



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN ALIMENTOS DEL CENTRO DE LA  
REPÚBLICA (PROPAC)**

**DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE MANGO  
(*Mangifera indica* L.) MÍNIMAMENTE PROCESADO**

**TESIS**

**QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**IBQ. PATRICIA EUGENIA ROMERO CANO**

**DIRIGIDO POR:**

**DR. EDMUNDO MATEO MERCADO SILVA**

**CENTRO UNIVERSITARIO  
QUERÉTARO, QRO.  
AGOSTO, 2016.  
MÉXICO**



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Desarrollo de tecnología para la producción de mango (*Mangifera indica* L.)  
mínimamente procesado**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Presenta:**

IBQ. Patricia Eugenia Romero Cano

**Dirigido por:**

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva

**SINODALES**

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva  
Presidente

  
Firma

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios  
Secretario

  
Firma

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza  
Vocal

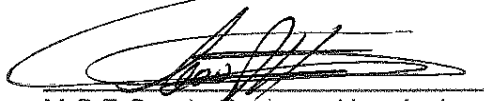
  
Firma

Dra. Dulce María Rivera Pastrana  
Suplente

  
Firma

Dra. Sofía María Arvizu Medrano  
Suplente

  
Firma

  
M.S.P Sergio Pacheco Hernández  
Director de la Facultad de Química

  
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Agosto, 2016.  
México

## RESUMEN

El mango mínimamente procesado (MMP) enfrenta problemas de deterioro que disminuye su vida de anaquel a menos de 12 días a 5 °C. El objetivo de este trabajo fue mejorar el proceso de conservación de MMP empleando nanoemulsiones a base de almidón modificado y carboximetilcelulosa incorporando agentes hidrofóbicos, antioxidantes y pretratamientos de cloruro de calcio. Se llevaron a cabo dos experimentos: en el primer experimento se determinó el efecto de la aplicación de diferentes nanoemulsiones: 40 g/L almidón (A), 3 g/L carboximetilcelulosa y 40 g/L almidón + 3 g/L carboximetilcelulosa (A+CMC) en MMP, se almacenaron a 5 °C durante 16 días. En el segundo experimento se determinó el efecto del tamaño de partícula de A+CMC en la calidad del MMP. Se llevó a cabo una caracterización de los recubrimientos comestibles midiendo el tamaño de partícula, potencial zeta e índice de polidispersión (IDP). Se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos, microbiológicos y evaluaciones sensoriales cada 4 días al MMP. El tamaño de partícula promedio de A, CMC y A+CMC fueron 261, 538 y 319 nm respectivamente y de potencial zeta -5.76, -42.30, -18.30 mV indicando que los sistemas nanoemulsionados fueron estables. Al final del almacenamiento, A+CMC disminuyó la firmeza 49.05% en comparación de A y CMC que fue de 63.69% y 52.06% respectivamente. El crecimiento de bacterias mesófilas aerobias (BMA) se mantuvo constante a partir de los 8 días con  $\sim 5.87 \text{ Log UFCg}^{-1}$  en todos los tratamientos, A+CMC disminuyó el crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) ( $\sim 1.72 \text{ log UFCg}^{-1}$ ) respecto a los demás tratamientos. El análisis sensorial indicó que la aceptación de MMP se encuentra dentro de los primeros 8 días de almacenamiento. En el estudio del efecto de tamaño de partícula de A+CMC, el tamaño de partícula de la emulsión fue 1203 nm y potencial zeta de -17 mV mientras que la nanoemulsión fue de 194 nm y potencial zeta -8 mV. No se observaron diferencias significativas en los SST, contenido de ácido ascórbico y pH, pero la concentración de compuestos fenólicos aumentó durante el tiempo de almacenamiento. La actividad PAL no cambió durante el tiempo de almacenamiento y PPO mostró la mayor actividad al día 16. El contenido de BMA aumentó significativamente después de 12 días mostrando una carga  $\geq 5.4 \text{ log UFC g}^{-1}$ . Los mangos recubiertos con nanoemulsión tenían mejor calidad sensorial, no observando cambios en el sabor. La observación de SEM mostró una mejor distribución de la nanoemulsión sobre la fruta. El uso de la nanotecnología en los productos mínimamente procesados mostraron pueden mejorar sus propiedades funciones y de calidad.

**Palabras clave:** mango mínimamente procesado, nanoemulsión, almidón, carboximetilcelulosa, conservación.

## SUMMARY

Mangoes minimally processed (MMP) had some deterioration problems which decrease its shelf life less than 12 days at 5 °C. The aim of this work was improve the conservation of MMP using nanoemulsions based on modified starch and carboxymethylcellulose, incorporating hydrophobic agents, antioxidants and calcium chloride pretreatment. Two experiments were performed: in the first experiment it was determined the effect of applying different nanoemulsions; 40 g/L starch (S), 3 g/L carboxymethylcellulose (CMC) and 40 g/L starch + 3 g/L carboxymethylcellulose (S+CMC) on quality product, they were stored at 5 °C for 16 days. In the second experiment it was evaluated the effect of S+CMC with different particles sizes on the quality of fresh-cut mango. A characterization of edible coating is performed measuring the particle size, zeta potential ( $\zeta$ ) and poly-dispersion index (PDI). Physicochemical analyzes, microbiological and sensory evaluations were performed every 4 days the fresh-cut mango. The particle size of S, CMC and S+CMC were 261, 538 and 319 nm respectively and -5.76, -42.30 and -18.30 of  $\zeta$ , indicating stable systems. At the end of storage, S+CMC decreases the firmness of 49.05 % compared to S and CMC and that was 63.69% and 52.06% respectively. The grow of mesophilic aerobic bacteria (BMA) was maintained from 8 days to  $\sim 5.87$  CFU g<sup>-1</sup> compared to other treatments, S+CMC decreases the grow lactic acid bacteria (LAB) ( $\sim 1.72$  CFU g<sup>-1</sup>) compared to other treatments. Sensory analysis indicated that fresh-cut mango acceptance is within the first 8 days of storage. In the study the effect of particle size of S+CMC, the particle size of the emulsion was 1203 nm and -17 mV of  $\zeta$ , while the nanoemulsion was 194 nm and -8 mV. No significant differences were observed in total soluble solids, activity and pH but the phenolic content increased during storage time. The PAL activity did not change during storage time and PPO showed the highest activity after 16 days of storage. The content of BMA increased significantly after 12 days showing a load  $\geq 5.4$  CFU g<sup>-1</sup>. The mangoes coated with nanoemulsion had the best sensory quality and the SEM observation showed a better distribution of the nanoemulsion over fruit. The use of nanotechnology in edible coating can improve their functional proprieties and the quality products.

**Keywords:** fresh-cut mango, nanoemulsion, starch, carboxymethylcellulose, preservation.

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro bajo la dirección del Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva.

## **DEDICATORIA**

A mis padres quienes han sido mi motivación diaria para alcanzar mis metas. Por sus enseñanzas de amor, trabajo, sacrificio, consejos, paciencia y por todo el amor y cariño que me dieron siempre.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, al Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República y todo su personal administrativo.

Al Dr. Edmundo Mercado Silva por haberme dado la oportunidad de trabajar dentro de su laboratorio y depositar su confianza en mí para la realización de este proyecto de investigación, por su apoyo, paciencia y dedicación.

A la Dra. Estela Vázquez por todo el apoyo incondicional, consejos, paciencia y amistad.

A la Dra. Luz Zambrano por compartir sus conocimientos que me ayudaron a mejorar y enriquecer este trabajo, le agradezco su apoyo y disposición durante todo el desarrollo de la investigación.

A la Dra. Dulce Rivera por su apoyo y colaboración en el desarrollo experimental así como sus aportaciones durante el proyecto.

A la Dra. Sofía Arvizu por todas sus observaciones y aportaciones en la realización de este proyecto.

A la Dra. Alicia del Real por su disposición para permitirme llevar a cabo parte de la experimentación del trabajo en la UNAM.

A mis profesores de maestría por el apoyo en mi formación académica.

A mi hermano Beto por creer en mí, por darme fortaleza y por siempre apoyarme, escucharme, cuidarme y nunca dejarme sola. Gracias por siempre tener un consejo, una sonrisa en los momentos difíciles, por todos los momentos de diversión y enseñarme que a pesar de las adversidades siempre hay una solución, que los sueños se cumplen, te quiero mucho y sin ti no hubiera podido culminar esta etapa de mi vida.

A mi abuelita, mis tíos Migue, Jorge, Memo, Salvador y Luli porque sin su ayuda no hubiera podido terminar esta etapa de mi vida, gracias por siempre motivarme, escucharme, por sus consejos y por nunca dejarme sola.

A Itzel por su amistad incondicional, consejos, risas y que con el paso del tiempo te convertiste en parte de mi familia.

A mi hermano Xavy y Ale por todo su apoyo y cariño.

A mis compañeros de laboratorio, Francisco, Paz, Jimena, Gina, Celene, Fanny, Karina, Ro, Valeria, Mariana y Brianda ya que sin ustedes, no habría sido posible terminar mi trabajo experimental, muchas gracias por su ayuda y amistad.

Al laboratorio de microbiología, Carmen y la Sra. Martha, gracias por sus enseñanzas y consejos así como su apoyo durante mi estancia en el laboratorio.

A David y Dalia por compartir sus consejos y enseñanzas, gracias por su apoyo incondicional durante el trabajo y su amistad.

A mis compañeros de generación Ángel, Omar, Francisco, Julio, Javier, Nataly, Mary, César, Edeli, Juan Carlos, Alicia, Wendy, Ivanna, Mayra, Josué, Adriana por su amistad incondicional y Ricardo por las pláticas y apoyo. Gracias por hacer de la maestría una estancia más agradable.



## ÍNDICE

RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE CUADROS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
I.INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
2.1 Generalidades del fruto de mango .....	3
2.1.1 Taxonomía.....	4
2.1.2 Composición nutricional del fruto.....	4
2.1.3 Importancia económica del mango .....	5
2.1.4. Tecnologías para mango mínimamente procesado .....	8
2.2. Los productos mínimamente procesados .....	8
2.2.1 Mercado a nivel de mundial de productos mínimamente procesados .....	8
2.2.2. Calidad de los productos mínimamente procesados .....	9
2.2.3. Cambios fisiológicos y bioquímicos en productos mínimamente procesados .....	10
2.3. Tecnologías aplicadas para el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas .....	16
2.3.1. Empleo de bajas temperaturas .....	16
2.3.2. Control de daño mecánico .....	16
2.3.3 Proceso de sanitización .....	17
2.3.4. Envasado en atmósferas modificadas .....	17
2.3.5. Texturizadores .....	18
2.3.6. Recubrimientos comestibles .....	18
2.4. Emulsiones.....	25
2.4.1. Nanoemulsiones .....	25

2.4.2 Estabilidad de las nanoemulsiones.....	26
2.4.3 Movilidad electroforética .....	28
III. JUSTIFICACIÓN .....	31
IV. OBJETIVO GENERAL .....	32
V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
VI. METODOLOGÍA .....	33
6.1. Material Biológico.....	33
6.2 Preparación de mango mínimamente procesado.....	33
6.3.1 Preparación de recubrimientos comestibles, primera etapa .....	34
6.3.2. Preparación de recubrimientos comestibles, segunda etapa.....	34
6.4. Estrategia experimental .....	35
6.4.1. Primera etapa. Estudio del efecto de los RC en emulsión simple en la calidad del producto.....	35
6.4.2. Segunda etapa. Estudio del efecto del tamaño de partícula de recubrimientos comestibles. ....	40
6.5. Caracterización de recubrimientos comestibles .....	42
6.5.1. Tamaño de partícula e índice de polidispersión (IDP) .....	42
6.5.2. Potencial Zeta ( $\zeta$ ).....	42
6.6. Cuantificación de bacterias mesófilas aerobias y bacterias ácido lácticas..	43
6.7. Análisis fisicoquímicos .....	44
6.7.1. Evaluación de los cambios de textura.....	44
6.7.2. Evaluación sensorial de la calidad de los productos.....	45
6.7.3. Determinación del color .....	46
6.7.4. Determinación de pH .....	46
6.7.5. Determinación de Sólidos Solubles Totales.....	46
6.7.6. Determinación de acidez titulable .....	47
6.8. Cuantificación de la actividad enzimática.....	47
6.8.1. Actividad enzimática de fenil alanina amonio liasa (PAL) .....	47
6.8.2. Actividad enzimática de la polifenoloxidasa (PPO) .....	49
6.9. Cuantificación de fenoles totales.....	50
6.9.1 Obtención del extracto de fenoles.....	50
6.10. Observaciones por Microscopia Electrónica de Barrido de los recubrimientos de MMP .....	51

6.11. Análisis sensorial global del producto terminado .....	51
6.12. Análisis estadístico.....	51
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	52
7.1 Etapa 1. Estudio del efecto de los RC a base de almidón y CMC en la calidad de mango mínimamente procesado .....	52
7.1.1 Caracterización de la emulsión simple.....	52
7.1.2 Potencial Zeta ( $\zeta$ ).....	53
7.2 Cambios en la calidad microbiológica de mango mínimamente procesado .	54
7.3 Efecto del tipo de recubrimiento en la calidad sensorial de mango mínimamente procesado.....	58
7.3.1. Calidad Visual.....	58
7.3.2. Oscurecimiento.....	61
7.3.3. Aroma .....	62
7.3.4. Consistencia .....	64
7.3.5. Líquido exudado .....	65
7.4 Cambios fisicoquímicos .....	66
7.4.1 Cambios objetivos de color.....	66
7.4.2 Cambios en la textura .....	68
7.4.3 Cambios en Sólidos Solubles Totales ( $^{\circ}$ Brix).....	70
7.4.4 Cambios en acidez titulable .....	71
7.4.5 Cambios en pH.....	71
7.2 Segunda Etapa. Estudio del efecto del tamaño de partícula de recubrimientos comestibles.....	72
7.2.1 Caracterización del tamaño de los RC nivel nano .....	72
7.2.2 Evolución del desarrollo de BMA y BAL.....	76
7.2.3 Análisis sensorial hedónico en el producto .....	78
7.2.4 Cambios objetivos de textura.....	85
7.2.5 Cambios objetivos de color.....	87
7.2.6 Cambios en las características físico químicas del producto.....	91
7.2.6.3 Cambios en la acidez titulable .....	91
7.2.7 Efecto de los tratamientos sobre la actividad enzimática y la producción de fenoles totales en mango mínimamente procesado.....	93
7.2.7.1 Cambios en la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) .....	93

7.2.7.2 Cambios en la actividad enzimáticas de la polifenol oxidasa (PPO)...	95
7.2.7.3 Cambios en el contenido de fenoles totales .....	97
REFERENCIAS.....	101
ANEXOS .....	113
APENDICE .....	114

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1 Descripción taxonómica del mango.	4
2 Composición nutrimental del fruto de mango.	5
3 Principales países productores de mango, 2013.	6
4 Principales problemas de frutas y hortalizas mínimamente procesadas.	10
5 Sistemas o métodos utilizados para formación de emulsiones.	26
6 Características de estabilidad con diferentes valores de $\zeta$ .	29
7 Composición de las fases de la emulsión de los RC para el tratamiento de mango mínimamente procesado.	36
8 Composición de emulsión y nanoemulsión	40
9 Escalas subjetivas para evaluación de la calidad de MMP.	45
10 Caracterización del tamaño y estabilidad de almidón, CMC y almidón+CMC.	52
11 Valores de probabilidad en el contenido de BMA.	54
12 Valores de probabilidad en el contenido de BAL.	56
13 Valores de probabilidad de la calidad visual en MMP durante su almacenamiento.	58
14 Comparación de medias de calidad visual en MMP durante su almacenamiento.	58
15 Valores de probabilidad de oscurecimiento en MMP durante su almacenamiento.	61
16 Comparación de medias de oscurecimiento en MMP durante su almacenamiento.	61
17 Valores de probabilidad de aroma en MMP durante su almacenamiento.	63
18 Comparación de medias de aroma en MMP durante su almacenamiento.	63
19 Valores de probabilidad de consistencia en MMP durante su almacenamiento.	64
20 Comparación de medias de consistencia en MMP durante su almacenamiento.	64
21 Valores de probabilidad de lixiviado en MMP durante su almacenamiento.	65

22	Comparación de medias de lixiviado en MMP durante su almacenamiento.	65
23	Valores de probabilidad de luminosidad en MMP durante su almacenamiento.	66
24	Comparación de medias de luminosidad en MMP durante su almacenamiento.	66
25	Valores de probabilidad de Hue en MMP durante su almacenamiento.	67
26	Comparación de medias de Hue en MMP durante su almacenamiento.	67
27	Valores de probabilidad de textura en MMP durante su almacenamiento.	68
28	Comparación de medias de textura en MMP durante su almacenamiento.	68
29	Valores de probabilidad de SST en MMP durante su almacenamiento.	70
30	Comparación de medias de SST en MMP durante su almacenamiento.	70
31	Valores de probabilidad de acidez titulable en MMP durante su almacenamiento.	71
32	Comparación de medias de acidez titulable en MMP durante su almacenamiento.	71
33	Valores de probabilidad de pH en MMP durante su almacenamiento.	72
34	Comparación de medias de pH en MMP durante su almacenamiento.	72
35	Caracterización del tamaño y estabilidad de nanoemulsión y emulsión.	73
36	Valores de probabilidad de BMA en MMP durante su almacenamiento.	76
37	Valores de probabilidad de BAL en MMP durante su almacenamiento.	76
38	Valores de probabilidad en el cambio de textura en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	79
39	Valores de probabilidad en el cambio de aroma en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	80
40	Valores de probabilidad de sabor en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	81
41	Valores de probabilidad de agrado global en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	82
42	Valores de probabilidad de firmeza en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	85

43	Valores de probabilidad de luminosidad en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	88
44	Valores de probabilidad de Hue en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	88
45	Comparación de medias de luminosidad en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	88
46	Comparación de medias de Hue en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	89
47	Valores de probabilidad de SST en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	91
48	Comparación de medias de SST en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	91
49	Valores de probabilidad de acidez titulable en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	92
50	Comparación de medias de acidez titulable en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	92
51	Valores de probabilidad de pH en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	93
52	Comparación de medias de pH en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	93
53	Valores de probabilidad de actividad enzimática de PAL en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	93
54	Comparación de medias de la actividad de PAL en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	94
55	Valores de probabilidad de actividad enzimática de PPO en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	96
56	Comparación de medias de la actividad de PPO en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	96
57	Valores de probabilidad del contenido de fenoles totales en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	97

58	Comparación de medias del contenido de compuestos fenólicos en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.	98
----	--	----



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1 Fruto de mango	3
2 Producción nacional de mango	7
3 Mecanismo de acción de la polifenol oxidasa como hidrolasa y oxidasa	12
4 Biosíntesis de compuestos fenólicos.	13
5 Principales componentes base de los recubrimientos comestibles	19
6 Representación gráfica, estructural y molecular de A) Amilopectina y B) Amilosa	21
7 Mecanismos físicos de inestabilidad de una emulsión	27
8 Representación de doble capa eléctrica y potencial zeta.	28
9 Proceso de preparación de mango mínimamente procesado.	37
10 Estrategia general seguida durante la primera etapa.	39
11 Estrategia experimental seguida durante la segunda etapa.	41
12 Reacción enzimática de la PAL para la transformación de la fenilalanina a ácido cinámico.	48
13 Reacción de oxidación catalizada por la PPO sobre el catecol	49
14 Distribución de tamaño de partícula de almidón (A), carboximetilcelulosa (CMC) y A+CMC.	53
15 Crecimiento de bacterias mesófilas aerobias (BMA) en MMP, durante su almacenamiento a 5 °C	55
16 Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en MMP, durante su almacenamiento a 5 °C en almidón (A), carboximetilcelulosa (CMC) y A+CMC.	57
17 Aspecto visual de MMP almacenado a 5 °C.	60
18 Cambios en la textura de MMP almacenados a 5 °C.	69
19 Distribución de tamaño de partícula.	73
20 Micrografías SEM del tejido de mango tratado con diferentes recubrimientos: a) sin recubrimiento, b) emulsión, c) nanoemulsión.	75

21	Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en MMP, durante su almacenamiento a 5°C	77
22	Crecimiento de bacterias mesófilas aerobias (BMA) en MMP, durante su almacenamiento a 5°C	78
23	Análisis sensorial de textura en MMP almacenado a 5 °C.	79
24	Análisis sensorial aroma en MMP almacenado a 5 °C.	81
25	Análisis sensorial sabor en MMP almacenado a 5 °C.	82
26	Análisis sensorial agrado global en MMP almacenado a 5 °C.	83
27	Calidad visual de MMP almacenado a 5 °C.	84
28	Evolución de la firmeza de MMP, durante su almacenamiento a 5°C.	86
29	Actividad fenilalanin amonio liasa en mango mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5 °C.	94
30	Cambios en la actividad de la polifenol oxidasa (PPO).	96
31	Cambio en el contenido de fenoles totales en MMP almacenado a 5 °C.	99

## I.INTRODUCCIÓN

Dadas las modificaciones de los hábitos de vida y consumo en la población de las ciudades, a la mayor participación de la mujer en las actividades laborales que genera un menor tiempo disponible para la preparación de los alimentos; el consumo de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se ha incrementado porque constituyen productos listos para su consumo con propiedades muy similares a los productos intactos frescos sanos, naturales y nutritivos.

La elaboración de productos mínimamente procesados involucra procedimientos simples como lavado, cortado, desinfección, enjuague, escurrido, secado y empaçado, las cuales pueden inducir cambios fisiológicos directos que incrementa la actividad metabólica de los productos. Lo anterior se ve reflejado en la pérdida de agua, liberación de líquidos intracelulares, oscurecimiento enzimático, incremento en la producción de fenoles, pérdida de firmeza, incremento en la producción de etileno, y aumento en la tasa de respiratoria del producto mínimamente procesado lo cual conduce a una reducción en la vida de anaquel. También el propio procesado mínimo aumenta las posibilidades de deterioro microbiano al exponer los tejidos dañados a la acción de los microorganismos contenidos en el medio en que se encuentra el producto. Estos fenómenos fisiológicos y microbiológicos son los responsables de los cambios bioquímicos que llevan a la degradación de la calidad general y de las propiedades sensoriales de los productos mínimamente procesados. Por ello los procesos de elaboración de estos productos, deben aplicar técnicas de conservación, que controlen esos procesos y mantengan a un buen nivel las características originales del producto, una buena calidad microbiológica, sensorial y nutricia dentro de un período de vida de anaquel que permita un proceso de comercialización aceptable.

Entre los frutos tropicales con mayor potencial en el mercado de productos mínimamente procesados se encuentra el mango, debido a su alta producción mundial, preferencia por el consumidor y alto valor nutricional. El cual se encuentra en pleno desarrollo y no se ha podido abordar debido a que los productos no cuentan con la tecnología apropiada para mantener su calidad por un periodo razonable que permita su comercialización y distribución en el mercado nacional y de exportación.

Los recubrimientos comestibles se han utilizado como una barrera para reducir al mínimo la pérdida de agua creando un ambiente de atmósfera modificada interna a través de la permeabilidad selectiva a los gases de dichos recubrimientos; además de disminuir la oxidación y retrasar el deterioro natural de los frutos recubiertos, constituyéndose por ello una alternativa tecnológica para el desarrollo de los productos mínimamente procesados. Sus formulaciones se han basado en la incorporación de materiales que controlen las propiedades de barrera de la misma. Sin embargo, la nueva generación de recubrimientos comestibles está diseñada para permitir la incorporación de antioxidantes, vitaminas o productos nutracéuticos que ayudan de manera notable al funcionamiento de estas películas; no obstante la incorporación de estos nuevos elementos demanda el uso de otros procedimientos tecnológicos apropiados como la reducción de tamaño a través de la nanotecnología.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar nanoemulsiones de almidón, carboximetilcelulosa y la combinación de ambas, que contribuyan a incrementar la vida útil del mango mínimamente procesado. El trabajo se dividió en dos etapas: en la primera se estudió el efecto de las nanoemulsiones a base de almidón y carboximetilcelulosa en la calidad del producto, para seleccionar la mejor nanoemulsión. En la segunda etapa se estudió el efecto del tamaño de partícula de los recubrimientos a base de almidón y carboximetilcelulosa, a través de los cambios fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y bioquímicos durante su conservación en refrigeración a 5 °C/16 días, así mismos a través de estudios de microscopía electrónica de barrido.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Generalidades del fruto de mango

El fruto del mango (*Mangifera indica* L.) (Figura 1) es una drupa, monosperma de mesocarpio carnoso y fibroso que rodea a un endocarpio leñoso que contiene una sola semilla (hueso) en su interior la cual es ovoide, oblonga, alargada, recubierta por un endocarpio fibroso y por una membrana papirácea con testa delgada de color café oscuro (COVECA, 2011). De este fruto existe gran cantidad de variedades las que varían en forma, color, sabor y peso el cual puede variar desde 150 g hasta 2 kg, su color externo varía desde el verde, amarillo hasta diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. Desde el punto de vista fisiológico, es un fruto climatérico, es decir que una vez alcanzada su madurez fisiológica puede seguir madurando en poscosecha la cual está relacionada con la producción auto catalítica de etileno y un incremento en la tasa de respiración con un efecto positivo en la calidad para su consumo (Bretch y Yahia, 2009). Esta característica permite su cosecha antes de alcanzar su madurez de consumo.



**Figura 1.** Fruto de mango.

### 2.1.1 Taxonomía

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la familia *Anacardiaceae* y al género *Mangifera* (Cuadro 1) (Prieto *et al.*, 2005).

**Cuadro 1.** Descripción taxonómica del mango.

Clase	Dicotiledóneas
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Suborden	<i>Anacardineae</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangífera</i>
Especie	<i>Mangífera indica</i>

(Galan Sauco, 2009).

El género *Mangifera* comprende 69 especies. Estas especies se encuentran distribuidas en una amplia zona geográfica con distintas condiciones ambientales y exhiben una considerable diversidad genética, particularmente en caracteres del fruto (Madrigal, 2009).

### 2.1.2 Composición nutricional del fruto

El mango constituye un valioso suplemento dietético, pues es muy rico en vitamina A y C, minerales, fibras (TIPO DE FIBRAS), antioxidantes; siendo bajo en calorías, grasa y sodio. Su valor calórico es de 62 a 64 calorías/100 g de pulpa (Cuadro 2) (COVECA, 2011).

**Cuadro 2.** Composición nutrimental del fruto de mango.

<b>Nutrientes</b>	<b>Valor en 100 g de porción</b>
Agua (g)	83.46
Energía (Kcal)	60
Proteína (g)	0.82
Grasa total (g)	0.38
Cenizas (g)	0.36
Carbohidratos (g)	1.6
Fibra dietética (g)	1.8
Azúcar (g)	14.98
Calcio (mg)	11
Hierro (mg)	0.16
Magnesio (mg)	10
Fósforo (mg)	14
Potasio (mg)	168
Sodio (mg)	1
Vitamina C, ácido ascórbico total (mg)	36.4
Vitamina A, IU (mg)	1082
Vitamina E, alfa-tocoferol (mg)	0.9
Ácido aspártico (mg)	0.068

(USDA, 2010).

### **2.1.3 Importancia económica del mango**

#### **2.1.3.1 En el mundo**

De acuerdo con datos de la FAO, en el 2013 se produjeron alrededor de 609.4 millones de toneladas de frutas, dentro de las cuales el mango ocupó la quinta posición con un total de 38.6 millones de toneladas, aportando el 6.35 % a la producción mundial de frutas (FAOSTAT, 2013).

En el Cuadro 3 se muestra la importancia en el valor de la producción y volumen producido de los principales países productores de mango; en donde se aprecia que México ocupa el séptimo lugar en cuanto a su volumen de producción.

**Cuadro 3.** Principales países productores de mango, 2013.

<b>Lugar</b>	<b>País</b>	<b>Valor de la producción (miles de Us)</b>	<b>Producción (Ton)</b>
1	India	9,137,296	15,250,000
2	China	2,636,334	4,400,000
3	Kenia	1,666,706	2,781,706
4	Tailandia	15,877,792	2,650,000
5	Indonesia	1,423,823	2,376,339
6	Pakistán	1,168,375	1,950,000
7	México	1,054,884	1,760,588
8	Brasil	704,461	1,175,735
9	Bangladesh	566,248	945,059

(FAOSFAT, 2013).

### 2.1.3.2 En México

Para el año 2014, el mango fue el cuarto producto frutícola más importante en México después de la naranja (4,533,427.86 Ton), el limón (2,187,257.20 Ton) y el plátano (2,150,519.90 Ton), con una superficie sembrada de 186,936.86 Ha y una producción de 1,451,890.39 Ton con un valor de \$4,847,989.57 (SIAP-SAGARPA, 2014).

Los principales estados productores fueron: Guerrero (304,317.53 Ton), Chiapas (196,166.05 Ton), Nayarit (175, 210.23 Ton), Oaxaca (160,704.62 Ton), Michoacán (137,393.98 Ton), Sinaloa (110,888.77 Ton), Veracruz (100,831.68 Ton), Jalisco (78,142.87 Ton) y Colima (49,786.40 Ton) (SIAP-SAGARPA, 2014).

Durante el año 2013, el valor de las exportaciones de mango se incrementó 16%, lo que contribuyó a consolidar a México en el primer lugar mundial en las ventas de este producto (SIAP-SAGARPA, 2014). Las ventas internacionales, realizadas a 22 destinos alcanzaron los 273 millones 491 mil dólares, con un volumen de 312.5 mil toneladas.

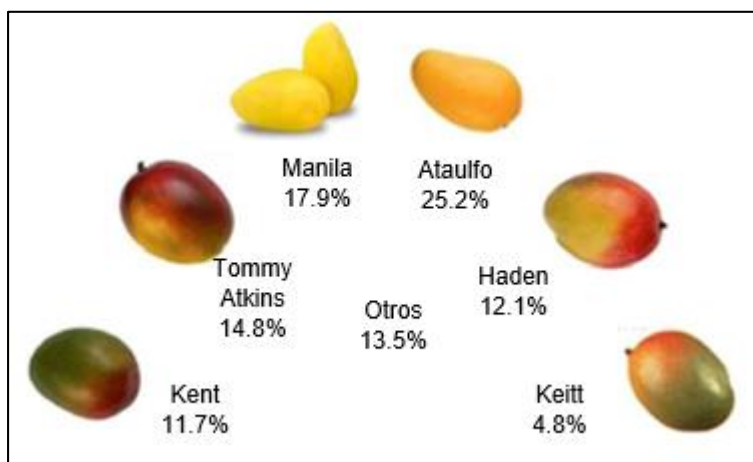


Los principales destinos de exportación del mango mexicano son: Estados Unidos, Canadá, Japón, Reino Unido y los Países Bajos (SIAP-SAGARPA, 2014).

Las variedades de mango que se destinan al mercado internacional fueron las que más volumen de producción arrojaron; el mango Aaulfo con un volumen de 404.344 Ton con el 25.2%. Le siguieron las variedades de Manila, con 287.149 Ton; Tommy Atkins, con 238,489 Ton, Haden, con 184.527 Ton y Kent, con 187,400 Ton entre otros (SIAP-SAGARPA, 2014).

