berski et al., 2011; Rezler y Poliszko, 2010), este comportamiento puede ser atribuido al grado de polimerización de la amilopeptina, la relación amilosa/amilopeptina y/o la presencia de otros componentes como los fosfolípidos en los gránulos proporcionando mayores o menores viscosidades y formación de geles (Moreira, Chenlo, Torres, y Glazer, 2012).

Existen ciertos aspectos que pueden afectar las características de la pasta y los geles de almidón, ejemplo es la presencia de ácidos, los cuales tienden a disminuir la viscosidad de las pastas promoviendo la hidrólisis de los enlaces glucosídicos reduciendo el tamaño molecular de las cadenas. Otro punto importante es la participación de los lípidos en complejo con las cadenas de amilosa las cuales restringen el hinchamiento del gránulo (BeMiller y Huber, 2011), este biopolímero es de amplia compatibilidad, por esta característica se utiliza en gran medida en sistemas alimentario, para interactuar formando una matriz, aportando atributos como la textura, preservación de humedad y protección de compuestos como las vitaminas (BeMiller, 2011). Debido a esto y su bajo costo es considerado un biopolímero versátil con amplio potencial (And y Han, 2005).

2.5.3 Gelificación y retrogradación

Después de la gelatinización del almidón y cuando la pasta se enfría da la formación de una red tridimensional, donde las moléculas de amilosa presentes en la solución se re-asocian, cuando se ha completado la formación de un gel, éste puede ser evaluado por medio de pruebas reológicas en cizalla oscilatoria, en donde se determina el módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G''); el comportamiento de éstos indican la presencia de un gel si el módulo de almacenamiento es superior al módulo de pérdida o viceversa para una pasta viscosa (BeMiller y Huber, 2011; Berski et al., 2011; Rezler y Poliszko, 2010).

Después de la cocción y el enfriamiento de la pasta de almidón las cadenas de glucosa se reorganizan, siendo las de amilosa las primeras en reagruparse, en la Figura 1 se esquematiza la forma teórica de la retrogradación.

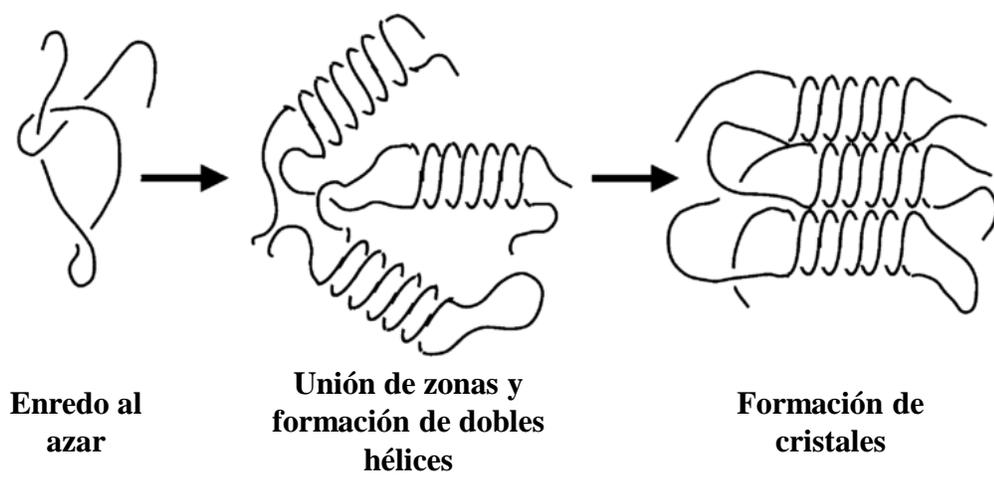


Figura 1. Representación esquemática de la retrogradación de la amilosa.
Fuente:Haralampu (1999)

Durante la retrogradación las moléculas del almidón se re-asocian formando estrechas estructuras estabilizadas por puentes de hidrógeno, conforme este proceso avanza, estas estructuras se compactan dando origen a la deshidratación del gel y la formación de cristales. Estos cristales presentan una estabilidad térmica superior al almidón nativo y pueden re-hidratarse a temperaturas entre los 80-150°C, este fenómeno contribuye a la formación de almidón resistente a hidrólisis enzimática (Haralampu, 1999).

2.6 Modificación del almidón

El almidón nativo presenta características particulares, estas propiedades son de gran interés para la industria, tanto del área alimentaria como la no alimentaria, (Aila-Suarez et al., 2013; Utrilla-Coello et al., 2014). Sin embargo, presenta algunas limitantes como lo son su baja solubilidad, los cambios que presenta después de ser gelatinizado, su alto aporte calórico, entre otras; restringiendo o disminuyendo su aplicación, una de las ventajas que presenta este polisacárido es que dichas propiedades pueden cambiarse mediante la modificación de su estructura ya sea de manera física, química o enzimática (BeMiller y Huber, 2011; Ellis et al., 1998; Qiu et al., 2013).

2.6.1 Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida es una modificación química que puede o no alterar significativamente la estructura granular (Ulbrich, Beresnewa-Seekamp, Walther, y Flöter, 2015). Generalmente para esta modificación se utilizan soluciones diluidas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido clorhídrico (HCl) (Babu, Parimalavalli, Jagannadham, y Rao, 2014; Hernández-Jaimes, Bello-Pérez, Vernon-Carter, y Alvarez-Ramirez, 2013; Joly y Anderstein, 2009; Palma-Rodriguez et al., 2012; Singh, Bawa, Riar, y Saxena, 2009; Wei et al., 2013).

En la industria, la hidrólisis ácida puede considerarse como un pre-tratamiento a posteriores modificaciones, esto debido a la acción que ocurre en la región amorfa del gránulo constituida en su mayoría por amilosa, provocando que regiones internas del gránulo sean accesibles a la hidrólisis (región cristalina), dependiendo de las propiedades que puedan

buscarse es la intensidad del tratamiento ácido que se emplea (Hoover, 2000; Ulbrich et al., 2015).

Este tratamiento afecta la estructura del gránulo y también los componentes de éste, tales como lípidos y proteínas principalmente. El mecanismo de acción de la hidrólisis ácida es el ataque de los enlaces glucosídicos $\alpha(1\rightarrow4)$, la velocidad de la reacción es dependiente de factores como la concentración del ácido, el tiempo de hidrólisis y temperatura (Utrilla-Coello et al., 2014). Esta hidrólisis puede considerarse en dos etapas, la primera se atribuye una hidrólisis rápida de la región amorfa, seguida de una hidrólisis más lenta de la región cristalina (Hoover, 2000; Singh, Raina, Bawa, y Saxena, 2005; Wei et al., 2013). El producto final después de la hidrólisis lo constituyen en su mayoría partículas de la región cristalina la cual por su empaquetamiento dificulta la hidrólisis haciendo que ésta sea lleve a una menor velocidad. Cuando la velocidad de hidrólisis es lenta se puede considerar que se lleva a cabo en la región cristalina, conformada por amilopectina (Utrilla-Coello et al., 2014). Los fragmentos restantes del gránulo después del tratamiento presentan una alta tendencia a formar agregados (Kainuma y French, 1971).

La hidrólisis del almidón modifica algunas propiedades que pueden evaluarse, como el patrón de difracción de rayos X intensificando los picos específicos para el tipo del almidón, esto debido a la remoción de la zona amorfa del gránulo dando origen a cristales del almidón residual (Utrilla-Coello et al., 2014). Otro cambio que puede considerarse es en las propiedades reológicas, donde al afectar la estructura granular reduciendo el contenido de amilosa se observa una reducción en la viscosidad y la rigidez del gel, debido al efecto de la hidrólisis de las cadenas lixiviadas (Hoover, 2000).

2.6.2 Modificación dual

Cuando se mezclan métodos de modificación como es la hidrólisis ácida y un tratamiento térmico a alta temperatura (100-120°C) en presencia de agua, se logra alterar las asociaciones de las cadenas del almidón (dentro de la región amorfa), la intensidad de los cambios dependerá de la cantidad de agua presente en la dispersiones durante la etapa de calentamiento, el efecto se observa en la reducción del pico de viscosidad, un aumento de la

temperatura de fusión y un incremento de la cristalinidad, todo esto es atribuido a la reasociación de las cadenas durante la modificación (Hoover, 2000).

Mediante las diferentes modificaciones se obtienen nuevas propiedades tecnológicas que no presenta el almidón nativo. Para el área de alimentos la modificación aporta la formación de almidón resistente, el cual numerosos estudios pueden clasificarlo de diferentes formas, haciendo énfasis en su importancia por el beneficio a la salud humana, debido a que esta porción es fermentada en el intestino grueso, formando ácidos orgánicos de cadena corta (T.-T. Huang, Zhou, Jin, Xu, y Chen, 2016), que presentan un efecto positivo en la reducción de la incidencia de cáncer de colon, debido a esto, productos que contienen almidón resistente son considerados como un alimento funcional (Raigond, Ezekiel, y Raigond, 2015).

La demanda de productos funcionales se ha incrementado por los consumidores y debido a la importancia del almidón en la dieta humana la incorporación de almidón resistente en productos de consumo se considera una alternativa de interés en beneficio a la salud de la población que adquiere estos productos (Aparicio-Saguilán, Gutiérrez-Meraz, García-Suárez, Tovar, y Bello-Pérez, 2008; Fuentes-Zaragoza, Riquelme-Navarrete, Sánchez-Zapata, y Pérez-Álvarez, 2010).

2.6.3 Almidón resistente

El almidón resistente (AR) se refiere a la fracción del almidón que no es accesible a la digestión por las enzimas digestivas de los humanos y es considerado que si después de 120 min de su consumo no ha sido hidrolizado pasa al colon para ser fermentado por bacterias (Fuentes-Zaragoza et al., 2010), produciendo ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico y butírico). Debido a las propiedades fisicoquímicas y funcionales del AR, es considerado para su aplicación en alimentos, y aunado a la demanda por parte de los consumidores ha incrementado el desarrollo de productos alimenticios que además de las características nutritivas también reduzcan el riesgo de padecer enfermedades crónicas tales como obesidad, diabetes, enfermedades cardiacas y cáncer (Ashwar, Gani, Shah, Wani, y Masoodi, 2015).

El AR actualmente es clasificado en cinco tipos. El almidón resistente tipo 1 (AR1) es aquel almidón físicamente inaccesible, está cubierto por algún material que impide el acceso de enzimas para su digestión, tal es el caso del almidón presente dentro de algunas semillas o granos. El almidón resistente tipo 2 (AR2) comprende a los gránulos de almidón nativo que por su cristalinidad son resistentes a la hidrólisis enzimática, debido a su estructura compacta, como el almidón de papa o de plátano, donde los gránulos con cristalinidad tipo B presentan mayor resistencia al ataque enzimático, aunque esta resistencia puede atribuirse a varios factores como el tamaño del gránulo, forma, contenido de amilosa, cristalinidad y el tamaño de poros en la superficie. El almidón resistente tipo 3 (AR3), generado cuando el almidón es gelatinizado y enfriado, en donde las cadenas de amilosa retrogradan y cristalizan formando dobles hélices de tipo B desde las primeras horas después de la cocción, presenta mayor estabilidad térmica y su rehidratación puede estar cercana a los 150 °C; para su formación es almacenado a bajas temperaturas; la cristalización de la amilopectina ocurre a una velocidad menor en comparación con la amilosa y los cristales de amilopectina presentan menor estabilidad térmica. El tipo 4 (AR4) es el almidón químicamente modificado, el cual puede ser entrecruzado, esterificado, succinatado por mencionar algunos, el mecanismo de acción es el evitar el posicionamiento de las enzimas evitando su degradación. Finalmente el AR tipo 5 (AR5) presente en su mayoría en alimentos con almidón, es atribuido a los complejos de amilosa lípidos y ha sido incluido en los últimos años (Aparicio-Saguilán et al., 2008; Ashwar, Gani, et al., 2015; Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Raigond et al., 2015).

2.7 Composición, propiedades y tendencias en las películas comestibles

Debido a la naturaleza de los alimentos perecederos es de importancia su protección ante agentes dañinos como las condiciones ambientales, microorganismos o reacciones químicas. Las principales funciones que debe cumplir un empaque es facilitar el transporte y el almacenamiento, ofreciendo protección y seguridad hasta la llegada del producto al consumidor. Todo esto debe lograrse con la mayor calidad al menor costo (Lalpuria et al., 2012). Estos materiales generalmente son derivados del petróleo y ante la problemática ambiental se han buscado alternativas que puedan ayudar a reducir el impacto ambiental

que los residuos generan, una de ellas es el uso de películas o recubrimientos comestibles (Aila-Suarez et al., 2013; Rojas-Graü, Salvia-Trujillo, Soliva-Fortuny, y Martín-Belloso, 2012; Sánchez-González, Arab-Tehrany, Cháfer, González-Martínez, y Chiralt, 2014).

Las películas o recubrimientos comestibles son producidos por materiales de origen natural con capacidad filmogénica y de grado alimentario, estos pueden ser proteínas, polisacáridos lípidos o la mezcla de estos. Las propiedades físicas o funcionales de las películas de biopolímeros presentan propiedades que pueden ser mejorados con algunos aditivos, como es el uso de los plastificantes, el cual repercute directamente sobre las propiedades mecánicas y de barrera de las películas (Falguera, Quintero, Jiménez, Muñoz, y Ibarz, 2011; Han, 2014; Rojas-Graü et al., 2012).

El uso de las películas comestibles en los alimentos puede mejorar su calidad por medio de la protección física, química o disminución del deterioro biológico, funcionando como barrera a gases o vapor, evitando la pérdida de aceites etc. (Falguera et al., 2011; Han, 2014; Romero-Bastida et al., 2005).

Las películas presentan la comodidad de la formación de una capa delgada de un material comestible sobre la superficie del alimento, como las frutas y los vegetales, formando una barrera, reduciendo la transferencia de gases, la pérdida de humedad, aroma y disminuyendo el cambio de color del producto durante su almacenamiento (Falguera et al., 2011; Rojas-Graü et al., 2012).

Si bien este método de protección tiene una aplicación conocida desde hace años, como lo es el uso de ceras para la protección de alimentos, en la actualidad las formulaciones de las soluciones filmogénicas son variadas y las películas de polisacáridos representan una buena barrera a los gases, sin embargo presentan una desventaja, su alta sensibilidad al agua (Rojas-Graü et al., 2012). El tipo de material usado en la formulación de las películas debe elegirse de acuerdo a las características necesarias y requeridas en el producto al que debe aplicarse. Dentro de estos materiales, los polisacáridos y las proteínas son los de mayor elección (Falguera et al., 2011).

En la actualidad la aplicación de películas y recubrimientos comestibles ha desarrollado una tendencia de éstas a ser utilizadas como matrices acarreadoras de sustancias como

antioxidantes, antimicrobianos, sabores y colores, con esto además de aportar las funciones de barrera contribuyen a que los productos alimenticios que son envasados preserven las características de calidad (Falguera et al., 2011; Han, 2014; Romero-Bastida et al., 2005; Salgado, Ortiz, Musso, Di Giorgio, y Mauri, 2015).

2.8 Propiedades de las películas de almidón

Los biopolímeros pueden presentar diversos mecanismos de formación de películas, los cuales pueden incluir fuerzas intermoleculares o enlaces covalentes, la interacción es resultado de la naturaleza del polisacárido que resulta en la formación de la matriz polimérica (Han, 2014).

Cuando se elaboran películas de polisacáridos es necesario adicionar otros componentes como plastificantes los cuales reducen la característica rígida y quebradiza de la película resultante. Generalmente los agentes plastificantes usados para la formación de películas comestibles presentan un bajo peso molecular los cuales interfieren en las interacciones polímero-polímero mejorando la flexibilidad de las películas (Bodîrlău, Teacă, Spiridon, y Tudorachi, 2011; Han, 2014).

Las películas comestibles formuladas de almidón están recibiendo una considerable atención debido a su potencial aplicación en empaque de alimentos, las cuales además de proporcionar una protección al producto, son biodegradables, contribuyendo a la reducción en la contaminación ambiental por desechos sólidos (Bodîrlău et al., 2011; Shi, Wang, Li, y Adhikari, 2013a, 2013b).

Las películas elaboradas a base de almidón alto en amilosa presentan una excelente barrera al oxígeno, menor solubilidad en agua y propiedades mecánicas mayores en comparación con las elaboradas con almidón nativo (menor contenido de amilosa) (Woggum, Sirivongpaisal, y Wittaya, 2014).

Las películas de almidón no confieren olor o sabor presentan buena transparencia y con baja permeabilidad al oxígeno, considerada una propiedad importante para la preservación de alimentos. Los inconvenientes que muestran es su carácter higroscópico, lo cual afecta

las propiedades mecánicas, además de presentar permeabilidad al vapor de agua. Aunque por su compatibilidad puede usarse en mezcla con otros biopolímeros para mejorar propiedades como la solubilidad y permeabilidad (Sánchez-González et al., 2014).

2.9 Componentes de las películas

2.9.1 *Plastificante*

Cuando se elaboran películas de materiales como polisacáridos y proteínas es necesario adicionar otros componentes como los plastificantes, los cuales reducen la rigidez de estos polímeros debida a las múltiples interacciones entre las moléculas del polímero. Generalmente los agentes plastificantes usados para la formación de películas comestibles presentan un bajo peso molecular aumentando la termoplasticidad del polímero, su forma de acción es interferir en las interacciones polímero-polímero mejorando la flexibilidad de las películas (Bodîrlău et al., 2011; Han, 2014).

El agua es un buen plastificante, sin embargo se puede perder fácilmente por deshidratación en ambientes con baja humedad relativa. La adición de plastificantes con carácter hidrófilo e higroscópico en películas comestibles puede reducir dicha pérdida de agua pero presenta algunos inconvenientes por sus características de afinidad al solvente usado, incrementando la solubilidad en agua. Para películas elaboradas a base de biopolímeros generalmente se utilizan como plastificantes el agua, oligosacáridos, lípidos y polialcoholes. La acción principal de los plastificantes es reducir la interacción entre cadenas del polímero (Han, 2014).

2.9.2 *Otros componentes*

Con la finalidad de aportar propiedades que mejoren los materiales de empaque se ha tomado la iniciativa de la incorporación de componentes de relleno como fibras o nanopartículas, con ellos se refuerza la estructura de la matriz mejorando las propiedades mecánicas. Otros componentes adicionados involucran compuestos antimicrobianos,

estabilizantes, nutraceuticos, sabores, colores y antioxidantes (Salgado et al., 2015). Todos estos componentes modifican las propiedades físicas y mecánicas de la película, aunque también mejoran la calidad y seguridad del producto (Han, 2014).

2.9.2.1 Compuestos bioactivos adicionados a las películas

Las películas comestibles pueden tener la función de transporte de otros compuestos en su estructura por ejemplo, los antioxidantes. Estos componentes interfieren en las propiedades físicas y mecánicas de la película, aunque también mejoran la calidad y seguridad del producto (Ashwar, Shah, et al., 2015; Bonilla, Talón, Atarés, Vargas, y Chiralt, 2013; Han, 2014). Para los antioxidantes, se requiere que estos compuestos sean de grado alimenticio, compatibles con el producto y que puedan incorporarse en la matriz filmogénica y su liberación sea prolongada para que el efecto sea de beneficio en el alimento (Realini y Marcos, 2014; Sánchez-González et al., 2014). Los antioxidantes son moléculas que ofrecen protección al daño causado por radicales libres, protegiendo también del cambio por la oxidación a compuestos sensibles como las grasas o los pigmentos, logrando así prolongar la vida de anaquel del producto. Entre estos compuestos se encuentran el ácido ascórbico, los carotenoides, flavonoides y otros compuestos fenólicos (Quiros-Sauceda, Ayala-Zavala, Olivas, y Gonzalez-Aguilar, 2014).

2.9.3 Ácido ascórbico como compuesto bioactivo antioxidante

El ácido ascórbico conocido como vitamina C, presenta beneficios a la salud, debido a su actividad biológica en el organismo. En la industria de los alimentos es ampliamente usado como un compuesto antioxidante para proteger las cualidades sensoriales y nutricionales del producto alimenticio en el que se incorpora (Palma-Rodriguez et al., 2013; Sartori, Consoli, Hubinger, y Menegalli, 2015).

Una de las principales desventajas de este compuesto es su rápida degradación por condiciones ambientales como el calor, luz y oxígeno, ocasionando la pérdida de la

actividad antioxidante (Dürüst, Sümengen, y Dürüst, 1997; Palma-Rodriguez et al., 2013; Sartori et al., 2015; Uddin, Hawlader, y Zhu, 2001).

Ante esta limitante, materiales antioxidantes como el ácido ascórbico, deben protegerse para prolongar su estabilidad y controlar su liberación, así como facilitar su manipulación, para ello se utilizan técnicas que generen una estructura alrededor de estos compuestos logrando su protección (Sartori et al., 2015), como es la encapsulación.

2.9.4 Encapsulación de compuestos activos de uso en alimentos

Uno de los intereses de la industria alimentaria es la adición o incorporación de compuestos denominados bioactivos. La funcionalidad de éstos dependerá de la finalidad a la cual sean enfocados (Alvim, Stein, Koury, Dantas, y Cruz, 2016; Nazzaro, Orlando, Fratianni, y Coppola, 2012). Una de sus principales desventajas de éstos es la inestabilidad ante condiciones ambientales como la luz, humedad u oxígeno. Por lo anterior su incorporación durante el procesamiento para la obtención de la película debe ser cuidada y monitoreada para asegurar la presencia del compuesto (Augustin y Sanguansri, 2008).

Existen diversas formas de proteger un compuesto bioactivo, una de ellas es la encapsulación o microencapsulación, en la cual el compuesto es cubierto en una matriz (microesfera) o una cobertura material (microcápsula) la cual facilita su manipulación (Augustin y Sanguansri, 2008; Nazzaro et al., 2012; Onwulata, 2013). La encapsulación es una técnica que permite proteger a compuestos bioactivos como los antioxidantes, de las condiciones del medio facilitando su transporte, manipulación y aplicación (Augustin y Sanguansri, 2008).

En la encapsulación deben tomarse en cuenta algunos aspectos como son el compuesto a encapsular y el sistema correcto para su liberación. Para el compuesto a encapsular se consideran algunas propiedades, entre ellas su bioactividad, solubilidad, estabilidad a las condiciones como humedad, temperatura, pH, luz, entre otras. Otro aspecto importante es la matriz en la que será incluido el compuesto bioactivo. Para la generación del encapsulado se utiliza lo que se conoce como “material pared”, el cual debe presentar características

como solubilidad, estabilidad a condiciones de pH y sales, la capacidad de formar película etc. (Augustin y Sanguansri, 2008).

Dentro de los materiales pared existe una amplia gama que puede ser usada, siendo sintéticos o naturales, dependiendo de las características que sean requeridas en la microcápsulas. Para el caso de su aplicación en alimentos es necesario utilizar materiales reconocidos como seguros (GRAS) (ciclodextrinas, sales minerales, emulsionantes como tweens por mencionar algunos), y de origen natural como proteínas, azúcares, almidón, gomas, celulosa, lípidos etc.). Todos estos materiales pueden ser utilizados solos o en combinación, dependiendo la funcionalidad deseada (Augustin y Sanguansri, 2008).