La recolección de la cosecha de las diferentes variedades de mango se realiza en diferentes periodos del año (Figura 2), donde la mayor producción se presenta en los meses de junio a agosto (SIAP-SAGARPA, 2014).

La producción nacional de mango se divide en diversos cultivares o variedades, donde las más importantes desde el punto de vista de producción son: “Manila”, “Aaulfo”, “Haden” y “Tommy Atkins” (Figura 2).



**Figura 2.** Producción nacional de mango (SIAP-SAGARPA, 2014).

#### **2.1.4. Tecnologías para mango mínimamente procesado**

Los estudios sobre mango mínimamente procesado (MMP) se han enfocado principalmente en el estudio de los tratamientos contra el oscurecimiento y desinfección (González-Aguilar et al., 2000; Robles-Sánchez et al., 2009) recubrimientos comestibles (Chiumarelli et al., 2010), temperaturas de almacenamiento y atmósferas modificadas (Martínez-Ferrer et al., 2002; Poubol e Izumi 2005). Sin embargo, los tratamientos por inmersión tradicional utilizados para las frutas mínimamente procesadas conducen a pérdidas por lixiviación de nutrientes y compuestos bioactivos. Aunque el tratamiento por medio de nanoemulsiones puede ofrecer una mejor alternativa en el control de tales pérdidas.

### **2.2. Los productos mínimamente procesados**

Los productos mínimamente procesados también llamados listos para consumo, procesados frescos, precortado o de la IV Gamma, son frutas y hortalizas acondicionadas para su consumo íntegro y directo inmediato de la industria del servicio de los alimentos o el consumidor.

Los métodos para la elaboración que involucran el procesamiento mínimo son el lavado, sanitizado, pelado, recorte, cortado, rallado, triturado, desinfección, enjuague, escurrido, secado y envasado (Artés et al., 2007), se realizan para garantizar la seguridad y conservación del alimento, para mantener tanto como sea posible las características de frutas y hortalizas como si estuvieran frescas (Manvell, 1997).

#### **2.2.1 Mercado a nivel de mundial de productos mínimamente procesados**

El mercado de hortalizas cuarta gama ha estado creciendo en forma sostenida en los últimos veinte años, aumento que es evidentemente mayor en países en vías de desarrollo.

Según datos del seminario internacional “Situación y perspectivas de la industria de IV y V gama en Iberoamérica, 2013”, el mercado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas en Europa en el año 2012 estaba evaluado en USD 3,000 millones. A continuación se muestran algunos ejemplos de consumo de frutas y hortalizas IV gama en Europa: Reino Unido (12 kg per cápita por año), Francia (6 kg per cápita por año), Italia (6 kg per cápita por año), España (1.5 kg per cápita por año), Alemania, Países Bajos y Bélgica (menos de 3 kg per cápita por año).

En estos países, donde el consumo de frutas y hortalizas IV gama es más avanzado, representa entre 10% y 15% del consumo total, con una tasa de crecimiento anual de 7.4%.

En Estados Unidos, la venta de frutas y hortalizas IV gama representa entre 8% y 10 % de las frutas frescas comercializadas. El mercado de las frutas y hortalizas frescas está valorizado en USD 95,000 millones, se estima que el mercado de hortalizas y frutas mínimamente procesadas se puede valorizar en USD 10,000 a 12,000 millones. El consumo de frutas y hortalizas IV gama en Estados Unidos es de 30 kg per cápita por año.

En países de Latinoamérica, si bien el consumo de frutas y hortalizas mínimamente procesadas es bajo, se observa una tendencia de aumento en la demanda de productos de calidad e inocuos, un incremento en el consumo de alimentos procesados, y también una preocupación por la alimentación sana, lo que se refleja en un leve aumento en el consumo de frutas y hortalizas,

### **2.2.2. Calidad de los productos mínimamente procesados**

La calidad visual de frutas y hortalizas mínimamente procesadas son uno de los parámetros más importantes ya que afecta directamente su comercialización. La observación del producto a través del envase permite evaluar la ausencia o presencia de oscurecimiento (pardeamiento enzimático en las superficies de corte, cambio en la coloración), daños mecánicos, salida o fuga de líquidos.

Aunque también es importante dentro de la calidad el deterioro microbiano, su aroma y sabor así como su valor nutricional (Artés y Artés-Hernández, 2003).

### 2.2.3. Cambios fisiológicos y bioquímicos en productos mínimamente procesados

Los productos mínimamente procesados tienen numerosos retos de calidad y problemas de seguridad que deben ser abordados tecnológicamente, por ello es importante identificar los principales cambios sensoriales, microbiológicos y nutricionales que tienen lugar durante su almacenamiento (Cuadro 4) (Sonti, 2003).

**Cuadro 4.** Principales problemas de frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

<b>Problema</b>	<b>Atributo afectado</b>
Incremento en la actividad metabólica	Sabor, color, vitaminas
Incremento en la actividad de agua	Sabor y textura
Incremento en la actividad enzimática	Color y sabor
Ablandamiento de los productos	Textura
Oxidación de vitamina C	Valor nutricional
Oscurecimiento	Apariencia
Susceptibilidad al ataque microbiano	Sanidad y apariencia
Susceptibilidad a lesiones mecánicas	Apariencia y textura

(Sonti, 2003).

#### 2.2.3.1. Pérdida de peso y cambios de textura

Uno de los factores importantes en la comercialización de frutas frescas cortadas es la pérdida de peso, que se da por la modificación de la resistencia de la cutícula, ya que esta es eliminada o cortada durante las operaciones mínimas realizadas al fruto lo que elimina las barreras a la transpiración y con ello eleva el intercambio de vapor de agua con el entorno, además de que con la ruptura del tejido se incrementa la relación entre el área superficial y el volumen del producto (Toivonen y DeEll, 2002).

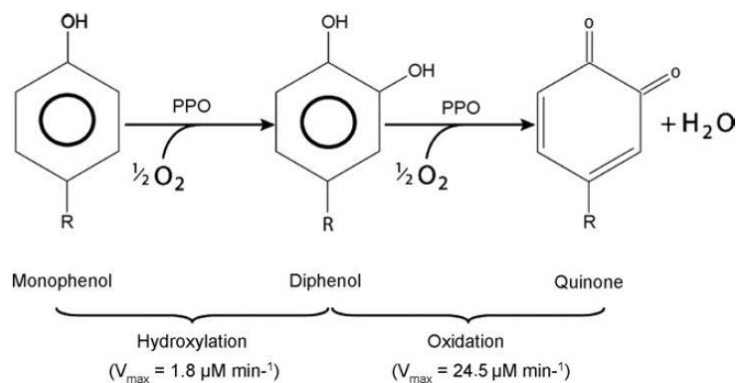
Otro cambio es la pérdida de firmeza debido principalmente a la acción de las enzimas proteolíticas y pectinolíticas sobre los componentes de la pared celular. Durante las operaciones de procesado y, especialmente, tras el cortado, los tejidos vegetales tienen una pérdida de firmeza debido a la hidrólisis enzimática de las sustancias pécticas que forman parte de la pared celular.

Enzimas como las pectin-metil-esterasas (PME) y poligalacturonasas (PG) juegan un papel importante en el ablandamiento de los tejidos. La PME provoca la hidrólisis de la pectina, formando metanol y ácido péctico, el cual puede ser despolimerizado por la PG, desestabilizando las estructuras celulares. No obstante, la actividad enzimática de los tejidos cortado puede depender del estado fisiológico del fruto entero (Martín-Belloso y Soliva-Fortuny, 2006).

### **2.2.3.2. Oscurecimiento enzimático**

La principal alteración en los productos mínimamente procesados es el desarrollo de una coloración marrón, rojiza o negra derivado del oscurecimiento oxidativo en la superficie del corte, lo cual es el factor que limita la vida de anaquel (Carlin et al., 1990).

Esta reacción como se ilustra en la Figura 3, tiene lugar cuando los compuestos monofenólicos de los tejidos vegetales, en presencia de oxígeno atmosférico y la enzima polifenoloxidasas (PPO), son hidroxilados a o-difenoles. Posteriormente, estos son oxidados, también en presencia de O<sub>2</sub> y PPO, a o-quinonas. Estas o-quinonas son químicamente muy reactivas e inestables en medio acuoso. Ellas se condensan y reaccionan químicamente con los numerosos constituyentes celulares como los aminoácidos, compuestos fenólicos, para producir pigmentos de estructura indeterminada, denominados genéricamente melaninas (Sapers et al., 1989). La hidroxilación de monofenoles es el paso lento o determinante de la velocidad de la reacción de oscurecimiento. Las o-quinonas pueden retrogradarse a los compuestos fenólicos iniciales en presencia de un compuesto reductor (Kester y Fennema, 1986).



**Figura 3.** Mecanismo de acción de la polifenol oxidasa como hidrolasa y oxidasa (Espín et al. 2000).

Aunque las reacciones enzimáticas involucradas en el oscurecimiento aún están en investigación; se sabe que las actividades enzimáticas dependen marcadamente del pH; una reducción de 0.5 en el valor de pH natural de manzana resulta en una disminución del 50 % en la actividad de la PPO (Varoquax y Wiley, 1994).

El daño producido al tejido induce la biosíntesis de algunas de las enzimas involucradas en las reacciones de oscurecimiento o biosíntesis de sus sustratos. Así la intensidad del oscurecimiento en diversos tejidos puede estar afectada por las actividades relativas de las oxidasas y la concentración de sustratos (Brecht, 1995).

### 2.2.3.3. Cicatrización de heridas

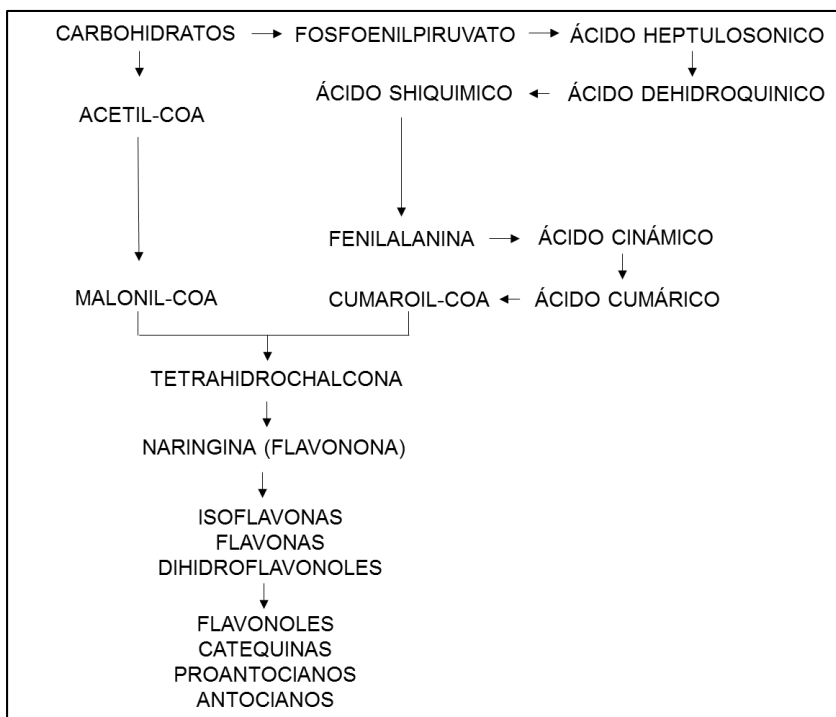
El metabolismo secundario en las plantas aumenta su actividad en tejidos mínimamente procesados, produciendo compuestos secundarios que posiblemente, estén relacionados con el proceso de cicatrización o defensa contra el ataque de microorganismos e insectos. Los compuestos secundarios que se producen dependen de la planta y el tejido involucrado. Estos compuestos en ciertos casos pueden afectar el aroma, sabor, apariencia, valor nutritivo o seguridad de productos mínimamente procesados.

Los compuestos producidos por frutas y hortalizas dañadas están constituidos de fenilpropanoides, flavonoides, terpenoides, alcaloides, taninos, glucosinolatos, ácidos grasos de cadena larga y alcoholes (Orozco-Cárdenas et al., 2001).

#### 2.2.3.4. Actividad de la fenilalanin amonio-liasa

Una respuesta inicial a las heridas (y muchas otras tensiones bióticas y abióticas) es la síntesis de “*novo*” y el aumento de la actividad de la enzima fenilalanin amonio-liasa (PAL), la primera enzima involucrada en la ruta de los fenilpropanoides.

La Figura 4 muestra la biosíntesis de los fenilpropanoides; el sitio de control de la ruta parece ser la transformación de la L-fenilalanina a ácido trans-cinámico llevada cabo por PAL. Un aumento en la actividad de esta enzima lleva a formación de una amplia gama de compuestos fenólicos.



**Figura 4.** Biosíntesis de compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos solubles producidos por el aumento de la actividad de la PAL son retenidos en las vacuolas y sólo participan en las reacciones de oscurecimiento cuando se alteran las membranas y se permite a los sustratos y a las enzimas ponerse en contacto y producir el oscurecimiento superficial (Choi et al., 2005).

Las heridas y la exposición al etileno estimulan la ruta de los fenilpropanoides generando nueva actividad enzimática, que conduce a una mayor producción de los principales compuestos fenólicos y la síntesis de nuevos componentes (Roura et al., 2008). Así, las heridas generan altos niveles de la actividad de la PAL no sólo en las células cercanas a la herida, sino también en las células que se encuentran hasta 2.5 cm de distancia del sitio de la misma. Esto indica que la cicatrización en el tejido por la síntesis de PAL debido a las heridas, es transmitida del tejido herido al que no lo está. La actividad de la PAL no sólo es inducida por lesiones y/o exposición al etileno, sino también por otras alteraciones como temperatura e infecciones de hongos.

#### **2.2.3.5. Crecimiento microbiano**

La proliferación y acción de los microorganismos es una de las principales causas de deterioro de los productos mínimamente procesados. Los microorganismos pueden causar hasta un 15 % de las pérdidas poscosecha. Además de los microorganismos que producen pérdida de calidad, pueden estar también presentes microorganismos patógenos para el hombre, afectando la seguridad de estos productos (Babic y Watada, 1996).

La microflora presente en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas incluye un gran número de especies de hongos, levaduras y bacterias que proliferan en la periferia y en el interior de los tejidos dañados y células muertas, por ello es esencial lavar, centrifugar o secar con aire frío el producto elaborado con el fin de disminuir la humedad de la superficie; sin embargo, se deben evitar la deshidratación, desecación y abrasión.



Por lo tanto, las prácticas de cultivo, las condiciones de higiene durante la manipulación y el procesamiento, así como la temperatura son factores determinantes de la vida de anaquel de los productos (Bolin y Huxsoll, 1991).

Durante el almacenamiento de los productos, la composición gaseosa de la atmósfera del producto envasado puede llegar a modificarse como consecuencia, el cambio de una atmósfera aerobia hacia una anaerobia puede propiciar el metabolismo fermentativo y el desarrollo de olores desagradables (Kader et al., 1989). Dentro de las bacterias Gram-positivas, principalmente de bacterias ácido lácticas (BAL), el cual puede estar acompañado con la producción de ácidos orgánicos tales como ácido láctico y ácido acético. Las bacterias lácticas son microaerófilas y desarrollan más rápidamente en ambientes con bajas concentraciones de O<sub>2</sub> (ICMSF, 1996).

Por su contenido en nutrientes, los vegetales son capaces de permitir el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias. El elevado contenido de agua de estos productos favorece la proliferación de bacterias deterioradoras y las proporciones relativamente bajas de carbohidratos y grasas, son índices de que la mayor parte de esta agua se encuentra en forma disponible para el crecimiento de todos los microorganismos. Los niveles de pH de la mayoría de los vegetales se encuentran comprendidos dentro de los límites de crecimiento de un gran número de bacterias y hongos (pH > 4.0) (Brackett, 1994). Las bacterias del género *Leuconostoc* spp. son bacterias heterofermentativas y pueden producir ácido láctico, etanol y CO<sub>2</sub>. Por su parte los *Lactobacillus* spp. son responsables de provocar un sabor lácteo y ácido en apio mínimamente procesado, almacenado en bajas condiciones de O<sub>2</sub> (Robbs et al., 1996).

Altas concentraciones de levaduras (>150 UFC/g) pueden provocar un mal sabor en los productos mínimamente procesados debido a la producción de CO<sub>2</sub>, etanol, ácidos grasos y esteres volátiles (Babic y Watada, 1996).

### **2.3. Tecnologías aplicadas para el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas**

Se han desarrollado varias tecnologías para retrasar los efectos negativos que el procesamiento mínimo provoca en las frutas y hortalizas. Algunas de ellas se detallan a continuación.

#### **2.3.1. Empleo de bajas temperaturas**

Una de las medidas normalmente usadas para controlar la actividad enzimática de productos frescos es el uso de bajas temperaturas durante el manejo, el procesamiento y el almacenamiento de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. A temperaturas bajas, no solo es reducida o inactivada las actividades enzimáticas que son responsables del oscurecimiento, sino que además las velocidades metabólicas descienden significativamente, ambas disminuciones contribuyen a incrementar la vida útil del producto. Asimismo, durante el procesamiento total de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, es decir desde su recolección hasta su venta, resulta ineludible el mantenimiento de bajas temperaturas para moderar o impedir el desarrollo de microorganismos (Cantwell, 1992).

#### **2.3.2. Control de daño mecánico**

Para reducir los daños mecánicos y la consecuente pérdida de fluidos, es fundamental realizar los cortes con instrumentos afilados. El empleo de acero inoxidable reduce los riesgos de oscurecimiento enzimático, al evitar la presencia de iones metálicos que lo favorecen. Es importante también la solidez del equipo industrial, ya que, de ser inestable, se pueden generar vibraciones capaces de alterar la eficiencia del corte, produciendo descompartmentalización en las células y la consecuente pérdida de calidad (Grag et al., 1990).

### **2.3.3 Proceso de sanitización**

Para asegurar la calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas es necesario minimizar la contaminación de los productos con microorganismos patógenos y deterioradores que puedan afectar la salud del consumidor y la calidad del vegetal durante su almacenamiento poscosecha (Garmendia y Méndez, 2006).

Existen varios métodos de desinfección para reducir la flora superficial de los vegetales. En general los métodos utilizados se basan en procesos físicos y químicos. Entre los métodos físicos se encuentran: la remoción mecánica, los tratamientos térmicos y la irradiación. Los métodos químicos involucran el uso de agentes químicos como desinfectantes superficiales. En general estos desinfectantes químicos se utilizan en soluciones acuosas, sin embargo existen algunos desinfectantes gaseosos como por ejemplo el ozono (Garmendia y Vero, 2006).

### **2.3.4. Envasado en atmósferas modificadas**

Una opción para incrementar la vida útil de los productos mínimamente procesados es el envasado en atmósferas modificadas. Este método de conservación consiste en cambiar la composición gaseosa dentro del empaque, la cual puede ser modificada de manera pasiva (a través de la respiración de los propios tejidos vegetales) o activa (generando la composición gaseosa antes de cerrar el empaque). Diferentes investigaciones (Kendra, 2010; Lucera et al., 2011) han demostrado que dependiendo del tipo de atmósfera que se genere, el oxígeno remanente se consumirá y el dióxido de carbono producido cubrirá el material vegetal hasta alcanzar el equilibrio con una atmósfera modificada; dicho equilibrio va a depender tanto de los cambios de temperatura como de la permeabilidad del material de empaque a los gases y del producto vegetal que se empaque. La atmósfera generada será efectiva si mantiene la apariencia visual y reduce el crecimiento microbiano de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

### **2.3.5. Texturizadores**

Los tratamientos con calcio han sido utilizados para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, ya que ayuda a mantener la integridad de la pared celular vegetal mediante la interacción con la pectina para formar pectato de calcio, el cual proporciona mayor rigidez a la célula. Por lo tanto, las frutas y hortalizas tratadas con calcio, generalmente se mantienen más firmes que sus contrapartes (fresco sin tratamiento), durante el almacenamiento (Rico et al., 2007), Las formas de calcio usadas en la industria son como lactato de calcio, cloruro de calcio y gluconato de calcio, la elección de la fuente apropiada depende de la biovalidad, solubilidad, sabor y su interacción con el alimento (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011).

### **2.3.6. Recubrimientos comestibles**

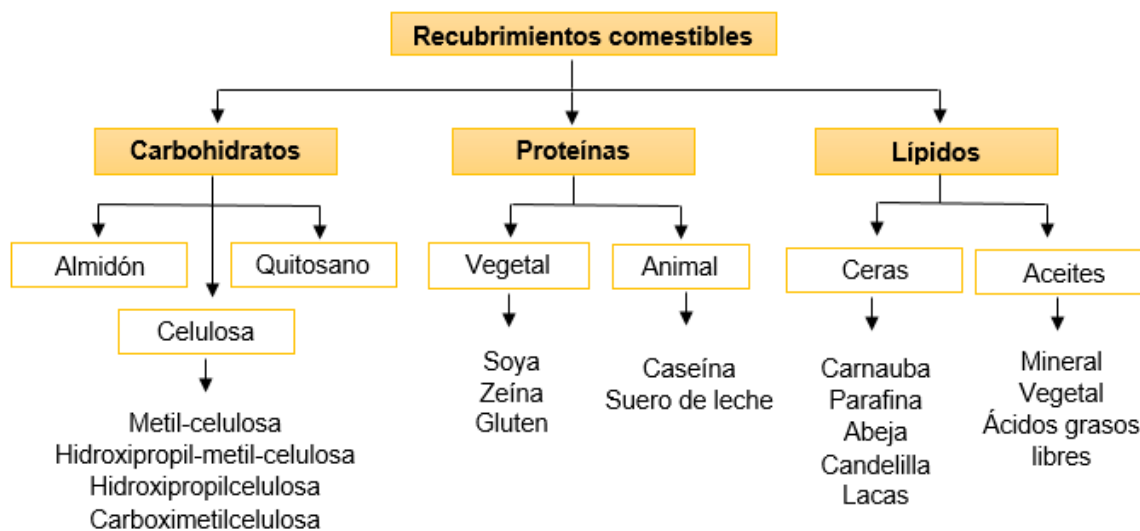
Un recubrimiento comestible (RC) es definido como una capa delgada de material comestible aplicado directamente sobre el alimento, en forma líquida o por inmersión, aspersion o goteo (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005).

Los RC deben cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas mínimamente procesadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS; es decir generalmente reconocidos como seguros para su uso en alimentos, ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, tener una buena barrera de vapor de agua al oxígeno y dióxido de carbono, presentar adecuadas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptable, además de poseer un costo razonables (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005).

Los RC aplicados en frutas cortadas producen una atmósfera modificada, reducen el deterioro, retrasan la maduración de frutas climatéricas, reducen la pérdida de agua, retardan los cambios de color, mejoran la apariencia, disminuyen la pérdida de aromas, reducen el intercambio de humedad entre los trozos de frutas, transportan compuestos antioxidantes y estabilizantes de la textura, imparte color y sabor; y pudieran servir como transporte de otras sustancias (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005).

### 2.3.6.1 Composición de recubrimientos comestibles

Existen diferentes y diversos componentes o materiales bases con las que se pueden formular los RC. Además de los materiales bases, se pueden incorporar otros ingredientes y aportarles características especiales brindando un valor agregado al producto, por ejemplo plastificantes, antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes, colorantes, entre otros (Janjarasskul y Krochta 2010; Campos et al., 2010).



**Figura 5.** Principales componentes base de los recubrimientos comestibles (adaptado de Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009).

Los polisacáridos, las proteínas y los lípidos son los tres principales ingredientes poliméricos usados para elaborar RC (Figura 5).

En muchos casos, dos o más materiales son mezclados para obtener un material compuesto con mejores características físicas. Los RC a base de polisacáridos son hidrofílicos y permiten la formación de enlaces de hidrógeno, que se pueden utilizar para la unión de aditivos. Debido a sus propiedades químicas, estos recubrimientos constituyen una barrera muy eficiente contra el oxígeno, pero deficiente contra la humedad.

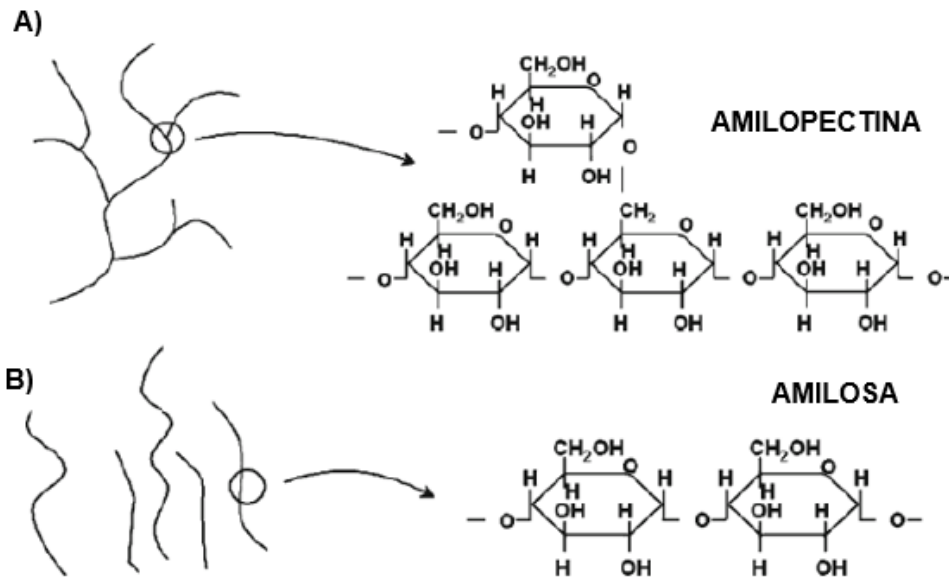
Los RC a base de lípidos proporcionan una buena barrera contra la humedad debido a su naturaleza hidrofóbica, pero presentan propiedades mecánicas deficientes.

Los RC a base de proteínas también son hidrofílicos y tienen una buena resistencia mecánica, por lo que pueden ser utilizados en frutas para reducir las lesiones durante su transporte; sin embargo, proporcionan una pobre barrera contra la humedad. La fabricación y el uso de recubrimientos con mezclas de materiales ayudan a minimizar las desventajas de los componentes individuales, mientras que hacen sinergia de sus propiedades funcionales y física (Pascall y Lin, 2012).

#### **2.3.6.2. Recubrimientos comestibles a base de almidones modificados**

El almidón ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde los tiempos prehistóricos además de su amplio uso a nivel industrial. Después de la celulosa, es probablemente el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra presente en los cereales, leguminosas, tubérculos y en algunos frutos como polisacárido de reserva energética, y aunque está ampliamente distribuido en la naturaleza, las fuentes más comunes del almidón son; el maíz, la papa, el trigo, la tapioca y el arroz. Este polisacárido está organizado en partículas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura son características de cada especie botánica (Bello-Pérez y Paredes-López, 1999).

Químicamente, está conformado por dos macromoléculas: la amilosa formada exclusivamente por cadenas lineales de D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -D-(1,4) (Figura 6), conteniendo aproximadamente de 200-2500 unidades, donde la  $\alpha$ -maltosa es la unidad repetitiva y puede adquirir una conformación espacial helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de 6-8 unidades de D-glucosa (Bello-Pérez y Paredes-López, 1999; Kramer, 2009).



**Figura 6.** Representación gráfica, estructural y molecular de A) Amilopectina y B) Amilosa (adaptación de Kramer, 2009).

Por su parte, la amilopectina está conformada por cadenas de D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -D-(1,4), así como por ramificaciones que ocurren cuando el enlace es  $\alpha$ -D-(1,6) (Figura 6). Las ramificaciones se localizan cada 15-25 unidades de moléculas lineales de D-glucosa. La amilopectina es el componente mayoritario del almidón, normalmente se encuentra en una proporción del 70-80% aunque en ciertos casos alcanza niveles de hasta un 98-99 %, los cuales son definidos como almidones cerosos. El peso molecular de la amilopectina es mucho mayor que el de la amilosa; la funcionalidad del almidón y su organización física dentro de su estructura granular se debe a éstas macromoléculas (Bello-Pérez y Paredes-López, 1999; Kramer, 2009).

Comúnmente, se usan almidones nativos o modificados en la formulación de RC tanto por su disponibilidad y variedad, como por la cantidad de amilosa y amilopectina que pueden contener.

Para que este material forme la matriz del RC se requiere de una gelatinización mediante un tratamiento en frío y en condiciones alcalinas con NaOH o un tratamiento térmico, el cual es el más utilizado. En este último, el almidón se coloca en presencia de agua para que, los gránulos comiencen a captarla al sistema, se aplica calor y conforme aumenta la temperatura el gránulo se hidrata hasta hincharse completamente perdiendo el orden molecular, a este fenómeno se le conoce como gelatinización; para cada almidón el rango de temperaturas en el que se produce este proceso es diferente (Liu y Han, 2005; Singh et al., 2007).

Los RC elaborados a partir de almidón son de apariencia clara, flexibles, transparentes y presentan excelentes barreras al O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la principal limitante es su naturaleza hidrofílica aunado a sus pobres propiedades mecánicas. La amilosa es la molécula del almidón mayormente asociada con su capacidad para formar RC en vista de su naturaleza lineal. La preponderancia de la amilosa (>70%) en almidones proveniente del maíz otorgan mayor fuerza y flexibilidad a los RC elaborados con éste tipo de materiales. Por otro lado, la estructura ramificada de la amilopectina generalmente conlleva a RC con pobres propiedades mecánicas, es decir, la fuerza de tensión y elongación son bajas, por lo que para mejorar sus características y diversificar sus aplicaciones, los almidones con un alto contenido en amilopectina o almidones cerosos, pueden modificarse por diversos tratamientos (García et al., 1998; Tharanathan, 2003; Kramer 2009).

Los procesos de modificación en los almidones cerosos van encaminados a cambiar las características del gránulo de almidón al producir una alteración en una o más propiedades físicas, químicas o estructurales, debido a la incorporación de un componente ajeno a su estructura, para satisfacer la función deseada en la elaboración de RC. Los almidones cerosos pueden ser modificados por diferentes vías físicas y químicas, siendo ésta última la más utilizada.



La modificación química consiste en introducir a la molécula de almidón, grupos funcionales mediante reacciones de esterificación, eterificación o entrecruzamiento o someterlo a reacciones de descomposición ácida, hidrólisis enzimática u oxidación (Kim et al., 2002; López et al., 2008).

Se ha reportado el uso de almidones modificados en la elaboración de RC aplicados e incluso en la combinación con otros biopolímeros o agentes hidrofóbicos, que sirven de barrera para el vapor de agua y otras aplicaciones en diversos productos, por lo que su caracterización es de potencial interés dentro de la industria de alimentos (Kramer, 2009).

### **2.3.6.3. Principales componentes de los recubrimientos comestibles**

Los RC pueden ser soportes para diferentes compuestos que pueden aportar diversas propiedades al alimento implicado, tales como antioxidantes, saborizantes, sustancias aromáticas, antimicrobianos, nutrimentos, texturizantes y probióticos. El recubrimiento puede conferir características como mayor brillo y opacidad. Otros aditivos como los surfactantes pueden mejorar la flexibilidad y mojabilidad del recubrimiento.

- **Plastificantes**

Los plastificantes se definen como sustancias no volátiles de alto punto de ebullición, no separable en fases (Mchught y Krochta, 1994). Tienen la capacidad de cambiar la temperatura de transición vítrea del polímero. Los plastificantes cambian un polímero a elastómero (hule). Lo que hacen es incrementar el volumen libre de las cadenas poliméricas permitiéndoles mayor flexibilidad. Se añaden para mejorar las propiedades mecánicas de empaques confiriendo mayor resistencia y flexibilidad.

Comúnmente se suele usar compuestos comestibles con bajo peso molecular y de naturaleza hidrofílica, por ejemplo, mono-, di- u oligosacáridos, polioles como sorbitol, glicerol y derivados o polietilenglicol, fosfolípidos y ácidos grasos.

Los plastificantes se unen mediante puentes de hidrogeno a las cadenas poliméricas de los biopolímeros usados como empaques comestibles, reduciendo rigidez y alterando su estructura (Janjarasskul y Krochta, 2010).

- **Emulsificantes**

Dada la amplia variedad de características que se buscan en los RC, el uso de un solo componente como base no es conveniente, por lo que se debe tomar en cuenta el adicionar agentes hidrofóbicos que deben ser incorporados de forma homogénea en la matriz dispersante, esto es posible con el uso de emulsificantes o surfactantes. Los emulsificantes ayudan a estabilizar partículas en suspensión en la matriz del polímero usado como base tanto en la dispersión como en la película, mejora la adhesión entre el alimento y el RC y mejora la extensibilidad de los sólidos presentes en la dispersión filmogénica. En el área de alimentos algunos emulsificantes con mayor uso son la lecitina, mono glicéridos acetilados, mono palmitato de glicerol, diversas proteínas, ácidos graso o polisorbatos como el Tween (Quezada-Gallo, 2009).

#### **2.3.6.4. Recubrimientos compuestos**

Ya que la finalidad de los RC es muy amplia, el usar un solo polímero base no proporcionará todas las características esenciales de barrera a humedad, gases o propiedades mecánicas. Combinar los diferentes biopolímeros es una buena opción, así por ejemplo, una mezcla nos proporcionará una escasa pérdida de humedad gracias a los lípidos, un adecuado intercambio de gases gracias a los carbohidratos y proteínas y flexibilidad y resistencia mecánica gracias a los plastificantes.

Dadas las características hidrofílicas o hidrofóbicas de los biopolímeros, se deben crear matrices complejas basadas en los principios comunes en la formación de RC.

Según Sorrentino et al., (2007) el almidón puede usarse como recubrimiento aunque no forme películas con propiedades mecánicas apropiadas, ya que esto puede mejorarse con ayuda de plastificantes, modificaciones químicas, debiendo de formularse con ayuda de técnica como la emulsificación.

## **2.4. Emulsiones**

Una emulsión es un sistema disperso, constituido por la homogeneización o dispersión de dos o más fluidos no miscibles, en el que una de estas fases se encuentra distribuida de forma discontinua en el seno de la otra, denominándose fase dispersa y fase continua, respectivamente. La fase dispersa se encuentra en forma de pequeñas gotas distribuidas en la fase continua o dispersante; ambas fases son inestables, ya que la fase dispersa tiende a asociarse para constituir una capa que puede precipitar o migrar a la superficie, según la diferencia de densidades entre las dos fases, originando desestabilidad (McClements, 2012).

Las emulsiones son termodinámicamente inestables y tienden, después de un tiempo, a la separación de fases. Una alternativa a este hecho es la formación de una nanoemulsión que aunque termodinámicamente son inestables dada la alta energía libre de Gibbs superficial y tienden a la separación de fases, esto se lleva en mucho más tiempo, debido al tamaño de la nanopartícula por lo que se tiene un sistema más estable, esto al adicionar suficiente emulsificante (McClements, 2012).

### **2.4.1. Nanoemulsiones**

De acuerdo al tamaño de las partículas dispersas en la fase continua, las emulsiones se clasifican en: emulsiones o macroemulsiones, las cuales tienen un tamaño de gota entre 10 y 100  $\mu\text{m}$ ; las microemulsiones, presentan un tamaño de gota inferior a 10  $\mu\text{m}$  y las miniemulsiones o nanoemulsiones, un tamaño entre 20 y 500 nm (McClements, 2012).

Si se tienen micelas de una sustancia hidrófoba suspendidas en agua, se denominan como de aceite en agua (O/W por siglas en inglés), e inversamente, si las micelas de agua se encuentran en matriz hidrofóbica, se denominan W/O (McClements, 2011; Koroleva y Yurtov, 2012).

Para la formación de nanoemulsiones se parte de una formulación en donde se ha logrado una micro emulsion, posteriormente ésta se reducen de tamaño hasta el tamaño deseado utilizando el método adecuado (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Sistemas o métodos utilizados para formación de emulsiones.

<b>Método</b>	<b>Energía necesaria</b>
Agitación baja (manual)	Baja
Mezcladores estáticos y agitadores	Baja-Mediana
Mezcladores de alta velocidad (Ultraturrax)	Mediana
Ultrasonidos	Mediana-Alta
Homogeneizador de alta presión	Alta

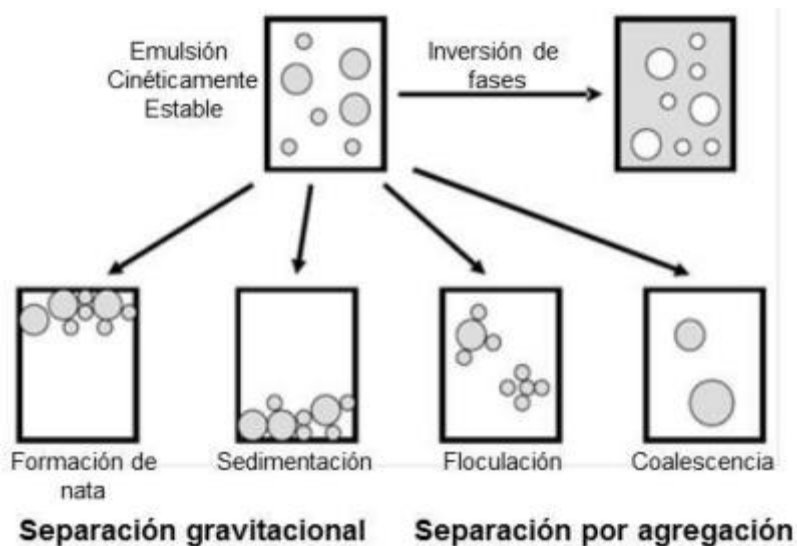
(Tadros et al., 2004).

Un método por el cual podemos obtener nanoemulsiones es mediante equipos de homogenización donde se usan altas presiones, en las cuales, una premezcla es forzada a atravesar micro canales creados para crear un flujo extremadamente forzado. El tamaño de las micelas depende de la presión aplicada, del número de recirculaciones y de la viscosidad del fluido a tratar. Las presiones con las que se procesan las emulsiones por este método pueden alcanzar, mediante el uso de pistones operados de forma pulsada, presiones de hasta  $10^4$  MPa (Tadros et al., 2004).

#### **2.4.2 Estabilidad de las nanoemulsiones**

Los sistemas coloidales se encuentran en estabilidad termodinámica por efecto de los surfactantes utilizados, sin embargo, al existir una desestabilización hay un aumento de tamaño de partícula de las más grandes a expensas de las pequeñas (Aranberri et al., 2006). Algunos mecanismos físicos responsables de la pérdida de estabilidad y de las propiedades de una emulsión se esquematizan en la Figura 7 y estas se resumen de la siguiente forma:

- La sedimentación inversa y la sedimentación son dos formas de separación gravitacional. La sedimentación inversa describe la migración de las gotas hacia la parte superior del sistema debido a la diferencia de densidades en las fases formando una “nata”. En la sedimentación ocurre el proceso inverso y se forma un sedimento en el fondo.
- La floculación y coalescencia son dos tipos de agregación de las gotas. La floculación ocurre cuando dos o más gotas se agregan, debido a las colisiones provocadas por el movimiento Browniano, conservando su individualidad. Mientras que en la coalescencia, la colisión de dos o más gotas forma una gota de mayor tamaño.
- Inversión de fases es el proceso mediante el cual una emulsión agua en aceite (W/O) se convierte en una emulsión aceite en agua (O/W), o viceversa, debido a la proporción en volumen de la fase dispersa.

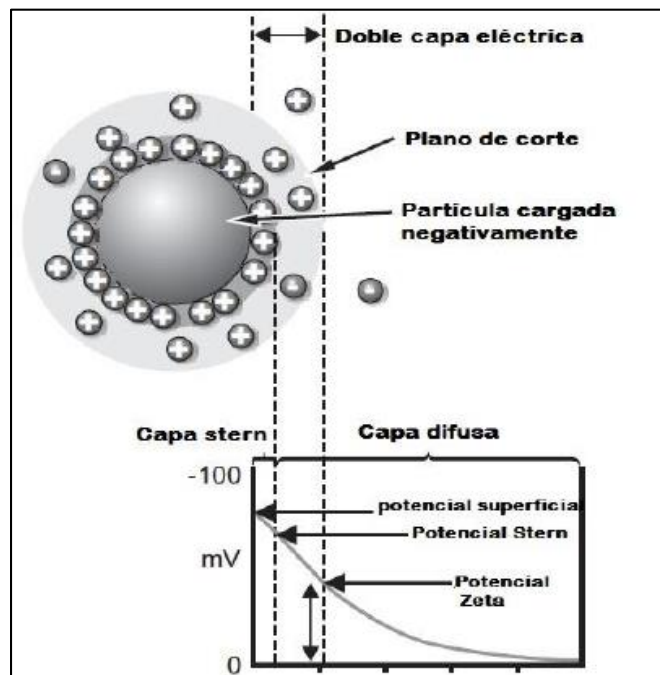


**Figura 7.** Mecanismos físicos de inestabilidad de una emulsión (McClements, 1999).

### 2.4.3 Movilidad electroforética

Las micelas suspendidas en las emulsiones suelen estar cargadas electrostáticamente debido a posible adsorción de minerales, emulsificantes o biopolímeros en su superficie (Weiss et al., 2006). Las propiedades eléctricas de las micelas son comúnmente caracterizadas en términos de la movilidad electroforética y ésta a su vez por el potencial zeta ( $\zeta$ ).

Todas las partículas en suspensión tienen una carga neta en su superficie, la cual va a estar rodeada fuertemente por iones de cargas contrarias, esta capa es llamada capa "Stern" o capa fija, la que a su vez está rodeada de otra capa de iones de carga similar que están unidos de una forma menos fuerte, a esta capa se le llama "difusa", por lo que se dice que las partículas cuentan con una doble capa eléctrica. El potencial zeta es la diferencia de cargas que existe entre la doble capa de Debye y el seno del líquido en que está en suspensión. La Figura 8 muestra una representación de las cargas eléctricas de una partícula en suspensión, donde se indica la doble capa y el  $\zeta$ . Es importante no confundir el término de carga electrostática, ya que éste se usa en sólidos y polvos (Salopek et al., 1992).



**Figura 8.** Representación de doble capa eléctrica y potencial zeta.

La teoría DLVO (Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek) propone que existen dos tipos de fuerzas que trabajan sobre la estabilidad de un sistema coloidal; débiles y de corto alcance como lo son las fuerzas de atracción de Van der Waals y fuerzas de repulsión electrostáticas que son fuertes y de mediano alcance (Salopek et al., 1992).

La combinación y equilibrio de estas fuerzas da principio a la estabilidad de los coloides. El potencial zeta es un indicador de la estabilidad de dispersiones; así, entre mayor sea la magnitud del  $\zeta$  mayor será la estabilidad del coloide (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Características de estabilidad con diferentes valores de  $\zeta$ .

<b>Características de estabilidad con diferentes valores de <math>\zeta</math></b>	<b>mV</b>
Máxima aglomeración y precipitación	+3 a 0
Excelente aglomeración y precipitación	-1 a -4
Justa aglomeración y precipitación	-5 a -10
Umbral de aglomeración	-11 a -20
Plataforma de estabilidad ligera (pocos aglomerados)	-21 a -30
Estabilidad moderada (no aglomerados)	-31 a -40
Buena estabilidad	-41 a -50
Muy buena estabilidad	-51 a -60
Excelente estabilidad	-61 a -80
Máxima estabilidad para sólidos	-81 a -100
Máxima estabilidad para emulsiones	-81 a -125

(Schramm, 2005).

La medición del potencial zeta se basa en la movilidad electroforética, la cual se define como el movimiento de partículas cargadas en suspensión mediante la influencia de un campo eléctrico externo. Estas partículas se mueven al polo opuesto a su carga, la velocidad con la que se mueven es proporcional a la magnitud de su carga, por lo tanto para poder calcular el potencial zeta es necesario medir la dirección y velocidad de estas partículas bajo un campo eléctrico externo.

La técnica empleada es dispersión de luz electroforética y se basa en la medida de la velocidad de las partículas mediante velocimetría láser por efecto Doppler, en donde se hace pasar una fuente de luz a través de la muestra mientras se le aplica un ligero campo eléctrico, en el que se moverán las partículas y son analizadas por la técnica de dispersión dinámica de luz, tomando en cuenta la velocidad y dirección en que se mueven, con lo que se medirá la magnitud (de la velocidad) y dirección (Schramm, 2005).



### III. JUSTIFICACIÓN

México es el séptimo productor de mango a nivel mundial y el primero exportador de este fruto. Esta actividad comercial está basada por la posición geográfica que tiene nuestro país con los Estados Unidos, primer importador de este producto. No obstante, esta actividad corresponde a producto fresco y no se han aprovechado otros mercados como el de los productos mínimamente procesados el cual está en pleno desarrollo y no se ha podido abordar debido a que los productos no cuentan con la tecnología apropiada para mantener su calidad por un periodo razonable que permita su comercialización y distribución en el mercado nacional y de exportación. Adicionalmente los hábitos de la alimentación humana han cambiado con el ritmo actual de vida, con escaso tiempo para preparar comidas equilibradas, ha provocado la demanda de productos vegetales frescos, saludables y listos para su consumo, como los mínimamente procesados. Los frutos tropicales son parte del mercado de los frutos mínimamente procesados. Estos productos son manipulados mediante diversas operaciones unitarias (selección, lavado, pelado, deshuesado y corte), higienizados y almacenados a temperaturas de refrigeración, lo cual mantiene sus atributos y cualidades del producto fresco por un tiempo relativamente corto. Las frutas tropicales después de haber sido cosechadas y aún después de haber sido mínimamente procesadas, continúan su proceso metabólico, ocasionando cambios en color, sabor y calidad nutricional, siendo favorecidas en algunos casos las condiciones para la proliferación de microorganismos disminuyendo su vida útil. Una opción para incrementar la vida útil de los productos mínimamente procesados es el uso de recubrimientos comestibles hechos a partir de almidón modificado en combinación con otros biopolímeros o agentes hidrofóbicos en forma de nanoemulsión y adicionados con antioxidantes los cuales proporcionarán a la industria una tecnología integral que permita un mejor control de la vida de anaquel de estos productos.

#### **IV. OBJETIVO GENERAL**

Mejorar el proceso de conservación de mango mínimamente procesado empleando recubrimientos comestibles a base de almidón modificado y carboximetilcelulosa incorporando agentes hidrofóbicos en forma de nanoemulsión y antioxidantes.

#### **V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de la aplicación de nanoemulsiones a base de almidón modificado, carboximetilcelulosa y la combinación de ambos, en la calidad y conservación de mango mínimamente procesado pre tratado con soluciones de  $\text{CaCl}_2$ .
- Evaluar el efecto de tamaño de partícula de recubrimientos comestibles a base de almidón modificado y carboximetilcelulosa, en la calidad y conservación de mango mínimamente procesado con pre tratamientos de  $\text{CaCl}_2$ .
- Evaluar el efecto de los recubrimientos comestibles de diferente tamaño de partícula de almidón modificado y carboximetilcelulosa, en la actividad enzimática asociada al oscurecimiento del mango mínimamente procesado.

## VI. METODOLOGÍA

### 6.1. Material Biológico

Los frutos de mango cv. "Ataulfo" fueron obtenidos en la Central de Abastos de Querétaro, México y llevados al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Autónoma de Querétaro. Fueron seleccionados los frutos en estado de madurez  $\frac{3}{4}$  libres de defectos. Los mangos seleccionados, fueron almacenados a 5 °C y 90-95% HR por 24 h antes de ser sometidos al procesamiento mínimo.

Los mangos se sometieron a un lavado manual por cepillado y después a una desinfección por inmersión en solución de plata coloidal 0.018% durante 10 min.

### 6.2 Preparación de mango mínimamente procesado

En la Figura 9 se muestra el diagrama de proceso seguido para la preparación de mango mínimamente procesado; simulando las condiciones del proceso industrial, los mangos se sometieron a un proceso de pelado manual, se cortaron los "cachetes" del fruto con un cuchillo afilado y de ellos se obtuvieron cubos de 2 cm por lado, las piezas obtenidas se colocaron en charolas con hielo para mantener la temperatura baja (aproximadamente 4-7 °C).

La siguiente etapa consistió en la aplicación de un pre tratamiento de inmersión del producto en una solución de  $\text{CaCl}_2$  al 1% por un período de 2 min, posteriormente el agua fue drenada y el mango se escurrió durante 2 min para remover el exceso de la misma. Posteriormente se aplicaron las nanoemulsiones (descritas en las secciones 6.2.1 y 6.2.2), por inmersión del producto durante 3 min, después se drenaron durante 2 min. Se utilizó como grupo control el producto sin la nanoemulsión.

Todo el material utilizado en la preparación de las muestra se sanitizó en una solución de plata coloidal. El producto fue envasado manualmente en envases de polipropileno de 150 mL de capacidad con tapa; cada envase contenía 70 g de fruta.

Todos los envases se colocaron en cajas de cartón y fueron almacenadas en cámaras de refrigeración a 5 °C ubicadas en la Universidad Autónoma de Querétaro hasta su análisis.

### **6.3.1 Preparación de recubrimientos comestibles, primera etapa**

La emulsión se preparó por el método de emulsificación convencional (Solans et al., 2005). La fase dispersa estuvo compuesta por 2 g/L de acetato de dl -tocoferol, 20 g/L de glicerol y 1.6 g/L de surfactante lipofílico (Span<sup>®</sup>80, HLB=4.3). La fase continua se preparó con 8.4 g/L de surfactante hidrofílico (Tween<sup>®</sup>80, HLB=14.9) y se varió el polisacárido en cada recubrimiento con 40 g/L de almidón ingredion<sup>®</sup>, 3 g/L carboximetilcelulosa y la mezcla de ambos. Una vez preparadas ambas fases para cada una de las emulsiones, se mezclaron en proporción 1:1, la fase oleosa se dispersó en la fase acuosa por medio de un agitador de velocidad variable a cabo de 3 ciclos de dispersión a 10,000 rpm por 5 min, los tiempos de reposo entre cada ciclo fueron de 5 min, se empleó un dispersor rotor/estator Ultra-Turrax (IKA<sup>®</sup>T25) y un dispersor (Modelo 25N-10G-ST).

Se pasaron las emulsiones previamente preparadas en un sistema de homogenización a alta presión (Nano DeBEE) a una presión de 150 MPa.

### **6.3.2. Preparación de recubrimientos comestibles, segunda etapa**

#### **6.3.2.1 Preparación de emulsión convencional**

La emulsión se preparó por el método de emulsificación convencional (Solans et al., 2005). La fase dispersa estuvo compuesta por 2 g/L de acetato de dl  $\alpha$ -tocoferol, 20 g/L de glicerol y 1.6 g/L de surfactante lipofílico (Span<sup>®</sup>80, HLB=4.3). La fase continua se preparó con 40 g/L almidón ingredion<sup>®</sup>, 3 g/L carboximetilcelulosa y 8.4 g/L de surfactante hidrofílico (Tween<sup>®</sup>80, HLB=14.9). Una vez preparadas ambas fases, estas se mezclaron en proporción 1:1, la fase oleosa se dispersó en la fase acuosa por medio de un agitador de velocidad variable a cabo de 3 ciclos de dispersión a 2000 rpm por 5 min, los tiempos de reposo entre cada ciclo fueron de 5 min, empleando un dispersor rotor/estator Ultra-Turrax IKA<sup>®</sup>T18 Basic y un dispersor (Modelo S18N-10G).

### **6.3.2.2 Preparación nanoemulsión**

La nanoemulsión fue preparada a partir de la formulación de acuerdo con lo descrito en el punto 6.3.2.1. Para disminuir el tamaño de partícula las condiciones de homogenización fueron: tres ciclos de dispersión a 10,000 rpm por 5 min cada ciclo y periodos de reposo de 5 min entre cada ciclo, empleando un dispersor rotor/estator de alta velocidad (Ultra-Turrax IKA®T25) y un dispersor (Modelo S25N N25G, IKA®).

El tamaño final de las nanoemulsiones se alcanzó mediante un proceso de ultra homogenización pasando las emulsiones previamente preparadas en un sistema de homogenización a alta presión (Nano DeBEE) a una presión de 150 MPa.

## **6.4. Estrategia experimental**

El trabajo experimental de este estudio se llevó a cabo en dos etapas; en la primera etapa se evaluó el efecto de diferentes nanoemulsiones a base de almidón modificado, carboximetilcelulosa y la combinación de ambos en la calidad de MMP.

En la segunda etapa se evaluó el tamaño de partícula de recubrimientos comestibles a base de la combinación de almidón modificado y carboximetilcelulosa en la calidad del producto. La metodología de cada una de estas etapas se presenta a continuación.

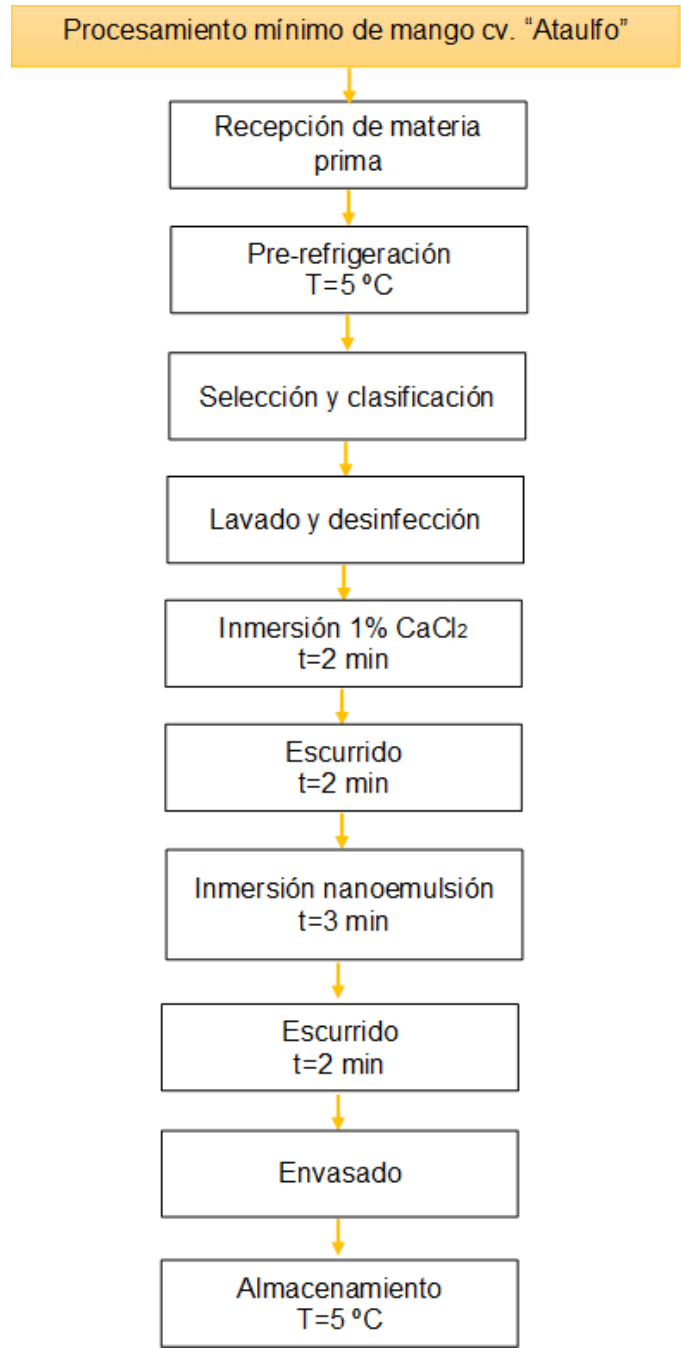
### **6.4.1. Primera etapa. Estudio del efecto de los RC en emulsión simple en la calidad del producto.**

En función de datos reportados en la literatura para otro tipo de frutos (Chiumarelli y Hubinger, 2012) se eligieron los componentes y las cantidades de ellos que mejores resultados han mostrado como almidón y carboximetilcelulosa así como la mezcla de ellos. En el Cuadro 7 se resume la composición de estas emulsiones aplicadas.

**Cuadro 7.** Composición de las fases de la emulsión de los RC para el tratamiento de mango mínimamente procesado.

<b>Fase dispersa</b>	<b>Fase continua</b>	
20 g/L glicerol	8.4 g/L tween <sup>®</sup> 80	40 g/L almidón ingredion <sup>®</sup>
2 g/L $\alpha$ -tocoferol		3 g/L carboximetilcelulosa
1.6 g/L span <sup>®</sup> 80		40 g/L almidón ingredion <sup>®</sup> + 3 g/L carboximetilcelulosa

El procesamiento mínimo del mango se realizó en el Laboratorio de Alimentos de la Universidad Autónoma de Querétaro como se describe en la Figura 9.

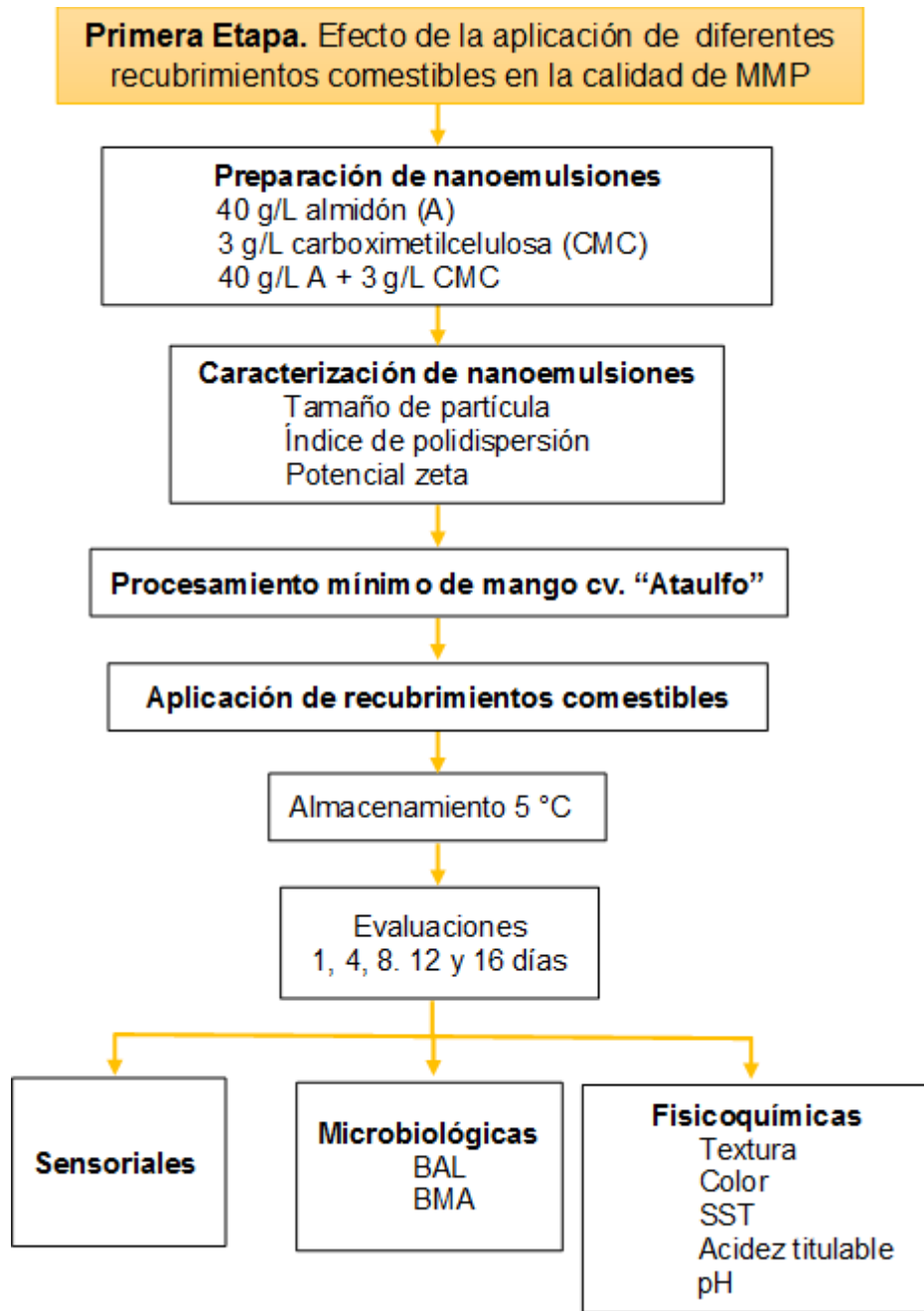


**Figura 9.** Proceso de preparación de mango mínimamente procesado.

En la Figura 10 se presenta de manera esquemática los procedimientos realizados durante esta etapa, realizando las siguientes evaluaciones:

- Caracterización de los recubrimientos. Tamaño de partícula, índice de polidispersión (IDP) y potencial zeta ( $\zeta$ ).
- Calidad sensorial. A través de escalas subjetivas se evaluó el aspecto visual, textura, oscurecimiento, aroma y liberación de líquido.
- Análisis microbiológicos. Contenido de bacterias ácido lácticas (BAL) y bacterias mesófilas aerobias (BMA).
- Análisis fisicoquímicos. Determinación de textura y color, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable y pH.





**Figura 10.** Estrategia general seguida durante la primera etapa.

#### 6.4.2. Segunda etapa. Estudio del efecto del tamaño de partícula de recubrimientos comestibles.

El procesamiento mínimo de mango se realizó bajo las condiciones de laboratorio descritas anteriormente.