Dentro de los métodos de encapsulación existen diferentes, de los cuales pueden ser: secado por aspersión, coacervación, extrusión, etc. El método usado para la creación de la partícula dependerá del compuesto que se requiera proteger y en estos casos es necesario el uso de un material pared (Nazzaro et al., 2012; Onwulata, 2013). Uno de los métodos más usados en la industria es el secado por aspersión el cual requiere materiales pared que presenten ausencia de sabor y olor, baja viscosidad, capacidad formadora de película, propiedades de barrera (Loksuwan, 2007; Palma-Rodriguez et al., 2013)

2.9.4.1 Secado por aspersión

El secado por aspersión es un método de aplicación industrial para la encapsulación de sabores, aromas e ingredientes, esto debido a que es un método fácil relativamente costeable y simple. Este proceso involucra la creación de una matriz del material pared donde queda integrado lo que se pretende encapsular (Alvim et al., 2016; Onwulata, 2013). Para esto, una solución líquida se atomiza y entra en contacto con una corriente de aire caliente, la cual por evaporación del agua permite la formación de un polvo, en el cual se contiene el compuesto bioactivo de interés (Nazzaro et al., 2012; Nesterenko, Alric, Silvestre, y Durrieu, 2014). Este método resulta ser económico, flexible y aplicable para la obtención de pequeñas partículas solubles en agua, el material pared usado puede ser por

ejemplo el almidón, maltodextrina, goma arábica, proteínas entre otros (Loksuwan, 2007; Palma-Rodriguez et al., 2013).

2.10 Aplicación de películas comestibles

En la actualidad los consumidores exigen productos de fácil preparación, saludables y frescos, en respuesta a ello se encuentra una alta variedad de frutas y verduras mínimamente procesadas, con esta denominación se considera que el alimento no ha pasado por tratamientos térmicos, manteniendo parte de las propiedades del producto fresco, como son los nutrientes y las características sensoriales. Aunque debido a las limitantes de las técnicas usadas en la elaboración de estos productos, los cuales requieren un mínimo de procesamiento y una retención de su calidad, la industria de alimentos se ha dado a la tarea del desarrollo de nuevas técnicas como lo es el diseño de nuevos empaques para la aplicación a los alimentos (Ramos, Miller, Brandão, Teixeira, y Silva, 2013).

2.10.1 Evaluación del recubrimiento en frutos frescos

La aceptación de los productos por los consumidores se basa en la apariencia (McHugh y Senesi, 2000), el oscurecimiento enzimático, pérdida de sabores, olores y el deterioro de la textura tienen efecto negativo en los consumidores. La aplicación de recubrimientos comestibles se ha utilizado para minimizar las alteraciones en productos frescos. Además los recubrimientos comestibles pueden servir como acarreadores de ingredientes activos como compuestos que prevengan el oscurecimiento, sabores o pérdida de atributos (Rojas-Graü, Soliva-Fortuny, y Martín-Belloso, 2009).

Para ejemplificar el uso de recubrimientos o películas comestibles en alimentos Lago-Vanzela, do Nascimento, Fontes, Mauro, y Kimura (2013), reportaron un recubrimiento de almidón sobre rebanadas de calabaza, las cuales posteriormente se deshidrataron, el recubrimiento funcionó como una protección de los carotenoides ante el oxígeno y calor durante el procesamiento y a su vez permitió el paso de agua para su deshidratación.

Aday y Caner (2010), reportaron la aplicación de un recubrimiento donde se evaluó el efecto de varias coberturas comestibles a base de aislado de proteína de suero, quitosano y

goma laca, en cereza fresca, midiendo los cambios que presentan en pérdida de peso, °Brix, pH, conductividad eléctrica y firmeza, durante 11 días de almacenamiento, en su trabajo demuestran el efecto positivo en la reducción de la transferencia de masa al crear la barrera con el recubrimiento comestible, minimizando la pérdida de peso y los parámetros evaluados en la investigación dando como resultado la preservación de calidad de la cereza.

Garcia, Pereira, de Luca Sarantópoulos, y Hubinger (2012), con la finalidad de incrementar la vida de anaquel de la fresa mínimamente procesada usaron un recubrimiento comestible a base de almidón adicionado con sorbato de potasio como agente antimicrobiano, reportando que la aplicación del recubrimiento ayuda a reducir la pérdida de peso y conservar la firmeza del fruto sin afectar las propiedades sensoriales como los sólidos solubles totales, acidez titulable, pH y color después de 12 días de almacenamiento.

Una tendencia de interés industrial es la reducción de oscurecimiento enzimático, en el trabajo realizado por Lee, Park, Lee, y Choi (2003), reportaron el efecto de la combinación de recubrimientos comestibles con compuestos antioxidantes como el ácido ascórbico, oxálico y cítrico, en rebanadas de manzana almacenadas durante dos semanas a 3°C, en las cuales no se observa un oscurecimiento para los recubrimientos en mezcla con los antioxidantes y el uso de CaCl₂ inhibe la pérdida de firmeza.

2.10.2 Guayaba como modelo de aplicación

El comercio de frutos frescos es de importancia a nivel mundial (Singh y Pal, 2008b), en México, la guayaba tiene un alto impacto económico, puesto que para el año 2014 se produjeron 302,718.45 ton (SAGARPA, 2014). Debido a su velocidad de maduración en condiciones ambientales se considera un fruto perecedero, ya que puede presentar daños por frío a temperaturas menores a los 10°C (Singh y Pal, 2008b), dando como resultado características poco agradables para los consumidores, dentro de los cambios de mayor importancia se encuentra la pérdida de peso, el cambio de textura, pérdida de valores nutricionales como la vitamina C (Sahoo, Panda, Bal, Pal, y Sahoo, 2015; Zambrano-Zaragoza et al., 2013). Es un fruto climatérico que produce etileno y CO₂ durante su almacenamiento con una maduración rápida, debido a ello para prolongar su vida útil se

buscan alternativas como son empaques o recubrimientos que ayuden en su conservación, estos pueden ser de materiales plásticos o biodegradables como los polímeros naturales (Singh y Pal, 2008a).

Existen trabajos donde el interés de preservar la calidad de los frutos como la guayaba toma interés en el desarrollo de coberturas comestibles de quitosano como lo reportaron Hong, Xie, Zhang, Sun, y Gong (2012), donde la aplicación del recubrimiento en combinación con baja temperatura redujo la maduración del fruto y conserva atributos, éstos al ser evaluados durante 12 días.

Forato, de Britto, de Rizzo, Gastaldi, y Assis (2015), evaluaron en guayaba intacta y cortada, el efecto del recubrimiento de carboximetilcelulosa y goma de anacardo durante 12 días a una temperatura de entre 25 y 28 °C, encontrando el efecto en la preservación de la apariencia como es el color del fruto, reduciendo la pérdida de peso y conservando la firmeza.

Debido a estas condiciones la guayaba es un modelo aceptable para evaluar la posibilidad de extender su vida de anaquel utilizando alternativas como el uso de recubrimientos comestibles sobre el fruto fresco.

3 JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad de reducir el impacto ambiental causado por el uso excesivo de plásticos elaborados a partir de derivados del petróleo, los cuales son usados en la industria del empaqueo de alimentos, en donde su tiempo de vida de uso es demasiado corto, generando contaminación por desechos sólidos. Esta problemática ha generado interés por empresarios e investigadores con el fin de desarrollar películas y recubrimientos comestibles a base de biopolímeros de origen natural que sean biodegradables y que permitan la conservación de la calidad inicial de los productos frescos perecederos como los frutos de guayaba. El almidón es un biopolímero que presenta potencial para ser usado como material base en la producción de empaques comestibles además de ser abundante, no tóxico, biodegradable y comestible. Puede ser obtenido de diversas fuentes, una fuente no convencional de interés es el tubérculo de chayote conocido como chayotextle. Estudios previos demuestran que el material mencionado presenta propiedades requeridas para ser usado como material base en el desarrollo de películas comestibles aplicadas como recubrimientos.

Debido a lo anterior, existe la posibilidad de aportar información sobre empaques comestibles aplicados a un producto perecedero como la guayaba, adicionados con ácido ascórbico microencapsulado en almidón modificado con la finalidad de conservar la calidad del producto durante su almacenamiento.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la incorporación de microcápsulas de almidón modificado conteniendo ácido ascórbico a películas comestibles a base de almidón de chayotextle, en sus propiedades térmicas, mecánicas, estructurales y de permeabilidad, así como la funcionalidad de las películas en la conservación de frutos de guayaba.

4.2 Objetivo específicos

- Evaluar el efecto de la modificación del almidón de chayotextle en su composición y el contenido de almidón resistente para seleccionarlo como material pared.
- Determinar la eficiencia de encapsulación de las microcápsulas de ácido ascórbico obtenidas utilizando el almidón modificado como material pared.
- Determinar la actividad antioxidante del ácido ascórbico microencapsulado.
- Monitorear el efecto de la incorporación del microencapsulado en las propiedades de pasta de la solución filmogénica para su aplicación como recubrimiento.
- Caracterizar las propiedades térmicas, estructurales, mecánicas, permeabilidad y solubilidad en las películas comestibles de almidón nativo adicionadas con microcápsulas.
- Evaluar los cambios fisiológicos del fruto de guayaba durante su almacenamiento después de ser recubierto con las diferentes soluciones filmogénicas.

5 Hipótesis

La adición de microcápsulas de ácido ascórbico elaboradas con almidón modificado, en películas de almidón de chayotextle puede contribuir en la disminución de la permeabilidad al vapor de agua, reforzar las propiedades mecánicas y en incrementar su temperatura de fusión.

La adición del ácido ascórbico encapsulado en las películas puede actuar como antioxidante que ayude a prolongar la vida de anaquel de un producto perecedero, recubierto con estas películas.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Establecimiento del experimento

Los tubérculos de chayote fueron colectados en Tulancingo Hidalgo, México, la extracción y modificación se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

6.2 Aislamiento del almidón de chayotextle

La obtención de almidón se realizó por la metodología reportada por Flores-Gorosquera et al. (2004) con algunas modificaciones, el tubérculo fue cortado en cubos de 2cm^3 posteriormente triturado a baja velocidad por dos minutos usando una licuadora industrial, una vez que la muestra fue homogénea se tamizó y lavó en mallas de número 50, 100, 200, 270 y 325 US hasta que el agua de lavado estuvo limpia. El material fue secado en un horno de convección a $35\text{ }^\circ\text{C}$ durante toda la noche. Una vez seco el almidón se estandarizó con la malla de número 100 y almacenó hasta su posterior uso.

6.3 Modificación del almidón nativo por hidrólisis ácida

La modificación se efectuó de acuerdo a lo reportado por Lokuwan (2007), como se describe a continuación, se usó ácido sulfúrico (H_2SO_4) 3N y el almidón nativo se dispersó en relación 1:5 (p/v), la mezcla fue mantenida en agitación a 50 RPM durante 7 horas a $60\text{ }^\circ\text{C}$. Una vez concluida la hidrólisis, la solución acuosa de almidón fue enfriada y neutralizada con una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3), posteriormente fue lavado con tres volúmenes de agua destilada y un volumen de alcohol, finalmente secado a una temperatura de $40\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h y se almacenó hasta su uso.

6.4 Modificación del almidón hidrolizado por tratamiento térmico

Para la obtención del almidón modificado por tratamiento térmico se utilizó la metodología reportada por Aparicio-Saguilán et al. (2008), donde 60 g de almidón modificado por medio ácido se mezcló con 210 mL de agua destilada y la dispersión del almidón fue sometida a calentamiento en autoclave a 121 °C por una hora. Posteriormente fue enfriada a temperatura ambiente y almacenada a 4 °C por 24 h. Este procedimiento se realizó tres veces después del cual el almidón fue secado a 40 °C, molido y tamizado en una malla número 100 US. Finalmente se almacenó en recipientes cerrados hasta su uso.

6.5 Análisis químico proximal

La composición químico proximal del almidón nativo y sus posteriores modificaciones se obtuvo de acuerdo a lo referido por la metodología descrita por la AOAC (1990), para humedad el método 925.09; grasa cruda, por el método 920.39; proteína cruda, el método 968.06 y cenizas por el método 923.03.

6.6 Contenido de amilosa

El contenido de amilosa fue determinado de acuerdo a lo descrito por Hoover y Ratnayake (2001). Donde 20 mg de muestra de almidón nativo o modificado fueron disueltos en 8 mL de dimetilsulfóxido al 90 % (DMSO), posteriormente fueron agitados vigorosamente por 20 min y seguido de un calentamiento a 85 °C durante 15 min. A continuación la muestra fue enfriada a temperatura ambiente y transferida a matraces aforados de 25 mL, de la muestra diluida se tomó una alícuota de 1 mL y se colocó en un matraz de 50 mL mezclando completamente con 40 mL de agua destilada, adicionando a continuación 5 mL de I₂/KI (0.0025 M I₂ y 0.0065 M KI) y ajustando el volumen final a 50 mL, los matraces se dejaron reposar por 15 min a temperatura ambiente y fue medida la absorbancia a 600 nm.

6.7 Contenido de almidón resistente

Para la determinación de almidón resistente se usó un kit de ensayo Megazyme para almidón resistente. Donde la muestra fue incubada con α -amilasa pancreática y amiloglucosidasa por 16 horas a 37 °C en un baño con agitación, en este tiempo el almidón disponible fue hidrolizado y disuelto hasta la obtención de glucosa por la acción de las enzimas. Posterior a la incubación, la reacción fue finalizada con la adición de etanol y centrifugada para la obtención del almidón sobrante, éste es considerado almidón resistente. Teniendo la muestra recuperada por centrifugación, ésta fue disuelta en hidróxido de potasio 2M (KOH). A continuación se neutralizó con buffer de acetato y el almidón restante se hidrolizó con amiloglucosidasa. La glucosa obtenida fue cuantificada mediante la reacción de la glucosa oxidasa/peroxidasa (GOPOD) y el valor fue convertido a porcentaje de almidón resistente en la muestra.

6.8 Propiedades morfológicas de los almidones

6.8.1 *Microscopía de luz polarizada*

Para observar el fenómeno de birrefringencia del almidón nativo se utilizó un microscopio de luz polarizada (Eclipse 80i, Nikon, Japan) equipado con una cámara digital. Las muestras fueron colocadas en un portaobjetos y se agregó una gota de agua destilada, fue colocado el cubreobjetos, y se observó la muestra en regiones al azar a 40 y 100X, observando la cruz de malta.

6.8.2 *Microscopía electrónica de barrido (MEB)*

La caracterización morfológica del almidón nativo y modificado de chayotextle fue realizada mediante microscopía electrónica de barrido. Las muestras fueron colocadas sobre una cinta conductora de cobre de doble adhesión, la cual fue fijada previamente al soporte de aluminio del microscopio electrónico de barrido. Las muestras se colocaron en el ionizador de metales y se recubrieron con una capa de oro de 60 nm (Denton Vacuum

U.S.A., Moorestown, NJ). Las muestras fueron observadas al microscopio electrónico de barrido (Hitachi S4700 Hitachi HTA, Japan) a 300, 500 y 750 x.

6.9 Difracción de rayos X

Los patrones de difracción de rayos X de almidón nativo y los modificados fueron obtenidos de la siguiente manera: la muestra hidratada (20-25%), fue colocada entre dos hojas de aluminio las cuales fueron selladas herméticamente. Se utilizó un difractómetro de rayos X (Bruker AXS D8 Advance diffractometer, Bruker AXS, Inc, Madison, WI, USA) con un monocromador Guiner con las siguientes condiciones de operación: radiación CuK; un voltaje de 40 kV: la velocidad de graficación de 10 mm/2 θ y velocidad de análisis de 2 θ /min.

6.10 Tamaño de partícula

La determinación del tamaño de partícula del almidón nativo y los almidones modificados se realizó por análisis de difracción de rayos láser (Malvern Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, UK). La prueba se llevó a cabo por triplicado. El tamaño de partícula fue reportado como diámetro medio D[v, 0.5].

6.11 Propiedades térmicas del almidón nativo y modificado

Las propiedades térmicas tales como la temperatura de gelatinización, fusión y entalpía del almidón de chayotextle nativo y sus modificaciones fueron medidas de acuerdo a lo reportado por Paredes-López, Bello-Pérez, y López (1994) usando un calorímetro diferencial de barrido modelo Q2000 (TA Instruments, Newcastle, DE) previamente calibrado con Indio. Las muestras (2 mg) se pesaron en el contenedor de aluminio y se acondicionaron con 7 μ L de agua desionizada durante 24 horas. Los contenedores sellados fueron analizados en una rampa de temperatura de 0 a 150 °C con una velocidad de

calentamiento de 10 °C/min. La temperatura de gelatinización y la entalpía (ΔH) se obtuvieron directamente del análisis con el software TA Instruments, versión 4.4^a.

6.12 Encapsulado de ácido ascórbico con almidón modificado

Para la encapsulación de ácido ascórbico se siguió la metodología reportada por Palma-Rodríguez et al. (2013), el almidón previamente modificado por hidrólisis y tratamiento térmico fue dispersado en agua destilada con una concentración de 15 % (p/p) y se mantuvo en agitación a temperatura ambiente por 30 min, después fue adicionado 10% de ácido ascórbico (con respecto al peso del almidón), la mezcla fue homogenizada completa e inmediatamente se alimentó al secador por aspersion (Mini Spray Dryer B-290, BüchiLabortechnik AG, Flawil, Switzerland), con un flujo de 7 mL/min y la entrada y salida de aire fue de 160 y 100 °C respectivamente. Las muestras fueron almacenadas en botellas ámbar en desecadores a 4 °C

6.13 Caracterización morfológica de las microcápsulas

6.13.1 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

La morfología de las microcápsulas se determinó mediante MEB de acuerdo al método descrito en el apartado 6.8.2.

6.13.2 Distribución de tamaño de partícula

La distribución de tamaño de partícula se determinó con la metodología reportada en la sección 6.11

6.14 Eficiencia de encapsulación

6.14.1 Cuantificación de ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico en las microcápsulas fue determinado de acuerdo a la siguiente metodología, se pesaron 100 mg de las microcápsulas y se suspendieron en 100 mL de ácido oxálico al 0.4% con agitación durante 30 min. Posteriormente se tomó una alícuota de 1 mL de la solución.

Para realizar la medición se ajustó el espectrofotómetro (520 nm) a cero usando una mezcla de agua destilada (8 mL), regulador de acetato (1 mL) y la muestra a analizar (1 mL), seguido de esto la lectura de la muestra se realizó con 2,6-diclorofenolindofenol (8 mL al 1.2 %), regulador de acetato (1 mL) y la muestra a analizar (1 mL) este valor fue registrado como L2.

La absorbancia de ácido oxálico se realizó con 2,6-diclorofenolindofenol (8 mL al 1.2 %), regulador de acetato (1 mL) y ácido oxálico al 0.4%(1 mL), este valor corresponde a L1. Los valores de L1-L2 representan la absorbancia de la muestra (Dürüst et al., 1997). Para determinar la eficiencia de encapsulación se usó la siguiente ecuación

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Contenido final de ácido ascórbico}}{\text{Contenido inicial de ácido ascórbico}} \times 100$$

6.15 Capacidad antioxidante

Se determinó mediante el método descrito por Ashwar, Shah, et al. (2015). Se preparó una solución 0.150 mM de 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) en metanol al 100%. La reacción se efectuó agregando 4 mL de DPPH y 1 mL de muestra, la mezcla fue agitada vigorosamente en vortex y posteriormente se mantuvo en reposo durante 30 min en la oscuridad; al finalizar el tiempo de reposo se leyó a 515 nm.

6.16 Solución filmogénica

Las soluciones para preparar las películas fueron realizadas usando las microcápsulas en las siguientes concentraciones 0, 2.5, 6.25 y 12.5%, 50% de glicerol, ambos componentes en base al almidón y (2% p/p) de almidón nativo, ver detalles en Cuadro 4. Las soluciones se colocan en un reactor y fueron calentadas a 90°C por 10 min con una agitación de 125 rpm.

6.17 Propiedades de la solución filmogénica

6.17.1 Perfiles de viscosidad de las soluciones filmogénica

Los perfiles de viscosidad de las soluciones filmogénicas fueron determinadas usando un reómetro de esfuerzo controlado (TA INSTRUMENTS, AR2000) y una celda de almidones.

Se prepararon en agua dispersiones de almidón al 2% y 50% de glicerol en base al almidón, se agitaron a 160 rpm, con una velocidad de calentamiento de 4 °C por minuto, de 50 a 90 °C, esta última se mantuvo por 10 min, posteriormente la mezcla se enfrió a 55 °C y fue adicionado el microencapsulado de ácido ascórbico, continuando con la agitación por tres minutos.

6.18 Elaboración de películas

Las películas fueron preparadas de la solución filmogénica por vaciado en un contenedor de vidrio de 11x11 cm con 3 mm de espesor. Las suspensiones de almidón se secaron en un horno a 40 °C durante 24 h. Las películas secas fueron removidas de los contenedores y almacenadas a 25 °C con una humedad relativa de 57% utilizando una solución saturada de NaBr.

Cuadro 4. Formulación para las películas comestibles a base de almidón de chayotextle

Muestra	Almidón (g)	Encapsulado (mg)	Glicerol (g)	Agua (mL)
Control	4	0	2	200
2.5%	4	100	2	200
6.25%	4	250	2	200
12.5%	4	500	2	200

6.19 Microscopia electrónica de barrido

Para la microscopía electrónica de barrido, las películas de los tratamientos que contienen el encapsulado de ácido ascórbico y el tratamiento control (únicamente almidón) fueron congeladas en nitrógeno líquido y fracturadas. Las muestras (3×3 mm) se fijaron en soportes de aluminio con cinta de cobre. Posteriormente las muestras se recubrieron con una capa de oro de 92 \AA , usando un recubridor de pulverización. La superficie y la sección transversal de las películas fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido (Hitachi S4700 Hitachi HTA, Japan).

6.20 Propiedades mecánicas

En la prueba para las propiedades mecánicas se determinó la resistencia a la tracción (TS), porcentaje de elongación a la ruptura (% E), y el módulo elástico (EM). Las propiedades mecánicas de las películas de los tratamientos que contienen el encapsulado de ácido ascórbico y el tratamiento control (únicamente almidón) se obtuvieron de acuerdo con el método estándar de la ASTM D882-95a (ASTM, 1995a, 1995b); con un analizador de textura equipado con celda de carga de 50 kg (TA-HDi) (Stable Micro Systems, Haslernere, UK, and Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY).

Para las pruebas, las películas fueron cortadas en rectángulos 8 cm de largo y 1 cm de ancho. Los rectángulos se mantuvieron durante 72 h en un desecador que contenía una solución de NaBr saturada (57% de humedad relativa). La separación inicial entre las pinzas de sujeción fue de 6 cm, fijando 1 cm de las películas en cada pinza. La prueba fue realizada con una velocidad de tensión de 24 mm / min, con 15 repeticiones por tratamiento. El espesor de las películas se evaluó con un micrómetro manual (Mitutoyo Co., Kobe, Japón) en 5 posiciones aleatorias de la película. Se usó el valor promedio del espesor para calcular el área de la sección transversal de las películas (la zona es igual al grosor multiplicado por la anchura de cada película).

El esfuerzo a la tensión (ET) indica la fuerza necesaria por unidad de área para fracturar una muestra y fue calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Esfuerzo a la tensión (Pa)} = \frac{\text{Fuerza máxima (N)}}{\text{área inicial (m}^2\text{)}}$$

Donde la fuerza máxima necesaria para romper la película es dividida entre el área inicial de la sección transversal (espesor inicial multiplicado por el largo inicial).

El porcentaje de elongación a la ruptura representa la capacidad del material a deformarse antes de llegar al punto de ruptura y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Elongación (\%)} = \frac{At}{DG} * 100$$

Donde (At) es la máxima elongación de la película antes de romperse y (DG) la distancia inicial de las pinzas.

Por último el módulo de Young indica el grado de rigidez del material y se calculó de la pendiente que se formó durante el comportamiento lineal de la curva de esfuerzo/deformación.

$$\text{Módulo de Young (MPa)} = \frac{\Delta \text{Esfuerzo}}{\Delta \text{Deformación}}$$

6.21 Permeabilidad al vapor de agua

La prueba de permeabilidad al vapor de agua (PVA) se determinó de acuerdo al método estándar de la ASTM E 96-95 (ASTM, 1995a, 1995b), con ligeras modificaciones. Las muestras de las películas de los tratamientos que contienen el encapsulado de ácido ascórbico y el tratamiento control (únicamente almidón) fueron colocadas en una celda de permeación las cuales quedaron selladas sobre una abertura circular de $2.82 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, la cual se almacenó a 25 °C en un desecador que mantiene una humedad relativa de 75%, para ello se usa una solución saturada de NaCl, y en el interior de la celda contiene silica gel con 0% de humedad relativa, ello provoca un gradiente entre el interior de la celda y el desecador. La transferencia de vapor de agua se determinó a partir del peso ganado en la celda de permeación.

Se realizó un análisis de regresión lineal de los datos obtenidos por la ganancia de peso en la celda y en función del tiempo se calculó la velocidad de transmisión de vapor de agua media (VTVAm) utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{VTVAm} = \frac{\text{Pendiente (g/s)}}{\text{Área de película (m}^2\text{)}}$$

Donde la pendiente se refiere a la obtenida en la ganancia de peso y el tiempo. El área de la película expuesta fue en la celda fue de $2.82 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

En base a la ecuación anterior se calculó la permeabilidad al vapor de agua (PVA) expresada en $\text{g m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$, con la siguiente ecuación.

$$\text{PVA} = \text{VTVAm} * \frac{\text{Espesor (m)}}{\Delta \text{ Presión (Pa)}}$$

6.22 Contenido de ácido ascórbico de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas

Para la cuantificación del ácido ascórbico en las películas se usó la metodología reportada por Dürüst et al. (1997), donde 200 mg de películas por tratamiento fueron usados y analizados por triplicado. El contenido de ácido ascórbico liberado de las microcápsulas se cuantificó por espectrofotometría UV a 510 nm como se describe en el apartado 6.14.1

6.23 Propiedades térmicas de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas

Las propiedades térmicas de las películas de los tratamientos que contienen el encapsulado de ácido ascórbico y el tratamiento control (únicamente almidón), tales como la temperatura y entalpía de fusión se midieron usando un calorímetro diferencial de barrido Q2000 (TA Instruments, Newcastle, DE), calibrado previamente con Indio. Las muestras (1-5 mg) se pesaron en el contenedor de aluminio. Los contenedores fueron sellados y

analizados a una temperatura de 25 a 260 °C con una velocidad de calentamiento 10 °C / min. La temperatura de fusión (T_m) y la entalpía de transición (ΔH) se obtuvieron directamente del análisis con el software TA Instruments, versión 4.4^a.

6.24 Solubilidad de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas

Las muestras de las películas de los distintos tratamientos se cortaron en rectángulos de 2x3 cm y fueron almacenadas por 7 días en un desecador (0% humedad relativa). Las muestras pesadas se colocaron en recipientes de vidrio con 80 mL de agua desionizada. Las muestras se mantuvieron en agitación constante durante 1 h a 25 ° C. El mismo proceso se realizó a 60 °C. Transcurrido el tiempo del experimento, las muestras fueron secadas a 60 °C durante 2 h (Aila-Suarez et al., 2013).

El porcentaje del total del material soluble se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{peso seco inicial de películas} - \text{peso seco final de películas}}{\text{peso seco inicial de películas}} \times 100$$

6.25 Contenido de almidón resistente de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas

Para la determinación de almidón resistente se usó un kit de ensayo Megazyme para almidón resistente como se describe en el apartado 6.7.

6.26 Difracción de rayos X de las películas comestibles adicionadas con microcápsulas

Los patrones de difracción de rayos X de las películas de los tratamientos que contienen el encapsulado de ácido ascórbico y el tratamiento control, fueron obtenidos de la siguiente manera: la muestra hidratada (20-25%), fue colocada entre dos hojas de aluminio, las

cuales fueron selladas herméticamente. Se utilizó un difractómetro de rayos X (Bruker AXS D8 Advance diffractometer, Bruker AXS, Inc, Madison, WI, USA) con un monocromador Guiner con las siguientes condiciones de operación: radiación CuK; un voltaje de 40 kV; la velocidad de graficación de 10 mm/2 θ y velocidad de análisis de 2 θ /min.

6.27 Aplicación de recubrimiento de solución filmogénica a un producto fresco perecedero

Se seleccionaron dos películas con propiedades consideradas de importancia e interés como las propiedades mecánicas, contenido de ácido ascórbico y permeabilidad al vapor de agua. La aplicación se realizó como recubrimiento directamente sobre el fruto por inmersión en la solución filmogénica que da origen a la película con las características deseables.

La aplicación del recubrimiento se evaluó en tiempo cero y durante el almacenamiento de la materia prima durante 12 días.

6.27.1 Velocidad de respiración

Para la determinación de la velocidad de respiración (mL CO₂ / kg-h) y producción de etileno (μ L C₂H₄ / kg-h) se utilizó el método propuesto por Tovar, García, y Mata (2001); donde se colocó una guayaba en un recipiente herméticamente cerrado por una hora, después fue recolectado 1 mL del espacio de la muestra y se analizó por un cromatógrafo de gases (Hewlett-Packard, HP 6890, Alemania) provisto de dos detectores, uno de conductividad térmica sensible al CO₂ y otro de ionización a la flama sensible al etileno. Para la separación de los gases se usó una columna HP-Plot Q de 15 m x 0.53 mm y 0.40 mm de espesor; la temperatura de inyección y de los detectores fue de 250 °C, empleando nitrógeno como gas acarreador con un flujo de 7 mL / min además de hidrógeno 30 mL / min y aire 400 mL / min. La temperatura del horno fue de 50 °C.

6.27.2 Pérdida de peso

Para la determinación de pérdida de peso fueron usados cinco frutos por tratamiento se colocaron en frascos de vidrio, los cuales fueron pesados en una balanza analítica diariamente, expresando los resultados en porcentaje de pérdida de peso (%)

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

6.27.3 Firmeza

La firmeza de la guayaba recubierta fue determinada utilizando un analizador de textura (TA.XT plus Texture Analyser Stable Micro Systems) equipado con una punta de acero inoxidable de 2 mm de diámetro, la cual perforó el espesor en la mitad de la muestra con una velocidad de 1 mm s⁻¹, a una profundidad de 6 mm, obteniendo de la prueba, la fuerza máxima necesaria (N) para perforar el fruto de guayaba.

6.27.4 Sólidos solubles totales (*°Brix*)

La determinación de sólidos solubles totales se realizó mediante la medida del índice de refracción del jugo de la muestra. Para esta prueba se colocó una gota de muestra en la superficie lectora del refractómetro de mesa tipo ABBE (Civeq, VE-2s, China) el cual previamente fue calibrado con agua destilada, la temperatura ambiente fue tomada en cuenta para hacer las correcciones y reportar los grados Brix a 20 ° C, todas las muestras se realizaron por triplicado.

6.27.5 Acidez titulable

La acidez titulable fue determinada de acuerdo al método de la AOAC (1990), con 10 g de muestra homogeneizada en 100 mL de agua destilada, la solución fue titulada con NaOH

(0.1N), usando fenolftaleína como indicador, esto se llevó a cabo con un titulador automático (SCHOTT Instruments, Tritoline 7500 KF, Alemania) usando un electrodo de vidrio calibrado previamente y calculando con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Meq totales}}{100 \text{ g de muestra}} = \frac{[\text{mL de NaOH}] \cdot [\text{N de NaOH}]}{\text{masa de muestra (g)}} \times 100$$

6.27.6 Determinación de pH

Para la determinación del pH de la muestra se usaron 10 g de ésta en 100 mL de agua destilada, la mezcla se homogenizo y se realizó la medición de pH usando un potenciómetro marca HANNA previamente calibrado, todas las mediciones se realizaron por triplicado.

6.27.7 Color

La determinación de color del fruto fue realizado con un colorímetro (Minolta, CR300, Japón) previamente calibrado. Se usó la escala CIE para obtener los valores de L, C y h.

L*= luminosidad

$$C^* = \text{Croma (grado de saturación)} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$H = \text{ángulo de tono} = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

6.28 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las pruebas fueron analizados usando un diseño estadístico completamente al azar con un nivel de significancia ($\alpha=0.05$). Realizando el método de comparación de medias Tukey para encontrar diferencias estadísticamente significativas, usando el programa Sigma-Stat11.0

7 RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 Análisis químico proximal, contenido de amilosa y almidón resistente

Cuando los materiales se someten a una modificación generalmente ocurren cambios en su composición química. En el Cuadro 5 se muestran los valores obtenidos en el análisis químico-proximal del almidón nativo de chayotextle (ANC), modificación ácida (ACM) y modificación ácida más autoclave un ciclo (ACM1C) y tres ciclos de autoclave (ACM3C). De acuerdo a lo reportado por Jiménez-Hernández et al. (2007), los valores de la composición químico-proximal del almidón nativo son de 0.33% de proteína, lípidos de 0.34%, 4.7% de humedad y 0.39% cenizas, lo cual concuerda con lo reportado en el Cuadro 5 para el almidón nativo de chayotextle de este trabajo.

Un comportamiento semejante es reportado por Aparicio-Saguilán et al. (2008), donde la hidrólisis ácida provoca una reducción en el contenido de lípidos y proteína, este fenómeno se atribuye a que durante la hidrólisis, el incremento de la temperatura en presencia del ácido y la posterior neutralización actúan sobre las proteínas y lípidos provocando su desnaturalización y saponificación, lo anterior induce que al lavar el almidón modificado con agua y etanol estos componentes son disueltos y se separan del residuo del almidón lo cual se refleja en la reducción del contenido de proteína y lípidos en el análisis químico proximal.

El contenido de humedad en las muestras se ve afectado conforme los tratamientos se intensifican, esto concuerda con lo que mencionan Ashogbon y Akintayo (2014), donde la modificación por temperatura (ciclos de calentamiento y enfriamiento) está relacionada con el incremento del contenido de humedad, lo cual se atribuye al incremento de las cadenas residuales expuestas del gránulo de almidón, estas al ser partículas de menor tamaño presenta una área de contacto expuesta que permite mayores interacciones para captar moléculas de agua por puentes de hidrógeno.

Cuadro 5. Composición químico proximal del almidón de chayotextle nativo y sus modificados (% +).

	Humedad	Proteína	Lípidos	Ceniza	Amilosa	Almidón resistente
ANC	6.17±0.14 ^a	0.53±0.006 ^a	0.27±0.016 ^a	0.48±0.03 ^a	30.22±0.3 ^a	0.62±0.03 ^{a*}
ACM	3.99±0.27 ^b	0.28±0.07 ^b	0.21±0.018 ^b	1.62±0.27 ^b	4.80±0.2 ^b	4.19 ±0.03 ^{b*}
ACM1C	5.75±0.11 ^a	0.17±0.004 ^c	0.09±0.015 ^c	1.66±0.17 ^b	3.27±0.2 ^c	16.33±0.6 ^c
ACM3C	8.39±0.04 ^c	0.17±0.004 ^c	0.08±0.012 ^c	1.76±0.05 ^b	3.57±0.2 ^c	20.4±0.18 ^d

Promedio de tres repeticiones ± error estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

*Contenido de almidón resistente en la muestra después de ser tratada a temperatura de ebullición por 20 minutos.

⁺En base húmeda.

En el Cuadro 5 se observa también el comportamiento del contenido de amilosa de las muestras, el contenido de amilosa puede variar por la fuente e incluso a los métodos usados para su determinación. De acuerdo al contenido de amilosa, el almidón se puede clasificar como almidón normal (cerca al 30%) almidón ceroso (menor al 15%) y almidón alto en amilosa (mayor al 35%), estos valores pueden presentarse para diversas fuentes e incluso la variación por modificación de la misma fuente (Singh, Singh, Kaur, Singh Sodhi, y Singh Gill, 2003). En este trabajo se observa que el almidón nativo de chayotextle presenta un valor cercano al 30% y se cataloga como un almidón normal. Para los almidones modificados el contenido de amilosa es menor al 5% lo que puede ser atribuido a la hidrólisis ácida del gránulo la cual ocurre en mayor medida en la zona amorfa del gránulo, constituida de amilosa y puntos de ramificación de amilopectina (Singh et al., 2009; Singh et al., 2005).

En cuanto al contenido de almidón resistente (AR), el almidón nativo de chayotextle ANC presenta valores bajos de AR de 0.62% esto después de ser gelatinizado. Sin embargo cuando el almidón nativo es modificado por el tratamiento ácido (ACM) su contenido de AR aumenta a 4.19%, esto puede ser atribuido a la formación de fragmentos de almidón que presenta una mayor estabilidad al ataque enzimático, para el almidón modificado que es sometido a un ciclo de autoclave (ACMIC), el contenido de almidón resistente aumenta considerablemente obteniendo un valor cercano al 16%. Este fenómeno se atribuye a la formación de almidón resistente tipo 3, originado por la retrogradación de las cadenas de amilosa y amilopectina.

Cuando el almidón gelatinizado es almacenado a bajas temperaturas y las cadenas de amilosa se reagrupan formando estructuras cristalinas termoestables, éstas presentan una estabilidad a la hidrólisis por enzimas amilolíticas. La reorganización de amilopectina en estructuras cristalinas se considera más lenta pero de igual manera presentan resistencia a ataque enzimático, este proceso puede optimizarse al repetir los ciclos de calentamiento y enfriamiento en las pastas de almidón (Raigond et al., 2015), evidencia de esto se presenta al comparar los tratamientos con uno y tres ciclos de autoclave, donde para ACM3C aumenta alcanzando un valor cercano al 20%.

Para este trabajo los valores obtenidos para AR de las muestras de almidón de chayotextle nativa y sus modificaciones presentan una tendencia similar a lo reportado por Aparicio-Saguilán et al. (2008), donde la muestra nativa presenta un valor bajo de AR (1.5%) y con forme el tratamiento de litnerización y autoclave-refrigeración aumenta el contenido de AR cercano al 19%, que se considera almidón resistente tipo 3 originado por la retrogradación de las cadenas durante el almacenamiento después de ser sometido a un proceso de cocción (Moore, Ai, Chang, y Jane, 2015).

7.2 Microscopía electrónica de barrido

Las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido del almidón nativo de chayotextle (ANC), modificación ácida (ACM) y modificación ácida más un ciclo de autoclave (ACM1C) y tres ciclos de autoclave (ACM3C) se muestran en la Figura 2. Para el caso del almidón nativo de chayotextle presenta el menor tamaño, en donde la mayor población de gránulos se encuentra cercana a 26 μm , esto concuerda con lo reportado por Hernandez-Uribe et al. (2011) que encuentran tamaños de gránulo de entre 10 y 25 μm , también mencionan que el gránulo de almidón de chayotextle presenta formas esféricas, poligonales, ovaladas y el almidón de chayotextle presenta un menor tamaño granular que el almidón de papa.

Para las micrografías de los almidones modificados, se muestra una diferencia en la forma y el tamaño de las partículas después de ser sometida a la modificación ácida y en mayor medida cuando son sometidos al tratamiento con autoclave. El aumento en la dimensión de las partículas puede ser debido a la aglomeración de los fragmento de gránulo como se observa en las micrografías y no se logra apreciar la forma granular.

La adhesión entre fragmentos de los gránulos es reportada también por Hernández-Jaimes et al. (2013) y Huang et al. (2016), donde ellos atribuyen este comportamiento a la erosión, fragmentación y las cadenas liberadas del gránulo, lo que propicia la aglomeración después de varios días de hidrólisis ácida (5-9 días), llevando a la gelatinización parcial y formando agregados de los fragmentos restantes resultando partículas de formas irregulares como las que se observan en la micrografía de la Figura 2.

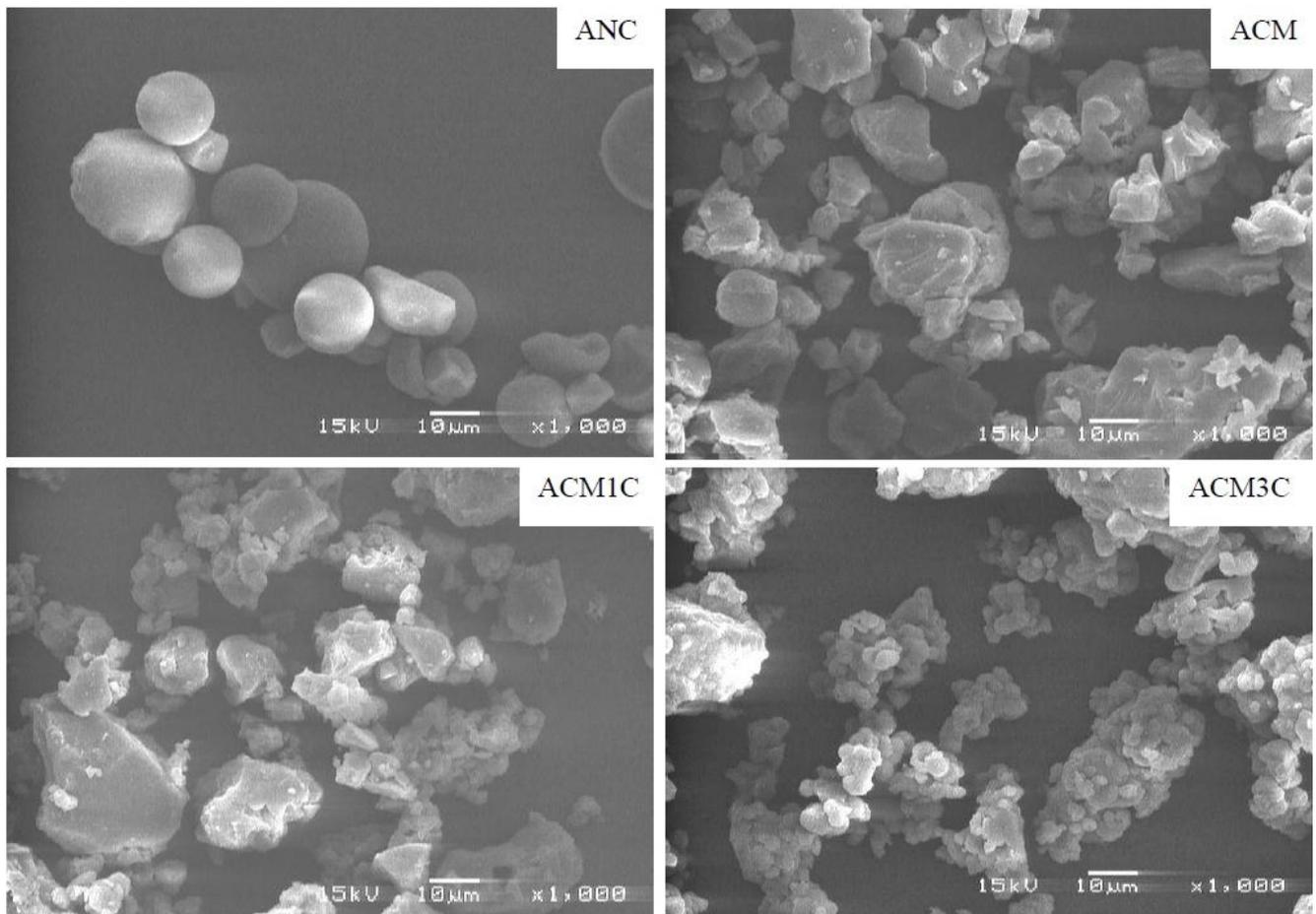


Figura 2. Micrografía del almidón de chayotextle nativo (ANC), modificado por hidrólisis ácida (ACM), tratado con un ciclo de autoclave (ACM1C) y tres ciclos de autoclave (ACM3C), obtenidas por microscopia electrónica de barrido

7.3 Microscopía de luz polarizada

En las micrografías de la Figura 3, obtenidas por microscopia de luz polarizada, se observa la imagen correspondiente de almidón nativo, presentando lo que se conoce como cruz de malta, que es el fenómeno de birrefringencia, el cual evidencia el alto grado de orientación molecular existente dentro del gránulo, este comportamiento es presentado para almidón nativo de chayotextle reportado por Hernandez-Uribe et al. (2011).

El caso del almidón de chayotextle nativo extraído para este trabajo nos muestra que el proceso de aislamiento del almidón empleado no altera su estructura granular. En las micrografías del almidón modificado se puede observar la pérdida completa de este fenómeno, lo cual implica la desorganización de la estructura granular cuando éste es sometido a procesos de modificación intensa como lo es la aplicación de ciclos de calentamiento-enfriamiento.

7.4 Tamaño de partícula

En el Cuadro 6 se presenta la distribución del tamaño de partícula para el almidón nativo de chayotextle, su modificado por hidrólisis ácida y sus tratamientos con autoclave, donde para el almidón nativo se encontró un diámetro medio de 21.72 μm este tamaño concuerda con lo reportado por Hernandez-Uribe et al. (2011), ellos mencionan que para almidón nativo de chayotextle el tamaño del gránulo oscila entre 10 y 25 μm , un valor cercano al encontrado en esta investigación. Para las modificaciones se encontró diferencias que se atribuyen a la aglomeración de los fragmentos resultantes después de los tratamientos a los que el almidón es sometido, como se puede evidenciar en las micrografías obtenidas por microscopia electrónica de barrido (Figura 2). Huang et al. (2016), describen que la aglomeración puede ser debida a la gelatinización de los fragmentos del gránulo durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento causando su agregación.

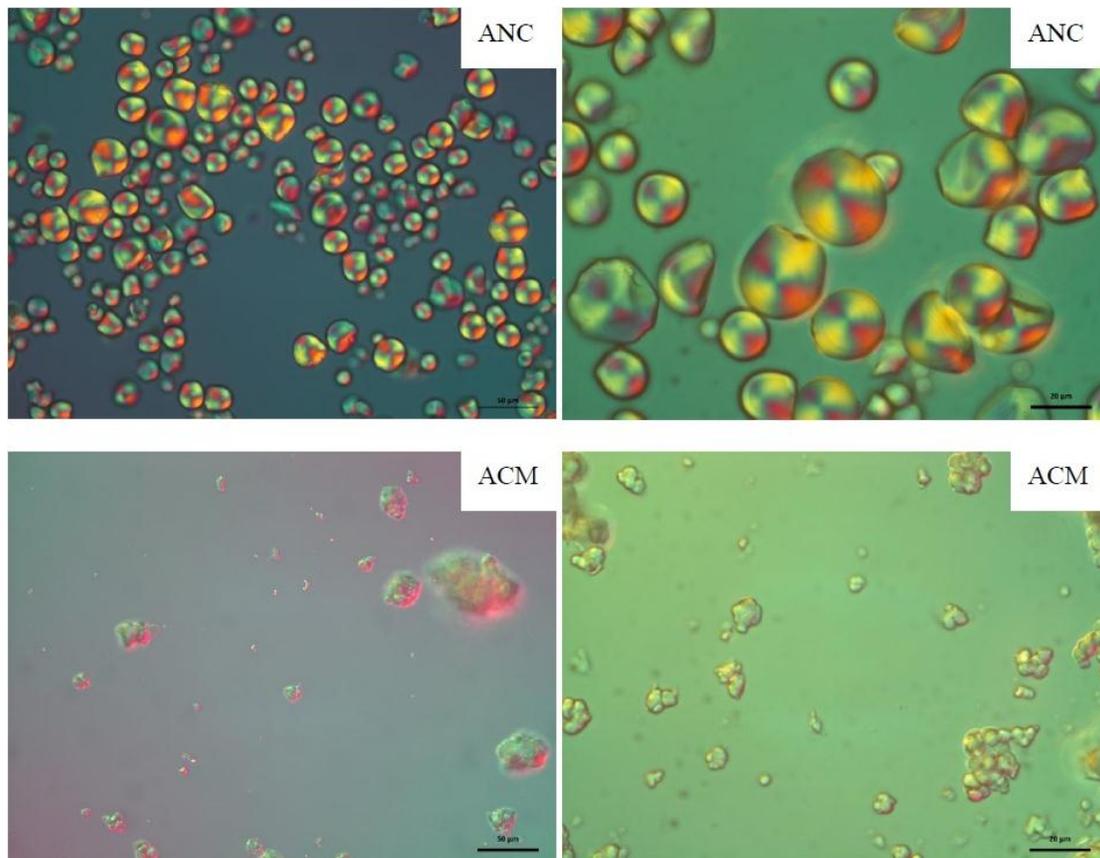


Figura 3. Micrografías del gránulo de almidón de chayotextle nativos (ANC) y modificado por hidrólisis ácida (ACM) vistos por microscopía de luz polarizada a 40X (izquierda) y 100X (derecha).