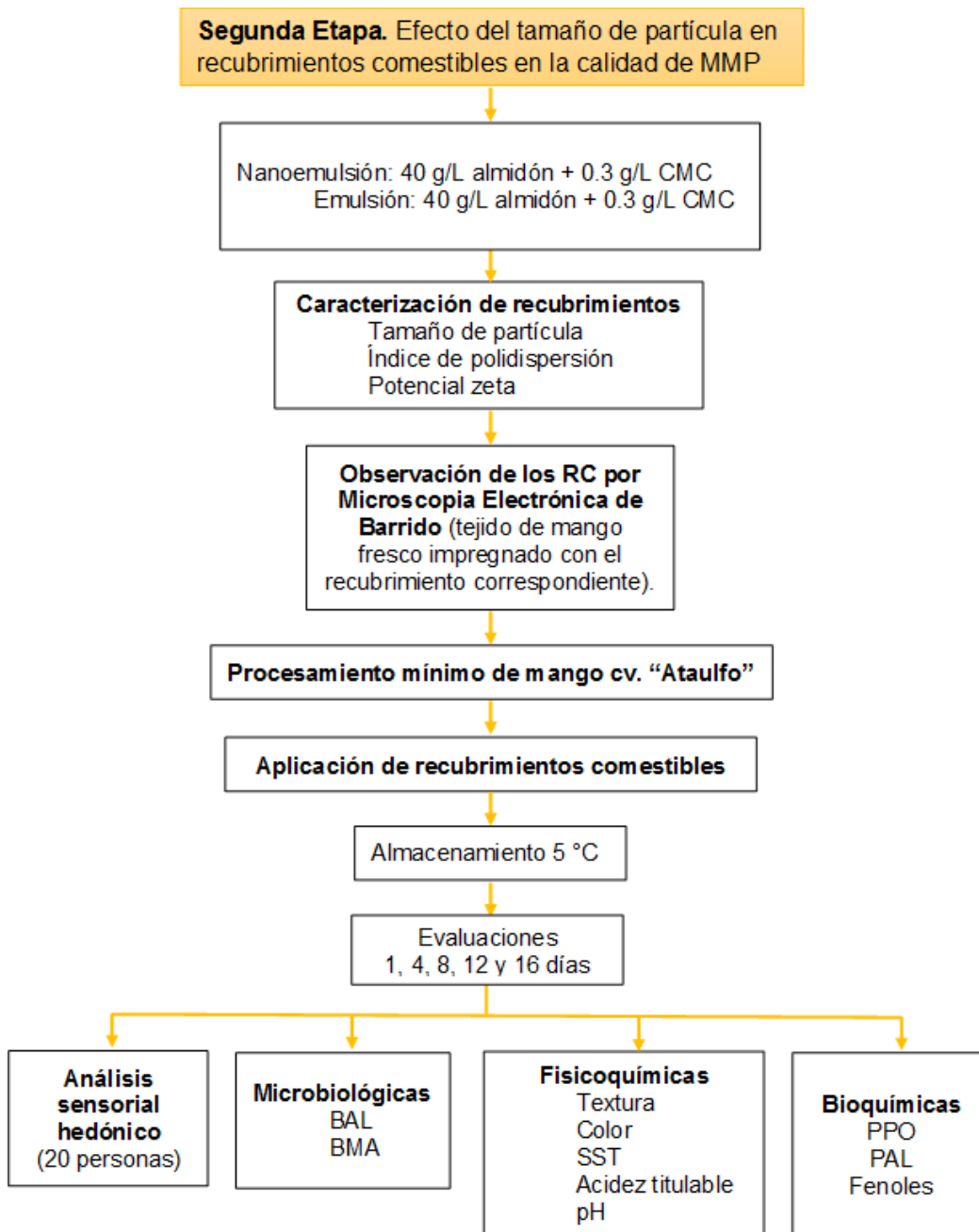
En el Cuadro 8 se muestra la composición de emulsión y nanoemulsión utilizadas en esta etapa (se describen en las secciones 6.2.1 y 6.2.2).

**Cuadro 8.** Composición de emulsión y nanoemulsión.

<b>Fase dispersa</b>	<b>Fase continua</b>
20 g/L glicerol	84 g/L tween <sup>®</sup> 80
2 g/L $\alpha$ -tocoferol	40 g/L almidón ingredion <sup>®</sup>
1.6 g/L span <sup>®</sup> 80	3 g/L carboximetilcelulosa

En la Figura 11 se presenta de manera esquemática los procedimientos realizados durante esta etapa, realizando las siguientes evaluaciones:

- Caracterización de recubrimientos. Tamaño de partícula, IDP y  $\zeta$ .
- Micrografías por electrónica de barrido (SEM)
- Análisis sensorial
- Análisis fisicoquímicos. Determinación de textura y color, SST, acidez titulable y pH.
- Análisis bioquímicos. Actividad de las enzimas polifenol oxidasa (PPO) y fenilalanina amonio liasa (PAL) y contenido de fenoles totales.



**Figura 11.** Estrategia experimental seguida durante la segunda etapa.

## **6.5. Caracterización de recubrimientos comestibles**

Entre los parámetros más importantes a considerar en la preparación de nanoemulsiones se encuentran el tamaño de partícula, el índice de polidispersión (IDP) y el potencial zeta ( $\zeta$ ), a continuación se describe la metodología para la realización de estos análisis.

### **6.5.1. Tamaño de partícula e índice de polidispersión (IDP)**

La distribución del tamaño de partícula y del IDP de los sistemas coloidales se determinó mediante la técnica de dispersión de luz láser con un ángulo fijo de 90° usando un equipo Zetasizer® 4 (Malvern Ltd. Orsay, France). Con la finalidad de contar el número de partículas necesarias por segundo para la medición, las dispersiones fueron diluidas con agua Mili-Q®. Todas las mediciones se realizaron por triplicado, obteniendo la distribución de tamaños de partícula con su correspondiente IDP.

### **6.5.2. Potencial Zeta ( $\zeta$ )**

El potencial Zeta  $\zeta$  se determinó mediante electroforesis de partícula empleando un equipo Zetasizer® 4 (Malvern Ltd. Orsay, France). Se utilizaron soluciones diluidas de las dispersiones en agua Mili-Q® midiendo el potencial Zeta  $\zeta$  en relación a la movilidad electroforética, tomando como referencia soluciones de poliestireno ( $\zeta = -55$  mV). El  $\zeta$  es una medida del grado de repulsión entre las NC adyacentes, las partículas cargadas en forma similar en una dispersión provoca repulsión de las mismas, de tal manera que en una dispersión coloidal si el  $\zeta$  es alto (positivo o negativo) entonces las nanoemulsiones formadas estarán electrostáticamente estabilizadas (Bala et al., 2005).

## **6.6. Cuantificación de bacterias mesófilas aerobias y bacterias ácido lácticas**

Los días 1, 4, 8, 12 y 16 de almacenamiento a 5 °C, se tomaron muestras por triplicado de MMP, de los diferentes tratamientos de RC aplicados. Los procedimientos de preparación de las muestras para el examen microbiológico, siembra, incubación y cuantificación de microorganismos se indican a continuación.

El recuento microbiano se llevó a cabo según lo reportado por Cepeda-Márquez (2009). Diez gramos de muestra de MMP se homogenizaron con 90 mL de buffer fosfato de sodio 0.5 M empleando un stomacher a una velocidad media durante 2 min. A partir de esta suspensión se prepararon diluciones decimales. Alícuotas de las diferentes suspensiones se inocularon en los diferentes medios de cultivo recomendados para cada grupo microbiano de interés en el análisis:

- **Cuantificación de bacterias mesófilas aerobias (BMA)**

Este grupo de microorganismos se cuantificó mediante la técnica de vaciado en placa utilizando agar cuenta estándar (ACE). En condiciones estériles, se tomó 1 mL de cada una de las diluciones de cada muestra, se colocó en cajas de Petri a la cual posteriormente se le añadió 15 mL de medio de cultivo, la caja se tapó y se mezcló homogéneamente, una vez solidificado el agar las placas se invirtieron y se incubaron a 35 °C durante 48 h para el recuento.

- **Cuantificación de bacterias ácido lácticas (BAL)**

Este grupo de bacterias se cuantificó mediante la técnica de extensión en superficie utilizando agar MRS (Man Rogosa y Sharp) específico para este tipo de microorganismos. Se tomaron 100 µL de cada dilución seleccionada y se extendió en la superficie del medio de cultivo utilizando una varilla de vidrio. Las cajas se taparon y se incubaron a 30 °C durante 48 h.

Los recuentos se realizaron una vez cumplido el tiempo de incubación para cada grupo de microorganismos utilizando un contador de colonias.

Las unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de tejido fresco se cuantificaron mediante la expresión y los resultados se reportaron como log UFC/g.

$$\frac{\text{UFC}}{\text{g}} = \frac{\text{A1} * \text{Fd}}{\text{Vi}} * \frac{\text{Vt}}{\text{Va}}$$

Dónde:

A1 = número de colonias contadas en la placa

Fd = factor de dilución decimal, ejemplo: D1 = 1, D2 = 10, D3 = 100, etc.

Vi = volumen del inóculo, 0.1 mL para BAL y 1 mL para BMA.

Vt = volumen total (100 ml) → masa de alimento (10g) más el volumen del buffer de fosfato de sodio 0.5 M (90 ml).

Va = masa del alimento

## **6.7. Análisis fisicoquímicos**

Los efectos asociados al recubrimiento aplicado y al tiempo de almacenamiento se evaluaron determinando los cambios fisicoquímicos, microbiológicos y enzimáticos en el producto almacenado en refrigeración durante 16 días. La metodología seguida para la realización de estos estudios se describe a continuación.

### **6.7.1. Evaluación de los cambios de textura**

La textura se determinó según lo descrito por Sarzi de Souza et al., (2006). De cada envase se tomaron tres cubos de mango seleccionados al azar, la textura se midió con un analizador de textura utilizando una sonda cilíndrica de 5 mm a una velocidad de penetración de 1 mm/s a una profundidad de 4 mm. Los resultados se reportaron como fuerza de ruptura en Newtons (N) y deformación (mm).

### 6.7.2. Evaluación sensorial de la calidad de los productos

La calidad sensorial del MMP se midió a través del tiempo de almacenamiento a los días 1, 4, 8, 12, 16, mediante el uso de escalas subjetivas estructuradas de acuerdo a lo descrito por Beaulieu y Lea., (2003); dicha escala indicó la severidad de un defecto desde el punto de vista del consumidor. La evaluación se realizó utilizando cartas descriptivas de los defectos (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Escalas subjetivas para evaluación de la calidad de MMP.

Características de calidad	Puntuación subjetiva				
	9	7	5	3	1
Calidad visual	Excelente; libre de defectos	Buena, defectos menores, no objetables	Regular, defectos objetables de leves a moderados	Pobre, defectos excesivos	Extremadamente pobre; excesiva
Daño en el tejido (oscurecimiento)	Extremo: muy oscuro	Severo	Moderado	Ligero	Ninguno: apariencia corte fresco
Consistencia (pérdida de textura)	Ninguno	Ligero: no objetable	Moderado: comienza a ser objetable	Severo: definitivamente objetable	Extremo: rechazable
Aroma (desagradable, extraño)	Ninguno: característico	Ligero: no objetable	Moderado: comienza a ser objetable	Severo: definitivamente objetable	Extremo: rechazable
Líquido exudado	Extremo	Severo	Moderado	Ligero	Ninguno

(Beaulieu y Lea, 2003).

<sup>b</sup>5 puntuación límite para la comercialización del producto.

### **6.7.3. Determinación del color**

La medición de los cambios de color se realizó utilizando un espectrofotómetro Minolta CR-200/30, utilizando como referencia el iluminante A y observador a 10 °. El equipo fue previamente calibrado utilizando una superficie blanca como referencia ( $x = 82.03$  y  $y = 100$  y  $z = 72.98$ ). Una vez calibrado, se midió el color en 3 cubos de mango para cada tratamiento y se registraron los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  con los cuales se determinó el valor del ángulo de matiz  $Hue = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ .

### **6.7.4. Determinación de pH**

El pH se determinó en el jugo de 20 g de muestra siguiendo el método de la AOAC 32.010 (AOAC, 2002), utilizando un potenciómetro (Philips Harris modelo E3039018G/K, Shenstone England) con electrodo combinado (modelo P43-120) calibrado con soluciones buffer de pH 4.0, 7.0 y 10.0.

### **6.7.5. Determinación de Sólidos Solubles Totales**

La concentración de sólidos solubles totales (SST) se determinó en el jugo extraído de una porción de la muestra como se indica en el método 932.12 de la AOAC (2002), utilizando un refractómetro modelo HI 96801 (Hanna instruments), el cual mide el índice de refracción de la luz provocada por los sólidos solubles (azúcares libres, ácidos orgánicos entre otros) presentes en el jugo a 20 °C. El índice de refracción del agua pura es de 1.3345 y corresponde a 0% de sólidos solubles. Dado que en los productos hortícolas el mayor contenido de sólidos solubles son azúcares se puede expresar el contenido de SST como °Brix, asumiendo que 1 °Brix es equivalente al 1% de sacarosa en solución acuosa (NMX-F-274-1984).



#### **6.7.6. Determinación de acidez titulable**

La medición de la acidez titulable se determinó siguiendo el método 942.15 de la AOAC (2002), el cual consiste en tomar 5 g de tejido fresco a los que se les adicionó 20 mL de agua destilada, posteriormente se homogenizó en un homogeneizador Ultra-Turrax IKA®T25 durante 20 seg a 13 500 rpm, se filtró y se tomó una alícuota de 5 mL para titular con NaOH 0.1 N, empleando 0.3 mL de solución de fenolftaleína al 1 % como indicador.

La acidez titulable se expresó en porcentaje de ácido cítrico por cada 100g de muestra, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{(N(\text{NaOH})(\text{mL gastados NaOH})(\text{vol. aforado})(\text{meq. ácido})}{(\text{vol. alicuota})(\text{peso muestra})} * 100$$

Miliequivalentes de ácido cítrico = 0.064 g (NMX-F-102-S-1978)

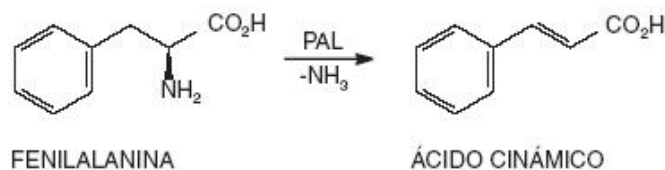
#### **6.8. Cuantificación de la actividad enzimática**

Para la cuantificación de las actividades enzimáticas se tomaron aleatoriamente y por triplicado muestras de MMP tratadas con y sin nanoemulsión y emulsión, durante los días 1, 4, 8, 12 y 16 de almacenamiento a 5 °C.

Los métodos para la cuantificación de las actividades enzimáticas se describen a continuación.

##### **6.8.1. Actividad enzimática de fenil alanina amonio liasa (PAL)**

Se utilizó el método descrito por Ke and Saltveit., (1989), el cual se basa en cuantificar la cantidad de ácido trans-cinámico producido por la PAL a partir de su sustrato fenil alanina. El método cuantifica espectrofotométricamente, después de una hora de incubación a 40 °C, el incremento en la absorbancia de la muestra a 290 nm. Un incremento en la absorbancia de 0.01 unidades es equivalente al incremento de 1 µmol de ácido trans-cinámico. La reacción que lleva a cabo esta enzima se observa en la Figura 12.



**Figura 12.** Reacción enzimática de la PAL para la transformación de la fenilalanina a ácido trans-cinámico.

### 6.8.1.1 Obtención del extracto enzimático

A 0.4 g de Polivinilpirrolidona (PVP), se adicionó 16 mL de buffer de borato 50 mM (pH 8.5), 14  $\mu$ L de 2-mercaptoetanol y 4 g de tejido finamente picado. La mezcla se homogenizó durante 15 segundos en un homogeneizador Ultra-Turrax T25 a 8000 rpm; el homogenizado se filtró a través de manta de cielo para ser centrifugado a 12 000 rpm a 4 °C durante 20 minutos. El sobrenadante se consideró como el extracto crudo de la enzima.

### 6.8.1.2 Determinación de la actividad enzimática

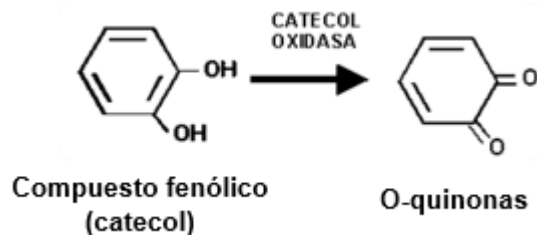
La actividad de PAL se determinó incubando en un baño con agua a 40 °C, una serie de tubos de ensayo que contenían 2700  $\mu$ L del extracto enzimático después de 5 min incubación, se inició la reacción adicionando 300  $\mu$ L del sustrato fenilalanina 100 mM midiéndose la absorbancia a 290 nm al tiempo cero y después de una hora de incubación. La longitud de onda elegida es la máxima absorción del ácido cinámico.

La actividad de PAL se expresó como la cantidad de PAL que produjo 1  $\mu$ mol de ácido trans-cinámico en 1 hora. La cantidad de ácido trans-cinámico formado se cuantificó utilizando una curva de calibración de este ácido a diferentes concentraciones.

La absorbancia debido al ácido trans-cinámico formado en una hora se calculó mediante la diferencia entre la absorbancia obtenida al cabo de 1 h y la absorbancia al tiempo cero. Los resultados se reportaron como  $\mu$ mol de ácido trans cinámico  $h^{-1} g^{-1}$  de tejido fresco.

### 6.8.2. Actividad enzimática de la polifenoloxidasasa (PPO)

La actividad de la enzima PPO se realizó siguiendo la metodología descrito por Montgomery y Sgarbieri., (1975), la cual se basa en el cambio de color que provoca en el medio de reacción la polifenol oxidasasa al oxidar el catecol a quinonas (Figura 13).



**Figura 13.** Reacción de oxidación catalizada por la PPO sobre el catecol.

#### 6.8.2.1 Extracción del extracto enzimático

Se colocaron 5 g de tejido fresco en un tubo Falcon, a los cuales se les añadió 20 mL de buffer de fosfato 50 mM a pH 7.0 y 0.6 g de Polivinilpolipirrolidona (PVPP) insoluble (SIGMA-ALDRICH). El conjunto se homogeneizó durante 15 segundos en un homogeneizador Ultra-Turrax IKA®T25 a 8000 rpm.

El homogenizado se filtró a través de manta de cielo, la solución obtenida se centrifugó a 10 000 rpm a 4 °C durante 15 minutos, el sobrenadante constituyó el extracto enzimático crudo utilizado para la determinación de la actividad de la PPO.

### **6.8.2.2 Determinación de la actividad de PPO**

Una serie de tubos conteniendo 2.85 mL de buffer de fosfatos 0.2 M (pH 7) y 50  $\mu$ L de catecol (60 mM) como sustrato, se incubaron en un baño de agua a 25 °C durante 5 min. La reacción se inició agregando 100  $\mu$ L de extracto enzimático se leyó la absorbancia a 420 nm al tiempo cero en un espectrofotómetro Perkin Elmer (Lamda 40) y después de 3 min. El cambio de 0.001 de absorbancia por minuto se consideró como una unidad de actividad de PPO (UA).

## **6.9. Cuantificación de fenoles totales**

### **6.9.1 Obtención del extracto de fenoles**

La determinación de fenoles totales se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu descrito por Fossen y Pedersen (1996) con modificaciones. A 5 g de MMP se le adicionaron 15 mL de metanol al 95%, la mezcla se homogeneizó en un Ultra-Turrax IKA®T25 durante 1 min, el homogenizado se filtró con manta de cielo y se centrifugó el sobrenadante por 15 min a 10 000 rpm a una temperatura de 4 °C. El sobrenadante obtenido se diluyó en metanol al 95% en una relación 1:10, la solución obtenida fue utilizada para la determinación de fenoles.

### **6.9.2 Cuantificación de los fenoles**

Se tomaron 30  $\mu$ L de muestra blanco y se adicionaron 150  $\mu$ L del reactivo Folin Ciocalteu 1N (1:10), se dejó reposar la muestra durante 5 min después de agitación. Transcurrido el tiempo se añadieron 120  $\mu$ L de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (7.5%). Se dejó la muestra en reposo durante 1 h, posteriormente se midió la absorbancia en un lector de ELISA a 760 nm (en microplaca). Se utilizó una curva de calibración de ácido gálico para cuantificar la concentración de fenoles totales. Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (mgEAG) por gramo.

#### **6.10. Observaciones por Microscopia Electrónica de Barrido de los recubrimientos de MMP**

Las observaciones de la distribución de las nanoemulsiones sobre los trozos de MMP se llevó a cabo realizando un corte longitudinal del tejido, colocando la muestra en el porta muestras y aplicándoles un baño de oro (~20 nm) utilizando un evaporador catódico *Sputter Coater JFC-1100* (Jeol, Tokyo Japan), se observaron en un microscopio electrónico de barrido de bajo vacío Jeol JSM-6060LV con resolución de 5nm y 7 kV y de 12-20 Pa de presión en la cámara el voltaje.

#### **6.11. Análisis sensorial global del producto terminado**

Se evaluaron los atributos de textura, aroma, sabor y agrado global de mango sin recubrimientos y muestras recubiertas con nanoemulsión y emulsión a los días 1, 8 y 16 de almacenamiento a 5 °C.

La evaluación se llevó acabo con 20 panelistas (16 mujeres y 4 hombres) de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro y fueron seleccionados por el consumo frecuente de mango en un rango de edades de 22 a 30 años. Se aplicó una prueba de nivel de agrado, en la que se utilizó una escala estructurada de 9 puntos que describe desde un extremo de agrado hasta un extremo de desagrado. Los consumidores recibieron tres muestras de cada uno de los mangos, todas las muestras presentadas a los consumidores fueron codificadas utilizando número aleatorios de tres dígitos (Apéndice 2).

#### **6.12. Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos se expresaron como la media  $\pm$  error estándar (EE). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de confianza de 95%. La diferencia entre los tratamientos evaluados se realizó mediante la comparación de media por la prueba de Dunnett. Los datos se analizaron con el paquete estadístico JMP 8.0.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Etapa 1. Estudio del efecto de los RC a base de almidón y CMC en la calidad de mango mínimamente procesado

#### 7.1.1 Caracterización de la emulsión simple

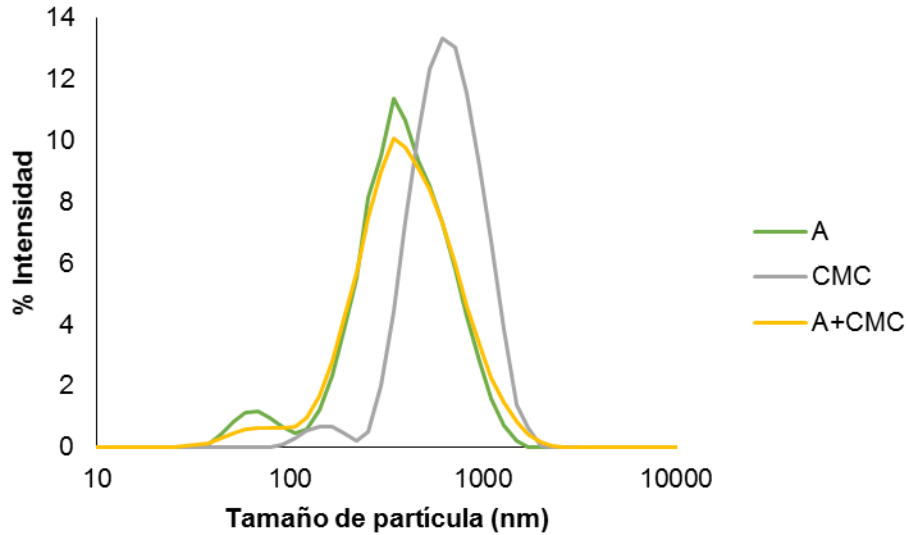
##### 7.1.1.1 Tamaño de partícula, potencia $\zeta$ e índice de polidispersión (IDP)

Bajo las condiciones de preparación de las emulsiones descritas para la primera etapa de este estudio se midieron las características de tamaño y estabilidad de las mismas. El Cuadro 10 concentra los valores medios de los datos de tamaño de partícula, potencial  $\zeta$  y el IDP de los diferentes RC utilizados en la primera etapa del estudio.

**Cuadro 10.** Caracterización del tamaño y estabilidad de almidón, CMC y almidón+CMC.

Nanoemulsión	Tamaño de partícula (nm)	Potencial $\zeta$ (mV)	Índice de polidispersión (IDP)
Almidón	261 $\pm$ 29.51	-5.76 $\pm$ 0.72	0.40 $\pm$ 0.06
CMC	538 $\pm$ 38.11	-42.30 $\pm$ 1.41	0.33 $\pm$ 0.09
Almidón + CMC	319 $\pm$ 9.62	-13.83 $\pm$ 1.77	0.42 $\pm$ 0.07

La Figura 14 muestra la distribución de frecuencia de tamaños de partícula expresados como % en volumen de la nanoemulsión preparada con, almidón, CMC o almidón+CMC. Los tres recubrimientos mostraron una distribución bimodal de tamaños; para los materiales A y A+CMC, la primera moda se ubicó en tamaños de 50 y 100 nm, mientras que para CMC esa primera moda se ubicó alrededor de 100 y 200 nm en todos los casos la frecuencia de estos tamaños fue menor al 2%; la segunda moda fue la más importante, las suspensiones de A y A+CMC mostraron una moda de 261 y 319 nm con frecuencias de 10 y 11% respectivamente mientras que CMC mostró una moda de 538 nm y una frecuencia cercana a 14%. Por su parte el IDP mostró valores de 0.40, 0.33 y 0.42 para las suspensiones de A, CMC y A+CMC respectivamente.



**Figura 14.** Distribución de tamaño de partícula de almidón (A), carboximetilcelulosa (CMC) y A+CMC.

De acuerdo a Aranberri et al., (2006), estos datos parecen sugerir que las características de estabilidad de estos sistemas parecen no ser las óptimas, lo que puede ser importante en la agregación de partículas durante el almacenamiento. La distribución del tamaño de partícula de las dispersiones depende en gran medida del proceso utilizado, de la asociación biopolímero-activo y del tipo y concentración del surfactante utilizado (Bilbao-Sáinz et al., 2010). Las partículas de CMC en presencia de almidón disminuyeron la proporción de tamaños de 500 nm para presentar una distribución de tamaños similar a las suspensiones de almidón.

### 7.1.2 Potencial Zeta ( $\zeta$ )

Bala et al., (2005) han establecido que el  $\zeta$  es una medida del grado de repulsión entre partículas similarmente cargadas en una dispersión, de tal forma que un valor absoluto alto representa un sistema electrocinéticamente establecido. Mirhosseini et al., (2008) mencionan que potenciales  $\zeta$  con valores absolutos menores de 25 mV son indicativos de probable agregación de las dispersiones. En general el potencial  $\zeta$  para A, CMC y A+CMC fue de -5.8, -42.2 y -13.8 mV respectivamente.

De acuerdo con Schramm et al., (2005) valores de potencial  $\zeta$  entre -5 y -10 pueden presentar problemas de aglomeración y que dentro de valores entre -13 y -20 mV el sistema está en el umbral de aglomeración por lo que las suspensiones de A y A+CMC solas tendrían problemas de estabilidad mientras que la suspensión de CMC tendría buena estabilidad (-43 mV) aunque el tamaño de partícula fue grande. Esta diferencia de tamaño indujo a evaluar la eficiencia de estos sistemas en MMP.

## 7.2 Cambios en la calidad microbiológica de mango mínimamente procesado

Los datos del conteo de colonias de las bacterias mesófilas aeróbicas (BMA) y de bacterias ácido lácticas (BAL) fueron comparadas estadísticamente con los conteos registrados en el tratamiento control a través de la prueba de Dunnett. La significancia estadística del efecto de los tratamientos en el crecimiento de estos grupos de microorganismos durante el almacenamiento a 5 °C se muestra en los Cuadros 11 y 12, la dinámica de crecimiento se muestra en las Figuras 15 y 16.

**Cuadro 11.** Valores de probabilidad en el contenido de BMA.

<b>Tratamiento*Días</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 12</b>	<b>Día 16</b>
Almidón	0.9583	0.085	0.4976	<0.0001*	0.9141
CMC	0.2107	0.1967	0.9074	0.2321	0.2802
Almidón + CMC	0.2107	0.1042	0.1965	<0.0001*	0.0003*

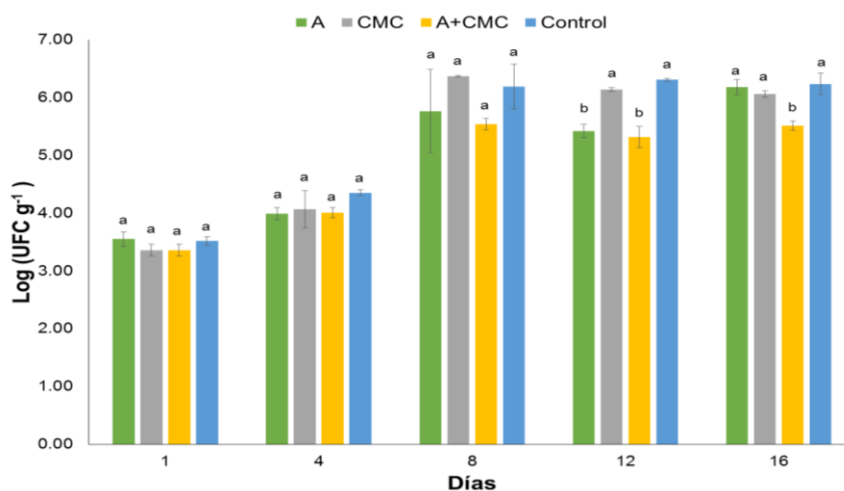
\*=P ≤ 0.05

Las cargas microbianas al inicio del experimento parecen ser altas (~3 log UFC g<sup>-1</sup>); no obstante, los datos son parecidos a los reportados por Rattanapanone et al., (2001) y Chien et al., (2007) quienes en mango mínimamente procesado de las variedades Tommy Atkins e Irwin respectivamente. Durante los primeros 8 días de almacenamiento a 5 °C, no se observaron diferencias significativas en las cuentas de BMA en los tratamientos aplicados (Figura 15). No obstante, en el día 12, las muestras recubiertas con A y A+CMC mostraron diferencias significativas con el tratamiento control observándose un menor desarrollo (5 a 5.5 log UFC g<sup>-1</sup>) respecto del grupo control y del tratamiento con CMC los cuales mostraron cuentas mayores (alrededor de 6 log UFC g<sup>-1</sup>).



Así mismo en el día 16 (Figura 15), el tratamiento a base de A+CMC mostró diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) con el control mostrando el menor crecimiento de BMA ( $5.5 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ). Los niveles de crecimiento al día 16 fueron de  $6 \log \text{ UFC g}^{-1}$  en los tratamientos de A y CMC. Encontrándose el recubrimiento de A+CMC en los límites de comercialización. La dinámica de crecimiento de estos microorganismos fue más retardada que la reportada por Rattanapanone et al., (2001) y Chien et al., (2007) quienes registraron estos mismos niveles de cuenta a los 8 y 6 días bajo condiciones de 5 y 6 °C respectivamente.

Así mismo en el día 16 (Figura 15), el tratamiento a base de A+CMC mostró diferencia significativa con el control, A y CMC, mostrando el menor desarrollo de BMA ( $5.5 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ); mientras que en MMP recubierto con A y CMC los niveles de desarrollo al día 16 fueron de  $6 \log \text{ UFC g}^{-1}$ . Según estos resultados en MMP recubierto con A+CMC se encuentra en los límites de comercialización. La dinámica de crecimiento de estos microorganismos fue más lenta que la reportada por Rattanapanone et al., (2001) y Chien et al., (2007) quienes registraron estos mismos niveles de desarrollo a los 8 y 6 días bajo condiciones de 5 y 6 °C respectivamente.