Cuadro 6. Distribución del tamaño de partícula del almidón de chayotextle nativo (ANC), modificado por hidrólisis ácida (ACM), modificado por hidrólisis ácida y tratado con un ciclo de autoclave (AMC1C) y tres ciclos de autoclave (AMC3C).

Muestra	D (v, 0.5) (μm)
ANC	21.72
ACM	64.67
AMC1C	56.76
AMC3C	47.34

Para el caso del almidón modificado por hidrólisis ácida (ACM) encontramos un diámetro medio de 64.67 μm en el tamaño de partícula. Para el almidón hidrolizado y sometido a un proceso de autoclave AMC1C el diámetro medio de partícula se encuentra alrededor de los 56.76 μm , y finalmente para el almidón de chayotextle hidrolizado y sometido a tres ciclos de autoclave encontramos un diámetro medio de 47.34 μm , estas diferencias se pueden considerar por la ruptura y agregación de los fragmentos resultantes, donde estos agregados presentan una variación importante en formas y tamaños.

7.5 Patrones de difracción de rayos X

Los patrones de difracción de rayos X para el almidón nativo de chayotextle y sus posteriores modificaciones presentan un patrón tipo B, el cual muestra picos característicos a $2\theta = 5.6, 17, 22$ y 24° , los cuales son asociados a los almidones de tubérculos y raíces como lo reportaron Huang et al. (2015).

Como se puede observar en la Figura 4, se presenta un incremento en la cristalinidad del almidón, este fenómeno puede ser debido a la presencia de cristales sobrantes después de la modificación y también por la hidrólisis de la región amorfa, un comportamiento similar ocurre en modificaciones ácidas reportadas por Babu et al. (2014).

Utrilla-Coello et al. (2014) reportaron un aumento en la cristalinidad durante la hidrólisis del almidón de maíz, en el cual se nota un aumento en la intensidad de los picos característicos para el almidón de tipo A, esto hasta el quinto día, después de ello la evaluación llevada hasta el día 15, muestra una reducción en la intensidad de los mismos picos, ellos atribuyen el incremento de la cristalinidad a la reducción de la zona amorfa del gránulo, y para los resultados posteriores que indican una reducción, a la acción del ácido sobre la región cristalina.

El efecto del incremento de la cristalinidad se puede observar de igual manera por hidrólisis como la ácida y enzimática, ejemplo de esto lo reportaron Xia et al. (2011) donde el incremento se observa y es atribuido a la hidrólisis de la región amorfa tanto por la acción del ácido usado como el efecto de las enzimas.

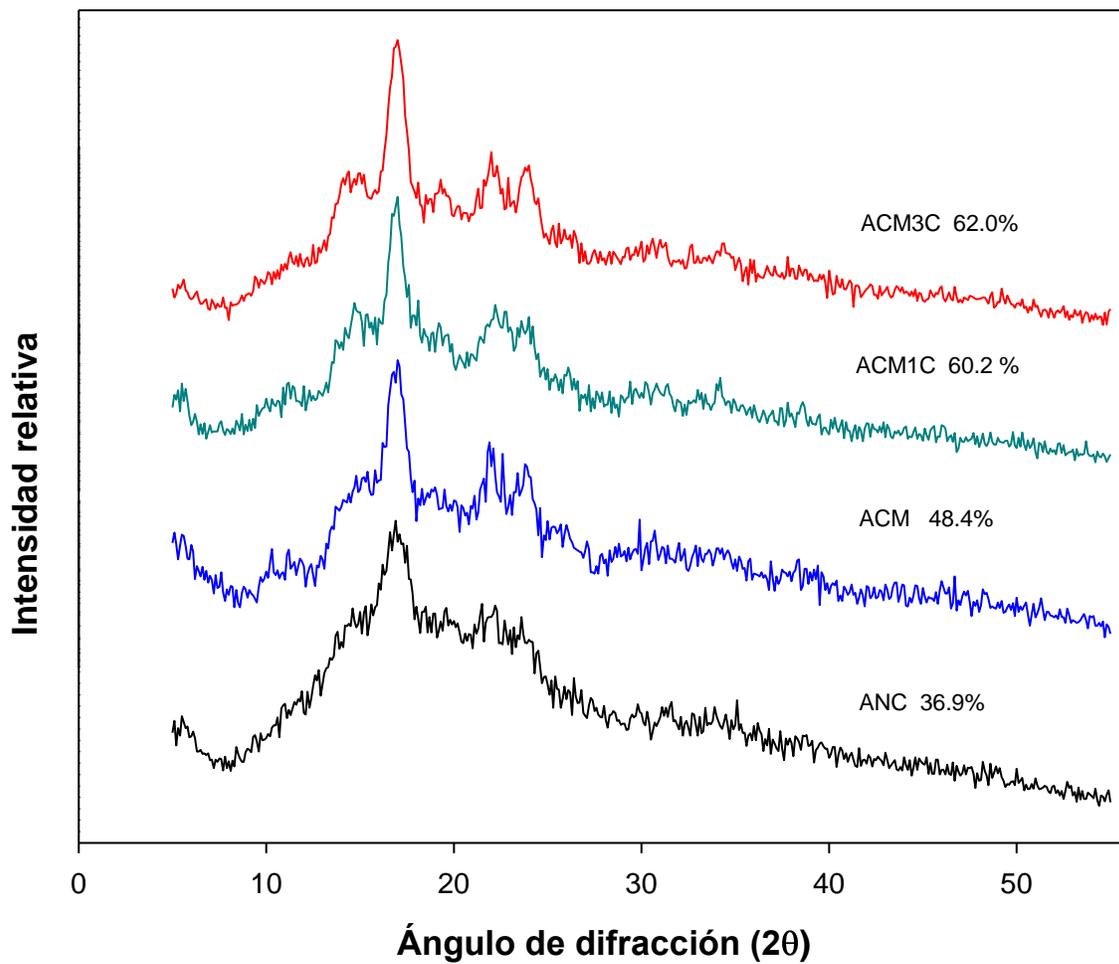


Figura 4. Patrón de difracción de rayos X y porcentaje de cristalinidad del almidón de chayotextle nativo (ACN), modificado por hidrólisis ácida (ACM), tratado con un ciclo de autoclave (ACM1C) y tres ciclos de autoclave (ACM3C).

La muestra ACM3C presenta el mayor porcentaje de cristalinidad y almidón resistente como se reporta en el Cuadro 5 del análisis químico proximal, este fenómeno puede ser atribuido a la recristalización de las cadenas de amilosa que se reagrupan en pequeños cristales y se estabilizan por puentes de hidrógeno, este comportamiento es reportado por Ashwar et al. (2016) y señalan que estas estructuras formadas presentan una mayor resistencia al ataque enzimático.

7.6 Propiedades térmicas de almidones

En el Cuadro 7 se presentan las propiedades térmicas del almidón nativo de chayotextle y sus modificados, se observa para el almidón nativo una temperatura pico de gelatinización cercana a los 64 °C, a diferencia con la muestra hidrolizada por medio ácido y su posterior tratamiento con autoclave, se observa un incremento en la estabilidad térmica con puntos de fusión cercanos a los 103 °C para las muestras modificadas y no se observa diferencia estadísticamente significativa ($p>0.05$), entre ellas.

Para el caso de almidón nativo de chayotextle Jiménez-Hernández et al. (2007), reportaron una temperatura pico de gelatinización cercana a los 68 °C, mientras que Hernandez-Urbe et al. (2011) para almidón nativo de chayotextle reportaron una temperatura pico de gelatinización cercana a los 63 °C, de acuerdo a estos valores, la muestra del almidón utilizada en este trabajo se encuentra cercana a lo reportado por estos autores, la diferencia puede ser atribuida a las posibles variaciones en el cultivo del tubérculo así como las condiciones climáticas predominantes para el tiempo de cosecha que afectan el desarrollo de éste.

Para el caso de las modificaciones realizadas al almidón nativo de chayotextle es reportado el aumento de la temperatura de fusión cuando se somete a un tratamiento ácido, de acuerdo a lo reportado por Hernández-Jaimes et al. (2013), el aumento en la temperatura pico en hidrólisis ácida se relaciona con la reducción o eliminación de las regiones amorfas conformadas por amilosa.

Cuadro 7. Propiedades térmicas del almidón de chayotextle nativo y sus modificaciones

Almidón de Chayotextle	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔH (J/g)
ANC	61.7±0.07 ^a	64.5±0.07 ^a	70.7±0.07 ^a	3.328±0.005 ^a
ACM	101.83±0.7 ^b	103.16±0.70 ^b	108.31±0.07 ^b	0.147±0.001 ^b
ACM1C	100.3±0.64 ^b	102.6±0.44 ^b	108.9±0.85 ^b	0.409±0.005 ^c
ACM3C	101.2±0.49 ^b	103.9±0.43 ^b	109.9±0.27 ^b	0.548±0.007 ^d

Promedio de tres repeticiones ± error estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

To: Temperatura inicial de gelatinización

Tp: Temperatura pico de la gelatinización

Tf: Temperatura final de gelatinización

ΔH: Entalpía de gelatinización

7.7 Características del encapsulado

En el Cuadro 8 se encuentran reportadas las características que presenta el encapsulado de ácido ascórbico usando almidón modificado como material pared, de acuerdo a trabajos previos se consideró que la hidrólisis de 7 horas a 60 °C, debido a que demostraba las propiedades requeridas para la encapsulación usando secado por aspersion como alta solubilidad y baja viscosidad además de mayor eficiencia de encapsulación al cuantificar el contenido de ácido ascórbico en el encapsulado. Como se puede observar el encapsulado presenta un contenido total de ácido ascórbico cercano al 82 %, y un contenido superficial del 46%. Palma-Rodriguez et al. (2013), reportaron valores de 42.03% y 43.77% en el contenido de ácido ascórbico en superficie para almidón modificado de arroz y de papa, respectivamente, donde mencionan que la retención de ácido ascórbico puede estar relacionada a las propiedades requeridas para el material pared como su capacidad de formar una malla que atrapa el ácido ascórbico, por lo anterior los almidones modificados presentan una mayor retención que el almidón nativo de arroz.

La naturaleza del material pared y las propiedades que se buscan como, baja viscosidad a altas concentraciones, alta solubilidad y capacidad de formar película pueden ayudar en la retención del material a proteger, gracias a la formación de un gel que al secarse forma una capsula de protección (Loksuwan, 2007).

El material pared que se está utilizando para su uso en la encapsulación de compuestos presenta un valor de almidón resistente cercano al 20%, éste AR puede considerarse con beneficio en la prevención de enfermedades presentes en el colon. Janaswamy (2014), reporta que la incorporación de compuestos como fármacos, vitaminas u otros en materiales con alto contenido de almidón resistente puede ser efectivo debido a su baja accesibilidad, éstos pasan a ser fermentados en el colon y ahí pueden llegar los compuestos protegidos, teniendo una acción directa. Además al modificar su digestibilidad del almidón, éste presenta un menor aporte calórico.

Cuadro 8. Características del microencapsulado (contenido de ácido ascórbico, capacidad antioxidante y tamaño de partícula)

Encapsulado	Retención de ácido ascórbico (%)		Capacidad antioxidante (%)	D (v, 0.5) (µm)
	Superficie	Total		
	46.3 ±3.9	82.3±1.07	89.84±0.83	27.47

Microencapsulado de ácido ascórbico por secado por aspersión con almidón modificado por hidrólisis más tres ciclos de autoclave (ACM3C) como material pared.

Promedio de tres repeticiones ± error estándar.

En la Figura 5 se presenta la morfología de las microcápsulas de ácido ascórbico usando almidón modificado como material de pared, donde se observa un aglomerado de partículas correspondiente a los fragmentos del gránulo resultantes de las diferentes modificaciones, asemejándose a la forma de una palomita de maíz, un comportamiento similar reportaron Palma-Rodriguez et al. (2013) para el almidón de arroz, el cual comprende gránulos de tamaño pequeño que forma este tipo de agregados.

7.8 Perfil de viscosidad de las soluciones filmogénicas adicionadas con microcápsulas

En la Figura 6 se observa el comportamiento de las dispersiones de almidón bajo condiciones consideradas similares al proceso de obtención de la solución filmogénica. Se puede apreciar el cambio en la viscosidad con respecto al tiempo en función de la temperatura, las diferentes dispersiones fueron sometidas a las mismas condiciones de cizallamiento-calentamiento, con la finalidad de observar el comportamiento de cada una de ellas y el efecto de las diferentes concentraciones de microencapsulado de ácido ascórbico en la dispersión.

Se puede observar que conforme aumenta la temperatura todas las dispersiones presentan un incremento en su viscosidad cuando ésta es cercana a los 70 °C, lo cual corresponde a la temperatura de gelatinización de los gránulos de almidón de chayotextle, los que presentan un hinchamiento que se refleja en el incremento de la viscosidad. La dispersión que representa la muestra control, contiene únicamente el almidón nativo y glicerol es la que muestra mayores valores de viscosidad durante toda la prueba. Las dispersiones a las que se adiciono el microencapsulado presentan valores de viscosidad inferiores con un comportamiento inverso de la viscosidad con respecto al microencapsulado, es decir, a mayor adición de microencapsulado (12.5%) la viscosidad fue menor de todas las registradas durante la prueba.

La caída de la viscosidad puede atribuirse a la acción que tiene la presencia del ácido ascórbico, que actúa sobre las cadenas liberadas durante el proceso de gelatinización.

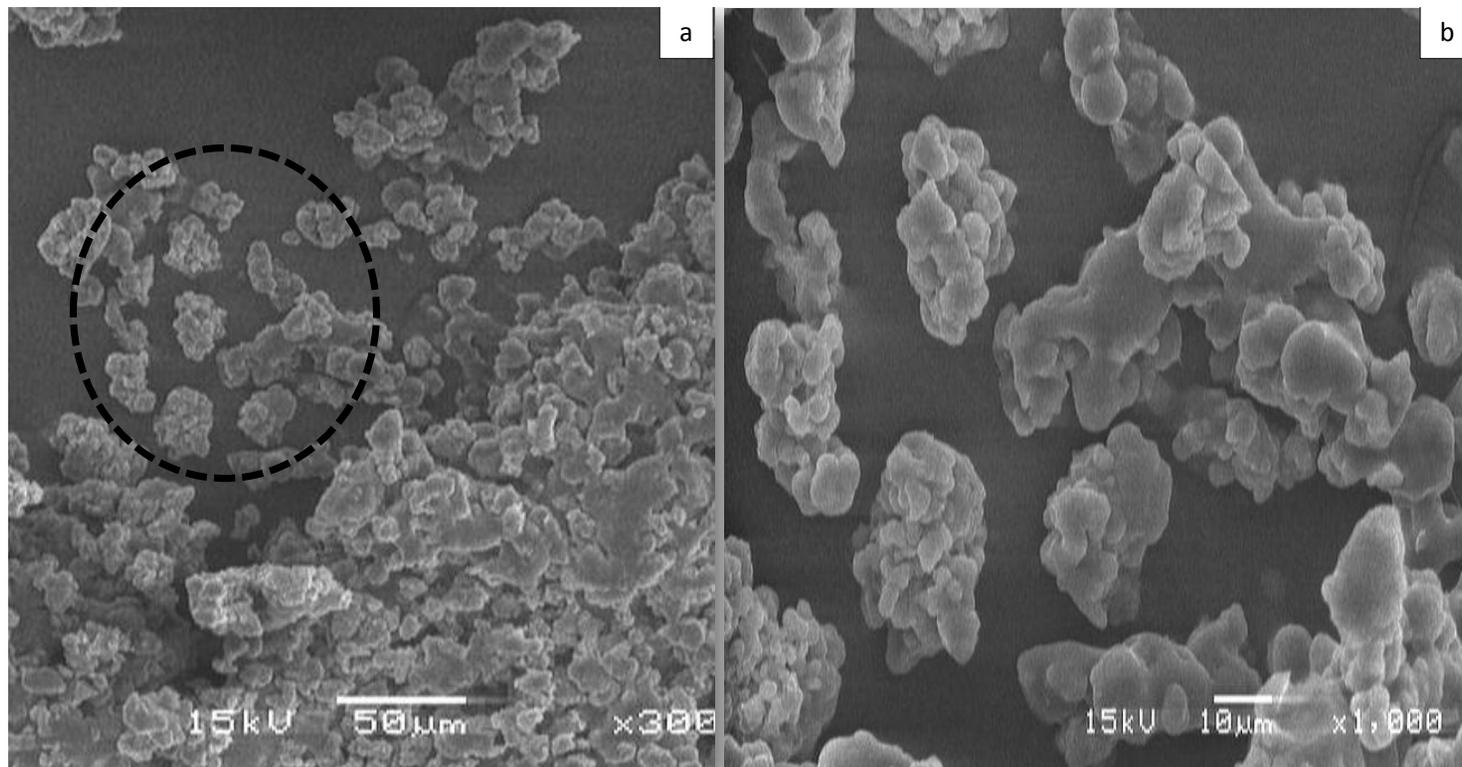


Figura 5. Micrografía del encapsulado de ácido ascórbico con almidón modificado. (a) Muestra del encapsulado a 300 aumentos, (b) ampliación de la zona en el círculo negro a 1000 aumentos.

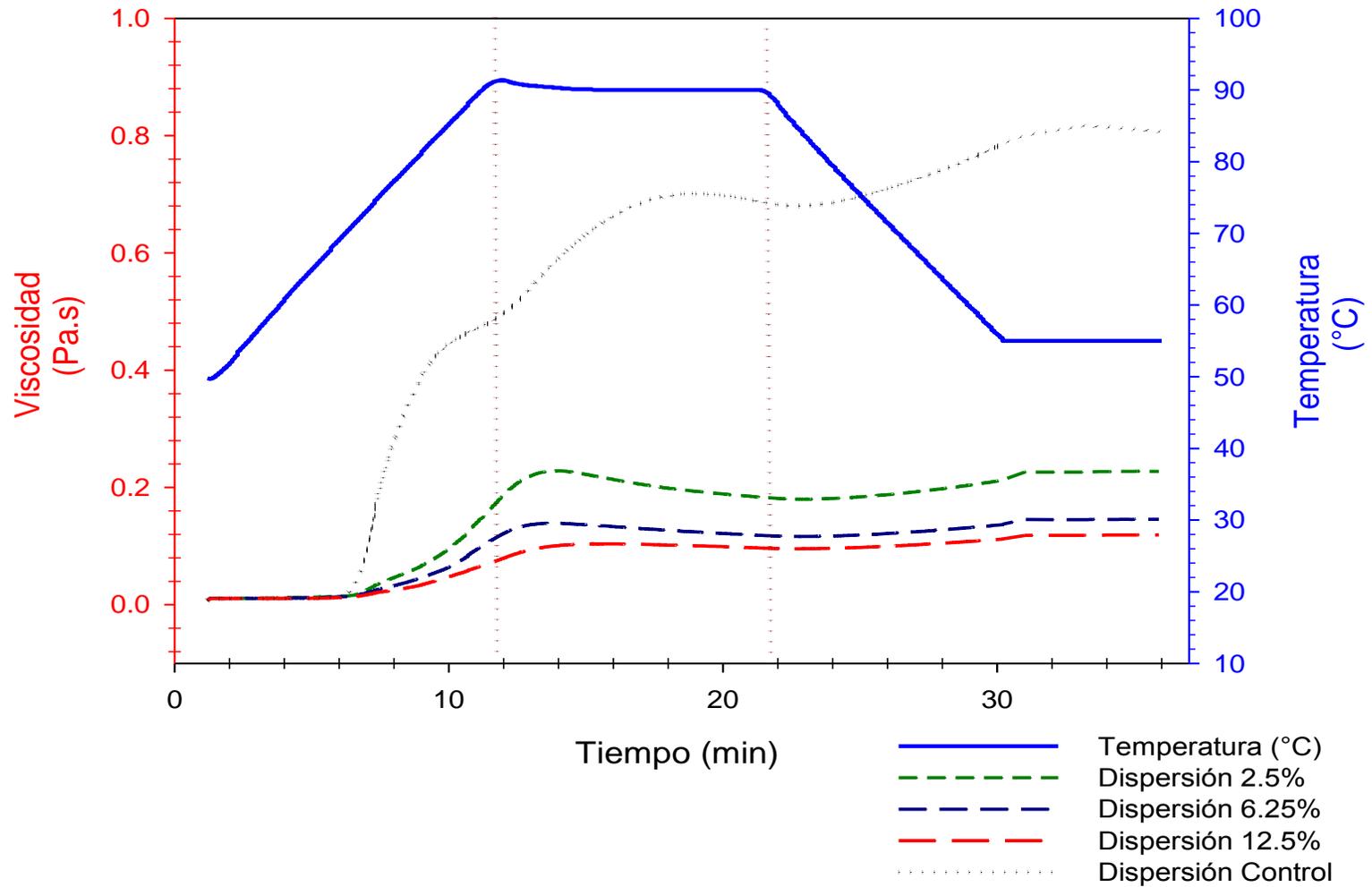


Figura 6. Propiedades de flujo en la solución filmogénica con la adición del microencapsulado de ácido ascórbico

Majzoobi, Radi, Farahnaky, y Tongdang (2012), reportaron la posibilidad la reducción del tamaño molecular de las cadenas liberadas después de la gelatinización, esto debido a la acción del ácido ascórbico en los enlaces, lo que se refleja en la reducción de la viscosidad de las muestras conforme se incrementa la concentración del microencapsulado.

El ataque en los enlaces glucosídicos del almidón por ácidos como el ácido clorhídrico se ha reportado que reduce la viscosidad, lo cual se atribuye a la disrupción de la zona amorfa del gránulo causando la reducción del peso molecular de las cadenas como lo reportaron Babu et al. (2014).

Se observa también en la Figura 6 un aumento en el pico de viscosidad después de la primera línea punteada de color marrón. Zaidul et al. (2007), reportaron que este fenómeno puede atribuirse a que los almidones que presentan mayores picos de viscosidad están asociados a un mayor contenido de fósforo y menor contenido de amilosa, provocando un mayor poder de hinchamiento. Otra de las ventajas que puede presentar los almidones de tubérculos es que su temperatura de gelatinización es baja con un uniforme hinchamiento de gránulos, dando una pasta clara en comparación con la de los almidones de cereales.

7.9 Microscopía de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas

Como se puede apreciar en la Figura 7, donde se presentan las diferentes películas con la adición del microencapsulado que tiene como material pared almidón modificado, se puede observar partículas que se encuentran dispersas en el interior de la película, la presencia de éstas puede considerarse a que debido a la modificación que llevo el almidón, presenta mayor estabilidad térmica y durante el proceso de formación de la película, las partículas adicionadas no sufren un daño, por lo cual pueden encontrarse aun en el interior, una presencia similar reportaron Shi et al. (2013b), donde la superficie de las películas con nanopartículas presentan formas irregulares, donde al compararlas con la morfología de las nanopartículas adicionadas a éstas presentan similitud.

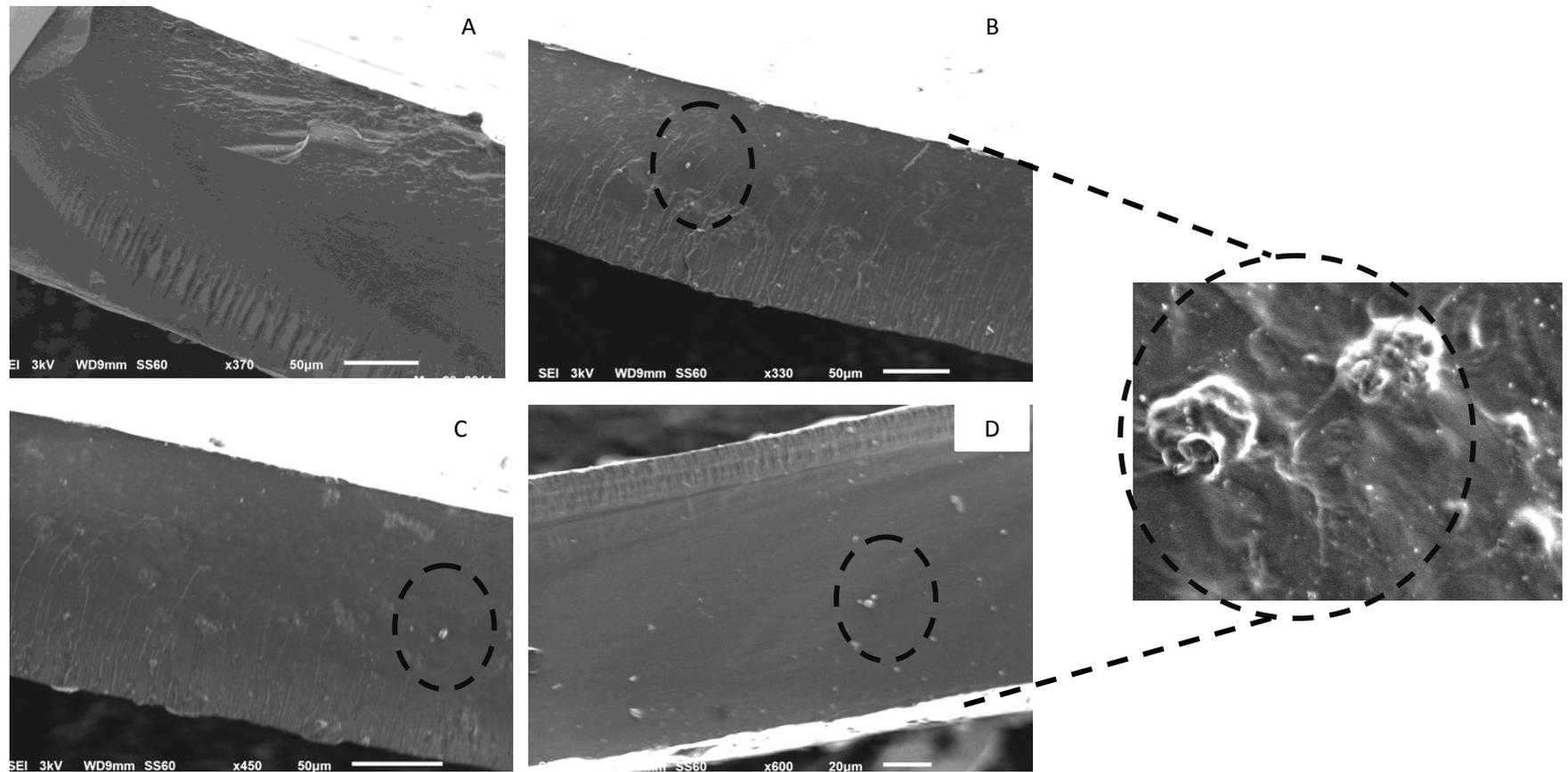


Figura 7. Micrografías de películas de almidón donde (A) es la película control a base de almidón, (B) es la película con la adición del 2.5% de microencapsulado, (C) es la película con la adición del 6.25% de microencapsulado y (D) es la película con la adición del 12.5% de microencapsulado.

7.10 Propiedades mecánicas de películas a base de almidón adicionadas con microcápsulas

Las propiedades mecánicas de las películas adicionadas con microcápsulas que contienen ácido ascórbico consistieron en la determinación del esfuerzo a la tensión (MPa), el porcentaje de elongación a la ruptura (%) y el módulo de Young (MPa) y se muestran a continuación.

En la Figura 8 se muestra el comportamiento de las películas adicionadas con microcápsulas para el esfuerzo a la tensión (MPa), las cuales presentaron un aumento en éste con la adición de las microcápsulas de 3.14 MPa, 3.6 MPa y 4.08 MPa, con la adición de 2.5, 6.25 y 12.5 % de microencapsulado con almidón modificado (**ACM3C**) respectivamente, para la adición de 2.5 y 6.25 no existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Dai, Qiu, Xiong, y Sun (2015), reportaron valores máximos para esfuerzo a la tensión en películas de almidón adicionadas con nanopartículas de 2.87 MPa para la adición del 10% y valores cercanos a 1 MPa para la muestra control. Mientras que Ashwar, Shah, et al. (2015) reportaron para películas de almidón de arroz valores de 1.94 MPa para la película control y 5.47 MPa para la película adicionada con ácido ascórbico; en esta investigación se presenta un comportamiento parecido, el incremento de microcápsulas se ve reflejado de forma positiva en los valores de esfuerzo a la tensión. El comportamiento que se observó en el módulo de Young se presenta en la Figura 10, donde se muestra un incremento en los valores y las dos concentraciones inferiores 2.5 y 6.25% no presentaron diferencia estadísticamente significativa. El comportamiento que se presenta en este trabajo es parecido al que reportaron Dai, Qiu, Xiong, y Sun (2015), donde con la adición de nanopartículas de almidón se incrementa el valor de esfuerzo a la tensión, sin embargo cuando la adición de nanopartículas es mayor al 15% en base al almidón, el efecto es negativo, para la adición de una concentración menor al 15% donde el valor aumenta, lo atribuyen a la capacidad de las nanopartículas de actuar como un relleno en la matriz, las cuales por interacción con la matriz polimérica actúan reforzando al dispersarse homogéneamente.

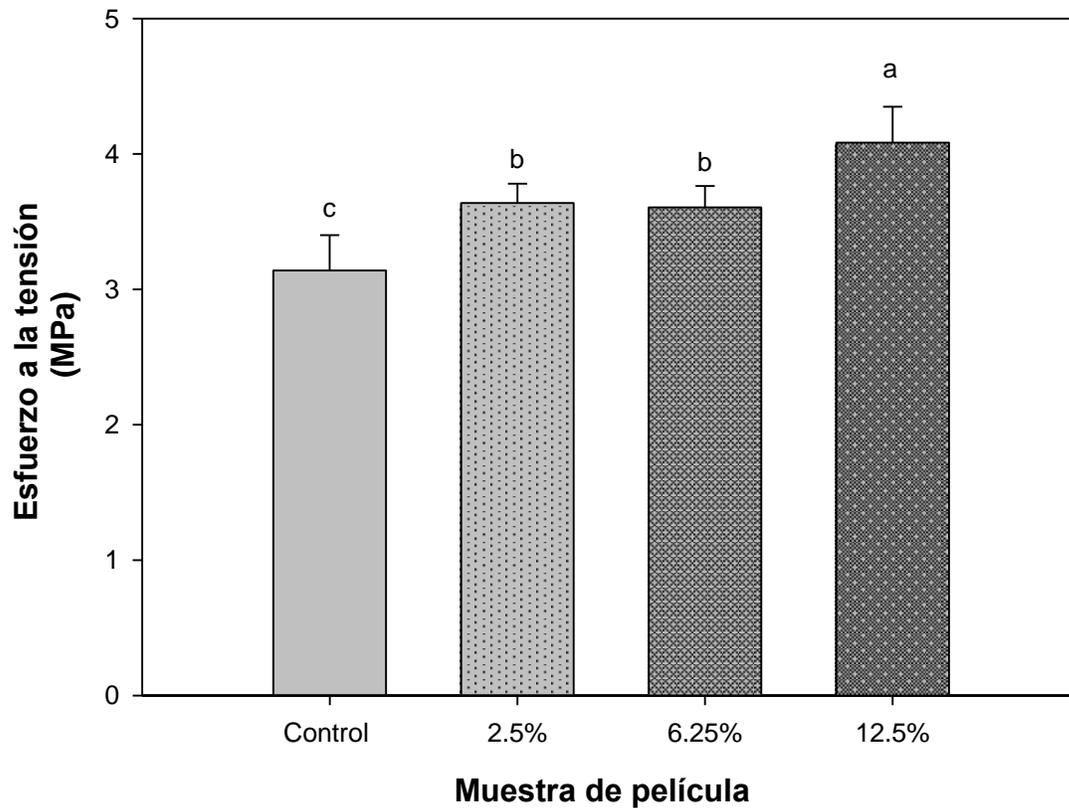


Figura 8. Esfuerzo a la tensión en películas comestibles de almidón adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas.

Promedio de 15 repeticiones, las barras indican la desviación estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

Caso contrario cuando la concentración es superior al 15% (p/p) la disminución de los valores la atribuyen a la aglomeración de estas nanopartículas que interfieren en la estructuración de la matriz.

El efecto de reforzamiento de películas puede verse de igual manera con la adición de partículas de otra naturaleza como lo reportado por Aila-Suarez et al. (2013), donde con celulosa y nanocelulosa se observan valores mayores para esfuerzo a la tensión y módulo de Young, dando como resultado un película con mayor rigidez, también mencionan que el tamaño de las partículas resulta de importancia ya que al tamaño nanométrico de éstas puede promover una mejor y homogénea dispersión en la matriz polimérica.

Para el porcentaje de elongación a la ruptura se muestra que la película más deformable es la película control (69.7%) y conforme se adiciona una mayor concentración de microencapsulado, el porcentaje de elongación disminuye, para el caso de las películas que contienen (2.5 y 6.25%) de encapsulado no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($p > 0.05$) con valores de 48.9 y 49.64 % respetivamente. La película que contiene 12.5% de encapsulado presenta la menor deformación de estas películas, con un valor de 42.95 %.

El módulo de Young en las películas representa la rigidez. Se puede decir que mientras una película es más elongable el módulo Young de ésta será menor, este comportamiento se muestra en la Figura 9 y 10 donde para la película control que presenta una mayor elongación el módulo de Young es menor, esto nos indica una menor rigidez de la película en comparación de las películas adicionadas con microcápsulas.

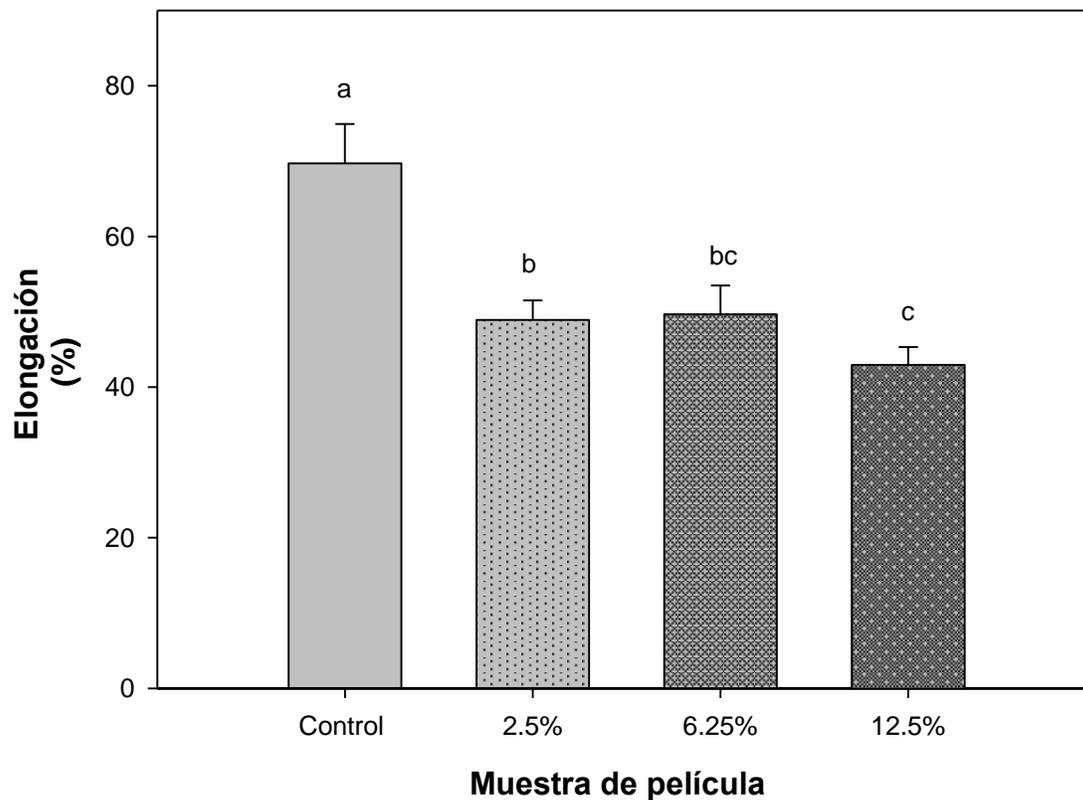


Figura 9. Porcentaje de elongación en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.

Promedio de 15 repeticiones, las barras indican la desviación estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

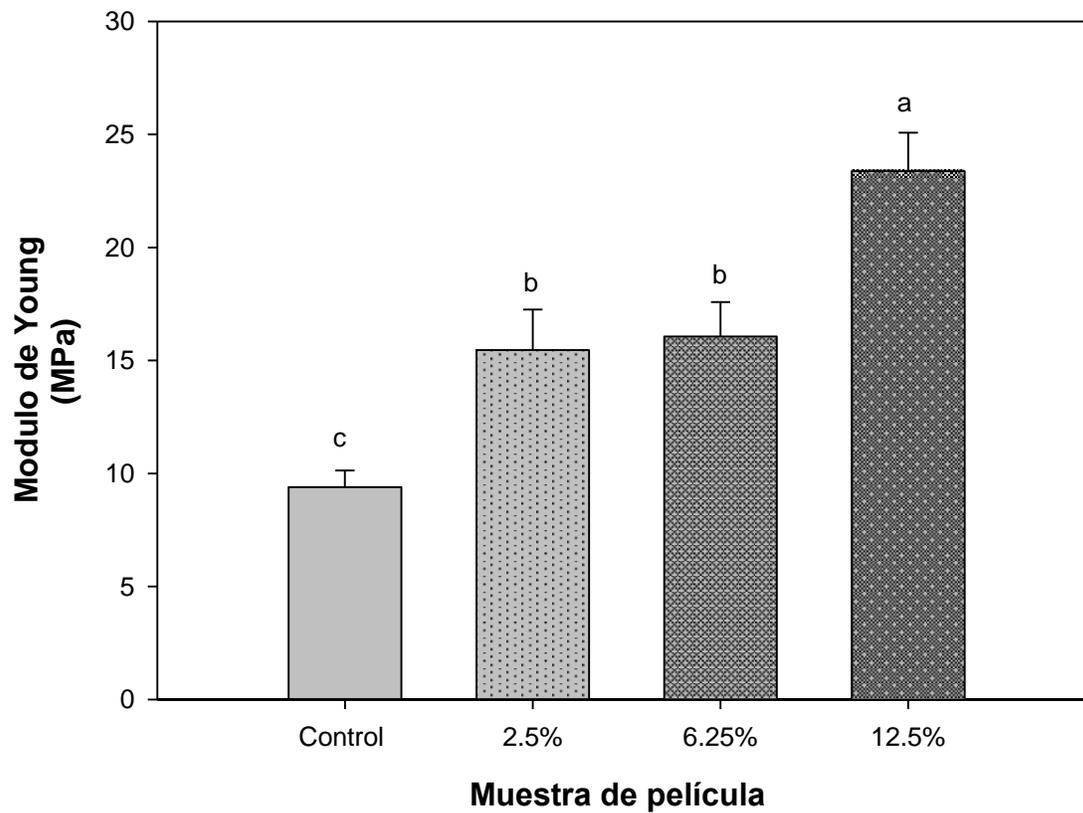


Figura 10. Módulo de Young en películas comestibles de almidón adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas.

Promedio de 15 repeticiones, las barras indican la desviación estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

7.11 Permeabilidad al vapor de agua de películas a base de almidón adicionadas con microcápsulas

Una característica de importancia para la aplicación de materiales de envase es su permeabilidad, a gases como el CO₂ y el O₂, así como también el vapor de agua. En la Figura 11 se puede observar el comportamiento que tienen las películas de almidón adicionadas con microcápsulas con respecto a la permeabilidad al vapor de agua (PVA), donde la película control presenta valores de permeabilidad mayores que las películas adicionadas con 2.5, 6.25 y 12.5 % de microencapsulado. Las películas con diferentes concentraciones de encapsulado no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), sin embargo, cuando éstas fueron comparadas con la película control si presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Este comportamiento puede ser debido a la forma más compacta de la estructura de la película como lo mencionan Dai et al. (2015), ellos elaboraron películas de almidón del tubérculo conocido como taro incorporando nanopartículas del mismo almidón, en un porcentaje máximo del 15% en base al almidón de la solución. Ellos reportaron un efecto de reducción en la permeabilidad al vapor de agua conforme se incrementa el porcentaje de nanopartículas hasta de $3.33 \text{ e}^{-11} \text{ g Pa}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, siempre y cuando sea menor al 15 %, debido a una homogénea dispersión puede atribuirse a una película compacta, en la cual las partículas incorporadas en la matriz polimérica dificulta el paso de las moléculas de agua en comparación con la película control, también mencionan que al exceder el 15 % de nanopartículas, el efecto es negativo, lo cual lo atribuyen a la formación de agregados de partículas facilitando el paso de las moléculas de agua.

Otro caso es lo reportado por Slavutsky y Bertuzzi (2014), donde mencionan que la incorporación de partículas cristalinas de celulosa en películas de almidón tiene el efecto de relleno, y a su vez por su baja característica hidrófila reduce la solubilidad de la película, y por su química similar entre celulosa, almidón y el plastificante como el glicerol interactúan, incrementando la resistencia al paso del agua. Las partículas obtenidas al final del proceso de modificación de almidón resistente son de naturaleza cristalina y estas pueden ser dispersadas homogéneamente en la pasta de almidón.

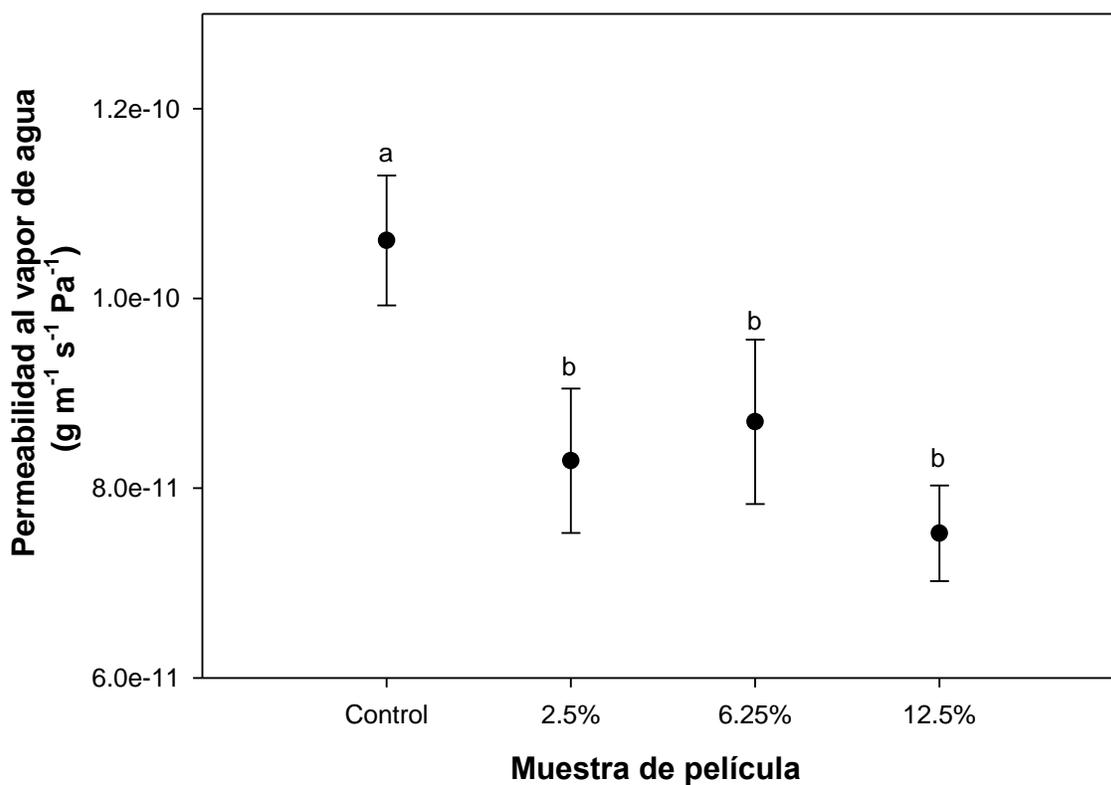


Figura 11. Permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles de almidón adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas.

Promedio de tres repeticiones, las barras indican la desviación estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

Ashwar, Shah, et al. (2015), reportaron en películas de almidón de arroz adicionadas con antioxidantes como ácido ascórbico valores de PVA de $10.50 \text{ e}^{-11} \text{ g Pa}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, lo cual es cercano a lo encontrado en esta investigación. Aunque se muestra una reducción en los valores con la incorporación de microcápsulas al comparar con la película control.

7.12 Contenido de ácido ascórbico en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas

La tendencia en el diseño de empaques activos, involucra la presencia de un compuesto que nos aportará características para la protección del producto como es el caso de los antioxidantes, para esta investigación fue usado el ácido ascórbico y debido a su sensibilidad se consideró el secado por aspersion como una forma de protección de éste, obteniendo microcápsulas que contenían este compuesto bioactivo, con la finalidad de ser incorporadas a la película y que este estuviera presente en la película para su aplicación.

En el Cuadro 9 se muestra el contenido de ácido ascórbico presente en las películas lo que nos asegura la presencia del compuesto bioactivo de interés para la investigación. En la evaluación de la película adicionada con las microcápsulas, encontramos contenidos de ácido ascórbico de 9.8% para la película que contiene el porcentaje inferior del encapsulado el cual corresponde al 2.5%, con el incremento, el contenido de ácido ascórbico en la película aumenta a un 11.7 y un 21.4% para las películas con 6.25 y 12.5% de encapsulado respectivamente, esto muestra que el compuesto incorporado en la película se encuentra presente y puede cuantificarse.

La obtención de películas comestibles activas se ha incrementado para la aplicación en el área de alimentos, como lo menciona Sánchez-González et al. (2014), éstas pueden ser usadas para evitar la oxidación por radicales libres. Algo destacable es el uso de compuestos antioxidantes reconocidos como seguros (GRAS) para alimentos.

Cuadro 9. Contenido de ácido ascórbico en películas adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas con ácido ascórbico

Muestra de película	Contenido de ácido ascórbico (%)
Control	0 ^c
2.5%	9.8±0.7 ^b
6.25%	11.7±1.5 ^b
12.5%	21.4±1.7 ^a

Promedio de tres repeticiones \pm error estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

Cuantificación de ácido ascórbico de películas recién elaboradas.