**Figura 15.** Crecimiento de bacterias mesófilas aerobias (BMA) en MMP, durante su almacenamiento a 5 °C. Letras diferentes por día indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ) (Prueba de Dunnet).

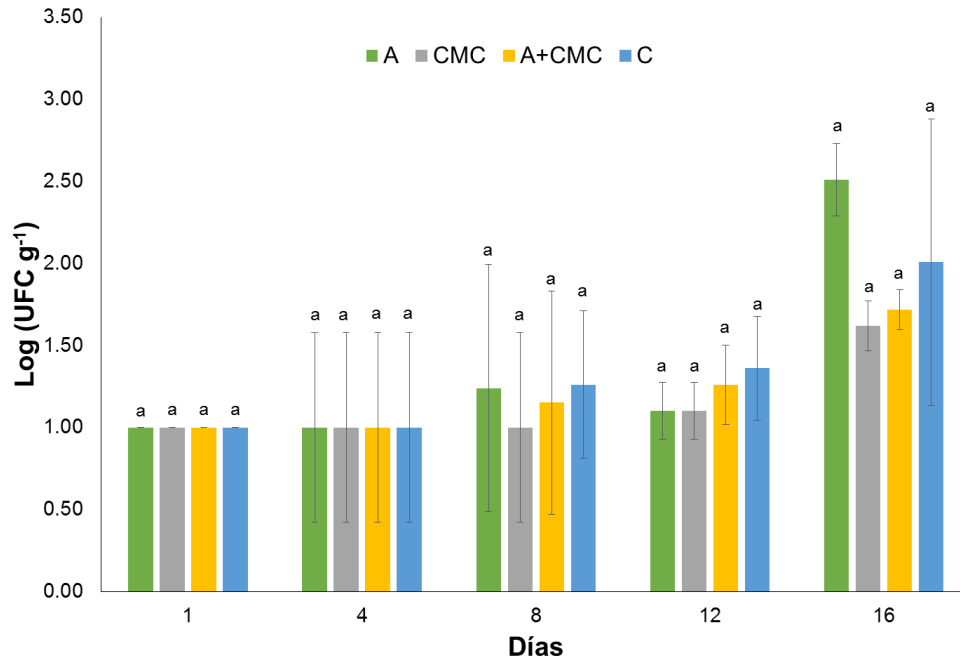
Los datos de Chien et al., (2007) señalan la tendencia en el desarrollo de BMA en MMP sin tratamiento superficial a través del tiempo; no obstante, en mango con un RC a base de 1 a 2 % de quitosano observaron un menor crecimiento (alrededor de 1 log) después de 7 días almacenamiento a 6 °C. Los conteos reportados por estos autores fueron, de 3.82 log UFC g<sup>-1</sup> al inicio del proceso y de 6.4 para el grupo control y de 5.53 log UFC g<sup>-1</sup> para el grupo tratado al final del almacenamiento.

En cuanto el crecimiento de las BAL, estas no presentaron diferencias estadísticas significativas con el control (Cuadro 12 y Figura 16) y permanecieron en un rango de 1 a 2 log UFC g<sup>-1</sup> durante su almacenamiento a 5 °C, indicando que no existieron condiciones para el desarrollo de este grupo de microorganismos. Este resultado era esperado ya que la tapa del envase no es de cierre hermético y probablemente no se generó las condiciones de menor concentración de oxígeno en el ambiente que permitiera el desarrollo de los mismos.

**Cuadro 12.** Valores de probabilidad en el contenido de BAL.

<b>Tratamiento*Días</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 12</b>	<b>Día 16</b>
Almidón	1	1	0.9446	0.4329	0.4437
CMC	1	1	0.5546	0.4329	0.6260
Almidón + CMC	1	1	0.8238	0.9136	0.7852

\*=P ≤ 0.05



**Figura 16.** Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en MMP, durante su almacenamiento a 5 °C en almidón (A), carboximetilcelulosa (CMC) y A+CMC. Letras diferentes por día indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

La carga microbiana determinada al inicio del almacenamiento, puede indicar una baja calidad sanitaria en el producto (Fernández-Escartín, 2008), no obstante, estos conteos coinciden con los reportados por Chien et al., (2007). De igual forma la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSAI-1994 establece como límites máximos 5-6 log UFC g<sup>-1</sup>, por lo anterior se puede estimar un tiempo de vida de anaquel menor a 12 días para este producto, bajo las condiciones establecidas en este experimento.

### 7.3 Efecto del tipo de recubrimiento en la calidad sensorial de mango mínimamente procesado

#### 7.3.1. Calidad Visual

El Cuadro 13 resume la significancia estadística de la comparación de los diferentes recubrimientos evaluados a través de la prueba de Dunnett respecto de las muestras control en la calidad visual del producto y el Cuadro 14 muestra los datos de comparación de medias para cada tratamiento durante el período de almacenamiento.

Como se indicó en el Cuadro 9 de la sección 6.7.2 de análisis sensorial; las muestras al inicio de su experimento mostraron un aspecto visual calificado por los jueces como buena (7) y excelente (9) ya que las calificaciones variaron entre 7.00 y 7.89.

**Cuadro 13.** Valores de probabilidad de la calidad visual en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.0066*	0.0012*	0.0016*	0.1797	0.5016
CMC	0.0012*	0.4044	0.7828	0.3344	0.848
Almidón + CMC	0.0066*	<0.0001*	0.0009*	0.8423	0.1892

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 14.** Comparación de medias de calidad visual en MMP durante su almacenamiento.

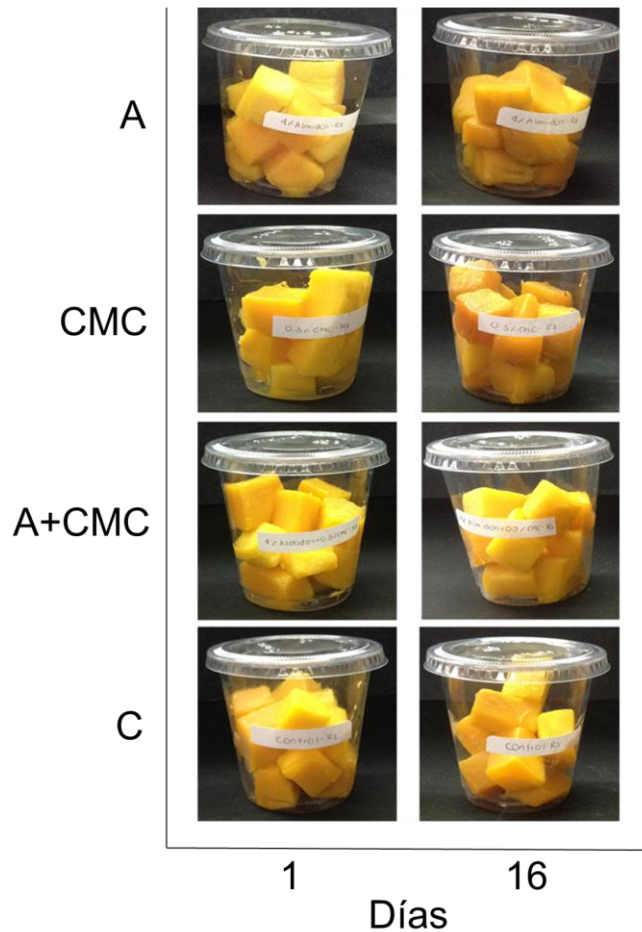
Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	7.67 ± 0.00 <sup>b</sup>	7.89 ± 0.38 <sup>b</sup>	7.67 ± 0.00 <sup>b</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
4	5.33 ± 0.00 <sup>b</sup>	5.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	6.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	4.89 ± 0.19 <sup>a</sup>
8	5.78 ± 0.51 <sup>b</sup>	3.78 ± 0.38 <sup>a</sup>	6.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	3.44 ± 0.84 <sup>a</sup>
12	4.67 ± 0.92 <sup>a</sup>	5.11 ± 0.38 <sup>a</sup>	5.33 ± 0.00 <sup>a</sup>	4.33 ± 0.67 <sup>a</sup>
16	3.67 ± 1.53 <sup>a</sup>	4.11 ± 1.02 <sup>a</sup>	4.33 ± 0.66 <sup>a</sup>	2.56 ± 1.02 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

Después de 8 días de almacenamiento, la calidad visual percibida sensorialmente fue calificada de regular a buena (5 a 6) en las muestras recubiertas con A y A+CMC en comparación con las muestras control y CMC que fueron calificadas como pobres de calidad (3 a 4).

Después de 12 días de almacenamiento las calificaciones de los jueces las señalaron como pobre y regular sin detectarse diferencias significativas entre los tratamientos, como era de esperarse a los 16 días de almacenamiento la calidad del visual del MMP control fue calificada como pobre (2.56), ligeramente mejor para el MMP recubierto con almidón (3.67) y aunque los mangos tratados con CMC y A+CMC tuvieron calificaciones entre pobre e irregular (4.11 y 4.33, respectivamente) fueron los que mejor calidad visual presentaron.

La Figura 17 muestra el aspecto visual de las muestras al inicio y después de 16 días de almacenamiento a 5°C. En estas imágenes es posible resaltar la diferencia que presentó la nanoemulsión de A+CMC, donde se aprecia un aspecto más claro y luminoso, respecto al control y las nanoemulsiones de A y CMC.



**Figura 17.** Aspecto visual de MMP almacenado a 5 °C.

Según la escala subjetiva, la calificación de 5 puntos (regular) indica que el producto se encuentra en los límites de comercialización. A los 8 días de almacenamiento la calificación promedio de MMP recubierto con la nanoemulsión A+CMC fue de 6.0 y a los 12 días de 5.33 a aunque la vida de anaquel no rebasó los 8 días de almacenamiento, ya que la calificación fue por debajo de 7 (regular), bajo esta variable de evaluación, la nanoemulsión A+CMC es la más recomendable.

### 7.3.2. Oscurecimiento

El oscurecimiento del tejido se puede deber al cambio en el color que se genera, como consecuencia de la oxidación de pigmentos liberados durante el proceso de cortado (Vitti et al., 2003) o bien a una respuesta del tejido hacia el estrés mecánico del corte que puede inducir la síntesis de fenoles y un proceso de cicatrización que incluye la síntesis de fenoles y su incorporación en la pared celular (Aquino-Bolaños y Mercado-Silva, 2004).

La significancia estadística de los tratamientos en diferentes días de almacenamiento se muestra en el Cuadro 15 y la comparación de medias se muestra en el Cuadro 16.

**Cuadro 15.** Valores de probabilidad de oscurecimiento en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.8223	<0.0001*	0.0136*	0.0472*	0.2804
CMC	1	<0.0001*	0.0534*	0.1184	0.7392
Almidón + CMC	1	<0.0001*	0.0012*	0.1195	0.0356*

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 16.** Comparación de medias de oscurecimiento en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	1.22 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.8 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.38 <sup>a</sup>
4	2.00 ± 0.38 <sup>b</sup>	3.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	2.67 ± 0.38 <sup>b</sup>	4.33 ± 0.19 <sup>a</sup>
8	5.33 ± 0.67 <sup>b</sup>	5.78 ± 0.38 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.77 <sup>b</sup>	7.11 ± 0.38 <sup>a</sup>
12	3.89 ± 0.67 <sup>b</sup>	4.22 ± 1.17 <sup>a</sup>	4.22 ± 0.51 <sup>a</sup>	5.44 ± 0.19 <sup>a</sup>
16	3.89 ± 1.54 <sup>ab</sup>	6.56 ± 0.77 <sup>a</sup>	4.78 ± 0.38 <sup>b</sup>	7.22 ± 0.77 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

Al inicio del almacenamiento las muestras se percibían sin oscurecimiento (1.22 a 1.44), presentaron un color característico de mango fresco con una ligera tonalidad opaca en las muestras recubiertas comparadas con el control.

Después de 8 días de almacenamiento, el oscurecimiento percibido sensorialmente fue calificado de regular en las muestras recubiertas con A, CMC y A+CMC (5.33, 5.78 y 4.67, respectivamente) en comparación con las muestras control que fueron calificadas con un severo grado de oscurecimiento (7.11). Después de 12 días las calificaciones de los jueces las señalaron como ligero a moderado (3 a 5), con diferencias significativas en los tratamientos de A (3.89) con los demás tratamientos (4.22 a 5.44). A los 16 días de almacenamiento el MMP control presentó un severo oscurecimiento (7.22) respecto de los MMP con recubrimientos; en particular las muestras con A presentaron un oscurecimiento ligero a moderado (3.89). Estos resultados muestran que en MMP el recubrimiento a base de almidón ayuda a evitar el oscurecimiento logrando tener una apariencia aceptable.

Según Aked (2000), la apariencia es el atributo más importante en los productos mínimamente procesados. En ésta se involucran aspectos como tamaño, forma, marchitamiento, pérdida de color y coloraciones indeseables.

Al respecto Chauhan *et al.* (2006) consideran que la estabilidad del color en MMP está determinada por la susceptibilidad al oscurecimiento y pérdida de pigmentos. Probablemente el almidón produce una capa para evitar la oxidación de pigmentos liberados durante el proceso de cortado (Vitti *et al.*, 2003).

### **7.3.3. Aroma**

El desarrollo de olores extraños es un indicativo de deterioro del producto, esto puede deberse a la acumulación de productos de la respiración anaerobia como etanol y acetaldehído, también puede ser atribuido a la actividad microbiana que contribuye al desarrollo de malos olores y por tanto relacionada directamente con la carga de BMA y BAL (Martín-Belloso y Soliva-Fortuny, 2006).



En el Cuadro 17 se observa la significancia estadística de los diferentes tratamientos evaluados respecto a las muestras control en el desarrollo de aromas extraños o desagradables del producto y en el Cuadro 18 se muestran los datos de comparación de medias para cada tratamiento durante su almacenamiento.

**Cuadro 17.** Valores de probabilidad de aroma en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	1	1	0.0010*	<0.0001*	0.3406
CMC	1	1	0.006	0.0001*	0.1834
Almidón + CMC	1	1	<0.0001*	0.0001*	0.0529

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 18.** Comparación de medias de aroma en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	9.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	9.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	8.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	9.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
4	8.33 ± 0.00 <sup>a</sup>	8.33 ± 0.00 <sup>b</sup>	8.33 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.44 ± 0.00 <sup>a</sup>
8	8.11 ± 0.38 <sup>b</sup>	7.44 ± 0.38 <sup>a</sup>	6.44 ± 0.51 <sup>b</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
12	8.33 ± 0.00 <sup>b</sup>	7.67 ± 0.00 <sup>b</sup>	7.67 ± 0.38 <sup>b</sup>	7.00 ± 0.51 <sup>a</sup>
16	6.78 ± 1.39 <sup>a</sup>	7.00 ± 0.67 <sup>a</sup>	7.22 ± 0.38 <sup>a</sup>	5.44 ± 1.39 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

Según la escala subjetiva (Cuadro 9); el aroma desagradable o extraño comienza a ser detectado en las muestras con calificación igual o menor a 7. El aroma característico de mango fresco permaneció constante hasta 12 días de almacenamiento, siendo calificada por los jueces como sin ninguno o ligero aroma desagradable, en la muestras recubiertas con A, CMC y A+CMC en comparación con las muestras control que fueron calificadas como regular (7), teniendo indicios de un producto fermentado. Se observaron diferencias significativas a los días 8 y 12 en todos los tratamientos respecto al control. De acuerdo con (Ragaert et al., 2004), el olor, sabor y textura determinan la decisión de compra de los productos mínimamente procesados. Los resultados obtenidos muestran que el MMP recubierto con A conservo el aroma característico de mango con valores de 8.33

### 7.3.4. Consistencia

En el Cuadro 19 se presenta un resumen de la significancia estadística en comparación de los diferentes tratamientos evaluados y el Cuadro 20 se muestran los datos de comparación de medias para cada uno de los tratamientos evaluados, durante el período de almacenamiento.

**Cuadro 19.** Valores de probabilidad de consistencia en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.9554	<0.0001*	0.0001*	0.0019*	0.1384
CMC	1	0.0013*	0.0009*	0.0081*	0.5841
Almidón + CMC	1	0.0003*	<0.0001*	0.0082*	0.0047*

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 20.** Comparación de medias de consistencia en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	8.00 ± 1.00 <sup>a</sup>	8.78 ± 0.38 <sup>a</sup>	8.33 ± 0.58 <sup>a</sup>	7.67 ± 0.58 <sup>a</sup>
4	6.56 ± 0.38 <sup>b</sup>	6.33 ± 0.00 <sup>b</sup>	7.11 ± 0.38 <sup>b</sup>	5.44 ± 0.19 <sup>a</sup>
8	5.22 ± 0.38 <sup>b</sup>	2.67 ± 0.00 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.00 <sup>b</sup>	3.56 ± 0.38 <sup>a</sup>
12	6.56 ± 0.38 <sup>b</sup>	5.33 ± 0.00 <sup>b</sup>	6.22 ± 0.19 <sup>b</sup>	4.33 ± 0.00 <sup>a</sup>
16	4.56 ± 1.02 <sup>a</sup>	3.89 ± 0.77 <sup>a</sup>	5.67 ± 0.38 <sup>a</sup>	4.56 ± 0.38 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

En términos generales el tiempo de almacenamiento tuvo efectos importantes en la consistencia de MMP, observándose una tendencia de pérdida de textura. Después de 8 días de almacenamiento, la pérdida de textura (consistencia) apreciada sensorialmente fue calificada como moderada en las muestras recubiertas con A (5.22) y A+CMC (4.67) en comparación con las muestras control (3.56) y CMC (2.67) que fueron calificadas con una pérdida severa de textura.

Varela y Fiszman., (2007) indicaron que el almacenamiento a bajas temperaturas disminuye significativamente la pérdida de textura, debido a la reducción de la actividad de las enzimas pectimetilesterasas (PME) y poligalacturonasas (PG) que participan en la eliminación de las pectinas de la lámina media. Plotto et al., (2006) también observaron disminución significativa de la firmeza con el transcurso del tiempo en mango de la variedad “Kent”, que corresponde con el cambio en la textura evaluada sensorialmente.

### 7.3.5. Líquido exudado

En el Cuadros 21 y 22 se resumen el análisis de estadístico de la pérdida de líquido o lixiviado de MMP durante su almacenamiento y su comparación de medias, respectivamente.

**Cuadro 21.** Valores de probabilidad de lixiviado en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	1	1	0.0010*	<0.0001*	0.3406
CMC	1	1	0.006	0.0001*	0.1834
Almidón + CMC	1	1	<0.0001*	0.0001*	0.0529

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 22.** Comparación de medias de lixiviado en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	2.11 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.67 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.38 <sup>a</sup>
4	1.67 ± 0.38 <sup>a</sup>	3.11 ± 0.00 <sup>b</sup>	3.11 ± 0.51 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.00 <sup>a</sup>
8	4.22 ± 0.96 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.67 <sup>a</sup>	3.17 ± 0.67 <sup>b</sup>	1.33 ± 0.00 <sup>a</sup>
12	2.22 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.67 ± 1.39 <sup>b</sup>	3.44 ± 0.38 <sup>b</sup>	1.22 ± 0.38 <sup>a</sup>
16	3.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.44 ± 1.02 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.22 ± 0.38 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

De acuerdo a los resultados las muestras con recubrimientos presentaron valores más altos de lixiviación en comparación al control, esto puede deberse a que quedaron residuos de la nanoemulsión en los MMP y no fue suficiente el tiempo de drenado de los recubrimientos en el procesado mínimo.

Cabe señalar que el lixiviado percibido sensorialmente por los jueces fue calificado como ligero en todos los tratamientos y el control.

## 7.4 Cambios fisicoquímicos

### 7.4.1 Cambios objetivos de color

La significancia estadística de los factores para la medida objetiva del color a través del parámetro de luminosidad ( $L^*$ ) se muestran en el Cuadro 23. En cuanto a los resultados de comparación de medias se muestran en el Cuadro 24.

**Cuadro 23.** Valores de probabilidad de luminosidad en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.8599	<0.0001*	0.0294*	0.0894	0.0543
CMC	1	0.0024*	0.0971	0.1937	0.4056
Almidón + CMC	1	0.0006*	0.0032*	0.1952	0.0022*

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 24.** Comparación de medias de luminosidad en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	77.29 ± 2.07 <sup>a</sup>	76.78 ± 5.37 <sup>a</sup>	77.24 ± 0.02 <sup>a</sup>	77.16 ± 1.12 <sup>a</sup>
4	79.32 ± 5.08 <sup>b</sup>	76.31 ± 3.47 <sup>b</sup>	77.08 ± 4.28 <sup>b</sup>	77.38 ± 2.28 <sup>a</sup>
8	75.31 ± 1.62 <sup>b</sup>	77.31 ± 2.08 <sup>a</sup>	77.00 ± 1.45 <sup>b</sup>	79.20 ± 1.50 <sup>a</sup>
12	77.23 ± 0.96 <sup>a</sup>	78.10 ± 1.39 <sup>a</sup>	75.38 ± 3.41 <sup>a</sup>	79.79 ± 0.78 <sup>a</sup>
16	76.29 ± 0.92 <sup>a</sup>	76.68 ± 1.82 <sup>a</sup>	75.42 ± 3.62 <sup>a</sup>	77.89 ± 1.98 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

El valor de  $L^*$  se mantuvo constante durante los 16 días de almacenamiento con valores de 75.38 a 79.32 en todos los tratamientos evaluados. Resultados similares fueron obtenidos por Rattanapanone et al., (2001) en mango “Kent” y “Tommy Atkins” almacenados a temperatura ambiente.

De acuerdo con González-Aguilar et al., (2004), el valor de L\* es considerado un indicador de la frescura del producto, donde un valor alto de L\* en frutos mínimamente procesados se relaciona con una buena apariencia, mientras que valores bajos pueden indicar oscurecimiento en frutos mínimamente procesados como el mango. En nuestro estudio se observa que los diferentes recubrimientos comestibles ayudaron a mantener los valores de L\*, no observando diferencias significativas.

En los Cuadros 25 y 26 se observan los resultados de significancia estadística del ángulo de matiz (Hue) y su comparación de medias durante su almacenamiento, respectivamente.

**Cuadro 25.** Valores de probabilidad de Hue en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.9928	0.6819	0.3669	0.9013	0.9930
CMC	1	0.8271	0.5062	0.5407	0.9376
Almidón + CMC	0.9999	0.8758	0.0537	0.31	0.7624

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 26.** Comparación de medias de Hue en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	76.78 ± 5.37 <sup>a</sup>	77.24 ± 0.02 <sup>a</sup>	77.16 ± 1.12 <sup>a</sup>	77.29 ± 2.07 <sup>a</sup>
4	76.31 ± 3.47 <sup>b</sup>	77.08 ± 4.28 <sup>a</sup>	77.38 ± 2.28 <sup>a</sup>	79.32 ± 5.08 <sup>a</sup>
8	77.31 ± 2.08 <sup>a</sup>	77.00 ± 1.45 <sup>a</sup>	79.20 ± 1.50 <sup>a</sup>	75.31 ± 1.62 <sup>a</sup>
12	78.10 ± 1.39 <sup>a</sup>	75.38 ± 3.41 <sup>a</sup>	79.79 ± 0.78 <sup>a</sup>	77.23 ± 0.96 <sup>a</sup>
16	76.68 ± 1.82 <sup>a</sup>	75.42 ± 3.62 <sup>a</sup>	77.89 ± 1.98 <sup>a</sup>	76.29 ± 0.92 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05) (Prueba de Dunnett).

Los resultados en el parámetro Hue de MMP no mostraron diferencias significativas en los tratamientos respecto al control, durante los 16 días de almacenamiento. Se tuvieron rangos de valores de 75.31 a 79.79. En relación con el ángulo de matiz Hue, González-Aguilar et al., (2008) indicaron que en mango el cambio de Hue está determinado por una baja temperatura de almacenamiento y cultivar.

La baja temperatura reduce la actividad de las polifenol oxidasas involucradas en este tipo de deterioro indeseable, y las diferencias entre las variedades de mango se debe al contenido de azúcares, ácidos orgánicos, vitamina C, carotenoides y polifenoles, que determinan diferencias en la susceptibilidad al oscurecimiento.

Estos resultados concuerdan con lo estudiado por Chien et al., (2007) quienes observaron una menor deshidratación en cubos de mango recubiertos con quitosano manteniendo su color.

#### 7.4.2 Cambios en la textura

En el Cuadro 27 se muestran los valores de significancia estadística de la comparación de los diferentes recubrimientos y de las muestras de control en la textura objetiva del producto y el Cuadro 28 presenta los resultados de la comparación de medias para cada tratamiento durante el período de almacenamiento.

**Cuadro 27.** Valores de probabilidad de textura en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.9314	0.0821	0.05	0.4555	0.5883
CMC	0.9997	0.3753	0.9974	0.917	0.9247
Almidón + CMC	0.4876	0.0018*	0.9547	0.9914	0.9957

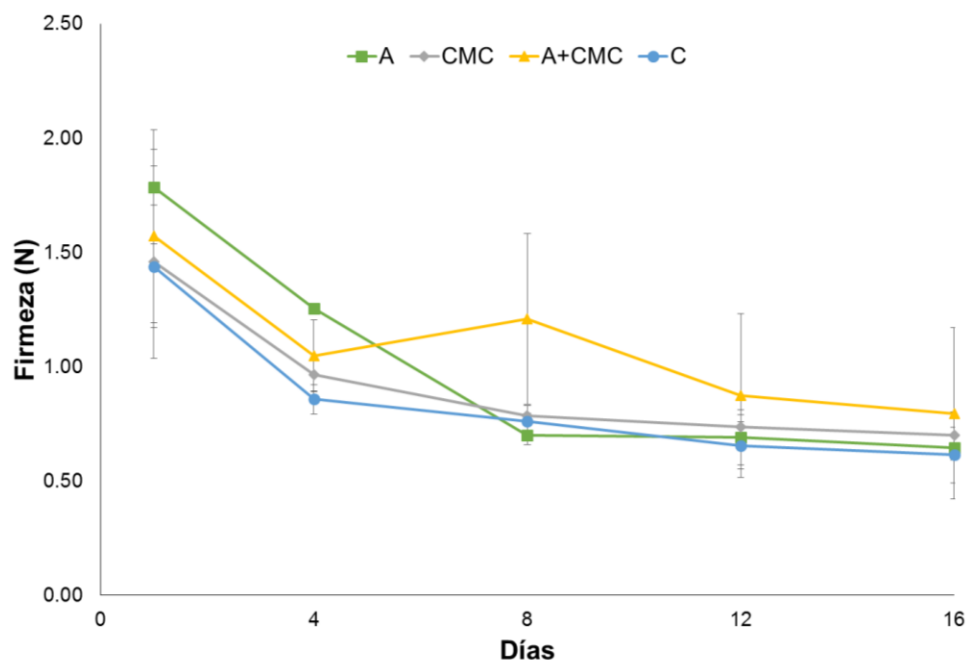
\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 28.** Comparación de medias de textura (N) en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	1.79 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.46 ± 0.42 <sup>a</sup>	1.57 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.27 <sup>a</sup>
4	1.26 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.97 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.05 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.86 ± 0.07 <sup>a</sup>
8	0.70 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.79 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.37 <sup>a</sup>	0.76 ± 0.04 <sup>a</sup>
12	0.69 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.74 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.36 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.10 <sup>a</sup>
16	0.65 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.38 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.12 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05) (Prueba de Dunnett).

De acuerdo con el análisis estadístico se presentan diferencias estadísticas al día 4 en MMP recubierto con A+CMC respecto al control. El recubrimiento A+CMC disminuyó su firmeza 49% mientras que CMC, A y el control perdieron más del 52%, respecto del día 1 al final de su almacenamiento (Figura 18).



**Figura 18.** Cambios en la textura (N) de MMP almacenados a 5 °C.

Rico et al., (2007) reportaron que la pérdida de firmeza es indeseable en productos mínimamente procesados debido a que los consumidores asocian directamente la textura con la frescura del tejido vegetal, por lo que una apariencia blanda puede incrementar el rechazo del producto. También González-Aguilar et al., (2008) indicaron una disminución significativa en la firmeza de cubos de mango de los cultivares “Ataulfo”, “Kent” y “Keitt”, durante su almacenamiento a 5 °C. De acuerdo con Martínez-Ferrer et al., (2002), la pérdida de firmeza observada en piña mínimamente procesada y mango, se debe a varios factores como pérdida de turgencia celular, aire extracelular y vascular, y degradación de los constituyentes de la pared celular.

### 7.4.3 Cambios en Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Los resultados del análisis estadístico se muestran en el Cuadro 29. De acuerdo a lo encontrado se observó significancia estadística en el día 8 de almacenamiento en todos los tratamientos y en el día 16 en los recubrimientos de CMC y A+CMC.

**Cuadro 29.** Valores de probabilidad de SST en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.1743	0.9356	0.0095*	0.5027	0.3676
CMC	0.3338	0.9951	0.0118*	0.7727	0.0131*
Almidón + CMC	0.1743	0.7942	0.0013*	0.2001	0.0131*

\*=P ≤ 0.05

En el Cuadro 30 se muestran los resultados de la comparación de medias, de manera general el contenido de azúcares varió de 8 a 11 °Brix, sin mostrar una tendencia clara a disminuir o aumentar durante los 16 días de almacenamiento. Esto concuerda con lo reportado por Barret et al., (2010) quienes indicaron que la evolución de SST depende del producto y de la temperatura durante y después del almacenamiento.

**Cuadro 30.** Comparación de medias de SST en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	9.27 ± 0.70 <sup>a</sup>	9.67 ± 0.42 <sup>a</sup>	9.40 ± 0.23 <sup>a</sup>	11.00 ± 1.91 <sup>a</sup>
4	7.80 ± 1.11 <sup>a</sup>	8.00 ± 0.35 <sup>a</sup>	7.53 ± 0.58 <sup>a</sup>	8.13 ± 1.17 <sup>a</sup>
8	9.47 ± 0.61 <sup>b</sup>	9.53 ± 0.58 <sup>b</sup>	8.80 ± 0.20 <sup>b</sup>	11.20 ± 0.60 <sup>a</sup>
12	9.73 ± 0.76 <sup>a</sup>	10.07 ± 0.23 <sup>a</sup>	9.20 ± 0.72 <sup>a</sup>	10.67 ± 1.51 <sup>a</sup>
16	8.87 ± 0.70 <sup>a</sup>	7.93 ± 0.50 <sup>b</sup>	7.93 ± 0.42 <sup>b</sup>	9.47 ± 0.23 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05) (Prueba de Dunnett).

En este estudio, comportamiento de esta variable podría estar determinado por la baja temperatura de almacenamiento. Un cambio lento en los SST indica una extensión en la vida de anaquel de los productos. Esto también fue reportado por Baldwin et al., (1995), quienes evaluando un recubrimiento comestible a base de celulosa en mango se, encontró un retraso en la maduración del fruto.



#### 7.4.4 Cambios en acidez titulable

Los resultados de los valores de probabilidad del análisis de varianza efectuado para determinar el efecto sobre los cambios en el contenido de ácido cítrico en el MMP se muestran en el Cuadro 31. No se observaron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos en comparación con el control.

**Cuadro 31.** Valores de probabilidad de acidez titulable en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.9901	0.5816	0.0868	1	0.2529
CMC	0.9129	1	0.2508	0.1504	0.5172
Almidón + CMC	0.5901	0.7948	0.145	0.9948	0.9954

\*=P ≤ 0.05

En el Cuadro 32 se muestran los valores de comparación de medias por cada tratamiento durante el período de almacenamiento. La acidez titulable expresada en porcentaje de ácido cítrico se encuentra en un rango de 0.35 a 0.96%.

**Cuadro 32.** Comparación de medias de acidez titulable (%) en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	0.96 ± 0.33 <sup>a</sup>	0.75 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.89 ± 0.51 <sup>a</sup>
4	0.63 ± 0.28 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.22 <sup>a</sup>
8	0.80 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.39 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.06 <sup>a</sup>
12	0.89 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.89 ± 0.12 <sup>a</sup>
16	0.87 ± 0.36 <sup>a</sup>	0.27 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.23 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

#### 7.4.5 Cambios en pH

Los resultados de significancia estadística de la comparación de los diferentes recubrimientos evaluados respecto de las muestras control en los cambios de pH de MMP se muestran en el Cuadro 33, no mostrando diferencias significativas en comparación del control.

**Cuadro 33.** Valores de probabilidad de pH en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.8665	0.3441	0.1157	0.9817	0.657
CMC	0.9616	0.1013	0.5728	0.872	0.4698
Almidón + CMC	0.8604	0.0445*	0.0745	0.6863	0.1871

\*=P ≤ 0.05

En el Cuadro 34 se muestran la comparación de medias para cada tratamiento durante el período de almacenamiento. Los recubrimientos mantuvieron el pH del fruto aproximadamente constante durante los 16 días de almacenamiento de 2.20 a 3.80, estos parámetros parecen indicar que la actividad metabólica se encontraba controlada, por lo que el consumo de azúcares disminuyó manteniendo mayores contenidos de sólidos solubles y hubo menor utilización de ácidos orgánicos para la respiración.

**Cuadro 34.** Comparación de medias de pH en MMP durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	2.77 ± 0.28 <sup>a</sup>	2.84 ± 0.29 <sup>a</sup>	3.12 ± 0.45 <sup>a</sup>	2.95 ± 0.31 <sup>a</sup>
4	3.18 ± 0.28 <sup>a</sup>	3.04 ± 0.15 <sup>a</sup>	2.95 ± 0.17 <sup>b</sup>	3.43 ± 0.17 <sup>a</sup>
8	3.08 ± 0.27 <sup>a</sup>	3.45 ± 0.70 <sup>a</sup>	2.98 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.80 ± 0.17 <sup>a</sup>
12	3.09 ± 0.24 <sup>a</sup>	3.14 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.93 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.05 ± 0.09 <sup>a</sup>
16	2.20 ± 0.50 <sup>a</sup>	3.38 ± 0.24 <sup>a</sup>	3.62 ± 0.55 <sup>a</sup>	2.93 ± 0.36 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

## 7.2 Segunda Etapa. Estudio del efecto del tamaño de partícula de recubrimientos comestibles

### 7.2.1 Caracterización del tamaño de los RC nivel nano

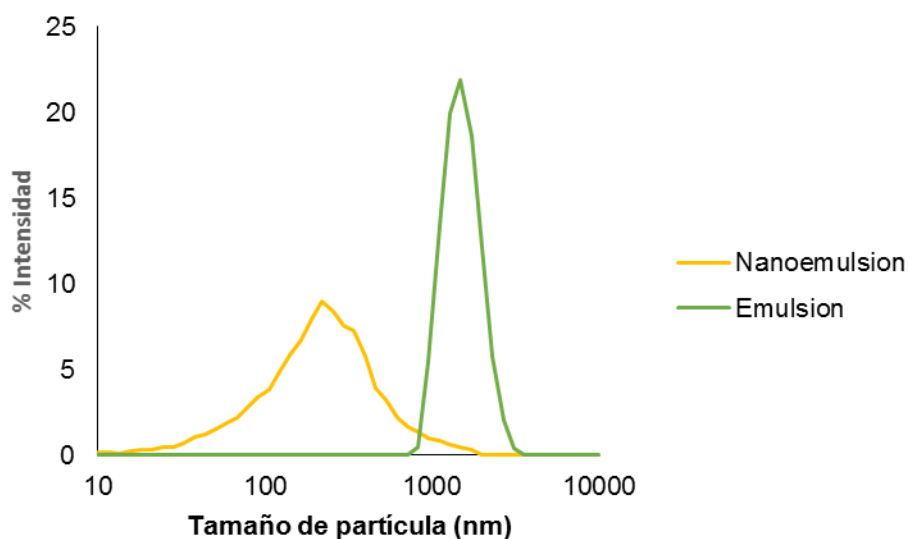
De acuerdo a los resultados de distribución de tamaños de las nanoemulsiones obtenidos en la primera etapa; se procedió a preparar las nanoemulsiones de acuerdo a lo indicado en la sección 6.3.2.2. La nanoemulsión preparada bajo dicho procedimiento se comparó con una emulsión que se preparó por el método de emulsificación convencional (descrito en la sección 6.3.2.1).

Los datos de caracterización de tamaños y estabilidad de las nanoemulsiones se resumen en el Cuadro 35.

**Cuadro 35.** Caracterización del tamaño y estabilidad de nanoemulsión y emulsión.

Tratamiento	Tamaño de partícula (nm)	Potencial $\zeta$ (mV)	Índice de polidispersión (IDP)
Nanoemulsión	194 $\pm$ 16.89	-8.05 $\pm$ 1.22	0.25 $\pm$ 0.07
Emulsión	1203 $\pm$ 35.37	-16.66 $\pm$ 1.34	0.24 $\pm$ 0.13

En la Figura 19 se presenta la distribución de tamaño de nanoemulsión y emulsión teniendo un comportamiento monomodal. La nanoemulsión mostró una mayor dispersión de tamaños (50 a 1000 nm) respecto de la emulsión (1000 a 10,000 nm), es posible que se presenten agregados coloidales de almidón y CMC. Para la nanoemulsión la moda se ubicó en 194 nm con una frecuencia de 10% en tanto que para la emulsión la moda fue de 1203 nm y una frecuencia de 23%. Relkin et al., (2008) reportaron comportamientos monomodales para nanoemulsiones de  $\alpha$ -tocoferol preparadas por el método de homogenización en caliente con tamaño de partícula menores a 200 nm.



**Figura 19.** Distribución de tamaño de partícula.

En cuanto al índice de polidispersión (IPD) se mantuvo en un promedio de 0.24 tanto en la emulsión como en la nanoemulsión. De acuerdo con Awad et al., (2008) un  $IDP \leq 0.2$  garantiza la estabilidad del sistema ya que disminuye la probabilidad del cambio del tamaño de partícula en corto tiempo. De acuerdo con estos autores, la dispersión de estos sistemas se encontró en los límites de estabilidad (0.24-0.25).

Por su parte el potencial  $\zeta$ , es un factor predictivo de la estabilidad física de una dispersión. Expresa la carga superficial de las partículas en dispersión y considera los efectos de todos los constituyentes del medio. Cuanto más alejado se encuentre de cero, el sistema tendrá menos probabilidad de fenómenos de separación de fases (agregación, coalescencia, floculación, etc.).

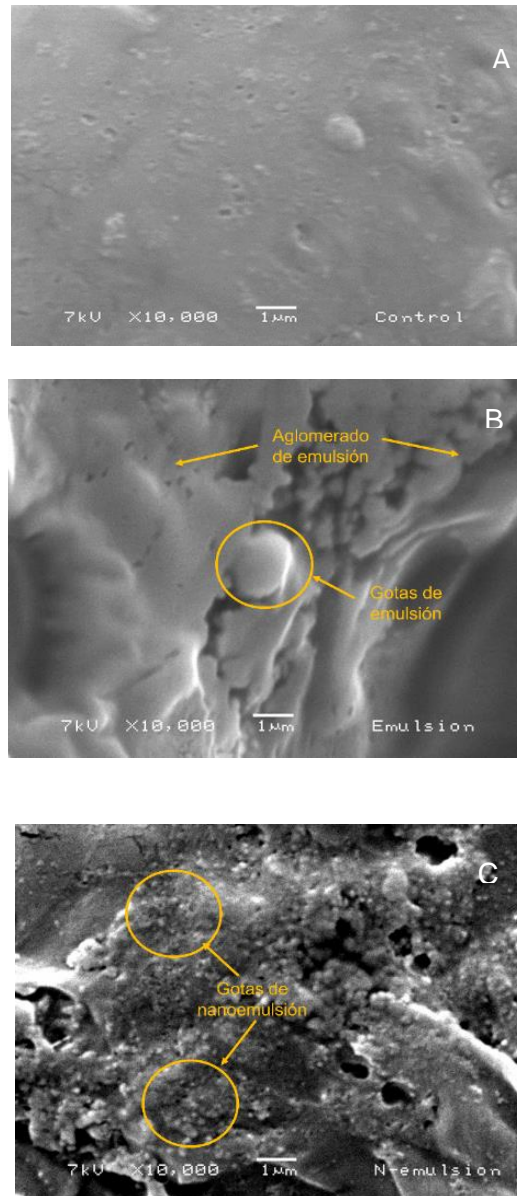
Los valores obtenidos en la nanoemulsión fue de -8.05 mV y de la emulsión de -16.66 mV. De acuerdo con Choi et al., (2011) el parámetro predictivo de la estabilidad de la emulsión es el potencial  $\zeta$ , lo que representa la carga superficial de las partículas y puede estar relacionado con la probabilidad de coalescencia debido al efecto de la interacción de la carga neta. De acuerdo con estos datos las nanoemulsiones preparadas por estos procedimientos mostraron un tamaño de partícula adecuado pero una baja estabilidad; esto implica que estos sistemas no deben ser almacenados y deben utilizarse lo más pronto posible después de su preparación.

#### **7.2.1.1 Observación por microscopia electrónica de barrido de los RC sobre la superficie de mango mínimamente procesado**

Un aspecto importante de los sistemas coloidales es su morfología, en la Figura 20 (B y C), se observan la morfología de la emulsión y nanoemulsión obteniendo una buena homogeneidad e integridad de los sistemas, así como una forma esférica de las gotas (Ushikubo y Cunha, 2014). Además los resultados se correlacionan con los tamaños de las partículas obtenidas por la luz de dispersión.

También se puede observar en la Figura 20 C que la distribución de la nanoemulsión fue más amplia en la superficie del MMP en comparación con la emulsión.

La mayor distribución facilita la interacción de la nanoemulsión y el antioxidante (dl-  $\alpha$ -tocoferol) con las moléculas de agua y oxígeno, disminuyendo la lixiviación de líquidos y el oscurecimiento.



**Figura 20.** Micrografías SEM del tejido de mango tratado con diferentes recubrimientos: a) sin recubrimiento, b) emulsión, c) nanoemulsión.

## 7.2.2 Evolución del desarrollo de BMA y BAL

La significancia estadística del efecto de tratamiento-día en el desarrollo de BMA y BAL de MMP durante su almacenamiento a 5 °C se observan en los Cuadros 36 y 37, y la dinámica de crecimiento en las Figuras 21 y 22.

**Cuadro 36.** Valores de probabilidad de BMA en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.9114	0.0124*	0.0010*	0.3235	<0.0001*
Emulsión	0.1323	0.1359	0.9820	0.9963	<0.0001*
CaCl <sub>2</sub>	0.9845	0.5803	0.0002*	0.9332	0.2621

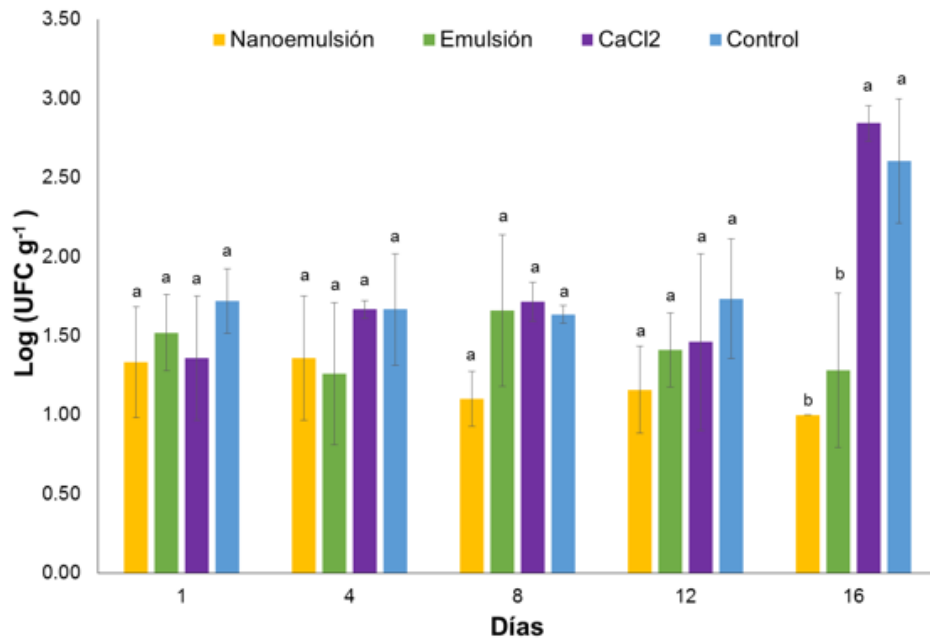
\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 37.** Valores de probabilidad de BAL en MMP durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.3501	0.5943	0.0896	0.254	0.0169*
Emulsión	0.7778	0.3958	0.9985	0.551	0.0427*
CaCl <sub>2</sub>	0.4008	1	0.0896	0.7423	0.8461

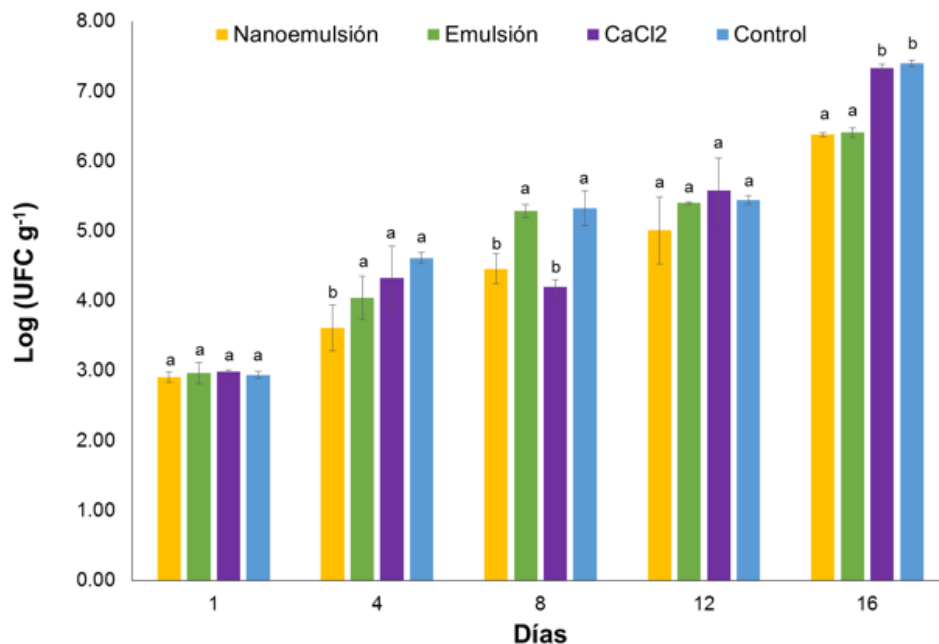
\*=P ≤ 0.05

En los tratamientos-día se encontró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el desarrollo de BMA en los días 4, 8 y 16 de almacenamiento de los productos recubiertos con nanoemulsión y emulsión. En cuanto al crecimiento de BAL existieron solo diferencias significativas al día 16 en la nanoemulsión y emulsión. Todos los tratamientos tuvieron una carga microbiana inicial de 2.91 a 2.99 log UFC g<sup>-1</sup>.



**Figura 21.** Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en MMP, durante su almacenamiento a 5°C. Letras diferentes por día indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

Los mangos recubiertos con nanoemulsión fueron los que tuvieron la menor carga microbiana de todos los tratamientos, teniendo como límite de comercialización del día 12 al 16.



**Figura 22.** Crecimiento de bacterias mesófilas aerobias (BMA) en MMP, durante su almacenamiento a 5°C. Letras diferentes por día indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

## 7.2.3 Análisis sensorial hedónico en el producto

### 7.2.3.1 Textura

Para evaluar la vida útil a partir de cambios sensoriales es necesario determinar aquellos que son críticos. En este sentido, el análisis sensorial descriptivo cuantitativo es uno de los métodos más útiles, pues permite determinar la magnitud y el sentido de los cambios sensoriales en función del tiempo de almacenamiento (Sancho et al., 2002). La evaluación sensorial de los productos se realizó a través de un método afectivo, se aplicó una prueba de nivel de agrado, en la que se utilizó una escala estructurada de 9 puntos que describe desde un extremo de agrado hasta un extremo de desagrado (9-1).

En el Cuadro 38 se muestra el análisis estadístico de los cambios de textura en MMP; no se presentaron diferencias significativas en el transcurso del almacenamiento.

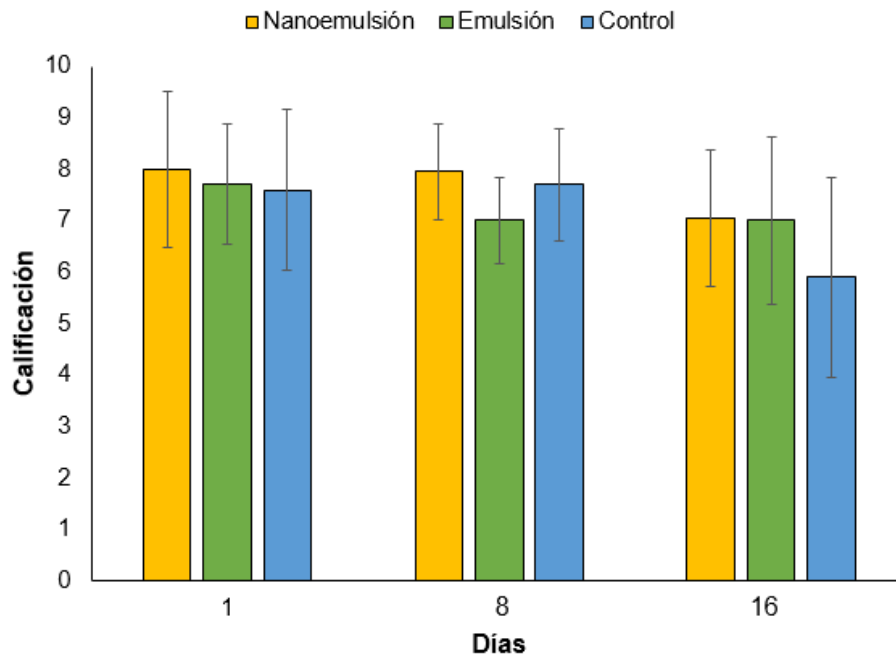


**Cuadro 38.** Valores de probabilidad en el cambio de textura en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 8	Día 16
Nanoemulsión	0.5837	0.6261	0.0375
Emulsión	0.965	0.737	0.0713

\*=P ≤ 0.05

De acuerdo con la Figura 23 la textura del mango fue disminuyendo con el tiempo de almacenamiento. Como se indicó en la sección 6.11 de análisis sensorial hedónico, después de 16 días de almacenamiento, los cambios de textura percibida sensorialmente fue calificada como me gusta moderadamente (calificación de 7) en las muestras con nanoemulsión y emulsión en comparación con las muestras control que fueron calificadas como no me gusta ni me disgusta (calificación de 5).



**Figura 23.** Análisis sensorial de textura en MMP almacenado a 5 °C.

Varela y Fiszman et al., (2007) indicaron que el almacenamiento a bajas temperaturas disminuye significativamente la pérdida de textura, debido a la reducción de la actividad de las enzimas pectinmetilesterasas (PME) y poligalacturonasa (PG) que participan en la eliminación de las pectinas de la lámina media.

Estudios previos por González-Aguilar et al., (2008), indican que la firmeza disminuyó significativamente en tres cultivares de MMP almacenados a 5 °C. Cienfuegos et al., (2004) y Plotto et al., (2006) también observaron una disminución significativa de la firmeza con el transcurso del tiempo en mango de la variedad “Kent”, que corresponde con el cambio en la textura evaluada sensorialmente.

### 7.2.3.2 Aroma

Los valores de probabilidad de análisis estadística general se muestran en el Cuadro 39. Así como los cambios registrados durante el período de almacenamiento se muestran en la Figura 24.

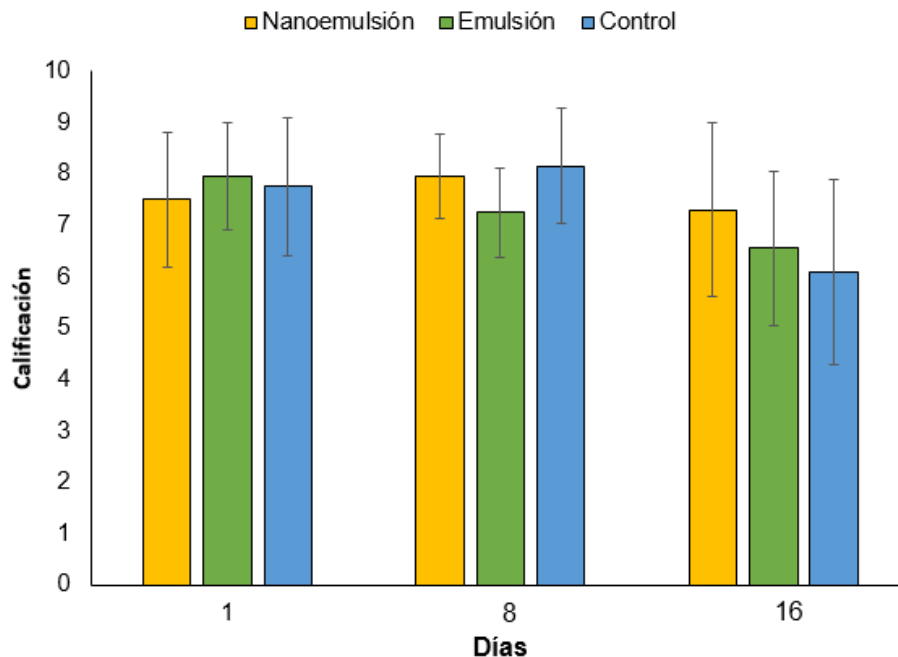
Se observaron diferencias significativas en el cambio de aroma del MMP durante su almacenamiento el día 8 en la nanoemulsión y emulsión con respecto al control y el día 9 solo en el MMP tratado con la nanoemulsión.

**Cuadro 39.** Valores de probabilidad en el cambio de aroma en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 8	Día 16
Nanoemulsión	0.7495	0.0428*	0.0495*
Emulsión	0.8296	0.0076*	0.6044

\*=P ≤ 0.05

En la Figura 24 muestra que después del día 16 de almacenamiento el aroma, fue percibido sensorialmente por los panelistas con agrado en la muestra recubierta con nanoemulsión en comparación con las muestras control y emulsión que fueron calificadas con valores menores.



**Figura 24.** Análisis sensorial aroma en MMP almacenado a 5 °C.

### 7.2.3.3. Sabor

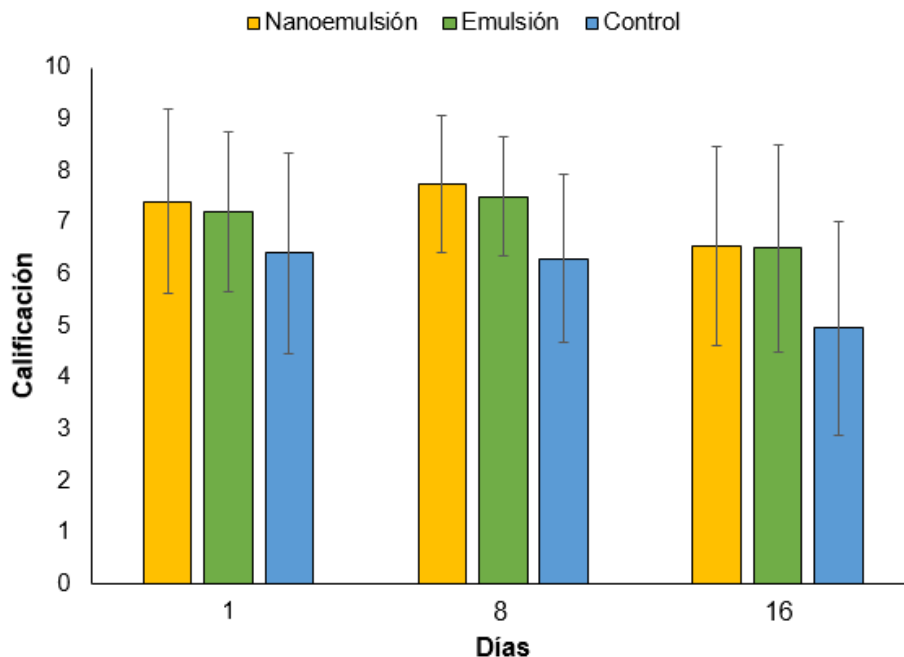
El análisis estadístico general de los datos del análisis sensorial con respecto al sabor mostró los valores de probabilidad registrados en el Cuadro 40, teniendo diferencias significativas en los días 8 y 16 en todos los tratamientos respecto al control.

**Cuadro 40.** Valores de probabilidad de sabor en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 8	Día 16
Nanoemulsión	0.1406	0.0031*	0.0269*
Emulsión	0.2689	0.0153*	0.0327*

\*=P ≤ 0.05

En la Figura 25 se muestra los cambios de sabor del MMP durante su almacenamiento, manteniendo en el agrado del consumidor hasta el día 16, en los tratamientos de nanoemulsión y emulsión con valores de 6.55 a 7.75 (Me gusta-me gusta mucho) en comparación con las muestras control que fueron calificadas con el valor más bajo con 4.95 (no me gusta ni me disgusta).



**Figura 25.** Análisis sensorial sabor en MMP almacenado a 5 °C.

En este estudio se pudo observar que el recubrimiento con nanoemulsión de almidón y carboximetilcelulosa, no alteran el sabor al producto siendo del agrado del consumidor.

Esto concuerda con lo reportado por (Kim et al., 2014), quienes evaluaron una nanoemulsión de cera de carnauba y aceite de limón en uvas, no afectando significativamente el sabor de los frutos.

#### 7.2.3.4. Aspecto en general

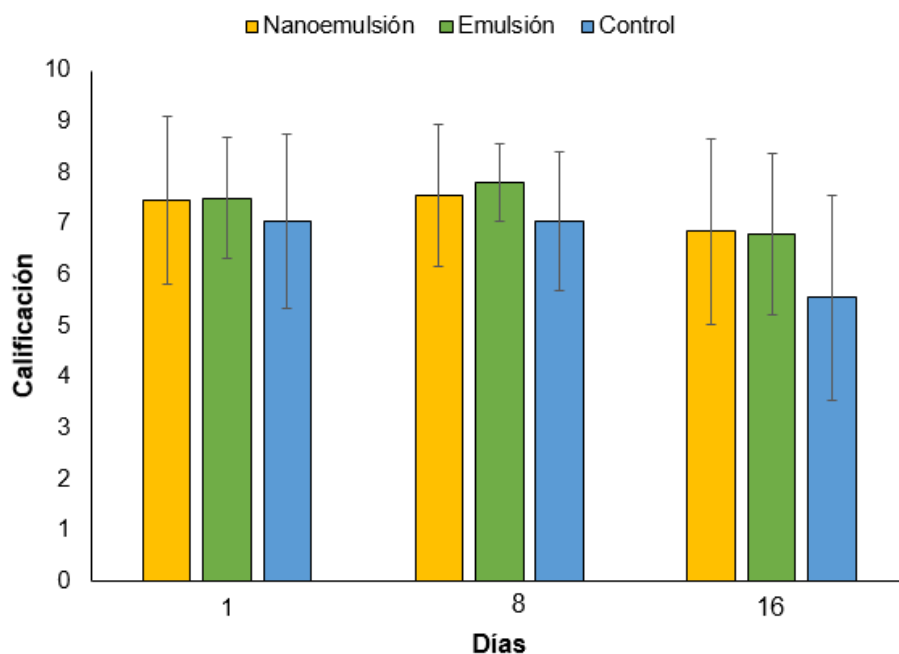
En el Cuadro 41 se resumen la significancia estadística de la comparación de los diferentes recubrimientos evaluados, respecto de las muestras control en el aspecto general del producto. Mostrando diferencias significativas en el día 16 en el tratamiento con la nanoemulsión.

**Cuadro 41.** Valores de probabilidad de agrado global en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 8	Día 16
Nanoemulsión	0.6206	0.3259	0.0496*
Emulsión	0.5508	0.0978	0.0606

\*=P ≤ 0.05

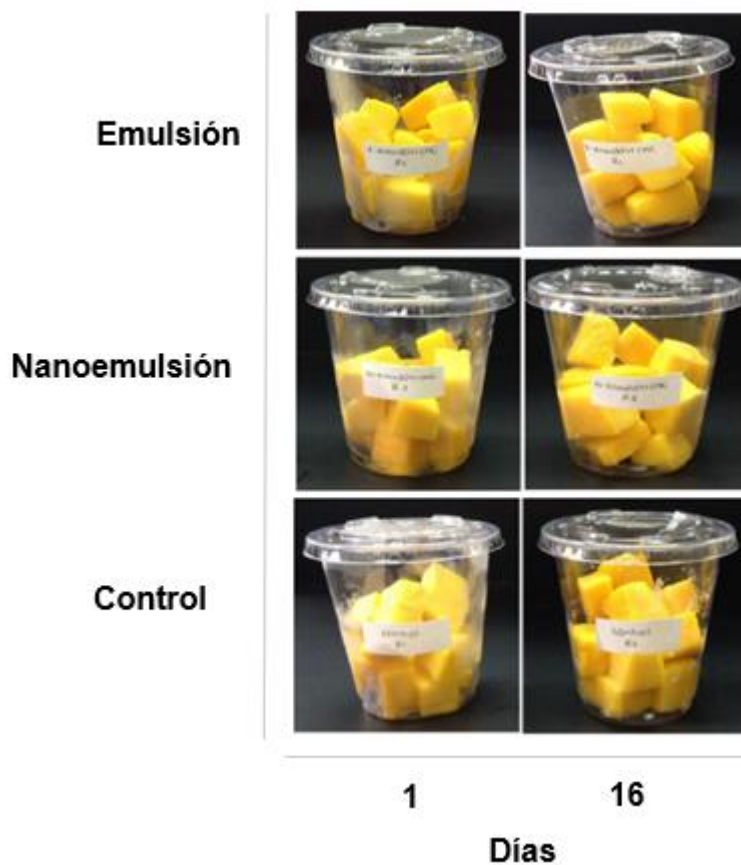
La Figura 26 muestra los cambios de esta variable para los distintos tratamientos evaluados, la mejor calidad visual fue registrada los días 1 y 8 en los tratamientos de nanoemulsión y emulsión con valores de 7.8 a 7.45, siendo del agrado del consumidor. A los 16 días los tratamientos de nanoemulsión y emulsión permanecieron en el agrado del consumidor por el contrario del control que mostró una disminución considerable (5.5), siendo calificada como no me gusta ni me disgusta.



**Figura 26.** Análisis sensorial agrado global en MMP almacenado a 5 °C.

Los cambios aquí observados confirmaron que la apariencia en general y el color constituyen los cambios sensoriales y fisicoquímicos más importantes en los productos mínimamente procesados en general y del MMP en particular, debido a que se asocian con la frescura del producto (colores vivos y uniformes), y con un aspecto turgente acompañado de un brillo característico, como señalaron (Péneau et al., 2006).

En la Figura 27 se muestra el aspecto visual para las muestras al inicio y final del almacenamiento.



**Figura 27.** Calidad visual de MMP almacenado a 5 °C.

Es importante destacar que otro factor que ayudó a que la utilización del recubrimiento no afectara la apariencia de las muestras es el hecho que los recubrimientos a base de almidón son insípidos, inodoros y transparentes, por lo tanto no cambian el sabor, aroma o apariencia del producto (Chiumarelli et al., 2010). La apariencia es un criterio muy importante para determinar la aceptabilidad de los productos.

Esta es utilizada como un indicador de frescura y calidad en los productos mínimamente procesado tanto en la investigación científica como en la industria (Djioua et al., 2009).

## 7.2.4 Cambios objetivos de textura

La pérdida de firmeza es determinante en productos vegetales mínimamente procesado debido a que los consumidores asocian directamente la textura con la frescura del tejido vegetal, por lo que una apariencia blanda puede incrementar el rechazo del producto (Rico et al., 2007). En este ensayo se aplicó como pretratamiento  $\text{CaCl}_2$ ; sin embargo se evaluó MMP sin aplicación de este, el cual se consideró como control sin tratamientos. El  $\text{CaCl}_2$  se usa de manera cotidiana en la industria de alimentos para mejorar la textura de frutas y vegetales enteros y mínimamente procesados (Rico et al., 2007), de ahí la importancia de evaluar su efecto individual.

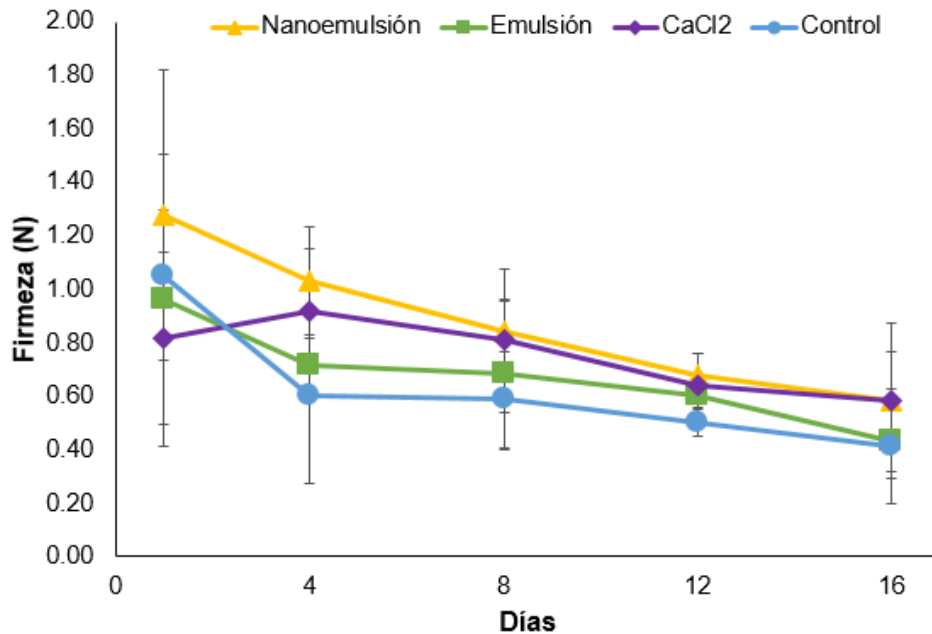
En el Cuadro 42 se muestra los valores del análisis estadístico, no mostrando diferencias significativas entre los tratamientos.

**Cuadro 42.** Valores de probabilidad de firmeza en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.7822	0.1273	0.424	0.0552	0.6537
Emulsión	0.9791	0.8712	0.9246	0.3693	0.9993
$\text{CaCl}_2$	0.9467	0.5561	0.526	0.1417	0.6537

\*=P ≤ 0.05

En la Figura 28 se muestra la tendencia de la textura para todos los tratamientos. Se observa una mejor firmeza en el MMP con 1%  $\text{CaCl}_2$  comparado con el control y una sinergia en el recubrimiento en forma de nanoemulsión; y aunque el MMP tratado con emulsión presentó una mejor firmeza que el control, esta fue menor a la nanoemulsión. Se considera que el calcio fue incorporado a los tejido del producto teniendo un efecto importante y positivo sobre los valores de firmeza en el MMP, tal como lo reportó García et al., (1998) quienes mencionan que el calcio mantiene la calidad de la textura de los productos ya que los iones de calcio forman enlaces cruzados o puentes entre los grupos carboxilo libre de las cadenas de proteínas, lo que resulta en el fortalecimiento de la pared celular.



**Figura 28.** Evolución de la firmeza de MMP, durante su almacenamiento a 5°C.

Esto concuerda con lo reportado por González-Aguilar et al., (2008) quienes indicaron una disminución significativa en la firmeza de cubos de mango de los cultivares “Ataulfo”, “Kent” y “Keiit”, durante el almacenamiento a 5 °C. De acuerdo con Martínez-Ferrer et al., (2002), la pérdida de firmeza observada en frutos precortados de piña y mango, se debe a varios factores como pérdida de turgencia celular, pérdida de aire extracelular y vascular, y degradación de los constituyentes de la pared celular.

De acuerdo con lo reportado por Sarzi de Souza et al., (2006) el tratamiento con calcio aumenta la firmeza inicial de los cubos de mango en los 3 primeros días de almacenamiento comportamiento que va disminuyendo. Robles-Sánchez et al., (2009), encontraron en los recubrimientos comestibles un efecto similar en manzanas, reportando que este ayuda a evitar el deterioro de la firmeza.



Por otra parte la heterogeneidad en los frutos y la falta de uniformidad en la estructura interna del material biológico provocada por la dificultad de homogenizar inicialmente en la experimentación frutos con idéntico grado de maduración, promueve desviaciones en los valores de firmeza en diferentes materias primas de origen biológico (Chiumarelli et al., 2011; Chiumarelli y Hubinger, 2012), esto puede explicar en parte la desuniformidad en los valores graficados en la Figura 31.

González-Aguilar et al., (2009) también observó la pérdida de firmeza en papaya mínimamente procesada recubierta con quitosano. Sin embargo, Ribeiro et al., (2007) mencionó que existían diferencias significativas entre fresas sin recubrimiento y con recubrimiento con 2 % de almidón de maíz al final de su vida de anaquel. Fontes et al., (2008) estudiaron manzanas mínimamente procesadas recubiertas con alginato de sodio y almidón de yuca, observando que mantiene una mayor firmeza, atribuyendo a las sales de calcio, ya que forma complejos con la pectina de la pared celular, mejorando la integridad celular y promueve una mayor firmeza en los tejidos.

### **7.2.5 Cambios objetivos de color**

Los resultados corresponden con los cambios observados en los componentes del color. En los Cuadros 43 y 44 se muestran los análisis estadísticos de los valores de  $L^*$  y del ángulo matiz (Hue) respectivamente, observando diferencias significativas en los valores de  $L^*$  en los días 1 y 12 en la emulsión y nanoemulsión respectivamente, por el contrario en los valores de Hue, no se presentaron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos.

**Cuadro 43.** Valores de probabilidad de luminosidad en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.0278*	0.4797	0.9951	0.1198	0.8216
Emulsión	0.8906	0.9893	0.537	0.0281*	0.5388
CaCl <sub>2</sub>	0.3091	0.4928	0.87	0.2758	0.3415

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 44.** Valores de probabilidad de Hue en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.8191	0.976	0.5729	0.6271	0.0743
Emulsión	0.9819	0.661	0.1388	0.3156	0.0515
CaCl <sub>2</sub>	0.3898	0.9597	0.7159	0.9863	0.2757

\*=P ≤ 0.05

En los Cuadros 45 y 46 se muestran los resultados de comparación de medias para cada tratamiento durante el período de almacenamiento, de los valores de L\* y Hue, respectivamente.

**Cuadro 45.** Comparación de medias de luminosidad en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	63.90 ± 1.76 <sup>b</sup>	68.42 ± 2.78 <sup>a</sup>	66.67 ± 1.66 <sup>a</sup>	69.37 ± 1.78 <sup>a</sup>
4	63.81 ± 2.69 <sup>a</sup>	68.19 ± 1.32 <sup>a</sup>	71.09 ± 1.67 <sup>a</sup>	67.48 ± 6.19 <sup>a</sup>
8	67.16 ± 5.33 <sup>a</sup>	71.11 ± 2.85 <sup>a</sup>	69.49 ± 1.41 <sup>a</sup>	67.70 ± 3.49 <sup>a</sup>
12	70.52 ± 3.03 <sup>a</sup>	71.96 ± 1.31 <sup>b</sup>	69.66 ± 0.98 <sup>a</sup>	67.14 ± 1.08 <sup>a</sup>
16	66.20 ± 3.83 <sup>a</sup>	67.37 ± 1.48 <sup>a</sup>	68.33 ± 4.16 <sup>a</sup>	64.40 ± 2.10 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05) (Prueba de Dunnett).

**Cuadro 46.** Comparación de medias de Hue en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	79.33 ± 1.41 <sup>a</sup>	80.45 ± 1.15 <sup>a</sup>	78.53 ± 0.62 <sup>a</sup>	80.12 ± 1.89 <sup>a</sup>
4	79.68 ± 1.04 <sup>a</sup>	80.65 ± 0.95 <sup>a</sup>	80.21 ± 0.85 <sup>a</sup>	79.91 ± 0.81 <sup>a</sup>
8	80.12 ± 1.70 <sup>a</sup>	81.25 ± 1.07 <sup>a</sup>	78.03 ± 1.44 <sup>a</sup>	78.96 ± 0.68 <sup>a</sup>
12	79.89 ± 2.61 <sup>a</sup>	80.62 ± 0.45 <sup>a</sup>	75.27 ± 0.90 <sup>a</sup>	78.60 ± 1.27 <sup>a</sup>
16	79.64 ± 0.31 <sup>a</sup>	79.79 ± 0.86 <sup>a</sup>	79.09 ± 0.70 <sup>a</sup>	78.05 ± 0.94 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

El valor L\* se mantuvo constante durante el almacenamiento, en todos los tratamientos, lo que concuerda con resultados obtenidos en cubos de mango de los cultivares “Keitt”, “Kent” y “Ataulfo” conservados a 5 °C (González-Aguilar et al., 2008).

Resultados similares fueron obtenidos por Rattanapanone et al., (2001) en mango mínimamente procesado de los cultivares “Kent” y “Tommy Atkins” almacenados a temperatura ambiente. De acuerdo con González-Aguilar et al., (2004), el valor L\* es considerado un indicador de la frescura del producto, donde un valor alto de L\* en frutos mínimamente procesados se relaciona con una buena apariencia, mientras que valores bajos pueden indicar oscurecimiento en frutos como el mango (González-Aguilar et al., 2000; González-Aguilar et al., 2004).

En el Cuadro 46 se presentan los cambios de tonalidad (Hue) del MMP durante el almacenamiento. En general los tratamientos con recubrimientos comestibles no cambiaron en los resultados de color, esto indica que la utilización del recubrimiento no afectó significativamente los cambios de color del mango, contrario con lo que se encontró con el mango cortado sin recubrimiento comestible.

Los caracteres derivados C\* y Hue indican la intensidad o saturación del color y el color verdadero, respectivamente. Así, la disminución de C\* indica una menor saturación del color amarillo característico del MMP, y la disminución en Hue una variación del color hacia un amarillo más claro.

En relación con el ángulo de matiz (Hue), González-Aguilar et al., (2008) indicaron que en mango el cambio de Hue está determinado por una baja temperatura de almacenamiento y el cultivar. La baja temperatura reduce la actividad de las polifenoloxidasas involucradas en este tipo de deterioro indeseable, y las diferencias entre las variedades de mango en contenido de azúcares, ácidos orgánicos, vitamina C, carotenoides y polifenoles, determinan las diferencias en susceptibilidad al oscurecimiento (González-Aguilar et al., 2008).

Robles et al., (2013), encontraron en cubos de mango de la variedad “Kent” buenos resultados en los parámetros de color, utilizando recubrimiento comestible con antioxidantes, al final del almacenamiento las muestras con recubrimiento solo perdieron 2.5 %de su valor inicial de L\* en comparación con una pérdida del 7% en las muestras que no tienen recubrimiento comestible.

Debido a que los recubrimientos comestibles a base de polisacáridos como el almidón son una buena barrera a los gases, con su utilización se logra disminuir la tasa de respiración y las actividades metabólicas, logrando así un retraso efectivo en el oscurecimiento. Según Lee et al., (2003), el uso de polisacáridos y antioxidantes en recubrimientos retrasa el oscurecimiento y cambios de color en manzanas mínimamente procesadas.

Fontes et al., (2008) comprobaron que un recubrimiento de almidón de yuca fue eficiente para preservar el color determinado por los valores de L\* en su almacenamiento en manzanas mínimamente procesadas.

Rojas-Grau et al., (2009) obtuvieron un comportamiento similar al ocurrido en este estudio, ellos comprobaron que las peras “Flor de Invierno” mínimamente procesadas tratadas con antioxidantes (N-acetil cisteína y glutatión y recubrimientos (gelana, pectina y alginato) presentaron valores de Hue mayores que las muestras sin recubrir al final del almacenamiento.

## 7.2.6 Cambios en las características físico químicas del producto

### 7.2.6.1 Cambios en el contenido de Sólidos Solubles Totales

El contenido de SST no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 47); los valores variaron en un rango de 9.17 a 11.17 observándose una ligera tendencia de incremento (Cuadro 48); lo anterior puede estar relacionado con el aumento de la actividad metabólica del producto debido a la demanda de síntesis de metabolitos involucrados en el proceso de cicatrización del tejido dañado así como en el sistema de defensa frente a la presencia de patógenos, en este proceso el almidón, propio del producto, puede ser transformado en azúcares (Cemerolu et al., 2001) que da como resultado un mayor contenido de SST.

**Cuadro 47.** Valores de probabilidad de SST en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.9333	0.9998	0.7235	0.9547	0.9632
Emulsión	0.6784	1	0.4596	0.0517	0.7943
CaCl <sub>2</sub>	0.9333	0.9943	0.4596	0.7581	0.561

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 48.** Comparación de medias de SST en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	10.00 ± 1.44 <sup>a</sup>	9.67 ± 0.76 <sup>a</sup>	10.00 ± 0.40 <sup>a</sup>	10.33 ± 0.42 <sup>a</sup>
4	10.23 ± 1.54 <sup>a</sup>	10.17 ± 0.29 <sup>a</sup>	10.37 ± 1.31 <sup>a</sup>	10.17 ± 1.44 <sup>a</sup>
8	9.50 ± 0.87 <sup>a</sup>	9.17 ± 0.29 <sup>a</sup>	9.17 ± 1.04 <sup>a</sup>	10.17 ± 1.26 <sup>a</sup>
12	10.33 ± 0.29 <sup>a</sup>	9.33 ± 0.76 <sup>a</sup>	10.17 ± 0.29 <sup>a</sup>	10.50 ± 0.50 <sup>a</sup>
16	10.50 ± 0.50 <sup>a</sup>	11.00 ± 0.87 <sup>a</sup>	11.17 ± 0.29 <sup>a</sup>	10.67 ± 0.29 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05) (Prueba de Dunnett).

### 7.2.6.3 Cambios en la acidez titulable

En cuanto al porcentaje en el contenido de ácido cítrico existieron diferencias estadísticas significativas solamente en el día 1 (Cuadro 49). Encontrándose en un rango durante todo el almacenamiento de 1.26 a 1.83% (Cuadro 50).

**Cuadro 49.** Valores de probabilidad de acidez titulable en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.0001*	0.3007	0.7417	0.5328	0.0538
Emulsión	0.0372*	0.8948	0.9506	0.5964	0.2381
CaCl <sub>2</sub>	0.0005*	0.29	0.045	0.9983	0.0359*

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 50.** Comparación de medias de % acidez titulable en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	1.26 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.43 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.37 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.54 ± 0.05 <sup>a</sup>
4	1.18 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.16 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.20 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.14 <sup>a</sup>
8	1.66 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.62 ± 0.15 <sup>a</sup>	1.83 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.05 <sup>a</sup>
12	1.33 ± 0.26 <sup>a</sup>	1.62 ± 0.15 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.05 <sup>a</sup>
16	1.38 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.35 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.72 ± 0.26 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

#### 7.2.6.4 Cambios en el pH

En el Cuadro 51 se presenta la significancia estadística de la comparación de los diferentes recubrimientos evaluados, respecto a las muestras control no tratado, observándose una diferencia significativa en el día 16 en MMP recubierto con emulsión.

El pH de las muestras tratadas se mantuvo constante durante su almacenamiento con valores de 3.08 a 3.33 (Cuadro 52). Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Siddiq et al., (2013) en mango de la variedad "Tommy Atkins" tratados con soluciones ácido ascórbico, ácido cítrico y cloruro de calcio con valores de 3.1 a 3.4

**Cuadro 51.** Valores de probabilidad de pH en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.3284	0.17	0.6722	0.3486	0.2184
Emulsión	0.653	0.7148	0.3873	0.1072	0.0089*
CaCl <sub>2</sub>	0.4222	0.3392	0.6928	0.66	0.0552

\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 52.** Comparación de medias de pH en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	3.22 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.20 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.21 ± 0.02 <sup>a</sup>	3.17 ± 0.01 <sup>a</sup>
4	3.29 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.22 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.08 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.17 ± 0.03 <sup>a</sup>
8	3.16 ± 0.14 <sup>a</sup>	3.11 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.16 ± 0.16 <sup>a</sup>	3.25 ± 0.09 <sup>a</sup>
12	3.17 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.13 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.20 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.24 ± 0.05 <sup>a</sup>
16	3.22 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.33 ± 0.08 <sup>b</sup>	3.27 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.13 ± 0.08 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05) (Prueba de Dunnett).

## 7.2.7 Efecto de los tratamientos sobre la actividad enzimática y la producción de fenoles totales en mango mínimamente procesado.

### 7.2.7.1 Cambios en la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL)

El análisis estadístico de los datos de la actividad de la enzima PAL mostró los valores de probabilidad señalados en el Cuadro 53, observándose diferencias en el día 16 de almacenamiento en los tratamientos de emulsión y nanoemulsión

**Cuadro 53.** Valores de probabilidad de actividad enzimática de PAL en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.998	0.7195	0.0508	0.4925	0.0060*
Emulsión	0.0503	0.0180*	0.4715	0.9827	0.0010*
CaCl <sub>2</sub>	0.8511	0.4719	0.1578	0.9856	0.1971

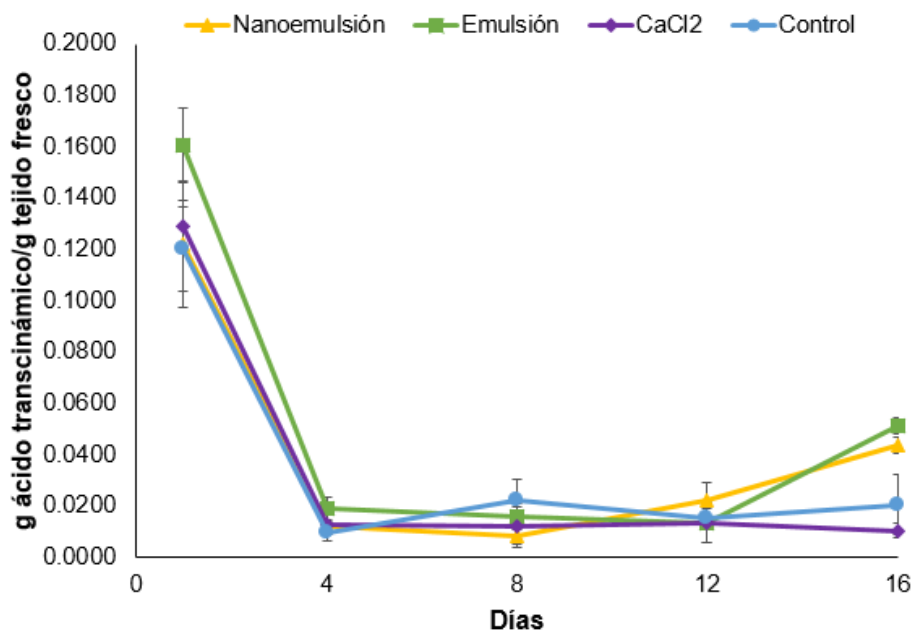
\*=P ≤ 0.05

En el Cuadro 54 se muestra la comparación de medias de los diferentes tratamientos evaluados. La actividad de PAL disminuyó tanto en el control como en los tratamientos durante los primeros 4 días y posteriormente se mantuvo constante durante el almacenamiento. En ambos tratamientos los valores de PAL al final del almacenamiento fueron inferiores que los valores iniciales (Figura 29).

**Cuadro 54.** Comparación de medias de la actividad de PAL en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	0.1219 ± 0.024 <sup>a</sup>	0.1605 ± 0.015 <sup>a</sup>	0.1292 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.1199 ± 0.016 <sup>a</sup>
4	0.0117 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.0128 ± 0.005 <sup>a</sup>	0.0128 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.0094 ± 0.003 <sup>a</sup>
8	0.0083 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.0158 ± 0.005 <sup>a</sup>	0.0117 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.0224 ± 0.008 <sup>a</sup>
12	0.0220 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.0135 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.0135 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.0151 ± 0.004 <sup>a</sup>
16	0.0434 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.0102 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.0102 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.0204 ± 0.016 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).



**Figura 29.** Actividad fenilalanin amonio liasa en mango mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5 °C.



Choi et al., (2005) y Hisaminato et al., (2014) mencionaron que la actividad de la PAL se ve incrementada considerablemente en aquellos frutos que han tenido heridas como las que presentan los productos mínimamente procesados durante su transformación, siendo un factor importante a controlar con la finalidad de limitar el oscurecimiento enzimáticos e incrementar la vida útil del fruto.

Charles et al., (2013) reportaron en mango cv. "Ataulfo" con tratamiento de pulsos eléctrico un decremento en la actividad de PAL tanto en el control como en el tratamiento de pulsos eléctricos durante los 2 primeros días de almacenamiento y posteriormente se fue manteniendo constante, lo cual coincide con lo encontrado en nuestro experimento, proponiendo que no existe ninguna correlación entre el color y la actividad del fruto.

De acuerdo con Choi et al., (2005), los fenoles resultantes de la actividad de PAL son retenidos en las vacuolas y participan en las reacciones de oscurecimiento solo cuando la alteración de las membranas permite a los sustratos mezclarse con las enzimas.

Zambrano-Zaragoza et al., (2014 a, b) reportaron que los recubrimientos manométricos con dl- $\alpha$ -tocoferol no permiten modificaciones en la membrana celular de tal forma que la acción del antioxidante es efectiva para la estabilidad celular, aunado a la distribución homogénea de los sistemas de talla submicrónica en la superficie del fruto.

#### **7.2.7.2 Cambios en la actividad enzimáticas de la polifenol oxidasa (PPO)**

La actividad de esta enzima no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos (Cuadro 55). Los menores valores de la actividad se registraron al cuarto día de almacenamiento (5.37 Unidades PPO/g tejido fresco) mientras que los valores más altos se registraron a los 16 días de almacenamiento (222.67 Unidades PPO/g tejido fresco) (Cuadro 56).

**Cuadro 55.** Valores de probabilidad de actividad enzimática de PPO en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.6519	0.92092	1.000	0.2069	0.0012*
Emulsión	0.3428	0.8762	0.0836	0.1225	0.0912
CaCl <sub>2</sub>	0.9665	0.6209	0.9994	0.4216	0.3383

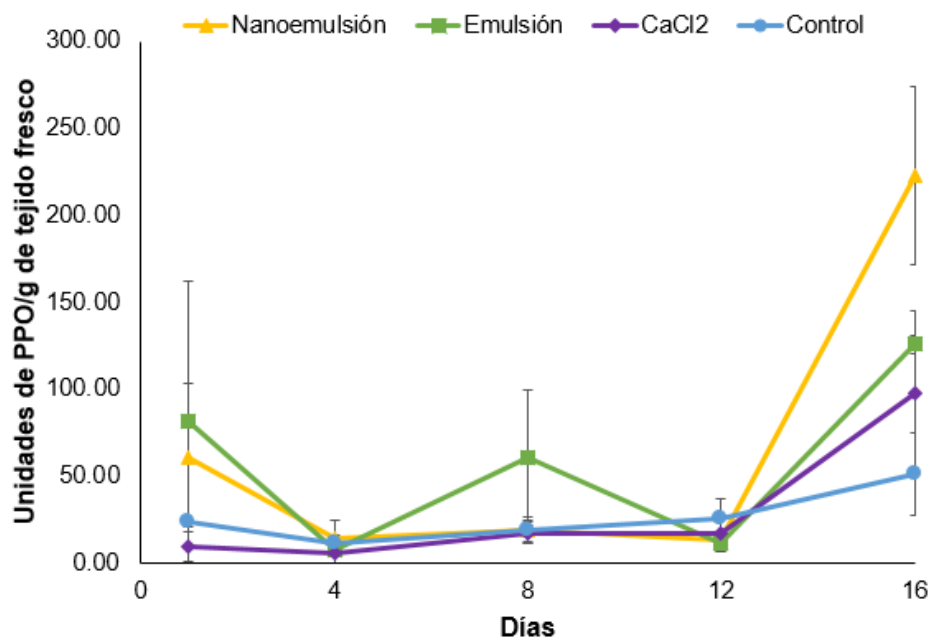
\*=P ≤ 0.05

**Cuadro 56.** Comparación de medias de la actividad de PPO en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	60.47 ± 42.56 <sup>a</sup>	81.30 ± 80.46 <sup>a</sup>	9.87 ± 10.60 <sup>a</sup>	23.53 ± 0.42 <sup>b</sup>
4	14.10 ± 10.23 <sup>a</sup>	7.83 ± 4.26 <sup>a</sup>	5.37 ± 6.81 <sup>a</sup>	11.23 ± 4.80 <sup>a</sup>
8	18.70 ± 6.34 <sup>a</sup>	60.87 ± 38.83 <sup>a</sup>	17.37 ± 5.82 <sup>a</sup>	18.90 ± 8.05 <sup>a</sup>
12	13.63 ± 1.46 <sup>a</sup>	11.30 ± 4.73 <sup>a</sup>	17.07 ± 10.54 <sup>a</sup>	25.97 ± 10.67 <sup>a</sup>
16	222.67 ± 51.33 <sup>a</sup>	125.67 ± 4.93 <sup>b</sup>	98.00 ± 46.68 <sup>a</sup>	51.33 ± 23.97 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa (p<0.05) (Prueba de Dunnett).

La Figura 30 muestra los cambios en la actividad total de esta enzima observándose una tendencia mayor de actividad en muestras tratadas con nanoemulsión.



**Figura 30.** Cambios en la actividad de la polifenol oxidasa (PPO).

El incremento en la actividad de PPO puede estar relacionado a la síntesis de novo de la enzima o a la activación de una forma previamente inactiva incrementando o manteniendo el contenido de proteína en el extracto (Aquino-Bolaños and Mercado-Silva, 2004).

La actividad de la PPO tiene un papel importante en la oxidación de compuestos fenólicos para dar lugar a quinonas que simultáneamente se puede polimerizar generando pigmentos oscuros en los tejidos

Zambrano-Zaragoza et al., (2014b) observaron una mayor actividad de PPO en manzanas mínimamente procesados recubiertas con nanoemulsión de goma xantana y dl- $\alpha$ -tocoferol. Para que se lleve a cabo la reacción de la PPO es necesaria cierta cantidad de agua (Robb, 1995), por lo que el acetato de dl- $\alpha$ -tocoferol no puede inhibir la enzima PPO ya que es un compuesto hidrofóbico, sin embargo, este puede interactuar con los productos de reacción de la PPO inhibiendo así el oscurecimiento enzimático.

El aumento de la actividad de la PPO en comparación con el control podría ser un indicativo del estrés oxidativo en los tejidos vegetales.

### 7.2.7.3 Cambios en el contenido de fenoles totales

En el Cuadro 57 se muestran el análisis estadístico del contenido de fenoles, de los tratamientos evaluados en MMP, se observaron diferencias estadísticas en los días 12 y 16 en los tratamientos de nanoemulsión y emulsión respecto al control.

**Cuadro 57.** Valores de probabilidad del contenido de fenoles totales en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Nanoemulsión	0.8123	0.2517	0.0166*	0.0343*	0.0088*
Emulsión	0.0024*	0.2521	0.0554	0.0006*	0.0050*
CaCl <sub>2</sub>	0.8123	0.9367	0.9999	0.4975	0.1565

\*=P ≤ 0.05

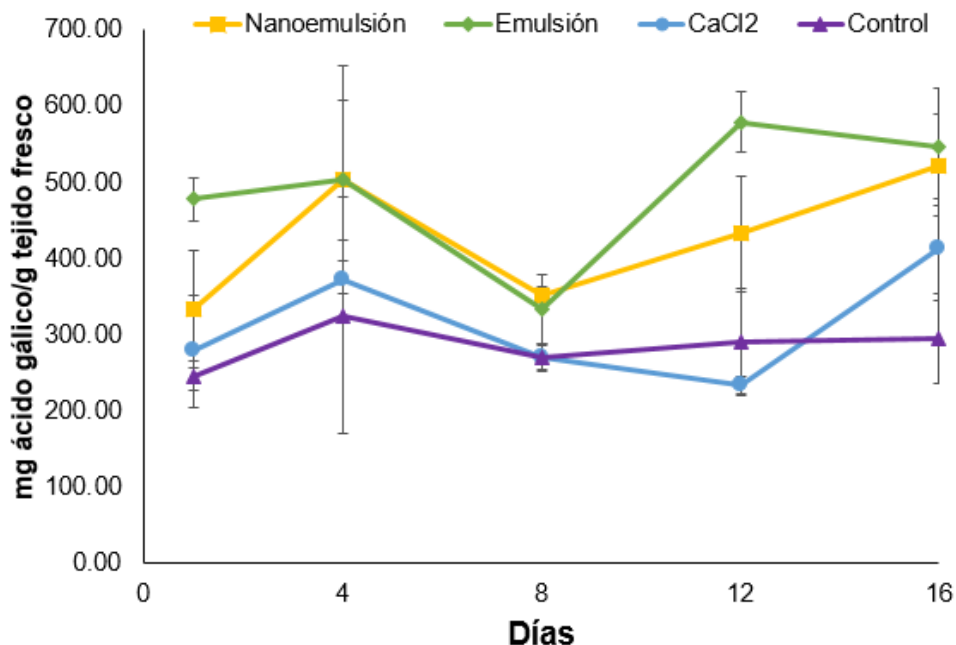
En el Cuadro 58 se muestra los valores de comparación de medias del contenido de compuestos fenólicos, de los diferentes tratamientos evaluados. El contenido de compuestos fenólicos se encontraron 87.67 a 216.65 mg de ácido gálico/g tejido fresco al día 1 de almacenamiento, teniendo una tendencia a aumentar en todos los tratamientos. Esto concuerda con (Robles-Sánchez et al., 2009) quienes trataron MMP con ácido cítrico, ácido ascórbico y cloruro de calcio mostrando valores más altos que el control. Los contenidos más altos de compuestos fenólicos pueden contribuir a mejorar la actividad antioxidante (González-Aguilar et al., 2007).

**Cuadro 58.** Comparación de medias del contenido de compuestos fenólicos en MMP recubierto con nanoemulsión y emulsión durante su almacenamiento.

Días	Nanoemulsión	Emulsión	CaCl <sub>2</sub>	Control
1	334.30 ± 76.74 <sup>a</sup>	478.41 ± 28.15 <sup>b</sup>	278.99 ± 74.05 <sup>a</sup>	245.87 ± 19.18 <sup>a</sup>
4	503.08 ± 149.40 <sup>a</sup>	502.96 ± 106.27 <sup>a</sup>	371.76 ± 51.67 <sup>a</sup>	325.37 ± 154.79 <sup>a</sup>
8	352.67 ± 9.87 <sup>b</sup>	333.84 ± 44.65 <sup>a</sup>	270.76 ± 16.68 <sup>a</sup>	269.82 ± 16.89 <sup>a</sup>
12	433.06 ± 76.06 <sup>b</sup>	578.86 ± 39.52 <sup>b</sup>	233.49 ± 11.72 <sup>a</sup>	290.11 ± 70.64 <sup>a</sup>
16	522.41 ± 66.66 <sup>b</sup>	546.51 ± 77.04 <sup>b</sup>	412.31 ± 67.31 <sup>a</sup>	295.37 ± 59.63 <sup>a</sup>

Datos expresados como media ± desviación estándar. Experimentos con tres determinaciones independientes cada uno. Valores con diferente letra en la misma fila indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Prueba de Dunnett).

La Figura 31 muestra el comportamiento del contenido de fenoles totales expresado en función al contenido equivalentes de ácido gálico de las muestras evaluadas, monitoreadas durante 16 días de almacenamiento a temperatura de 5 °C.



**Figura 31.** Cambio en el contenido de fenoles totales en MMP almacenado a 5 °C.

El almacenamiento a bajas temperaturas no afectó significativamente ( $p < 0.05$ ) en el contenido de compuestos fenólicos ya sea en mangos tratados y no tratados (Cuadro 61).

Las variaciones observadas en MMP con la nanoemulsión y emulsión puede ser atribuidas a la presencia de los surfactantes Tween®80 y Span®80 (ingredientes estabilizantes incluidos en la formulación de cada uno, ya que estos estabilizantes tienen un efecto sobre las membranas celulares adyacentes que provocan la liberación de polifenoles y por ende este se cuantifica como un incremento (Sapers et al., 1989). Los mangos tratados con nanoemulsión y emulsión mostraron un incremento en el contenido de polifenoles totales después de 12 días de almacenamiento, mostrándose pocas variaciones al final del mismo almacenamiento.

Los resultados de este estudio concuerdan con lo observado por (González-Aguilar et al., (2000) quienes mostraron un aumento en fenoles totales en mango mínimamente procesado tratado con UV-C.

## VIII. CONCLUSIONES

La estabilidad de las nanoemulsiones no permite almacenar estos sistemas y por tanto se deben utilizar lo más pronto posible en el alimento que se pretende cubrir.

La aplicación de ultra homogenización y altas presiones en la preparación de los RC permite un tamaño de partícula mucho más pequeño y homogéneo lo que además permitió que la distribución de la fase dispersa en los trozos de fruta sea más amplio y por ellos sus efectos sean también más amplios.

La aplicación de RC a base de A y A+CMC permitió reducir la tasa de crecimiento de BMA y BAL. Este aspecto fue más notorio cuando estos RC se aplicaron en forma de nanoemulsiones de menor tamaño de partícula.

El uso de nanoemulsiones constituye un nuevo enfoque de conservación para frutas mínimamente procesadas ya que pueden ser buenos portadores de agentes conservantes, además de ser una alternativa de envasado natural y biodegradable, lo que lo convierte en una técnica innovadora para la conservación de la calidad y extensión de la vida útil de este tipo de alimento.

El uso de nanoemulsiones sobre las características sensoriales de frutas mínimamente procesadas no provoca disminución en el nivel de aceptación de los consumidores.

## REFERENCIAS

- Aked J. 2000. Fruits and vegetables. The Stability and Shelf-life of Food. 1ed. Woodhead Publishing limited. Cambridge. 249-278.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Ed. Current through Revision 1. Association of Official Analytical Chemist. Gaithersburg, USA.
- Aquino-Bolaños, E. N., and E. Mercado-Silva. 2004. Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. *Postharvest Biol. Technol.* 33:275–283.
- Aranberri, I., B. P. Binks, J. H. Clint, and C. Group. 2006. Elaboración y caracterización de emulsiones. 7:211–231.
- Artés F., and F. Artés-Hernández. 2003. Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos procesados en fresco. *Productos hortofrutícolas mínimamente procesados.* Gobierno de Canarias. 57–78.
- Artés, F., P. A. Gómez, and F. Artés-Hernández. 2007. Physiological and Microbial Deterioration of Minimally Fresh Processed Fruits and Vegetables. *Food Sci. Technol.* 13:177–188.
- Awad, T. S., T. Helgason, K. Kristbergsson, E. A. Decker, J. Weiss, and D. J. McClements. 2008. Effect of Cooling and Heating Rates on Polymorphic Transformations and Gelation of Tripalmitin Solid Lipid Nanoparticle (SLN) Suspensions. *Food Biophys.* 3:155–162.
- Ayala-Zavala, J. F., and G. A. González-Aguilar. 2011. Use of additives to preserve the quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing.* 87-113.
- Babic, I., and A. E. Watada. 1996. Microbial populations of fresh-cut spinach leaves affected by controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 9: 187-193.
- Bala, I., V. Bhardwaj, S. Hariharan, J. Sitterberg, U. Bakowsky, and M. N. V. R. Kumar. 2005. Design of biodegradable nanoparticles: a novel approach to encapsulating poorly soluble phytochemical ellagic acid. *Nanotechnology.* 16 (12):2819–2822.

- Baldwin, E., A. M. O. Nisperos-Carriedo, and R. A. Baker. 1995. Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35:509–24.
- Barrett, D. M., J. C. Beaulieu, and R. Shewfelt. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50:369–89.
- Beaulieu, J. C., and J. M. Lea. 2003. Volatile and quality changes in fresh-cut mangos prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAP. *Postharvest Biol. Technol.* 30:15–28.
- Bello-Pérez, L. A., y O. Paredes-López. 1999. *El almidón: lo comemos pero no lo conocemos*. CRC Press. 131-194.
- Bilbao-Sáinz, C., R. J. Avena-Bustillos, D. F. Wood, T. G. Williams, and T. H. McHugh. 2010. Nanoemulsions prepared by a low-energy emulsification method applied to edible films. *J. Agric. Food Chem.* 58(22):11932–8.
- Bolin, H. R., and C. C. Huxsoll. 1991. Control of Minimally Processed Carrot (*Daucus carota*) surface discoloration caused by abrasion peeling. 56:416-418.
- Brackett, R. E. 1994. *Microbiological Spoilage and Pathogens in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Chapman and Hall. EE.UU. 269-270.
- Brecht J. K., and E. M. Yahia. 2009. *The Mango. Botany, production and Uses. Postharvest Physiology*. 2da Edición. R. E. Litz.
- Campos, C. A., L. N. Gerschenson, and S. K. Flores. 2010. Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity. *Food Bioprocess Technol.* 4:849–875.
- Cantwell, M., W. Orozco, V. Rubatzky, L. Hernández. 1992. Postharvest handling and storage of jicama roots. *Acta Hortic.* 318: 333–343.
- Carlin, F., C. Nguyen-The, P. Varoquax. 1990. La conservation des produits de la 4emegamme. *Ind. Alim. Agric.* 107(10): 931-943.
- Cemerolu, B., A. Yemeniciolu, and M. Özkan. 2001. Meyve Sebzelerin Bileflimi ve Soukta epolanmalari. *Gıda Teknolojisi ernei Yayinlari*. 24. Ankara.



- Cepeda-Márquez, L.G. 2009. Detección de fuentes de contaminación e inactivación de *Leuconostoc mesenteroides* en salchicha viena en una planta procesadora. Tesis Maestría. Querétaro, Qro. Univ. Autónoma de Qro., Facultad de Química. 34.
- Charles, F., V. Vidal, F. Olive, H. Filgueiras, and H. Sallanon. 2013. Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 18:190–195.
- Chauhan O. P., P. S. Raju, D. K. Dasgupta, R. Shylaja, R. Sudhakar, A. S. Bawa. 2006. Modified/controlled atmosphere storage of minimally processed mango slices (Var. Arka anmol). *Amer. J. Food Technol.* 1:105-116.
- Chien, P.J., F. Sheu, and F. H. Yang. 2007. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *J. Food Eng.* 78:225–229.
- Chiumarelli, M., and M. D. Hubinger. 2012. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch – Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. *Food Hydrocoll.* 28:59–67.
- Chiumarelli, M., C. C. Ferrari, C. I. G. L. Sarantópoulos, and M. D. Hubinger. 2011. Fresh cut “Tommy Atkins” mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 12:381–387.
- Chiumarelli, M., L. M. Pereira, C. C. Ferrari, C. I. G. L. Sarantópoulos, and M. D. Hubinger. 2010. Cassava starch coating and citric acid to preserve quality parameters of fresh-cut “Tommy Atkins” mango. *J. Food Sci.* 75:E297–304.
- Choi, A. J., C. J. Kim, Y. J. Cho, J.K. Hwang, and C.T. Kim. 2011. Characterization of Capsaicin-Loaded Nanoemulsions Stabilized with Alginate and Chitosan by Self-assembly. *Food Bioprocess Technol.* 4(6):1119–1126.
- Choi, Y. J., F. A. Tomás-Barberán, and M. E. Saltveit. 2005. Wound-induced phenolic accumulation and browning in lettuce (*Lactuca sativa* L.) leaf tissue is reduced by exposure to n-alcohols. *Postharvest Biol. Technol.* 37(1):47–55.
- Cienfuegos Z. E., H. S. García, M. Mata, G. B. Tovar. 2004. Aceleración de la maduración de mango ‘Kent’ refrigerado. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:359-366.

- COVECA. 2011. Monografía del Mango. Gobierno del estado de Veracruz. Consultado: Abril 2014: <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSDIFUSION/TAB4003236/MONOGRAFIA%20MANGO2011.PDF>.
- Djioua, T., F. Charles, F. Lopez-Lauri, H. Filgueiras, A. Coudret, M. F. Jr, M.N. Ducamp-Collin, and H. Sallanon. 2009. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 52:221–226.
- Espín, J. C., R. Varón, L. G. Fenoll, M.A. Gilabert, P. A. García-Ruíz, J. Tudela, F. García-Cánovas. 2000. Kinetic characterization of the substrate specificity and mechanism of mushroom tyrosinase. *Eur. J. Biochem.* 267: 1270–1279.
- FAOSTAT. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado Abril 2014: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Fernández-Escartín, E. 2008. Microbiología e Inocuidad de los Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. 20.
- Fontes, L. C. B., S. B. S. Sarmiento, M. H. F. Spoto, and C. T. S. Dias. 2008. Preservation of minimally processed apple using edible coatings. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 872–880.
- Fossen, T., and A. T. Pedersen. 1996. Characteristic Anthocyanin Pattern from Onions and other *Allium* spp. *J. Foods Science.* 61:1994–1997.
- Galan Saucó, V. 2009. El cultivo del Mango. España. Grupo Mundi-Prensa. 2da. Ed. 33-40.
- García, M. A., M.N. Martino, N.E. Zaritzky. 1998. Starch based coatings: Effect on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Journal of Science of Food and Agriculture.* 76:411-420.
- Garmendia, G., and V. Méndez. 2006. Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Revista de frutas, hortalizas, flores, plantas ornamentales y viveros.* 197: 18-27.

- González-Aguilar, G. A., C. Y. Wang, J. G. Buta. 2000. Maintaining Quality of Fresh-Cut Mangoes Using Antibrowning Agents and Modified Atmosphere Packaging. *J. Agric. Food Chemistry*. 48: 4204-4208.
- González-Aguilar, G. A., E. Valenzuela-Soto, J. Lizardi-Mendoza, F. Goycoolea, M. A. Martínez-Téllez, M. A. Villegas-Ochoa, I. N. Monroy-García, and J. F. Ayala-Zavala. 2009. Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya "Maradol." *J. Sci. Food Agric.* 89:15–23.
- González-Aguilar, G. A., J. Celis, R. R. Sotelo-Mundo, L. A. de la Rosa, J. Rodrigo-García, and E. Álvarez-Parrilla. 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *J. Food Sci. Technol.* 43:91–101.
- González-Aguilar, G. A., M. A. Villegas-Ochoa, M. A. Martínez-Téllez, A. A. Gardea, and J. F. Ayala-Zavala. 2007. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *J. Food Sci.* 72:S197–202.
- González-Aguilar, G. A., S. Ruiz-Cruz, R. Cruz-Valenzuela, A. Rodríguez-Félix, C. Y. Wang. 2004. Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents. *Food Sci. Technol. Lebensmittel Wissenschaft and Technologies* 37:369-376.
- Grag, N., J. Churrey, and D. Splittestoesser. 1990. Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables. *J. Food Protect.* 53: 701-703.
- Hanson, K.R., and E. A. Havir. 1979. An Introduction to the enzymology of phenylpropanoid biosynthesis. In: T. Swain, J.B. Harborne, and C.F. Van Sumere (eds). *Biochemistry of plant phenolics*, Plenum Press, N.Y. 91-138.
- Hisaminato, H., M. Murata, and S. Homma. 2014. Relationship between the Enzymatic Browning and Phenylalanine Ammonia-lyase Activity of Cut Lettuce, and the Prevention of Browning by Inhibitors of Polyphenol Biosynthesis. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 65(5):1016–1021.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF), 1996. In: Roberts, T., Baird-Parker, A., Tompkin, R. (Eds.), *Microorganisms in Foods*, vol. 5. Blackie Academic and Professional, London, UK. 513.

- Janjarasskul, T., M. J. Krochta. 2010. Edible packaging materials. *Annual Review of Food Science Technology*. 1:415-448.
- Kader, A., D. Zagory, and E. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Food Science Nutrition*. 28: 1–30.
- Ke, D., and M. E. Saltveit. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. *Physiol. Plant*. 76:412–419.
- Kendra, K. V. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Sci. Technol*. 43:381–392.
- Kester, J. J., O. Fennema. 1986. Edible films and coatings: A review: *Food Technology*. 40 (12): 47-59.
- Kim In-Hab., Y. A. Oh, H. Lee, K. Bin Song, and S. C. Min. 2014. Grape berry coatings of lemongrass oil-incorporating nanoemulsion. *Food Sci. Technol*. 58:1–10.
- Kim, K.W., C. J. Ko, and H. J. Park. 2002. Mechanical properties, water vapor permeabilities and solubilities of highly carboxymethylated starch-based edible films. *Journal of Food Science*. 67: 218-222.
- Koroleva, M. Y., and E. V. Yurtov. 2012. Nanoemulsions: the properties, methods of preparation and promising applications. *Russ. Chem. Rev*. 81:21–43.
- Kramer, M. E. 2009. Structure and functions of starch-based edible films and coatings. *Edible films and coatings for food applications*. 113-134.
- Lee, J. Y., H. J. Park, C. Y. Lee, and W. Y. Choi. 2003. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Food Sci. Technol*. 36:323–329.
- Liu, Z., and J. H. Han. 2005. Film-forming characteristics of starches. *Journal of Food Science*. 70(1): 31-34.
- López, O. V., M. A. García, and N. E. Zaritzky. 2008. Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydr. Polym*. 73:573–81.
- Lucera, A., C. Costa, M. Mastromatteo, A. Conte, and M. A. Del Nobile. 2011. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties. *J. Food Eng*. 102(2):122–129.

- Madrigal, V. M. 2009. Control biológico de la mancha negra (*Alternaria alternata*) como alternativa de prevención en el manejo poscosecha de mango. Tesis de Maestría Tecnológica en Agroindustria. Colegio de Postgraduados. Córdoba, México.
- Manvell, C. 1997. Minimal processing of food. *Food Science and Technology* .11, 107–111.
- Martín-Belloso O., and R. Soliva-Fortuny. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the quality of fresh-cut fruits. *Stewart Postharvest Rev.* 2(1-3); 1-8.
- Martínez-Ferrer M., C. F. Pérez-Muñoz, and M. Chaparro. 2002. Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *J. Food Sci.* 67:3365-3371.
- McClements, D. J. 2011. Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. *Soft Matter.* 7:2297-2316.
- McClements, D. J. 2012. Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. *Soft Matter.* 8:17-19.
- McClements, J. 1999. *Food emulsions. Principles, Practice and Techniques.* New York: CRC Press.
- McHught, T. H., and J. M. Krochta. 1994. Sorbitol vs glycerol plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 42: 841-845.
- Mirhosseini, H., C. P. Tan, N. S. A. Hamid, and S. Yusof. 2008. Effect of Arabic gum, xanthan gum and orange oil contents on  $\zeta$ -potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 315(1-3):47–56.
- Montgomery, M. W., and V. C. Sgarbieri. 1975. Isoenzymes of banana oxidase. *Phytochemistry.*14:1245–1249.
- Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. Secretaría de Salud. México.

- Olivas, G. I., and G. Barbosa-Cánovas. 2009. Edible films and coatings for fruit and vegetables. 221-244.
- Olivas, G.I., and G. V. Barbosa-Cánovas. 2005. Edible coating for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45: 657-670.
- Orozco-Cárdenas, M. L., J. Narváez-Vázquez, and C. A. Ryan. 2001. Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *Plant Cell*. 13: 179–191.
- Pascall A. M., and S. Lin. 2012. The Application of Edible Polymeric Films and Coatings in the Food Industry. *J. Food Process. Technol.* 4(2):1-2.
- Péneau S., P. B. Brockhoff, E. Hoehn, F. Escher, and J. Nuessli. 2007. Relating consumer evaluation of apple freshness to sensory and physico-chemical measurements. *J. Sensory Studies* 22:313-335.
- Péneau, S., P. B. Brockhoff, E. Hoehn, F. Escher, J. Nuessli, and R. P. Plads. 2007. Relating consumer evaluation of apple freshness to sensory and physico-chemical measurements. 22:313–335.
- Plotto, A., J. Bai., J. A. Narciso, J. K. Brecht, and E. A. Baldwin. 2006. Ethanol vapor prior to processing extends fresh-cut mango storage by decreasing spoilage, but does not always delay ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 39:134–145.
- Poubol J, H. Izumi. 2005. Shelf life and microbial quality of fresh-cut mango cubes stored in high CO<sub>2</sub> atmospheres. *J. Food Sci.* 70:M69-M74.
- Prieto, M. J. J., A. J. E. Covarrubias, C. A. Romero, J. J. V. Figuerosa, and O. D. Munro. 2005. Paquete tecnológico para el cultivo de Mango en el estado de Colima. Consultado mayo 2012: <http://www.cadenahortofruticola.org/admin/bible/29mango.pdf>.
- Quezada-Gallo, J. A. 2009. Delivery of food additives and antimicrobials using edible films and coatings. *Edible films and coatings for food applications*. 315-333.
- Ragaert, P., W. Verbeke, F. Devlieghere, and J. Debevere. 2004. Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Qual. Prefer.* 15:259–270.

- Rattanapanone, N., Y. Lee, T. Wu, and A. E. Watada. 2001. Quality and Microbial Changes of Fresh-cut Mango Cubes Held in Controlled Atmosphere. *Hortscience*. 36:1091–1095.
- Relkin, P., J. M. Yung, D. Kalnin, and M. Ollivon. 2008. Structural Behaviour of Lipid Droplets in Protein-stabilized Nano-emulsions and Stability of  $\alpha$ -Tocopherol. *Food Biophys*. 3(2):163–168.
- Ribeiro, C., A. A. Vicente, J. A. Teixeira, and C. Miranda. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biol. Technol.* 44:63–70.
- Rico, D., A. B. Martín-Diana, J. M. Barat, and C. Barry-Ryan. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 18:373–386.
- Robb, D. A. 1996. Exploiting activity in aqueous and nonaqueous media. En: Lee, Ch.Y. and Whitaker, J.R. (Eds.). *Enzymatic browning and its prevention*. ACS Symposium Series 600. American Chemical Society. Washington, Estados Unidos: 159-164.
- Robbs, P. G., J. A. Bartz, G. Mcfie, and N. C. Hodge. 1996. Causes of Decay of Fresh-cut Celery. *J. Food Sci.* 61:444–448.
- Robles-Sánchez, R. M., M. A. Rojas-Graü, I. Odriozola-Serrano, G. A. González-Aguilar, and O. Martín-Belloso. 2009. Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut “Kent” mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 51:384–390.
- Robles-Sánchez, R. M., M. A. Rojas-Graü, I. Odriozola-Serrano, G. González-Aguilar, and O. Martín-Belloso. 2013. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. *Food Sci. Technol.* 50:240–246.
- Rojas-Grau, M. A., M. S. Tapia, and O. Martín-Belloso. 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut fuji apples. *J. Food Sci. Technol.* 41(1); 139-147.

- Roura, S. I., L. Pereyra, and C. E. del Valle. 2008. Phenylalanine ammonia lyase activity in fresh cut lettuce subjected to the combined action of heat mild shocks and chemical additives. *Food Sci. Technol.* 41(5):919–924.
- Salopek, B., D. Krasic, and S. Filipovic. 1992. Measurement and application of zeta-potential. *Rudarsko-Geoloko-Naftni Zbornik.* 4:147-151.
- Sancho J., E. Bota, J. J. De Castro. 2002. *Introducción al Análisis Sensorial de los Alimentos.* Ed. Alfaomega. Zaragoza, España. 119-129.
- Sapers, G.M., K. B. Hicks, J. G. Philips, L. Garzarella, D. L. Pondish, R. M. Matulatis, T. J. McCormack, S. M. Sondey, P. A. Seib, and Y. S. El. Atawy. 1989. Control of enzymatic browning in apple with ascorbic acid derivatives, polyphenol oxidase inhibitors and complexing agents. *Journal of Food Science.* 54:997-1002.
- Sarzi de Souza, B. S., T. J. O'Hare, J. F. Durigan, and P. S. de Souza. 2006. Impact of atmosphere, organic acids, and calcium on quality of fresh-cut “Kensington” mango. *Postharvest Biol. Technol.* 42:161–167.
- Schramm, L. L. 2005. *Emulsions, foams and suspensions fundamentals and applications.* Wiley-VCH Alemania, 448-453.
- SIAP-SAGARPA. 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Consultado Abril 2014: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&layout=wrapper&Itemid=350).
- Siddiq, M., D. S. Sogi, and K. D. Dolan. 2013. Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut “Tommy Atkins” mangoes as affected by different pre-treatments. *Food Sci. Technol.* 53:156–162.
- Singh, J., L. Kaur, and O. J. McCarthy. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications: A review. *Food Hydrocoll.* 21:1–22.
- Situación y Perspectivas de la industria de IV y V gama en Iberoamérica, 2013. Consultado Octubre 2015: [www.hortyfresco.c1/docs/press/16.pdf](http://www.hortyfresco.c1/docs/press/16.pdf).



- Solans, C., P. Izquierdo, J. Nolla, N. Azemar, and M. Garciacelma. 2005. Nano-emulsions. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 10:102–110.
- Sonti S. 2003. Consumer perception and application of edible coatings on fresh-cut fruits and vegetables. Thesis for MSc. Degree. Department of Food Science, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Louisiana. 234.
- Sorrentino, A., G. Gorrasi, and V. Vittoria. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends Food Sci. Technol.* 18:84–95.
- Tadros, T., P. Izquierdo, J. Esquena, and C. Solans. 2004. Formation and stability of nano-emulsions. *Adv. Colloid Interface Sci.* 108-109:303–318.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. 5th Ed. Universitat Jaume I. University of California, USA. 782.
- Tharanathan, R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends Food Sci. Technol.* 14:71–78.
- Toivonen, P., and J. DeEll. 2002. Physiology of fresh-cut fruits and vegetables. *Fresh-cut fruits and vegetables science, technology and market.* 101-111.
- USDA. National Nutrient Database of Standard Reference, Release 23. 2010. Consultado mayo 2014: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2347?fg=&man=&facet=&format=&count=&max=25&offset=&sort=&qlookup=mango>.
- Ushikubo, F. Y., and R. L. Cunha. 2014. Stability mechanisms of liquid water-in-oil emulsions. *Food Hydrocoll.* 34:145–153.
- Varela S. A. P., and S.M. Fiszman. 2007. Consumer acceptability and shelf life of “Flor de invierno” pears (*Pyrus communis L.*) under different storage conditions. *J Sensory Studies.* 22: 243-255
- Varoquaux, P., and R. Wiley. 1994. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables.* 226–268.

- Vitti, M., C. D., R. A. Kluge, L. K. Yamamoto, and A. P. Jacomino. 2003. Comportamento da beterraba minimamente processada em diferentes espessuras de corte. *Hort. Bras.* 21:623–626.
- Weiss, J., P. Takhistov, and D. J. McClements. 2006. Functional Materials in Food Nanotechnology. *J. Food Sci.* 71:R107–R116.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., E. Gutiérrez-Cortez, A. Del Real, R. M. González-Reza, M. J. Galindo-Pérez, and D. Quintanar-Guerrero. 2014b. Fresh-cut Red Delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: Effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities. *Food Res. Int.* 62:974–983.
- Zambrano-Zaragoza, M.L., E. Mercado-Silva, A. Del Real L., E. Gutiérrez-Cortez, M. A. Cornejo-Villegas, and D. Quintanar-Guerrero. 2014a. The effect of nano-coatings with  $\alpha$ -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “Red Delicious” apples. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 22:188–196.

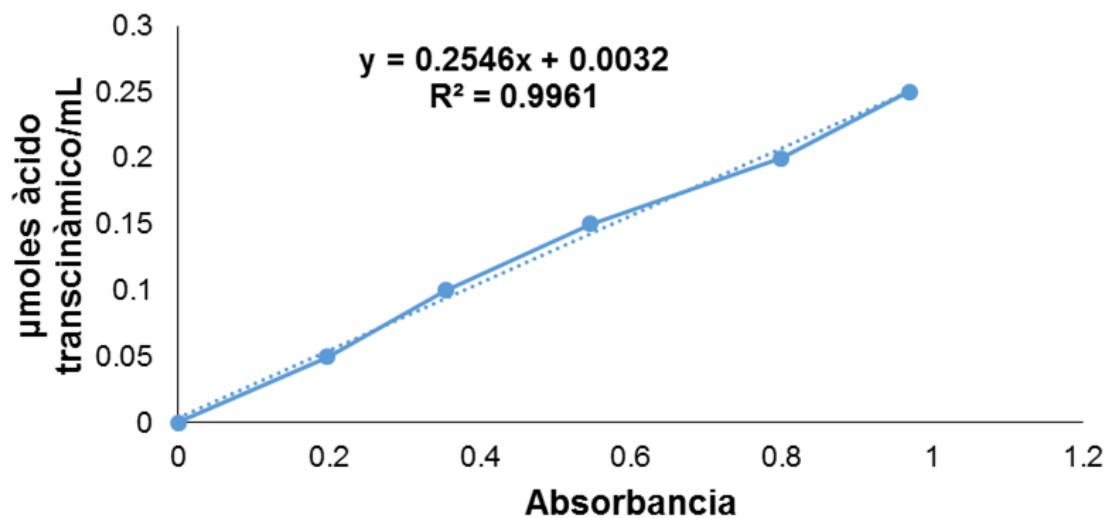
## ANEXOS

### Tabla de Abreviaturas generales

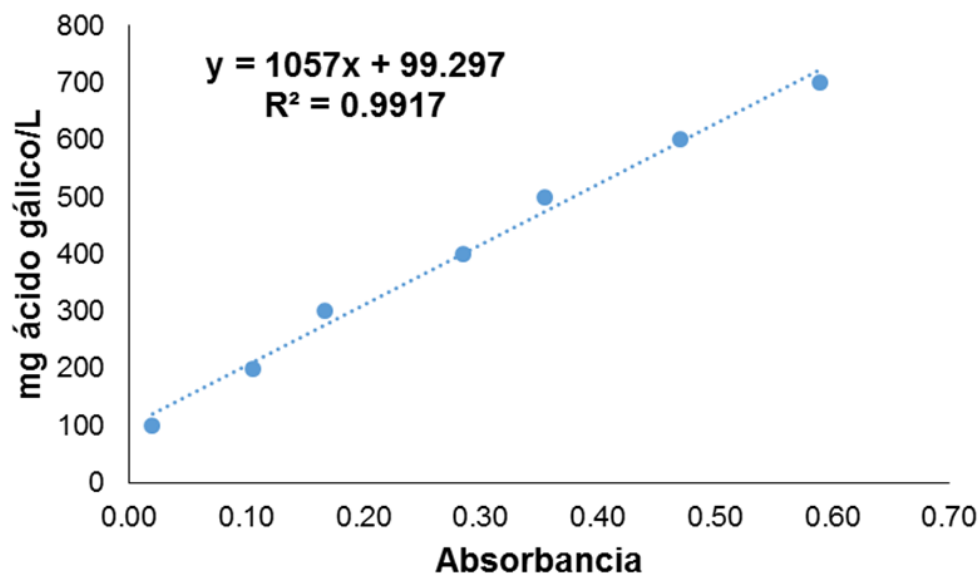
h	Hora
µL	Microlitros
°C	Grado centígrado
mg	Miligramo
mL	mililitro
Log	Logaritmo base 10
Nm	Nanómetro
UFC	Unidades formadoras de colonias
MRS	Agar de Man-Rogosa Sharp

## APENDICE

Apéndice 1. Curva estándar de calibración para determinar la actividad de PAL



Apéndice 2. Curva estándar de calibración para determinar el contenido de fenoles.



## Apéndice 2. Formato de evaluación sensorial

### EVALUACIÓN SENSORIAL DE MANGO MÍNIMAMENTE PROCESADO

Sexo: M ( ) F ( )

Edad: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

#### Instrucciones

Pruebe en el orden presentado, las cuales deben probar una a la vez y marque con una x el lugar que con mayor exactitud interprete la magnitud de agrado o desagrado que le producen las muestras.

Categoría	Aroma			Textura			Sabor			Agrado global		
	501	654	321	501	654	321	501	654	321	501	654	321
Me gusta extremadamente												
Me gusta mucho												
Me gusta moderadamente												
Me gusta levemente												
No me gusta ni me disgusta												
Me disgusta levemente												
Me disgusta moderadamente												
Me disgusta mucho												
Me disgusta extremadamente												

#### Observaciones:

---



---



---



---