7.13 Propiedades térmicas de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas

En la Cuadro 10 se muestran las temperaturas de fusión (T_m) y entalpía (ΔH) de las películas de almidón de chayotextle adicionadas con microcápsulas conteniendo ácido ascórbico. Se aprecia que para todas las películas la temperatura de fusión se encuentra entre los 103 y 104 °C, estos valores indican que la adición de las microcápsulas en diferentes concentraciones no afecta la temperatura de fusión de las películas ni modifica su entalpía. La naturaleza de las microcápsulas son de almidón de chayotextle sometido a una modificación dual, el cual presenta una temperatura cercana a la temperatura de fusión a la que presentan las películas, por este motivo los valores de T_m de las películas se puede atribuir a la recristalización de las cadenas de amilosa y amilopectina del almidón presentes en la película, que aunque presentan una mayor estabilidad térmica la energía necesaria para desorganizarlas (Entalpía) es menor debido a la pérdida de la estructura organizada como es el gránulo (Woggum et al., 2014).

Sin embargo Dai et al. (2015), al adicionar nanopartículas de almidón en una concentración menor al 15 % en base al almidón de maíz presentan un incremento de 210 °C a 223 °C para la película control y la película con un 2 % de nanopartículas, lo cual atribuyen a las fuertes interacciones que se llevan entre las nanopartículas y la matriz polimérica del almidón, dando una mayor estabilidad térmica a las películas, que se ve reflejado en el aumento de la temperatura de fusión.

Cuadro 10. Propiedades térmicas de películas adicionadas con diferentes cantidades de microcápsulas con ácido ascórbico

Muestra de película	Temperatura de fusión	Entalpia (ΔH)
	T_m ($^{\circ}C$)	(J/g)
Control	103.43 \pm 0.27 ^a	0.262 \pm 0.06 ^a
2.5%	103.91 \pm 0.55 ^a	0.285 \pm 0.06 ^a
6.25%	103.82 \pm 0.62 ^a	0.289 \pm 0.11 ^a
12.5%	103.48 \pm 0.40 ^a	0.225 \pm 0.17 ^a

Promedio de tres repeticiones \pm error estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

7.14 Solubilidad de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas

La solubilidad en las películas comestibles es de importancia debido a que por esta característica pueden tener una aplicación potencial, puede requerirse para protección de un producto y esto conlleva a que debe ser insoluble en agua o para ser usada como acarreadora de compuestos incorporados en ella su propiedad debe ser de alta solubilidad. En la Figura 12 se muestran los resultados de solubilidad en agua de películas de almidón de chayotextle adicionadas con microcápsulas.

Para la película control se observaron valores de solubilidad de $36.5 \pm 0.5\%$, y un incremento para las películas con la adición del microencapsulado de 41.3 ± 2.1 , 38.2 ± 1.2 y $46.1 \pm 0.2\%$ para las concentraciones de 2.5, 6.25 y 12.5%, respectivamente, esto a una temperatura de 20 °C. El incremento de la solubilidad en estas películas puede atribuirse a la incorporación de materiales hidrosolubles como el ácido ascórbico. Trabajos reportados como el de Bertuzzi, Armada, y Gottifredi (2007), presentan valores de solubilidad superiores a 30% y menores a 50% para almidón de maíz alto en amilosa, se observan valores similares, con una concentración de glicerol del 50% en peso en base al almidón, ellos también mencionan que la interacción de los materiales afines al agua como los plastificantes presentan un efecto positivo en la solubilidad de la película, esto también lo mencionan Chiumarelli y Hubinger (2014).

Cuando las películas son sometidas a la prueba de solubilidad a 60 °C se observó un incremento en éste parámetro, provocando el incremento en todas las muestras.

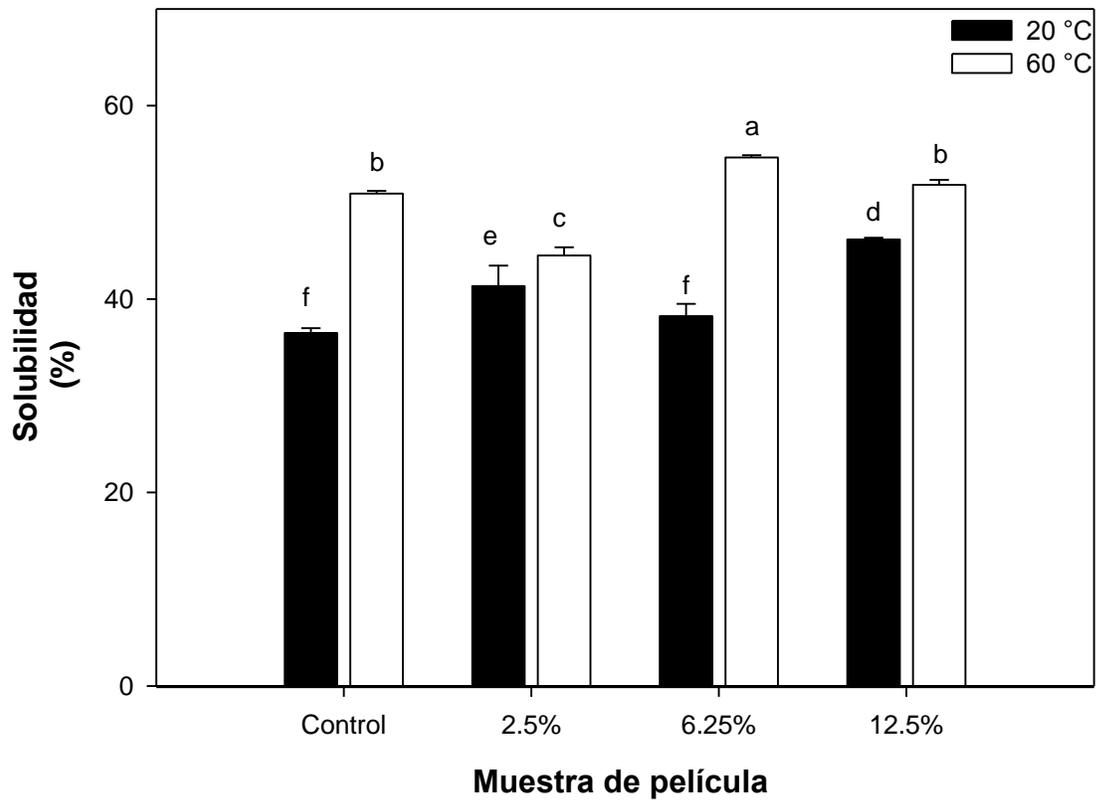


Figura 12. Solubilidad a 20 y 60 °C de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.

Promedio de tres repeticiones, las barras indican la desviación estándar.

7.15 Contenido de almidón resistente en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas

Con la incorporación del encapsulado, además de incluir el compuesto antioxidante, el material pared muestra una composición de interés, el cual es almidón resistente, como se muestra en la Figura 13, la adición del microencapsulado incrementa el contenido de almidón resistente en comparación con la película control, esto puede ser considerado con un doble beneficio, debido a que la película transporta un compuesto como el ácido ascórbico y a su vez el material que ésta contiene es almidón resistente, que será fermentado por las bacterias del colon dando beneficios a la salud del consumidor (Haralampu, 1999).

Bagliotti Meneguín, Stringhetti Ferreira Cury, y Evangelista (2014), reportaron contenido de almidón resistente superior al 65 % para películas en mezcla con pectina y almidón retrogradado, ellos mencionan que la reorganización de las cadenas de amilosa y la formación de cristales es un factor que restringe el acceso de las enzimas, esos resultados apoyan el uso de una película con alto contenido de almidón resistente como vehículo de transporte de fármacos que se requieran liberar en el colon, debido a su alta resistencia al ataque de enzimas pancreáticas.

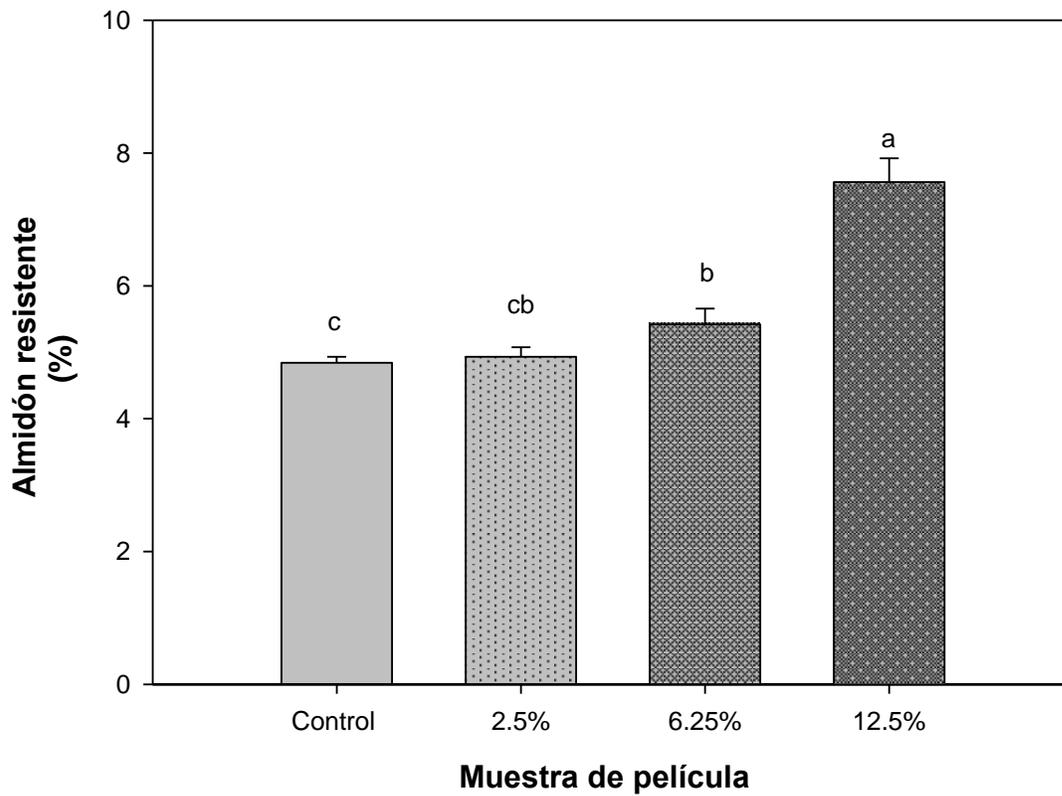


Figura 13. Contenido de almidón resistente en películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas.

Promedio de tres repeticiones, las barras indican la desviación estándar. Los superíndices con la misma letra entre muestras indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$).

A su vez también Dai et al. (2015), encontraron un comportamiento similar, y mencionan que la adición de nanopartículas con una concentración menor al 15% ayuda a reforzar las propiedades mecánicas y de barrera, funcionando como un relleno de la matriz polimérica de la película.

7.16 Patrones de difracción de rayos X de películas comestibles a base de almidón adicionadas con microcápsulas

En la Figura 14 observamos los patrones de difracción de rayos X, se aprecia la reducción del porcentaje de cristalinidad con la adición de un mayor contenido de microcápsulas, lo que corresponde a una mayor presencia de ácido ascórbico. Como lo mencionan Jiugao, Ning, y Xiaofei (2005), durante la formación de la matriz polimérica las interacciones entre las cadenas brindan la característica cristalina la cual al incluir en la película moléculas de carácter hidrófilo como el plastificante o el ácido ascórbico se provoca la reducción de la formación de cristales por el impedimento del contacto cadena-cadena del polímero. Shi et al. (2013b), mencionan que la presencia de compuestos de menor tamaño como las nanopartículas y el plastificante interactúan limitando la cristalización, lo cual se ve reflejado en un menor porcentaje de cristalinidad.

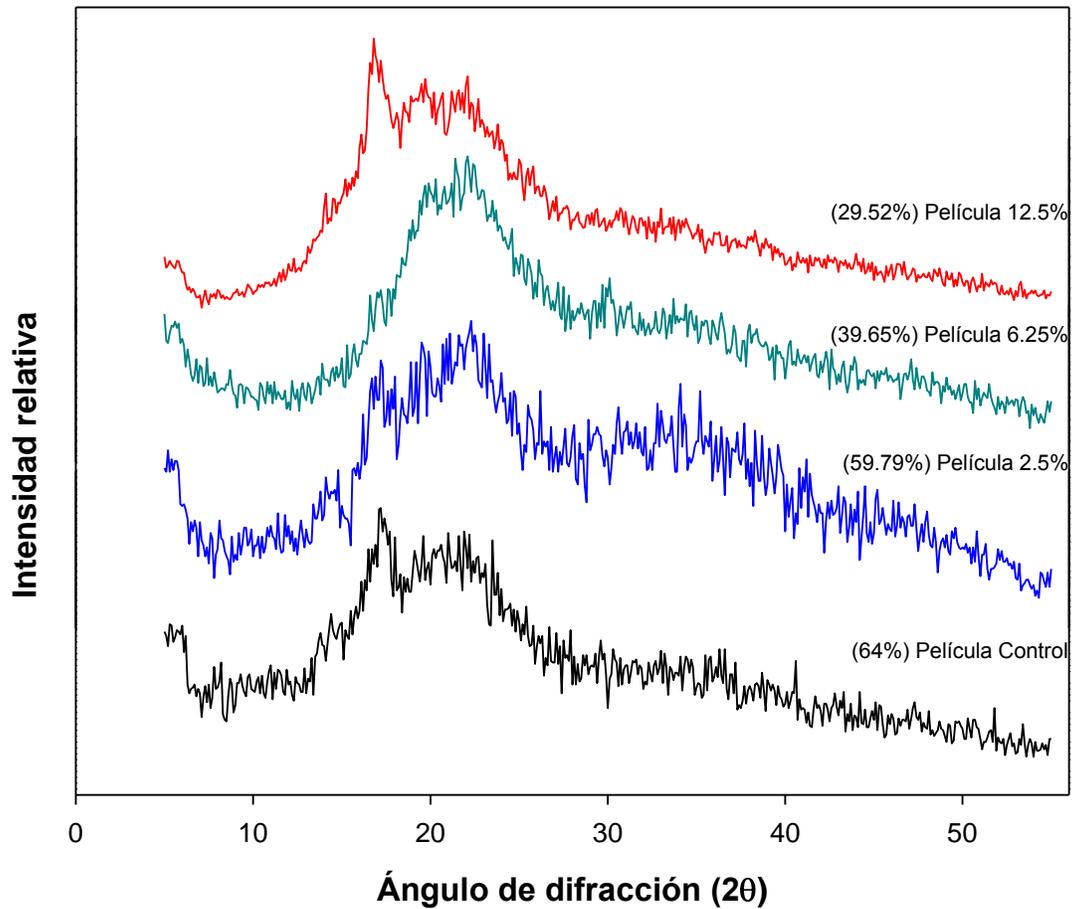


Figura 14. Patrón de difracción de rayos X de películas de almidón adicionadas con microcápsulas.

Porcentaje de cristalinidad entre paréntesis.

7.17 Aplicación del recubrimiento al fruto de guayaba

7.17.1 Velocidad de respiración

La importancia de mantener la calidad de los productos frescos perecederos como son las frutas y a su vez incrementar su vida de anaquel, lleva a los investigadores al desarrollo de métodos que puedan ayudar a cumplir estos objetivos. En este trabajo se muestran los resultados del uso de un recubrimiento de almidón con microcápsulas que contienen ácido ascórbico aplicados a una guayaba como modelo de evaluación.

En la Figura 15 se observa el efecto de los recubrimientos en los frutos evaluados, donde la velocidad de respiración de éstos fue monitoreada durante 12 días, encontrando que los recubrimientos de almidón reducen la velocidad de respiración. Esto puede ser atribuido a la fina capa que se crea sobre el fruto, la cual limita el transporte de gases como es el oxígeno necesario para las funciones del fruto, sin embargo permite que estas funciones sean lentas y ayude a prolongar su vida útil.

Aday y Caner (2010), reportaron en la aplicación de coberturas comestibles sobre cerezas la reducción en los valores de CO₂ esto se atribuye al bloqueo de los poros, que se refleja en la disminución de la velocidad de respiración, sin embargo las características de la película limita el transporte de oxígeno, haciendo lento el proceso fisiológico de respiración, considerando la característica semipermeable de la película que también reduce la pérdida de humedad, viendo el efecto en una menor pérdida de peso.

La reducción en la velocidad de respiración se reporta por Forato et al. (2015), donde este efecto en fruta fresca como también en los frutos cortados de guayaba al ser recubiertos presentan en comparación con el control, menor velocidad de respiración, esto se ve reflejado en la firmeza, la cual se mantiene en mayor grado en comparación con la muestra control.

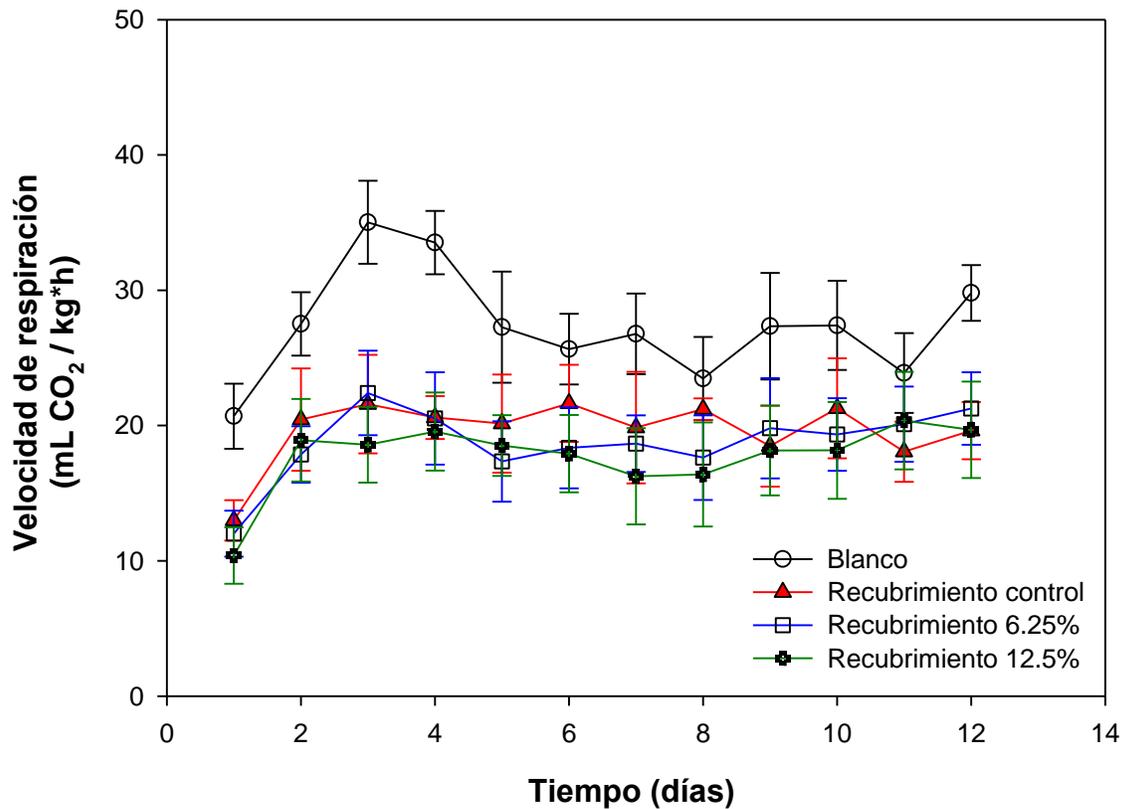


Figura 15. Velocidad de respiración (mL CO₂/kg*h) del fruto de guayaba almacenado a 15 °C, (●) representan al fruto sin recubrimiento, (▲) recubrimiento de solo almidón, (■) recubrimiento con almidón y 6.25% de encapsulado y (+) recubrimiento de almidón con 12.5% de encapsulado.

Promedio de 5 repeticiones por tratamiento, las barras indican la desviación estándar.

Moalemiyan, Ramaswamy, y Maftoonazad (2012), reportaron que la reducción de CO₂ presenta efecto benéfico al mantener un contenido de éste en el interior del fruto afectando la producción de CO₂, si bien no se conoce el mecanismo de acción, se considera que el efecto puede ser debido a la inhibición de varias enzimas involucradas en la actividad mitocondrial y que también el CO₂ es antagonista natural del etileno.

7.17.2 Pérdida de peso

En la Figura 16 se observa el comportamiento de los frutos de guayaba usados en el experimento, almacenados a 15 °C durante 12 días, en los cuales el tratamiento blanco refiere al fruto sin recubrimiento, el tratamiento control es el cual se aplicó el recubrimiento de almidón de chayotextle, el recubrimiento con 6.25% de encapsulado con ácido ascórbico y el recubrimiento con 12.5% de encapsulado con ácido ascórbico. Existe una diferencia entre el tratamiento blanco y los frutos que fueron recubiertos. Para el caso de los recubrimientos se puede notar que la menor pérdida de peso se encuentra para los frutos que presentan el encapsulado de ácido ascórbico, siendo el que contiene 12.5% el que presentó el menor valor al final de la prueba con una pérdida de peso cercana a 4% comparando con el fruto sin recubrimiento el cual es cercano al 7%. Cabe mencionar que la solución filmogénica presenta una menor viscosidad, lo cual puede ser positivo en que el recubrimiento se vuelve una capa delgada homogénea, en comparación con el recubrimiento control, el cual presenta mayor viscosidad y durante el proceso de aplicación del recubrimiento la adherencia al fruto no se presentara homogénea.

Este comportamiento es similar al reportado por Moalemiyan et al. (2012), donde se observa el efecto positivo para la aplicación de un recubrimiento de pectina sobre mango, el cual se almacenó a temperatura ambiente y donde encontraron diferencias estadísticamente significativas en comparación con la fruta testigo, con un monitoreo hasta los 11 días de almacenamiento, mientras que la pérdida de peso a los 6 días para el testigo fue mayor al 6% para el recubrimiento solo fue del 4%.

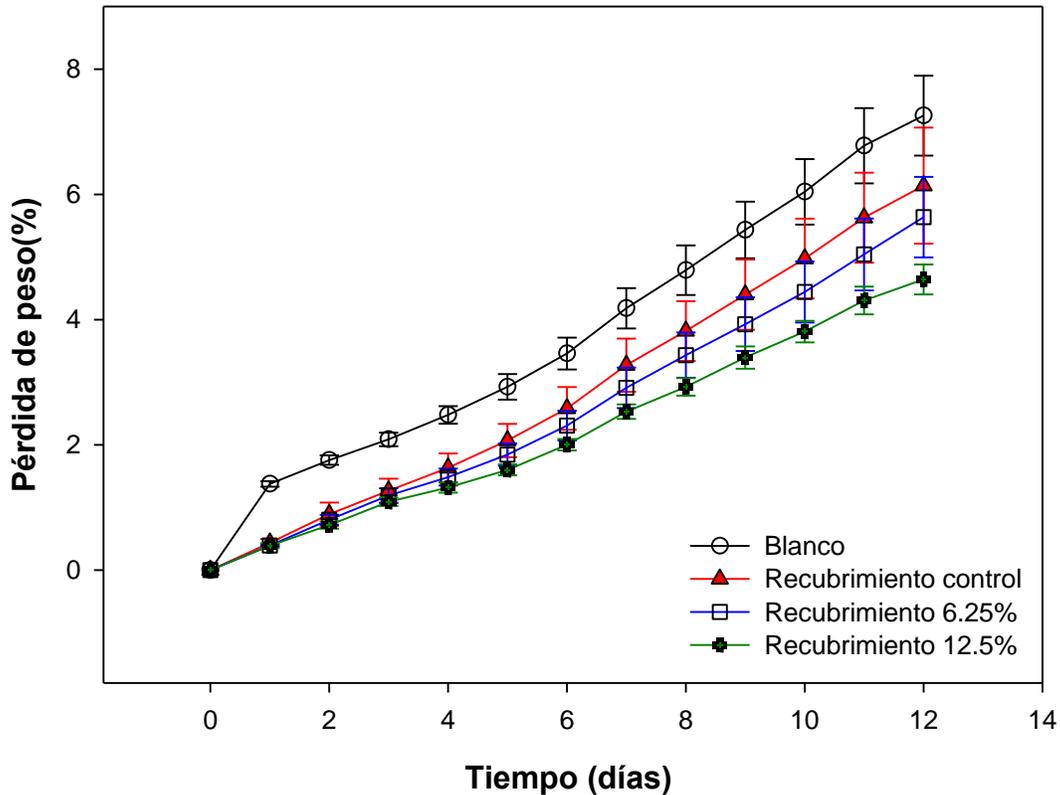


Figura 16. Pérdida de peso (%) del fruto de guayaba almacenado a 15 °C, (●) representan al fruto sin recubrimiento, (▲) recubrimiento de solo almidón, (■) recubrimiento con almidón y 6.25% de encapsulado y (+) recubrimiento de almidón con 12.5% de encapsulado.

Promedio de 5 repeticiones por tratamiento, las barras indican la desviación estándar.

Visualmente no presenta signos de deterioro, estos autores atribuyen que la cobertura crea una barrera que reduce el transporte de humedad del fruto al exterior, dando una reducción en la pérdida de peso.

Mahfoudhi y Hamdi (2015), reportaron que el uso de un recubrimiento de goma arábica sobre frutos dulces de cereza puede mostrar una diferencia estadística en la pérdida de peso, la cual se ve reducida de un 10.7% para las frutas control y valores menores al 5% para aquellas que fueron aplicados los recubrimientos, esto lo atribuyen a que el recubrimiento crea una barrera que reduce la transferencia de moléculas de agua.

Estudios reportados por Forato et al. (2015), en recubrimientos para guayaba muestran que la pérdida de humedad en los primeros cuatro días de la prueba no se observan diferencias entre el control y los recubrimientos, sin embargo en la aplicación de recubrimientos en frutos cortados se observa el efecto que tienen éstos en la reducción de la pérdida de humedad, de un 38.5% para el control y menores a 6.5% para los tratamientos con recubrimiento

7.17.3 Firmeza

Durante la maduración del fruto, la firmeza sufre cambios, los cuales son sensorialmente agradables al consumidor, durante la evaluación en almacenamiento se puede observar la reducción de la firmeza en todos los frutos, sin embargo los recubrimientos mantienen mayor firmeza en comparación con el blanco, en el cual se observa una caída en la firmeza a partir del día 8.

En la Figura 17 se observa el comportamiento de la firmeza conforme avanza el tiempo de almacenamiento. La firmeza de un fruto está relacionada con la pérdida de peso y el estado de maduración. Forato et al. (2015), reportaron que entre los 4 y los 6 días después de la cosecha la guayaba es el punto más alto en la producción de etileno, el cual está relacionado con la maduración, por tanto consideran que después de esos días la firmeza se reduce volviéndose más suave, debido al incremento en la actividad enzimática en los componentes de la pared celular. Un comportamiento similar es el encontrado en esta

trabajo, donde se reduce la firmeza, sin embargo son mayores los valores para las muestras que presentan recubrimientos.

Zambrano-Zaragoza et al. (2013), reportaron la aplicación de una cobertura comestible a guayabas con la finalidad de incrementar su vida de anaquel, la cual consistió en goma xantana y nanopartículas sólidas de lípidos, ellos reportaron cambios en la firmeza después de cinco días a temperatura ambiente, esto lo atribuyen a la deshidratación de la fruta y los cambios fisiológicos de ésta.

Otro ejemplo es lo que ocurre en mangos y fue reportado por Moalemiyan et al. (2012), donde al ser recubiertos con pectina y cera de abeja, estos frutos mantienen la firmeza, la cual se debe principalmente a dos factores, el primero a la reducción en la pérdida de peso del fruto, el cual se ve influenciado debido a la cobertura en la superficie de la fruta restringe el paso de humedad, y el segundo es el retraso en la degradación de los componentes estructurales que aportan la rigidez de la fruta.

Mahfoudhi y Hamdi (2015), reportaron que aplicando un recubrimiento en cereza usando goma arábiga se observa una reducción en velocidad de respiración y se atribuye al bloqueo de los poros, que modifica la atmosfera interna del fruto reduciendo la velocidad de maduración menor.

7.17.4 Sólidos solubles totales (° Brix), acidez titulable y pH.

En los frutos que se pretenden conservar las características sensoriales como es el caso de la guayaba, no es deseable el cambio sensorial en comparación con un producto convencional, una forma de corroborar esto es por medio de pruebas como el contenido de sólidos solubles totales expresados en grados Brix (°Brix). Como se observa en el Cuadro 11, de acuerdo a la evolución del fruto durante el almacenamiento no se observaron diferencias en el contenido de sólidos solubles totales en comparación con el blanco, el cual es la guayaba sin recubrimiento.

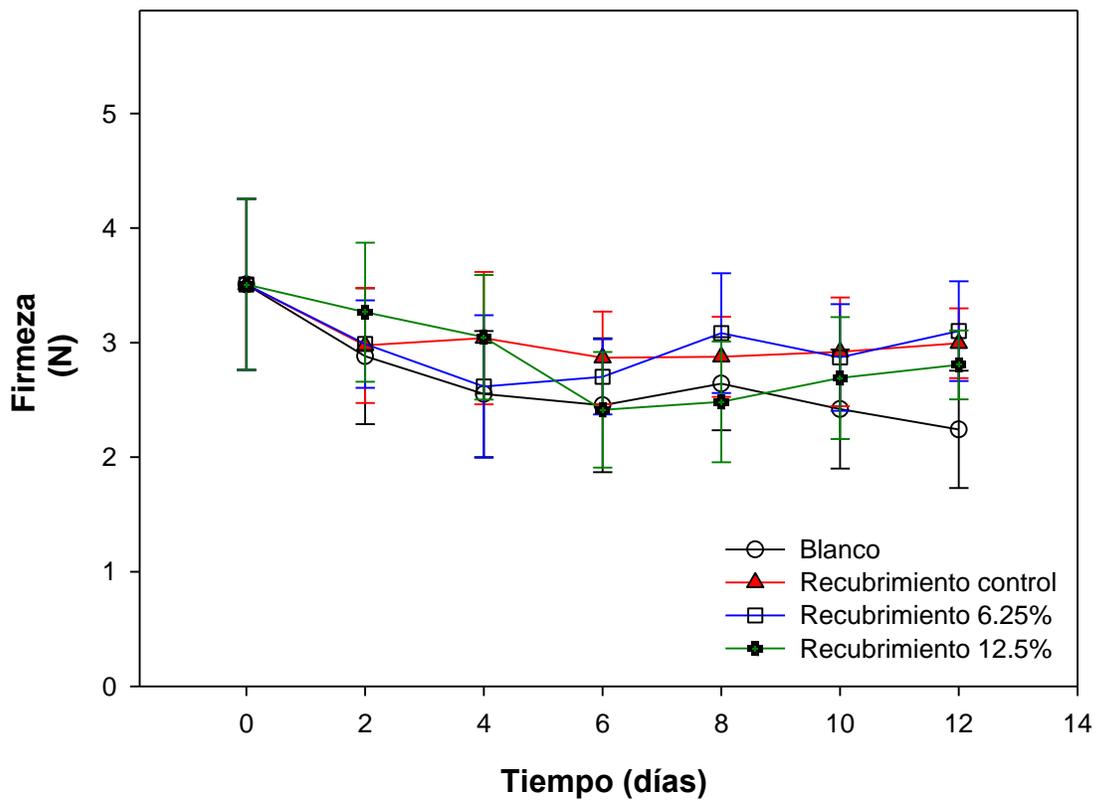


Figura 17. Firmeza (N) del fruto de guayaba almacenado a 15 °C, (●) representan al fruto sin recubrimiento, (▲) recubrimiento de solo almidón, (■) recubrimiento con almidón y 6.25% de encapsulado y (+) recubrimiento de almidón con 12.5% de encapsulado.

Promedio de 12 repeticiones, las barras indican la desviación estándar.

Con esta prueba se puede inferir que no existe un cambio significativo en los atributos sensoriales. Del mismo modo ocurre para el caso de pH y acidez titulable, (Cuadro 12 y 13) donde en comparación con el control no se presenta una diferencia, se aprecia para el control un incremento en el pH y una reducción en la acidez titulable, esto nos indica que el proceso de maduración continua sin embargo para el caso de los recubrimientos aunque la tendencia es similar, los valores son menores, lo que nos puede indicar que el proceso de maduración se está llevando a cabo de una forma lenta en comparación con la muestra testigo.

Mahfoudhi y Hamdi (2015), reportaron el efecto de la cobertura comestible sobre cerezas en el contenido de sólidos solubles, donde observaron valores menores en los frutos con cobertura, y ellos atribuyen que el efecto es debido a que la permeabilidad de la cobertura reduce la velocidad de respiración, lo cual afecta los procesos metabólicos del fruto, viéndose reflejado en la reducción de la producción de azúcares.

La reducción en los valores de acidez titulable comparando el control y los frutos con recubrimiento se observa a los 12 días de almacenamiento, este comportamiento puede ser atribuido a que durante la maduración el sustrato primario son los ácidos orgánicos, por lo cual al retardar la maduración se preservan en mayor proporción que en la muestra control (Mahfoudhi y Hamdi, 2015; Moalemiyan et al., 2012)

Cuadro 11. Sólidos solubles totales (°Brix) de los diferentes tratamientos del fruto de guayaba recubierto y almacenado a 15 °C.

Día	Blanco	Control	6.25%	12.5%
0	10.3±0.4	10.3±0.4	10.1±0.5	10.0±0.5
2	10.9±0.12	10.8±0.4	10.6±0.3	10.9±0.3
4	11.2±0.4	11.1±0.6	11.5±0.8	11.3±0.8
6	11.0±0.7	10.6±0.3	10.7±0.7	11.1±0.8
8	11.2±0.7	11.3±0.8	11.0±0.7	11.4±1.0
10	10.9±1.0	11.0±1.0	11.4±0.6	11.0±0.8
12	11.4±0.9	11.2±0.5	11.2±0.6	11.2±0.4

Promedio de tres repeticiones ± error estándar.

Los tratamientos son fruto sin recubrimiento (Blanco), recubrimiento de solo almidón (control), recubrimiento con almidón y 6.25% de encapsulado (6.25%) y recubrimiento de almidón con 12.5% de encapsulado (12.5%)

Cuadro 12. Acidez titulable (meq totales/100 g muestra) de los diferentes tratamientos del fruto de guayaba recubierto y almacenado a 15 °C

Día	Blanco	Control	6.25%	12.5%
0	0.075±2.1e-3	0.070±1.0e-3	0.068±6.6e-4	0.076±1.8e-3
2	0.074±2.0e-3	0.070±1.0e-3	0.068±6.6e-4	0.076±1.8e-3
4	0.069±4.0e-4	0.075±1.0e-3	0.060±8.2e-5	0.067±1.0e-3
6	0.069±1.3e-3	0.078±1.0e-3	0.068±6.6e-4	0.072±3.8e-4
8	0.070±3.2e-3	0.070±1.6e-4	0.072±3.5e-4	0.075±1.0e-4
10	0.073±3.0e-4	0.070±4.7e-4	0.080±1.3e-3	0.074±8.6e-4
12	0.071±7.2e-4	0.074±2.2e-4	0.076±3.2e-4	0.078±3.6e-4

Promedio de tres repeticiones ± error estándar.

Los tratamientos son fruto sin recubrimiento (Blanco), recubrimiento de solo almidón (control), recubrimiento con almidón y 6.25% de encapsulado (6.25%) y recubrimiento de almidón con 12.5% de encapsulado (12.5%)

Cuadro 13. pH de los diferentes tratamientos del fruto de guayaba recubierto y almacenado a 15 °C

Día	Blanco	Control	6.25%	12.5%
0	3.77±0.07	3.77±0.07	3.77±0.07	3.77±0.07
2	3.83±0.01	3.83±0.02	3.77±0.02	3.74±0.03
4	3.85±0.01	3.74±0.04	3.81±0.09	3.79±0.03
6	3.72±0.02	3.75±0.01	3.72±0.01	3.73±0.02
8	3.85±0.01	3.86±0.02	3.79±0.01	3.80±0.01
10	3.76±0.08	3.80±0.04	3.74±0.03	3.78±0.01
12	3.79±0.02	3.82±0.04	3.78±0.04	3.75±0.05

Promedio de tres repeticiones ± error estándar.

Los tratamientos son fruto sin recubrimiento (Blanco), recubrimiento de solo almidón (control), recubrimiento con almidón y 6.25% de encapsulado (6.25%) y recubrimiento de almidón con 12.5% de encapsulado (12.5%).

7.17.5 Color (*L, h, C*)

En la Figura 18 se muestran las fotografías del fruto de guayaba durante el tiempo de la prueba donde se observa la evolución del color en los diferentes tratamientos. El cambio en el color nos indica la maduración del fruto donde la clorofila se degrada y quedan expuestos los carotenoides que son los responsables de la coloración amarilla. La intensidad del color amarillo está fuertemente relacionada con la variedad de guayaba (Forato et al., 2015).

En la Figura 19 se observa el cambio en forma gráfica para las pruebas de color, donde en la imagen superior se presentan los resultados obtenidos para luminosidad (*L*), como se aprecia en el día 6 la muestra control presenta un valor para *L* de (80 ± 2) el cual es superior a sus comparativos con recubrimiento los cuales se encuentran cercanos a (76 ± 2) , al final de la prueba nos encontramos valores para *L* de la muestra control (83 ± 2) y los frutos con recubrimiento (78 ± 2) , lo cual indica que para la muestra control presenta una coloración de mayor claridad, en comparación con los tratamientos aplicando recubrimiento.

Se observa un cambio importante en los valores de $^{\circ}$ hue donde se observa una reducción mayor de éste para el recubrimiento control y el blanco en comparación con los recubrimientos que contienen en su composición el encapsulado de ácido ascórbico los cuales se mantienen a los 6 y 12 días e, valores cercanos a (100 ± 2) mientras que el blanco y el control disminuyen hasta ser menores a (95).

Para el caso de croma (*C*) se observa un incremento en todos los valores, entre los cuales no se encuentra una diferencia con valores para los 6 y 12 días cercanos a (42 ± 2) .

Singh y Pal (2008a), reportaron que el cambio en la coloración de la piel en la guayaba se afecta por las condiciones de almacenamiento y que un cambio completo de una coloración verde a verde-amarillo puede observarse a los 11 días a una temperatura entre 12 y 15°C y una forma de reducir la velocidad de maduración es disminuir la temperatura a 8°C o el uso de atmosferas controladas que presenten un bajo contenido de O_2

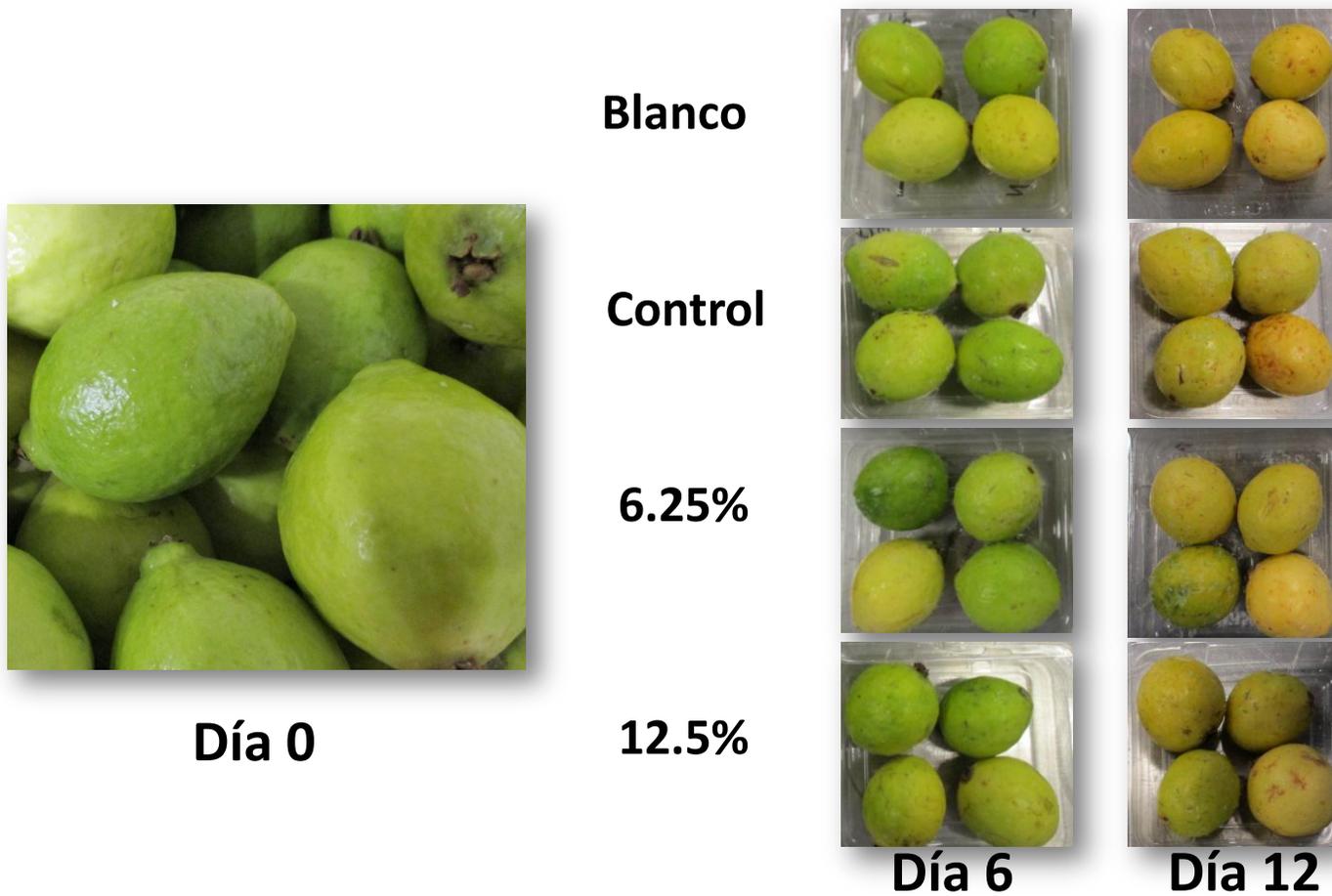


Figura 18. Evolución del color en los diferentes tratamientos para la aplicación del recubrimiento en el fruto de guayaba en el día 0, 6 y 12, a 15°C.

de Aquino, Blank, y de Aquino Santana (2015), evaluaron el efecto del recubrimiento de quitosano y almidón de cassava en guayaba a temperatura ambiente durante 10 días, reportando una reducción en la luminosidad debida a la rápida maduración y oscurecimiento del fruto para la muestra control, sin embargo para los recubrimientos se observan valores más altos de luminosidad (L) observan el efecto positivo de la incorporación de un compuesto antioxidante como el aceite esencial, que en los frutos con recubrimiento presentaron una mayor luminosidad y menor oscurecimiento.

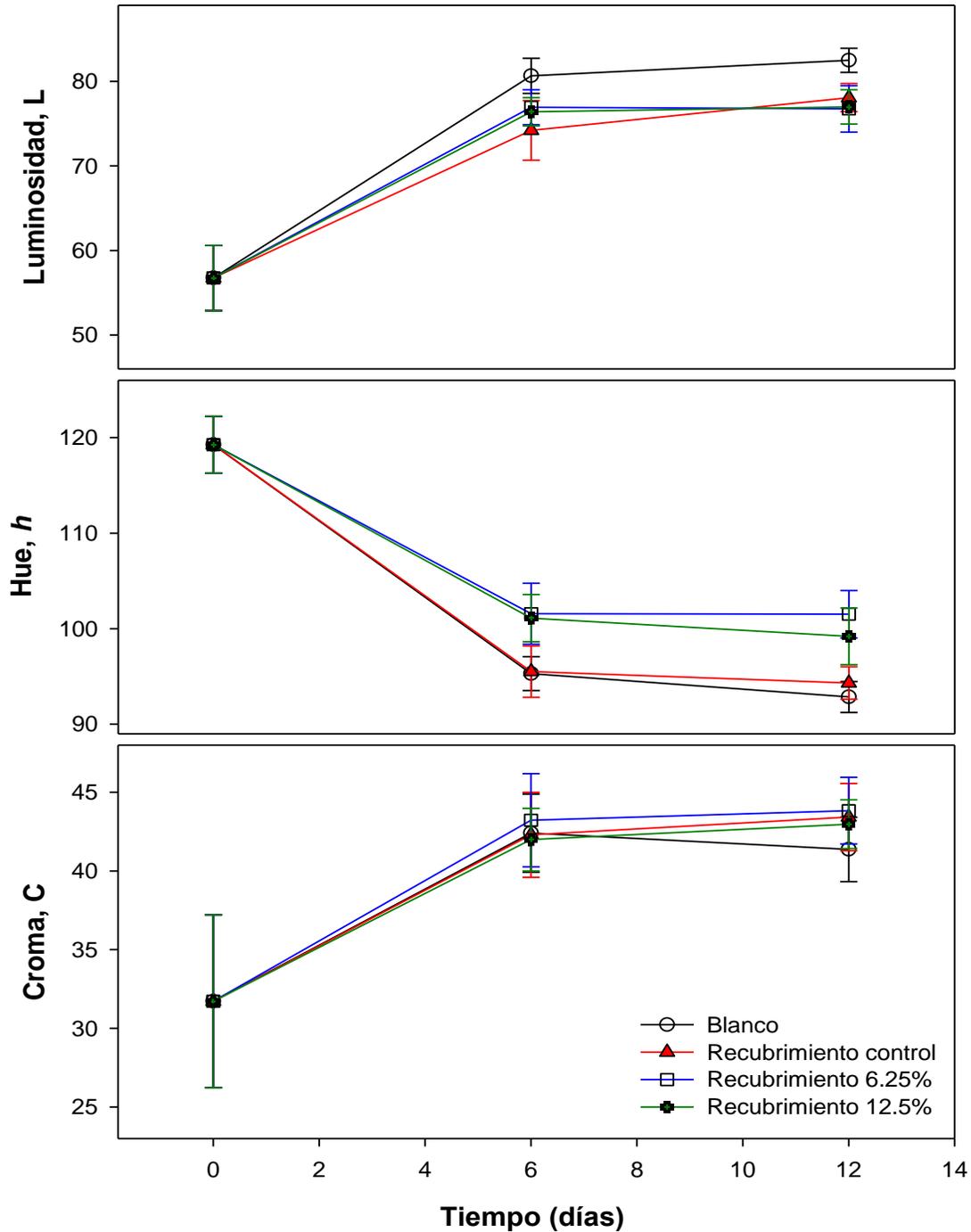


Figura 19. Luminosidad (L), ángulo de tono (h) y croma (C) en fruto de guayaba almacenado a 15 °C, (●) representan al fruto sin recubrimiento, (▲) recubrimiento de solo almidón, (■) recubrimiento con almidón y 6.25% de encapsulado y (+) recubrimiento de almidón con 12.5% de encapsulado.

Promedio de 12 repeticiones por tratamiento, las barras indican la desviación estándar.

8 CONCLUSIONES

- La hidrólisis ácida del almidón de chayotextle seguida por tres ciclos de calentamiento y enfriamiento pueden incrementar el contenido de almidón resistente de la muestra.
- La modificación del almidón nativo de chayotextle aporta características como baja viscosidad y alta solubilidad lo cual es de interés para ser utilizado como un material de pared en el secado por aspersion para la encapsulación de ácido ascórbico debido a que mostro una eficiencia de encapsulación de 83%.
- La incorporación del microencapsulado a las películas de almidón de chayotextle mejora las propiedades mecánicas, incrementando el esfuerzo a la tensión y el módulo de Young, las microcápsulas probablemente interactúan con la matriz polimérica logrando un reforzamiento lo cual se ve reflejado en su resistencia.
- Debido a la naturaleza del material pared del encapsulado el cual es almidón, las propiedades térmicas de las películas no se ven afectada, todas las películas presentaron una temperatura de fusión de 103.5 ± 0.5 sin diferencia estadísticamente significativa.
- La permeabilidad al vapor de agua se ve reducida con la adición de microcápsulas que contienen ácido ascórbico, volviendo las películas menos permeables.
- La aplicación del recubrimiento conteniendo encapsulado de ácido ascórbico reduce la velocidad de respiración de la guayaba, lo cual se ve reflejado en una menor pérdida de peso, sin embargo se conservan características parecidas al fruto control ejemplo en la cantidad de sólidos solubles expresados en °Brix, conservando una firmeza mayor que el fruto control.

9 REFERENCIAS

- Aday, M. S., & Caner, C. (2010). Understanding the effects of various edible coatings on the storability of fresh cherry. *Packaging Technology and Science*, 23(8), 441-456.
- Ahuja, Geetika, Jaiswal, Sarita, & Chibbar, Ravindra N. (2013). Starch Biosynthesis in Relation to Resistant Starch. *Resistant Starch* (pp. 1-22): John Wiley and Sons Ltd.
- Aila-Suarez, S., Palma-Rodriguez, H. M., Rodriguez-Hernandez, A. I., Hernandez-Uribe, J. P., Bello-Perez, L. A., & Vargas-Torres, A. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 102-107.
- Alvim, Izabela Dutra, Stein, Mirella Abreu, Koury, Isabela Paes, Dantas, Fiorella Balardin Hellmeister, & Cruz, Carla Léa de Camargo Vianna. (2016). Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 689-694.
- And, Z. Liu, & Han, J. H. (2005). Film-forming Characteristics of Starches. *Journal of Food Science*, 70(1), E31-E36.
- ANIPAC. (2015). La producción anual de plásticos. 29-04-2015, Recuperado de <http://www.anipac.com/medios.php>
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemists (15 th ed.). Washington, DC., USA.
- Aparicio-Saguilán, Alejandro, Gutiérrez-Meraz, Felipe, García-Suárez, Francisco J., Tovar, Juscelino, & Bello-Pérez, Luis A. (2008). Physicochemical and Functional Properties of Cross-linked Banana Resistant Starch. Effect of Pressure Cooking. *Starch - Stärke*, 60(6), 286-291.
- Ashogbon, Adeleke Omodunbi, & Akintayo, Emmanuel Temitope. (2014). Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. *Starch - Stärke*, 66(1-2), 41-57.
- Ashwar, Bilal Ahmad, Gani, Adil, Shah, Asima, Wani, Idrees Ahmed, & Masoodi, Farooq Ahmad. (2015). Preparation, health benefits and applications of resistant starch—a review. *Starch - Stärke*, 67, 1–15.
- Ashwar, Bilal Ahmad, Gani, Adil, Wani, Idrees Ahmed, Shah, Asima, Masoodi, Farooq Ahmad, & Saxena, Dharmesh Chandra. (2016). Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. *Food Hydrocolloids*, 56, 108-117.
- Ashwar, Bilal Ahmad, Shah, Asima, Gani, Adil, Shah, Umar, Gani, Asir, Wani, Idrees Ahmed, Masoodi, Farooq Ahmad. (2015). Rice starch active packaging films loaded with antioxidants—development and characterization. *Starch - Stärke*, 67(3-4), 294-302.

- ASTM. (1995). Designation D 882-95a: standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. In Annual book of ASTM standards. In A. S. f. T. a. Materials (Ed.). Philadelphia.
- ASTM. (1995). Designation E96-95. Standard method for water vapor transmission of materials.. In Annual book of ASTM standards. In A. S. f. T. a. Materials (Ed.). Philadelphia.
- Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2008). Encapsulation of Bioactives. en J. Aguilera & P. Lillford (Eds.), *Food Materials Science* (pp. 577-601): Springer New York.
- Babu, A. Surendra, Parimalavalli, R., Jagannadham, K., & Rao, J. Sudhakara. (2014). Chemical and structural properties of sweet potato starch treated with organic and inorganic acid. *Journal of Food Science and Technology*.
- Bagliotti Meneguín, Andréia, Stringhetti Ferreira Cury, Beatriz, & Evangelista, Raul Cesar. (2014). Films from resistant starch-pectin dispersions intended for colonic drug delivery. *Carbohydrate Polymers*, 99, 140-149.
- BeMiller, James N. (2011). Pasting, paste, and gel properties of starch–hydrocolloid combinations. *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 386-423.
- BeMiller, James N., & Huber, Kerry C. (2011). Starch *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*: (pp. 113-139). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Berski, W., Ptaszek, A., Ptaszek, P., Ziobro, R., Kowalski, G., Grzesik, M., & Achremowicz, B. (2011). Pasting and rheological properties of oat starch and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 665-671.
- Bertuzzi, M. A., Armada, M., & Gottifredi, J. C. (2007). Physicochemical characterization of starch based films. *Journal of Food Engineering*, 82(1), 17-25.
- Bodîrlău, Ruxanda, Teacă, Carmen-Alice, Spiridon, Iuliana, & Tudorachi, Niță. (2011). Effects of chemical modification on the structure and mechanical properties of starch-based biofilms. *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*, 143(2), 335-343.
- Bonilla, J., Talón, E., Atarés, L., Vargas, M., & Chiralt, A. (2013). Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch–chitosan films. *Journal of Food Engineering*, 118(3), 271-278.
- Carvalho, Antonio J. F. (2013). 7 - Starch: Major Sources, Properties and Applications as Thermoplastic Materials. En S. Ebnesajjad (Ed.), *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics* (pp. 129-152). Amsterdam: Elsevier.
- Copeland, Les, Blazek, Jaroslav, Salman, Hayfa, & Tang, Mary Chiming. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527-1534.
- Chiumarelli, Marcela, & Hubinger, Miriam D. (2014). Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocolloids*, 38, 20-27.
- Dai, L., Qiu, C., Xiong, L., & Sun, Q. (2015). Characterisation of corn starch-based films reinforced with taro starch nanoparticles. *Food Chemistry*, 174, 82-88.

- de Aquino, Alana Bezerra, Blank, Arie Fitzgerald, & de Aquino Santana, Luciana Cristina Lins. (2015). Impact of edible chitosan–cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperature. *Food Chemistry*, 171, 108-116.
- Dürüst, Nedime, Sümengen, Doğan, & Dürüst, Yaşar. (1997). Ascorbic Acid and Element Contents of Foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2085-2087.
- Ellis, Roger P., Cochrane, M. Patricia, Dale, M. Finlay B., Duffus, Carol M., Lynn, Andrew, Morrison, Ian M., Tiller, Sarah A. (1998). Starch production and industrial use. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(3), 289-311.
- Falguera, Víctor, Quintero, Juan Pablo, Jiménez, Alberto, Muñoz, José Aldemar, & Ibarz, Albert. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292-303.
- Fereydoon, Maryam, & Ebnesajjad, Sina. (2013). Development of High-Barrier Film for Food Packaging *Plastic Films in Food Packaging* (pp. 71-92). Elsevier.
- Flores-Gorosquera, Emigdia , García-Suárez, Francisco J, Flores-Huicochea, Emmanuel , Núñez-Santiago, María C., González-Soto, Rosalía A, & Bello-Pérez, Luis A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de platano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55, 86-90.
- Forato, Lucimara A., de Britto, Douglas, de Rizzo, Jackeline S., Gastaldi, Taís A., & Assis, Odilio B. G. (2015). Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. *Food Packaging and Shelf Life*, 5, 68-74.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931-942.
- Garcia, Lorena Costa, Pereira, Leila Mendes, de Luca Sarantópoulos, Claire I. G., & Hubinger, Miriam Dupas. (2012). Effect of Antimicrobial Starch Edible Coating on Shelf-Life of Fresh Strawberries. *Packaging Technology and Science*, 25(7), 413-425.
- Han, Jung H. (2014). Chapter 9 - Edible Films and Coatings. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging (Second Edition)* (pp. 213-255). San Diego: Academic Press.
- Haralampu, S.G. . (1999). Resistant starch—a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydrate Polymers* 41 285-292.
- Hernández-Jaimes, C., Bello-Pérez, L. A., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramirez, J. (2013). Plantain starch granules morphology, crystallinity, structure transition, and size evolution upon acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 207-213.

- Hernandez-Uribe, Juan P., Agama-Acevedo, Edith, Gonzalez-Soto, Rosalia A., Bello-Pérez, Luis A., & Vargas-Torres, Apolonio. (2011). Isolation and characterization of Mexican chayote tuber (*Sechium edule* Sw.) starch. *Starch - Stärke*, 63(1), 32-41.
- Hong, Keqian, Xie, Jianghui, Zhang, Lubin, Sun, Dequan, & Gong, Deqiang. (2012). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 144, 172-178.
- Hoover, R. (2000). Acid-treated starches. *Food Reviews International*, 16(3), 369-392. doi: 10.1081/FRI-100100292
- Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2001). Determination of Total Amylose Content of Starch *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*: John Wiley & Sons, Inc.
- Huang, Jun, Zhao, Lingxiao, Man, Jianmin, Wang, Juan, Zhou, Weidong, Huai, Huyin, & Wei, Cunxu. (2015). Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 78, 165-172.
- Huang, Ting-Ting, Zhou, Da-Nian, Jin, Zheng-Yu, Xu, Xue-Ming, & Chen, Han-Qing. (2016). Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*, 54, Part A, 202-210.
- Janaswamy, Srinivas. (2014). Encapsulation altered starch digestion: Toward developing starch-based delivery systems. *Carbohydrate Polymers*, 101, 600-605.
- Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J. A., & Ramos-Ramírez, E. G. (2007). Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68(4), 679-686.
- Jiménez, Alberto, Fabra, María José, Talens, Pau, & Chiralt, Amparo. (2012). Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2058-2076.
- Jiugao, Yu, Ning, Wang, & Xiaofei, Ma. (2005). The Effects of Citric Acid on the Properties of Thermoplastic Starch Plasticized by Glycerol. *Starch - Stärke*, 57(10), 494-504.
- Jobling, S. (2004). Improving starch for food and industrial applications. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(2), 210-218.
- Joly, Ghislaine, & Anderstein, Björn. (2009). *Starches Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality and Applications* (pp. 25-55): Springer Science + Business Media.
- Kainuma, Keiji, & French, Dexter. (1971). Nägeli amylopectin and its relationship to starch granule structure. I. Preparation and properties of amylopectins from various starch types. *Biopolymers*, 10(9), 1673-1680.
- Kerch, Garry. (2015). Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 46(2, Part A), 159-166.

- Lago-Vanzela, E. S., do Nascimento, P., Fontes, E. A. F., Mauro, M. A., & Kimura, M. (2013). Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 420-425.
- Lalpuria, M., Anantheswaran, R., & Floros, J. (2012). Packaging technologies and their role in food safety. *Microbial decontamination in the food industry: novel methods and applications* (pp. 701-745) Woodhead Publishing Limited.
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y., & Choi, W. Y. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT - Food Science and Technology*, 36(3), 323-329.
- Lim, T. K. (2012). *Sechium edule. Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 2, Fruits* (pp. 384-391). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Loksuwan, Jarunee. (2007). Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 21(5-6), 928-935.
- Mahfoudhi, Nesrine, & Hamdi, Salem. (2015). Use of Almond Gum and Gum Arabic as Novel Edible Coating to Delay Postharvest Ripening and to Maintain Sweet Cherry (*Prunus avium*) Quality during Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1499-1508.
- Majzoobi, Mahsa, Radi, Mohsen, Farahnaky, Asgar, & Tongdang, Tawee. (2012). Effects of L-Ascorbic Acid on Physicochemical Characteristics of Wheat Starch. *Journal of Food Science*, 77(3), C314-C318.
- McHugh, T. H., & Senesi, E. (2000). Apple Wraps: A Novel Method to Improve the Quality and Extend the Shelf Life of Fresh-cut Apples. *Journal of Food Science*, 65(3), 480-485.
- Meiron, T. S., & Saguy, I. S. (2007). Wetting properties of food packaging. *Food Research International*, 40(5), 653-659.
- Mellinas, Cristina, Valdés, Arantzazu, Ramos, Marina, Burgos, Nuria, Garrigós, María del Carmen, & Jiménez, Alfonso. (2016). Active edible films: Current state and future trends. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2), 490-502.
- Moalemiyan, Mitra, Ramaswamy, Hosahalli S., & Maftoonazad, Neda. (2012). Pectin-based edible coating for shelf-life extension of ataulfo mango. *Journal of Food Process Engineering*, 35(4), 572-600.
- Moore, S. A., Ai, Y., Chang, F., & Jane, J. L. (2015). Effects of alpha-amylase reaction mechanisms on analysis of resistant-starch contents. *Carbohydrate Polymers*, 115, 465-471.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., & Glazer, J. (2012). Rheological properties of gelatinized chestnut starch dispersions: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 112(1-2), 94-99.
- Nazzaro, Filomena, Orlando, Pierangelo, Fratianni, Florinda, & Coppola, Raffaele. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 182-186.

- Nesterenko, A., Alric, I., Silvestre, F., & Durrieu, V. (2014). Comparative study of encapsulation of vitamins with native and modified soy protein. *Food Hydrocolloids*, 38, 172-179.
- Núñez-Santiago, M. C., Bello-Pérez, L. A., & Tecante, A. (2004). Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 56(1), 65-75.
- Onwulata, Charles I. (2013). Microencapsulation and functional bioactive foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 510-532.
- Palma-Rodriguez, Heidi M., Agama-Acevedo, Edith, Gonzalez-Soto, Rosalia A., Vernon-Carter, E. Jaime, Alvarez-Ramirez, Jose, & Bello-Perez, Luis A. (2013). Ascorbic acid microencapsulation by spray-drying in native and acid-modified starches from different botanical sources. *Starch - Stärke*, 65(7-8), 584-592.
- Palma-Rodriguez, Heidi M., Agama-Acevedo, Edith, Mendez-Montealvo, Guadalupe, Gonzalez-Soto, Rosalia A., Vernon-Carter, E. Jaime, & Bello-Pérez, Luis A. (2012). Effect of acid treatment on the physicochemical and structural characteristics of starches from different botanical sources. *Starch - Stärke*, 64(2), 115-125.
- Paredes-López, O., Bello-Pérez, L. A., & López, M. G. (1994). Amylopectin: Structural, gelatinisation and retrogradation studies. *Food Chemistry*, 50(4), 411-417.
- Pérez-Gago, Maria Berna, & Rhim, Jong-Whan. (2014). Chapter 13 - Edible Coating and Film Materials: Lipid Bilayers and Lipid Emulsions *Innovations in Food Packaging (Second Edition)* (pp. 325-350). San Diego: Academic Press.
- PlasticsEurope. (2013). En 2012 la industria plástica también se vio afectada por la recesión. 28-04-2015, Recuperado de <http://www.plasticseurope.es>
- Qiu, L., Hu, F., & Peng, Y. (2013). Structural and mechanical characteristics of film using modified corn starch by the same two chemical processes used in different sequences. *Carbohydrate Polymers*, 91(2), 590-596.
- Quiros-Sauceda, A. E., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2014). Edible coatings as encapsulating matrices for bioactive compounds: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1674-1685.
- Rahmat, Abdul Razak, Rahman, Wan Aizan Wan Abdul, Sin, Lee Tin, & Yussuf, A. A. (2009). Approaches to improve compatibility of starch filled polymer system: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 29(8), 2370-2377.
- Raigond, Pinky, Ezekiel, Rajarathnam, & Raigond, Baswaraj. (2015). Resistant starch in food: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 1968-1978.
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M. (2013). Fresh fruits and vegetables—An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 1-15.
- Realini, Carolina E., & Marcos, Begonya. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98(3), 404-419.

- Rezler, Ryszard, & Poliszko, Stefan. (2010). Temperature dependence of starch gel rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), 570-577.
- Rojas-Graü, M. A., Salvia-Trujillo, Laura, Soliva-Fortuny, Robert, & Martín-Belloso, Olga. (2012). Edible Films and Coatings *Decontamination of Fresh and Minimally Processed Produce* (pp. 247-275): Wiley-Blackwell.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, Robert, & Martín-Belloso, Olga. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 438-447.
- Romero-Bastida, Claudia A., Bello-Pérez, Luis A., García, María A., Martino, Miriam N., Solorza-Feria, Javier, & Zaritzky, Noemí E. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, 60(2), 235-244.
- SAGARPA. (2014). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. 16/05/2016, Recuperado de <http://www.siap.gob.mx>
- Sahoo, Nihar R., Panda, Manoj K., Bal, Lalit M., Pal, Uma S., & Sahoo, Dipika. (2015). Comparative study of MAP and shrink wrap packaging techniques for shelf life extension of fresh guava. *Scientia Horticulturae*, 182, 1-7.
- Salgado, Pablo R., Ortiz, Cristian M., Musso, Yanina S., Di Giorgio, Luciana, & Mauri, Adriana N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5, 86-92.
- Sánchez-González, Laura, Arab-Tehrany, Elmira, Cháfer, Maite, González-Martínez, Chelo, & Chiralt, Amparo. (2014). Active Edible and Biodegradable Starch Films. En K. G. Ramawat & J.-M. Mérillon (Eds.), *Polysaccharides* (pp. 1-15): Springer International Publishing.
- Sartori, Tanara, Consoli, Larissa, Hubinger, Miriam Dupas, & Menegalli, Florencia Cecilia. (2015). Ascorbic acid microencapsulation by spray chilling: Production and characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 353-360.
- Shi, A. M., Wang, L. J., Li, D., & Adhikari, B. (2013a). Characterization of starch films containing starch nanoparticles. Part 2: viscoelasticity and creep properties. *Carbohydrate Polymers*, 96(2), 602-610.
- Shi, A. M., Wang, L. J., Li, D., & Adhikari, B. (2013b). Characterization of starch films containing starch nanoparticles: part 1: physical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 96(2), 593-601.
- Silva-Weiss, A., Ihl, M., Sobral, P. J. A., Gómez-Guillén, M. C., & Bifani, V. (2013). Natural Additives in Bioactive Edible Films and Coatings: Functionality and Applications in Foods. *Food Engineering Reviews*, 5(4), 200-216.
- Singh, G. D., Bawa, Amrinder S., Riar, Charanjit S., & Saxena, Dharmesh C. (2009). Influence of Heat-Moisture Treatment and Acid Modifications on Physicochemical, Rheological, Thermal and Morphological Characteristics of Indian Water Chestnut

- (*Trapa natans*) Starch and its Application in Biodegradable Films. *Starch - Stärke*, 61(9), 503-513.
- Singh, Narpinder, Singh, Jaspreet, Kaur, Lovedeep, Singh Sodhi, Navdeep, & Singh Gill, Balmeet. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219-231.
- Singh, S. P., & Pal, R. K. (2008a). Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 296-306.
- Singh, S. P., & Pal, R. K. (2008b). Response of climacteric-type guava (*Psidium guajava* L.) to postharvest treatment with 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 307-314.
- Singh, Sukhcharn, Raina, C. S., Bawa, A. S., & Saxena, Dharmesh C. (2005). Effect of Heat-Moisture Treatment and Acid Modification on Rheological, Textural, and Differential Scanning Calorimetry Characteristics of Sweetpotato Starch. *Journal of Food Science*, 70(6), 373-378.
- Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2014). Water barrier properties of starch films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from sugarcane bagasse. *Carbohydrate Polymers*, 110, 53-61.
- Tovar, Beatriz, García, Hugo S., & Mata, Miguel. (2001). Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Research International*, 34(2-3), 207-215.
- Uddin, M. S., Hawlader, M. N., & Zhu, H. J. (2001). Microencapsulation of ascorbic acid: effect of process variables on product characteristics. *Journal of Microencapsulation*, 18(2), 199-209.
- Ulbrich, Marco, Beresnewa-Seekamp, Tatjana, Walther, Wendy, & Flöter, Eckhard. (2015). Acid-thinned corn starch—impact of modification parameters on molecular characteristics and functional properties. *Starch - Stärke*, 490-502.
- Utrilla-Coello, R. G., Hernandez-Jaimes, C., Carrillo-Navas, H., Gonzalez, F., Rodriguez, E., Bello-Perez, L. A., Alvarez-Ramirez, J. (2014). Acid hydrolysis of native corn starch: morphology, crystallinity, rheological and thermal properties. *Carbohydrate Polymers*, 103, 596-602.
- Wei, Benxi, Hu, Xiuting, Zhang, Bao, Li, Hongyan, Xu, Xueming, Jin, Zhengyu, & Tian, Yaoqi. (2013). Effect of defatting on acid hydrolysis rate of maize starch with different amylose contents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62, 652-656.
- Woggum, T., Sirivongpaisal, P., & Wittaya, T. (2014). Properties and characteristics of dual-modified rice starch based biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 490-502.
- Xia, Li, Wenyan, Gao, Qianqian, Jiang, Yanli, Wang, Xinhua, Guo, & Luqi, Huang. (2011). Physicochemical, crystalline, and thermal properties of native, oxidized, acid, and enzyme hydrolyzed Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb) starch. *Starch - Stärke*, 63(10), 616-624.

- Zaidul, I. S. M., Norulaini, N. A. Nik, Omar, A. K. Mohd, Yamauchi, H., & Noda, T. (2007). RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. *Carbohydrate Polymers*, 69(4), 784-791.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Ramirez-Zamorano, P., Cornejo-Villegas, M. A., Gutiérrez-Cortez, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2013). Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. *Food Research International*, 51(2), 946-953.

ANEXOS



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



AMIDIQ

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

Nuevas tecnologías y tendencias en la Ingeniería Química

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

MIGUEL ANGEL MARTINEZ, JUAN PABLO HERNANDEZ, ADRIANA RODRIGUEZ,
APOLONIO VARGAS Y HEIDI PALMA

Por la presentación del trabajo:

EFFECTO DE LA MODIFICACIÓN POR HIDROLISIS ÁCIDA Y TRATAMIENTOS CON
AUTOCLAVE SOBRE EL INCREMENTO DE ALMIDÓN RESISTENTE DE
CHAYOTEXTLE

Título: Cuetzalcóatl

Diseño: Aurelio Agustín Rojas Robledo, Pintor

Ejecución: Raúl Solís Medina, Escultor

Colaboradores: Macedonio López, Beatriz Adriana Rodríguez Andrade, Cecilia Rangel Mexicano, Dulce María Elizabeth Contreras Orduña, Alejandro Lemus Ortiz

Fecha: 24 de Agosto de 2015

Mural ubicado en la Unidad de Convivencia Estudiantil del Campus II del Instituto Tecnológico de Celaya

XXXVII Encuentro Nacional de la AMIDIQ

Puerto Vallarta, Jalisco, México, del 3 al 6 de mayo de 2016


Dr. Mauricio Sales Cruz
PRESIDENTE DE AMIDIQ


Dr. Pedro Alberto Quintana Hernandez
PRESIDENTE DEL COMITÉ ORGANIZADOR


Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO