

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUÉRETARO

FACULTAD DE QUIMICA

**“DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA LA
PRODUCCIÓN DE MANGO (*Mangifera indica* L.) cv. ‘TOMMY
ATKINS’ MÍNIMAMENTE PROCESADO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

MARIANA LÓPEZ BARRERA

DIRIGIDA POR

Dr. EDMUNDO M. MERCADO SILVA

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA LA
PRODUCCIÓN DE MANGO (*Mangifera indica* L.) cv.
‘TOMMY ATKINS’ MÍNIMAMENTE PROCESADO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA

MARIANA LÓPEZ BARRERA

DIRIGIDA POR

Dr. EDMUNDO M. MERCADO SILVA

SINODALES

**Dr. EDMUNDO MERCADO SILVA
DIRECTOR**

**Dra. MA. ESTELA VÁZQUEZ BARRIOS
SINODAL**

**Dra. DULCE MARÍA RIVERA PASTRANA
SINODAL**

**M. en C. DALIA VÁZQUEZ CELESTINO
SINODAL**

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 Mercado Silva.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Referencias históricas sobre el mango e introducción en México	1
1.2 Taxonomía	2
1.3 Descripción botánica	3
1.4 Variedades de mango	3
1.5 Composición nutricia	7
1.6 Producción del mango	8
1.6.1 Producción mundial y nacional del mango fresco	8
1.7 Fisiología y bioquímica poscosecha de las frutas	10
1.7.1 Cambios durante la maduración	11
1.7.1.1 Cambios de color	12
1.7.1.2 Cambios en los carbohidratos	12
1.7.1.3 Cambios en el aroma	12
1.7.1.4 Cambios en los compuestos nitrogenados	12
1.7.1.5 Cambios en los ácidos orgánicos	13
1.7.2 Cambios en la fisiología de la respiración y transpiración	13
1.8 Frutas y hortalizas mínimamente procesadas	14

1.8.1	Definición de los productos mínimamente procesados	14
1.8.2	Ventajas y desventajas	14
1.8.3	Cambios en los tejidos	15
1.3.3.1	Actividad respiratoria	15
1.3.3.1	Transpiración	16
1.8.4	Métodos de conservación	16
1.8.5	Importancia de los productos MP a nivel mundial y nacional	17
1.9	Recubrimientos comestibles (RC)	17
1.9.1	Aspectos históricos de los recubrimientos	18
1.9.2	Definición y funciones de los recubrimientos	19
1.9.3	Componentes de los recubrimientos y aplicaciones	19
1.9.3.1	Hidrocoloides	20
1.4.3.2	Lipídicos	20
1.4.3.3	Compuestos	20
1.9.4	Factores que afectan a la calidad de los frutos recubiertos con recubrimientos comestibles compuestos	21
1.10	Emulsiones	22
1.10.1	Nanoemulsiones	23
2.	HIPÓTESIS	25
3.	OBJETIVOS	26
3.1	General	26
3.2	Específicos	26
4.	METODOLOGÍA	27

4.1 Material biológico	27
4.2 Preparación de mango mínimamente procesado	27
4.2.1 Preparación de emulsión convencional	28
4.2.2 Preparación de nanoemulsiones	29
4.3 Estrategia experimental	29
4.3.1. Estudio del efecto de los RC en emulsión simple en la calidad de mango mínimamente procesado	29
5.4 Caracterización de los recubrimientos comestibles	30
4.4.1 Tamaño de partícula e índice de polidispersión (PDI)	32
4.4.2 Potencial Zeta (ζ)	32
4.5 Análisis fisicoquímicos	32
4.5.1 Evaluación de los cambios de textura	32
4.5.2 Evaluación sensorial de la calidad del mango mínimamente procesado	33
4.5.3 Determinación del color	34
4.5.4 Determinación de pH	34
4.5.5 Determinación de Sólidos Solubles Totales	34
4.5.6 Determinación de acidez titulable	35
4.6 Análisis estadístico	35
5. RESULTADOS	36
5.1 Estudio del efecto de los RC en la calidad de mango mínimamente procesado	36
5.1.1 Caracterización fisicoquímica de la emulsión simple	36

5.1.1.1 Tamaño de partícula, potencia ζ e índice de polidispersión (IDP)	36
5.2 Efecto del tipo de recubrimiento en la calidad sensorial de mango mínimamente procesado	37
5.2.1 Calidad visual	37
5.2.2 Oscurecimiento	39
5.2.3 Aroma	40
5.2.4 Consistencia	42
5.2.5 Lixiviado o exudado de líquidos	43
5.3 Cambios fisicoquímicos	44
5.3.1 Cambios objetivos de color	44
5.3.2 Cambios en la textura	45
5.3.3 Cambios en el contenido de Sólidos Solubles Totales	47
5.3.4 Cambios en la acidez titulable	48
5.3.5 Cambios en el pH	49
6. DISCUSIÓN	51
6.1 Estudio del efecto de los RC en la calidad de mango mínimamente procesado	51
6.1.1 Caracterización fisicoquímica de la emulsión simple	51
6.1.1.1 Tamaño de partícula, potencia ζ e índice de polidispersión (IDP)	51
6.2 Efecto del tipo de recubrimiento en la calidad sensorial de mango mínimamente procesado	52
6.2.1 Calidad visual	52
6.2.2 Oscurecimiento	53

6.2.3 Aroma	54
6.2.4 Consistencia	55
6.2.5 Lixiviado o exudado de líquidos	55
6.3 Cambios fisicoquímicos	56
6.3.1 Cambios objetivos de color	56
6.3.2 Cambios en la textura	57
6.3.3 Cambios en el contenido de Sólidos Solubles Totales	58
6.3.4 Cambios en la acidez titulable	58
6.3.5 Cambios en el pH	59
7. CONCLUSIONES	60
8. REFERENCIAS	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación taxonómica del mango.	2
2	Características de la variedad Ataulfo.	3
3	Características de la variedad Tommy Atkins.	4
4	Características de la variedad Handen.	4
5	Características de la variedad Kent.	5
6	Características de la variedad Keitt.	5
7	Composición nutricia del mango.	8
8	Principales países productores de mango.	9
9	Cambios que ocurren durante la maduración de los frutos carnosos.	11
10	Composición de las fases de la emulsión de los RC para el tratamiento de mango mínimamente procesado.	30
11	Escalas subjetivas para evaluación de la calidad de mango mínimamente procesado.	33
12	Caracterización y estabilidad de las nanoemulsiones.	36
13	Valores de probabilidad de la calidad visual de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	38
14	Comparación de medias de calidad visual en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	38
15	Valores de probabilidad de oscurecimiento de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	39
16	Comparación de medias de oscurecimiento en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	40
17	Valores de probabilidad de aroma de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	41
18	Comparación de medias de aroma en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	41

19	Valores de probabilidad de consistencia de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	42
20	Comparación de medias de consistencia en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	42
21	Valores de probabilidad de lixiviado de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	43
22	Comparación de medias de lixiviado en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	43
23	Valores de probabilidad de cromaticidad de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	44
24	Comparación de medias de cromaticidad en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	44
25	Valores de probabilidad de Hue de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	45
26	Comparación de medias de Hue en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	45
27	Valores de probabilidad de textura de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	46
28	Comparación de medias de textura en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	46
29	Valores de probabilidad de SST de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	47
30	Comparación de medias de SST en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	48
31	Valores de probabilidad de acidez titulable de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	48
32	Comparación de medias de acidez titulable en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	49
33	Valores de probabilidad de pH de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	49

34	Comparación de medias de pH en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.	50
----	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Morfología del mango.	7
2	Producción nacional de mango.	10
3	Factores que afectan la calidad de los frutos recubiertos con RC compuestos.	22
4	Diferentes tipos de emulsiones.	23
5	Proceso de preparación de mango mínimamente procesado.	28
6	Estrategia experimental seguida para los estudios de los RC y MMP.	31
7	Distribución de tamaño de partícula de Almidón (A), carboximetilcelulosa (CMC) y A+CMC.	37
8	Aspecto visual de MMP Tommy Atkins almacenados a 5°C.	39
9	Cambios en los valores de firmeza de MMP almacenados a 5°C para los diferentes recubrimientos.	47

RESUMEN

El mango mínimamente procesado (MMP) de la variedad Tommy Atkins, enfrenta problemas de deterioro que disminuye su vida de anaquel a sólo de 8 días de almacenamiento a 5 °C. El objetivo de este trabajo fue mejorar el proceso de conservación de MMP empleando nanoemulsiones a base de almidón modificado, carboximetilcelulosa y la combinación de ambos, incorporando agentes hidrofóbicos, antioxidantes y pretratamientos de cloruro de calcio. Las nanoemulsiones se caracterizaron midiendo el tamaño de partícula, potencial zeta e índice de polidispersión (IPD). Se determinó el efecto de la aplicación de diferentes nanoemulsiones: 4 g/L almidón (A), 0.3 g/L carboximetilcelulosa (CMC) y 4 g/L almidón + 0.3 g/L carboximetilcelulosa (A+CMC) en MMP, se almacenaron a 5 °C durante 16 días. Se llevaron a cabo evaluaciones sensoriales de la calidad (calidad visual, daño en el tejido, aroma, consistencia y líquido exudado) y análisis fisicoquímicos cada 4 días al MMP. Los tamaños de partícula promedio fueron 261, 538 y 319 nm para A, CMC y A+CMC, respectivamente. El potencial zeta fue -5.76, -42.30, -18.30 mV indicando que los sistemas nanoemulsionados no fueron completamente estables. La nanoemulsión de A mostró mejores calificaciones en cuanto a calidad visual (aparición). Al final del almacenamiento, A+CMC disminuyó la firmeza 24% en comparación de A y CMC que fue de 25% y 36%, respectivamente. Se encontraron diferencias significativas en el cambio de la textura, contenido de ácido ascórbico y pH. El uso de la nanotecnología en los productos mínimamente procesados puede mejorar sus propiedades funcionales y de calidad.

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

1. ANTECEDENTES

1.1 Referencias históricas sobre el mango e introducción en México

El mango está reconocido en la actualidad como uno de los 3 ó 4 frutos tropicales más finos. El fruto se cultiva desde hace más de 6,000 años, siendo el fruto tropical más antiguamente cultivado por el hombre. Los textos bíblicos, las leyendas y el folklore hindú ya lo señalaban como de origen antiguo. El árbol de mango ha sido objeto de gran veneración en la India y sus frutos constituyen un artículo estimado como comestibles. Su origen parece establecerse al noroeste de la India y el norte de Burma en las laderas del Himalaya y posiblemente también de Ceylán. En cuanto a las raíces de este vocablo, por un lado se señala que la palabra en sánscrito para el mango es amra, lo que significa "de la gente" o "del pueblo", y se señala así porque en ese idioma fue por primera vez registrado en la historia de la humanidad hace más de 4,000 años (SAGARPA, 2005).

Los mangos fueron llevados de México a Hawai, en 1809, y a California, alrededor de 1880, mientras que la primera plantación permanente en Florida data de 1861 (SAGARPA, 2005). En 1960 los mangos eran poco conocidos entre los consumidores fuera de la zona tropical y prácticamente no había comercio internacional de fruta fresca. En años recientes los mangos se establecieron como una fruta fresca y como productos procesados en el mercado global. La India es el mayor productor del mundo, sin embargo, su participación relativa ha ido disminuyendo debido al aumento en producción del mango en otras áreas no productoras tradicionales que incluyen las regiones de Asia, África del oeste, Australia, Sudamérica y norte américa donde destaca México (SAGARPA, 2005).

La introducción de este cultivo en México se realizó de tres formas:

- A fines del siglo XVII cuando el mango Manila fue traído por los españoles en la Nao de China desde Manila (Filipinas) al Puerto de Acapulco, desde donde se dispersó y cultivó a la Costa del Golfo de México, sobre todo en el estado de Veracruz.

- La segunda ocurrió a principios del siglo XIX, desde las Antillas a la Costa del Golfo de México, los que al propagarse por semilla originaron los mangos criollos.
- En el año de 1950, la tercera introducción del mango la hicieron viveristas particulares de Florida, E.E.U.U., al estado de Guerrero. Se propagaron por injertos y se diseminaron hacia el centro y norte del pacífico. Esta introducción incluyó las variedades de mango Haden, Kent, Keitt e Irwing, comúnmente conocidos como mangos petacones (SAGARPA, 2005).

El mango es un producto que, a nivel mundial, juega un papel económico y social importante para diversas naciones en desarrollo. Es el tercer fruto tropical a nivel mundial, en cuanto a su producción e importación (después del plátano y la piña) y el quinto de todos los frutos que se comercializan a nivel mundial. Para México es, además, una fuente muy importante de empleo, ingreso y generación de divisas (SAGARPA, 2005).

1.2 Taxonomía

El mango es el miembro más importante de la familia Anacardiaceae a la cual también pertenece el marañón. Tiene algunos parientes bien conocidos, como el pistachero (*Pistacia vera* L), los mombins (*Spondias* spp.) y la familia de la hiedra venenosa o roble venenoso de Norteamérica (*Rhus toxicodendron* L, o *R.radicans* L.), entre otros. (MIPRO, 2007). La clasificación taxonómica del mango se resume en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del mango.

Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Suborden	Anacardiineae
Familia	Anacardiaceae
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Indica</i>

(SAGARPA, 2005)

1.3 Descripción botánica

El mango es el fruto del árbol *Mangifera indica* L. se trata comúnmente de un árbol frondoso de hasta 20 metros de altura, de copa redonda, siempre verde, con inflorescencia (panícula) provista de numerosas ramas, con entre 550 hasta 4000 flores. El fruto es una drupa que varía en forma (redonda, ovalada, ovoide-oblonga), tamaño (hasta más de 2 Kg) y color, dependiendo de la variedad (SAGARPA, 2005).

El mango es una de las 69 especies del género *Mangifera*, las cuales pertenecen a la familia Anacardiacea.

1.4 Variedades de mango

El mango cuenta con una amplia gama de variedades a nivel mundial incluyendo Amelie, Kent, Alphoso, Bangapalli, Bombai, Carabao, Manila Super, Mulgoa, entre otras (SAGARPA, 2009).

Por su parte, el tipo o variedad de mango encontrado en una región o país determinado dependerá de las características propias de la región (principalmente clima). En México, las principales variedades que se cultivan son las siguientes:

- Aaulfo: Su fruto ha tenido gran aceptación por su excelente calidad y resistencia al manejo. Las características de la variedad Aaulfo se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características de la variedad Aaulfo (SAGARPA, 2009).

Variedad	Meses de cultivo	Estados productores	Principales características
 Aaulfo	Febrero-Julio	Chiapas Guerrero Oaxaca Colima Nayarit Sinaloa Campeche	Color: Amarillo Tipo: Alargado Longitud: 12.5-14 cm Anchura: 5.5-6 cm Peso: 180-260 g Fibra: Muy poca

- Tommy Atkins: Fruto de excelente calidad, predomina el color rojo, de forma redonda y tamaño mediano. La pulpa es jugosa con poco contenido de fibra. Tiene la desventaja de que si no se corta en su madures óptima presenta problemas en el manejo de poscosecha. No obstante, es la variedad con el más alto nivel de comercialización. Las características de la variedad Tommy Atkins se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características de la variedad Tommy Atkins (SAGARPA, 2009).

Variedad	Meses de cultivo	Estados productores	Principales características
Tommy Atkins 	Fines de Febrero-Agosto	Michoacán Jalisco Colima Guerrero Nayarit Sinaloa Campeche	Color: Amarillo/Rojo Tipo: Redondo Longitud: 12-14.5 cm Anchura: 10-13 cm Peso: 180-260 g Fibra: Regular

- Haden: Fruto que presenta una base de color amarillo en chapeo rojo, que lo hace muy atractivo tanto para el mercado nacional como para el de exportación. Las características de la variedad Haden se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Características de la variedad Haden (SAGARPA, 2009).

Variedad	Meses de cultivo	Estados productores	Principales características
Haden 	Febrero-Agosto	Colima Jalisco Michoacán Guerrero Nayarit Sinaloa	Color: Rojo/Amarillo Tipo: Redondo Longitud: 10.5-14 cm Anchura: 9-10.5 cm Peso: 510-680 g Fibra: Muy poca

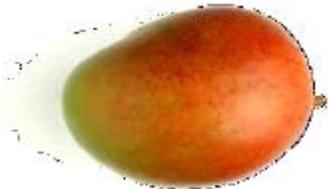
- Kent: Los frutos pesan de 500 a 700 g. La base es de color verde amarillento con chapeo rojo. Es muy susceptible a la antracnosis, debido a que la época de cosecha coincide en la temporada de lluvias. Las características de la variedad Kent se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características de la variedad Kent (SAGARPA, 2009).

Variedad	Meses de cultivo	Estados productores	Principales características
Kent 	Julio-Agosto	Jalisco Michoacán Colima Nayarit Sinaloa	Color: Rojo/Amarillo Tipo: Redondo Longitud: 12-14 cm Anchura: 9.5-11 cm Peso: 450-700 g Fibra: Muy poca

- Keitt: Fruto grande con un peso de 600 a 800 g. La base del fruto es de color verde con chapeo rosa rojizo. Tiene pulpa dulce con poca fibra. Las características de la variedad Kent se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Características de la variedad Keitt (SAGARPA, 2009).

Variedad	Meses de cultivo	Estados productores	Principales características
Keitt 	Abril-Fines de Septiembre	Colima Jalisco Nayarit Sinaloa	Color: Rosado/Amarillo Tipo: Redondo Longitud: 13-15.5 cm Anchura: 9-11 cm Peso: 510-2000 g Fibra: Muy poca

Adicionalmente, otras variedades de mangos cultivadas en México pueden incluir (no limitativo):

- Manila: Produce frutos de tamaño medio (200 a 275 g) de forma elíptica y color amarillo, con cáscara delgada, pulpa amarilla y firme. Bajo contenido de fibra.
- Manzanillo Núñez: Selección regional. El árbol es muy vigoroso, no alternante, se cosecha entre junio y julio. Su fruto es parecido al Kent. El chapeo rojo sobre amarillo naranja, su pulpa no tiene fibra y la semilla es pequeña. Preferentemente consumo nacional.
- Diplomático: Sus frutos pesan entre 280 y 320 g, son de color amarillo y una base con chapeo rojo. La pulpa es dulce con algo de fibra y resistente al manejo.
- Irwin: El color del fruto es rojizo con chapeo púrpura. El peso oscila entre 250 y 310 g, la pulpa es de color amarillo intenso, con nulo contenido de fibra. Su manejo es muy delicado.

En términos generales podemos mencionar que las variedades producidas en México son consumidas a nivel nacional esencialmente como fruta fresca. Por su parte para la producción de jugos de mango se utiliza el mango Manila, y por último para el mercado de exportación de mango fresco se utilizan mango de variedades como Tommy Atkins, Haden, Kent, Ataulfo y Keit principalmente (SAGARPA, 2009).

Como se mencionó anteriormente, el mango es una drupa variable en cuanto a su forma y dimensiones, generalmente ovoide-oblonga, notablemente aplanada, redondeada y obtusa en ambos extremos, de color verde, verde amarillento o amarillo, algunas con matices de rojo o anaranjado. La cáscara o pericarpio es liso, uniforme e interrumpida por pequeñas glándulas circulares, en ocasiones prominentes, llamadas lenticelas. El mesocarpio o pulpa es de color amarillo anaranjado, jugoso, con un contenido variable de fibra. El endocarpio es grueso, leñoso y cubierto por una capa fibrosa externa que se puede extender dentro de la pulpa. La semilla tiene forma aplanada y los cotiledones representan el mayor volumen de la misma (Salamanca y col., 2007). La morfología del mango se muestra en la Figura 1.

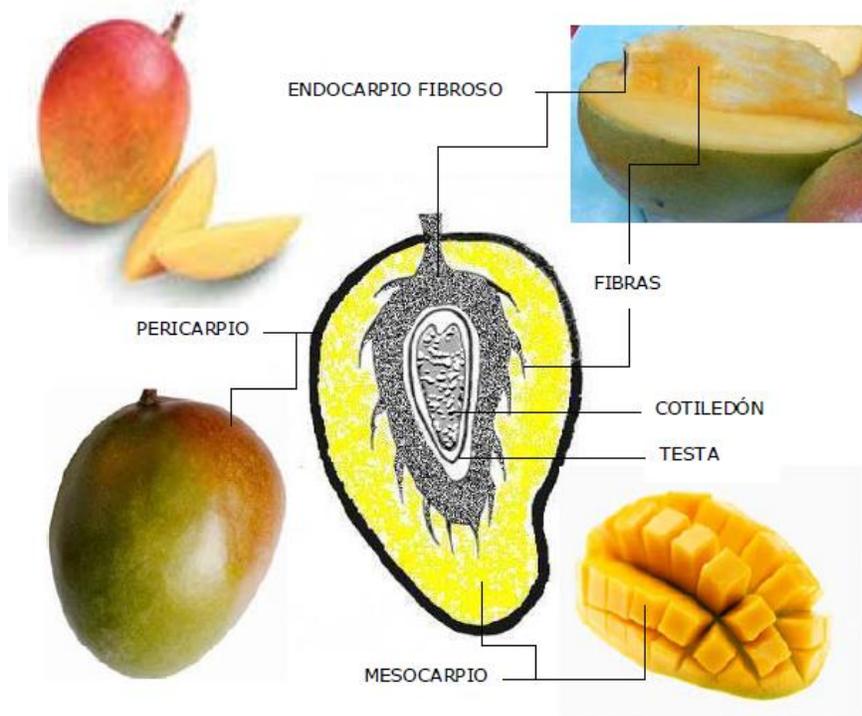


Figura 1. Morfología del mango (Torres-Oquendo, 2007).

1.5 Composición nutricia

El mango es un cultivo de clima tropical y subtropical, su distribución geográfica se encuentra entre los Trópicos de Cáncer y Capricornio; las condiciones de clima que requiere para un buen desarrollo y alta producción son: una época seca de por lo menos tres meses antes de la floración, una temperatura óptima considerada entre 24 y 27 °C y una altitud máxima de 600 metros; para su buen desarrollo se prefieren los suelos bien drenados, profundos y fértiles. De acuerdo al reporte de Desarrollo Sostenible de México, A.C. en 2003 para la Cadena Agroalimentaria del Mango, este fruto es consumido en fresco, tanto internacional como nacionalmente, pero también puede consumirse en forma procesada, ya sea como enlatados, congelados, deshidratados, etc. (SAGARPA, 2005).

El mango se considera como uno de los frutos más finos y uno de los cultivos más importantes en las áreas subtropicales y tropicales del mundo. Se caracteriza por ser

una fuente importante de vitaminas A, B y C, su composición depende de la variedad y del estado de madurez o desarrollo del fruto; observándose que el contenido de ácido ascórbico y la acidez total disminuyen durante el desarrollo del fruto mientras que los carotenoides y azúcares totales aumentan (Purseglove, 1974). El contenido nutricional del mango por cada 100 g de pulpa fresca se detalla en el cuadro 7.

Cuadro 7. Composición nutricia del mango (cantidades dadas por 100g de pulpa fresca) (USDA, 2006).

Componente	100 g de muestra
Agua	81.7 g
Energía	65 g
Grasa	0.45 g
Proteína	0.51 g
Carbohidratos	17 g
Fibra	1.8 g
Potasio	156 mg
Fósforo	11 mg
Hierro	0.13 mg
Sodio	0.0 mg
Magnesio	9 mg
Calcio	10 mg
Cobre	0.11 mg
Zinc	0.04 mg
Selenio	0.6 mg
Vitamina C	27.7 mg
Vitamina A	3.894 UI
Vitamina B1 (Tiamina)	0.058 mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0.057 mg
Vitamina B3 (Niacina)	0.58 mg
Vitamina B6 (Pirridoxina)	0.134 mg
Vitamina E	0.100 mg
Ácido Fólico	14 mcg

1.6 Producción del mango

1.6.1 Producción mundial y nacional del mango fresco

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 8 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 8. Principales países productores de mango, 2013 (FAOSFAT, 2013).

Lugar	País	Valor de la producción (miles de Us)	Producción (Ton)
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

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 son: 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 exportadas.

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 Ataulfo 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).

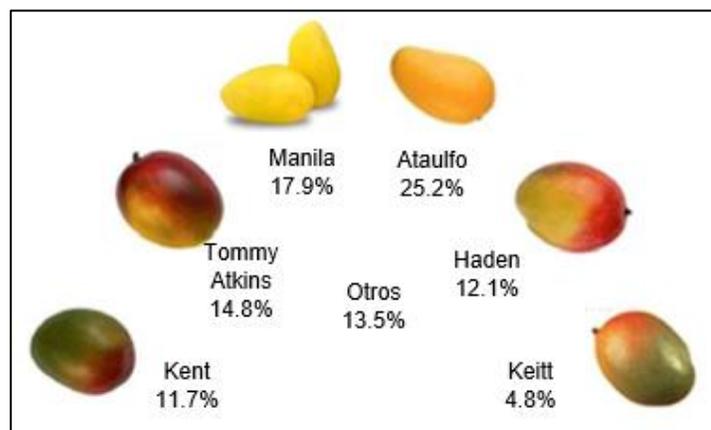


Figura 2. Producción nacional de mango (SIAP-SAGARPA, 2014).

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, Ataulfo, Haden y Tommy Atkins (Figura 2).

1.7 Fisiología y bioquímica poscosecha de las frutas

La correcta manipulación poscosecha de las frutas y hortalizas precisa tener en cuenta que se trata de estructuras vivas, tras la recolección (cosecha) continúan estándolo y siguen desarrollando los procesos metabólicos y manteniendo los

sistemas fisiológicos. Una característica muy importante es que las frutas respiran, tomando oxígeno y desprendiendo dióxido de carbono y calor, también transpiran (pierden agua), las pérdidas de sustratos respirables no se compensan y se inicia el deterioro, que los denominan como productos perecederos. La vida útil de las frutas y hortalizas pueden dividirse en tres etapas fisiológicas fundamentales, subsiguientes a la germinación: el crecimiento, la maduración y la senescencia (Wills y col., 1999).

Durante la poscosecha las frutas sufren numerosos cambios fisicoquímicos, que determinan la calidad al ser adquiridas por el consumidor. La maduración organoléptica es un proceso en la vida de la fruta donde se lleva a cabo la transformación de un tejido fisiológicamente maduro, pero no comestible, en otro visual, olfativo y gustativamente atractivo. La maduración comercial o de consumo es el resultado de un complejo conjunto de transformaciones, muchas de las cuales es probable que sean independientes entre sí, algunas de estas transformaciones se enlistan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Cambios que ocurren durante la maduración de los frutos carnosos (Pratt, 1975).

Maduración de las semillas
Cambios en el color
Cambios en la actividad respiratoria
Cambios en la velocidad de producción de etileno
Cambios en las proteínas
Cambios en los carbohidratos
Cambios en la composición de sustancias pécticas (Ablandamiento)
Modificación en el contenido de ácidos orgánicos
Producción de compuestos volátiles del flavor

1.7.1 Cambios durante la maduración

Los frutos climatéricos alcanzan el estadio de plena madurez organoléptica donde comienzan las transformaciones de los diferentes tejidos como los que se describen a continuación:

1.7.1.1 Cambios de color

Es el más importante de los criterios utilizados por los consumidores para decidir si la fruta está o no madura. El color verde se debe a la presencia de clorofila, la pérdida de este color es consecuencia de la degradación de la clorofila, en cuyo proceso pueden intervenir diferentes factores como: cambios del pH, desarrollo de procesos oxidativos y la acción de enzimas como las clorofilasas (Wills y col., 1999).

1.7.1.2 Cambios en los carbohidratos

Los cambios observados en la composición de los carbohidratos son cuantitativamente los más importantes asociados a la maduración de los frutos, ya que incluye la conversión casi total del almidón en azúcares más simples. Estas transformaciones alteran tanto el sabor y la textura. La degradación de los polisacáridos de la pared celular debilita y disminuye las fuerzas cohesivas que mantienen unidas las células; la velocidad de degradación de las sustancias pécticas está correlacionada directamente con el ablandamiento del fruto (Wills y col., 1999).

1.7.1.3 Cambios en el aroma

El aroma juega un papel importante en la calidad comestible de los frutos y su origen es la síntesis de compuestos orgánicos volátiles que se derivan de diferentes compuestos orgánicos (lípidos, proteínas, entre otros) que se degradan durante la fase de maduración. La importancia cuantitativa de los compuestos responsables del aroma es pequeña (Wills y col., 1999); sin embargo, su efecto en las características sensoriales es fundamental.

1.7.1.4 Cambios en los compuestos nitrogenados

El descenso en la tasa de aminoácidos libres que con frecuencia es el reflejo de un incremento de la síntesis protéica. Durante la senescencia aumenta el nivel de aminoácidos libres, lo que revela una degradación de las enzimas y una disminución de la actividad metabólica (Wills y col., 1999).

1.7.1.5 Cambios en los ácidos orgánicos

Su contenido declina conforme ocurre la actividad metabólica de la maduración, ya que son respirados o convertidos en azúcares (Wills y col., 1999) durante el metabolismo respiratorio.

1.7.2 Cambios en la fisiología de la respiración y transpiración

La respiración es un proceso metabólico fundamental, tanto en el producto recolectado, como en cualquier producto vegetal vivo. Se describe como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos, a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua, con la liberación de energía en forma de ATP o calor así como la generación de metabolitos intermediarios para la síntesis de otros compuestos orgánicos necesarios para la vida de los tejidos y otras moléculas que pueden tener lugar en presencia de oxígeno (respiración anaeróbica) o en su ausencia (respiración anaeróbica, a veces, denominada fermentación). La velocidad a la que respira un producto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y es una guía útil para calcular cuánto puede durar su vida comercial (o vida útil); a mayor actividad respiratoria menor vida de anaquel.

Por otra parte, la transpiración es la pérdida de agua en forma de vapor por la piel de la fruta u hortaliza. Esta pérdida es de mucha importancia porque es la responsable de la pérdida de peso y en gran parte de la calidad visual del producto (marchitamiento). Las frutas están constituidas de un 70 a 90% por agua y si se pierden entre el 5 y 8 % del agua interna, se demerita la calidad y su valor comercial. La transpiración se ve afectada por: la especie o variedad del producto, por la naturaleza de la piel, el estado de sanidad del propio fruto, de la temperatura y de la humedad relativa del mismo (Wills y col., 1999).

Por ello es importante disminuir la temperatura de conservación de los productos y mantener una humedad relativa del ambiente para mantener la calidad del producto por más tiempo.

1.8 Frutas y hortalizas mínimamente procesadas

La demanda del mercado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas es un área de oportunidad que ha venido en desarrollo por la necesidad de ciertos sectores de la población que no disponen de tiempo para la preparación de alimentos y por ello demandan productos con una alta calidad en todos los aspectos. Por lo tanto, ha atraído el interés de muchas facetas de la gente de la industria alimentaria, incluyendo áreas tan diversas como fabricantes, almacenistas de productos, restaurantes, establecimientos de alimentos para llevar y en especial, a los consumidores quienes demandan productos frescos con atributos de calidad aceptables (apariencia, textura y sabor) listos para ser consumidos, de fácil manejo y almacenamiento (Rangel-Marrón y López-Malo, 2012).

1.8.1 Definición de los productos mínimamente procesados

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son productos que contienen tejidos vivos que han sido modificados ligeramente de su estado intacto y por ello conservan su naturaleza y calidad semejantes. No obstante, los tejidos de estos productos no exhiben las mismas respuestas fisiológicas que los tejidos vivos intactos de los productos vegetales sin tratar (Willey, 1997). En general se ha observado que las tasas metabólicas se incrementan y por ello su vida de anaquel es más corta.

1.8.2 Ventajas y desventajas

El propósito de los alimentos mínimamente procesados refrigerados, según Rotondo y col. (2008), es proporcionar al consumidor un producto hortícola muy parecido al fresco, con una vida útil prolongada y al mismo tiempo garantizar la seguridad de los mismos, manteniendo una sólida calidad nutritiva y sensorial.

Por otro lado, mantiene sus propiedades naturales y frescas, pero con la diferencia que ya viene lavado, troceado y envasado. También tienen como ventajas la reducción del espacio durante el transporte y almacenamiento, menor tiempo de preparación de las comidas, calidad uniforme y constante de los productos durante

todo el año, posibilidad de inspeccionar la calidad del producto en la recepción y antes del uso y a menudo son más económicos para el usuario debido a la reducción de desperdicios.

Los principales problemas de los productos mínimamente procesados, refrigerados y listos para consumir son:

- Escasa calidad de los productos
- Falta de hábito de consumo
- Ausencia de promoción
- Ausencia, en general, de la cadena de frío, aumentando el porcentaje de descarte (en algunos productos supera el 30%) (Rotondo y col., 2008).

1.8.3 Cambios en los tejidos

Durante la recolección, preparación y manipulación las frutas y hortalizas mínimamente procesadas se presentan cambios debido a la actividad fisiológica de los tejidos (Willey, 1997) las cuales se mencionan a continuación:

1.3.3.1 Actividad respiratoria

Los cambios producidos debido a la respiración en las frutas y hortalizas que son sometidas al procesamiento mínimo son:

- Mayor producción de calor
- Crisis climatérica post-recolección
- Desordenes fisiológicos inducidos por O₂ reducido o CO₂ elevado
- Fermentación ácido láctica a baja concentraciones de O₂ en productos cortados y almacenados en empaques de baja permeabilidad al O₂.
- Efectos deterioradores de la polifenoloxidasas, celulasas, enzimas pectolíticas, amilasas, peroxidasas que están asociadas a decoloración, ablandamiento, producción de olores y sabores desagradables o extraños.

1.3.3.1 Transpiración

La transpiración se manifiesta como la pérdida de humedad, y por ende en la pérdida de peso.

Debido a la transpiración se produce:

- Pérdida de turgencia (firmeza)
- Ablandamiento de los tejidos
- Alteración microbiana

Para mantener las condiciones óptimas de las frutas es esencial comprender la naturaleza de los productos y los efectos que producen en ellos las prácticas de manipulación (Viña, 2003).

1.8.4 Métodos de conservación

La conservación de los alimentos ha constituido una importante etapa del proceso de elaboración de los alimentos utilizada a fin de proporcionar seguridad, mantener calidad, prolongar la vida útil y prevenir la alteración de los mismos. Los métodos de conservación son los procedimientos reales de conservar los alimentos destinados a reducir su alteración.

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas deben mantenerse de manera continua a temperaturas de refrigeración, evitando que se produzcan abusos de temperatura durante su distribución y venta al por menor. La refrigeración, debería considerarse una parte activa de la conservación ya que es bien conocido que reduce los cambios adversos en la composición y en la calidad y prolongar sustancialmente la vida útil de muchos alimentos.

Como métodos de conservación para prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas se encuentra: conservación por calor, utilizando tratamientos térmicos suaves seguidos de enfriamiento rápido; conservación química que incluye acidificantes, antioxidantes, cloración, sustancias antimicrobianas y otros

productos similares; conservación mediante irradiación; conservación mediante el potencial de óxido/reducción (O/R); y en algunos casos, reducción de la humedad mediante disminución de la actividad de agua (aw).

También pueden utilizarse la combinación de los métodos anteriores de forma específica o al azar de manera que se aprovechen las ventajas del sinergismo de los distintos obstáculos o barreras. Estos obstáculos tienen que considerar los sistemas enzimáticos de los tejidos vegetales intactos o dañados, sobre todo la actividad de las enzimas polifenoloxidasas (PFOs), peroxidasas (POs) y diferentes pectinasas, poligalacturonasas (PGs) y pectinesterasas (PEs); así como otras enzimas relacionadas con la cadena respiratoria (Willey, 1997).

1.8.5 Importancia de los productos MP a nivel mundial y nacional

Los productos mínimamente procesados son una tendencia mundial que de manera efectiva responden a la falta de tiempo que se observa actualmente en la sociedad, es por ello que en los países desarrollados como Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Italia, Alemania, España, el consumo de frutas y hortalizas mínimamente procesadas representa entre un 10 y un 15% del consumo total, observándose una tasa de crecimiento anual de un 7,4%. Estos productos llegan a representar del 8 al 10% de las frutas y hortalizas frescas comercializadas.

En México, aún y cuando no existen estadísticas particulares en torno a los alimentos mínimamente procesados, es cada vez más común encontrar este tipo de productos en los supermercados, lo que indica que han ganado aceptación entre los consumidores, especialmente ciertos productos como las mezclas de frutas cortadas, diversos tipos de ensaladas y hortalizas mínimamente procesadas (Zarazúa y col., 2007).

1.9 Recubrimientos comestibles (RC)

El crecimiento de la demanda de alimentos más sanos, seguros y obtenidos de forma respetuosa con el medio ambiente, entre los que se encuentran los ecológicos, ha

llevado a potenciar investigaciones en el ámbito de la industria alimentaria, esta situación ha repercutido directamente en el panorama actual de los insumos de aplicación a la agricultura y alimentación en el que se está priorizando la reducción y búsqueda de alternativas más naturales a los químicos de síntesis habitualmente aplicados. En este sentido, la tecnología de los recubrimientos comestibles surge como una alternativa prometedora para la mejora de la calidad y conservación de alimentos durante su procesado y/o almacenamiento. Se trata de recubrimientos “inteligentes” puesto que son activos y selectivos con un uso potencial prácticamente infinito (Sánchez-González y col., 2008).

1.9.1 Aspectos históricos de los recubrimientos

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Existen reportes que datan de los siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua (Greener, 1994).

De los años 50's a los 80's se realizó bastante trabajo orientado al uso de películas y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados, el cual se ha reportado tanto en la literatura científica como de patente, desafortunadamente, la mayor parte de este trabajo es de valor limitado debido a la carencia de datos cuantitativos de las características de barrera de los recubrimientos.

También se ha reportado que las ceras fueron las primeras cubiertas comestibles empleadas en frutas y en los años 30's se disponía comercialmente de ceras de parafina derretidas en caliente para su aplicación como recubrimiento de manzanas y peras. En años recientes, se ha reportado que es posible conseguir efectos similares de barrera al vapor de agua y gases en productos tropicales utilizando diferentes mezclas de aceites, ceras y celulosa (Baldwin, 1995).

1.9.2 Definición y funciones de los recubrimientos

Un recubrimiento comestible (RC) es una película que envuelve al alimento y que puede ser consumida como parte del mismo (Pastor y col., 2005) cuya función es mantener la calidad de los productos recubiertos retrasando las principales causas de alteración a través de diferentes mecanismos (Kester y Fennema, 1986).

Algunos de ellos son:

- Evitar ganancia o pérdida de humedad, que puede provocar una modificación de la textura (turgencia).
- Ralentizar los cambios químicos que pueden afectar al color, aroma o valor nutricional del alimento.
- Actuar como barrera al intercambio de gases que puede influir en gran medida en la estabilidad de los alimentos sensibles a la oxidación de lípidos, vitaminas y pigmentos.
- Mejorar la estabilidad microbiológica.
- Mejorar la integridad mecánica en el caso de las frutas y hortalizas.

Los RC se pueden aplicar en frutos intactos (Díaz-Sobac y col., 1996; Del-Valle y col., 2005) y en productos mínimamente procesados (Emmambux y Minaar, 2003). En cualquier caso, la selección de los componentes de una formulación puede obedecer a distintas motivaciones: si se busca reducir la pérdida de humedad del producto se recomienda usar un lipocoloide o, si se desea controlar el flujo de gases como O₂ o CO₂ es frecuente el uso de hidrocoloides (Debeaufort y col., 2000). A menudo se requiere un doble propósito, por lo que es deseable un equilibrio de ambos tipos de materiales, lo que sugiere la selección de compuestos que favorezcan el control de un balance hidrofílico-lipofílico.

1.9.3 Componentes de los recubrimientos y aplicaciones

Los recubrimientos más comunes son aquellos que se aplican a las frutas para sustituir la cera natural que se ha eliminado durante el lavado y cepillado de las

mismas. Este tipo de recubrimientos están compuestos, en general, por mezclas de diferentes resinas o ceras, naturales o sintéticas, y se aplican a frutas enteras (cítricos y manzanas, entre otros) para alargar su vida útil durante su almacenamiento. En cuanto a los recubrimientos comestibles, el campo de aplicación se amplía enormemente ya que esta tecnología permite diseñar y formular productos que se adapten según la forma de aplicación (directamente en campo, durante la confección en almacén o en el envasado) y el tipo de producto al que vayan destinados (entero, troceado, mínimamente procesado). Así los RC dependiendo del tipo de compuesto que incluyen en su formulación pueden agruparse en tres categorías (Pastor y col., 2005):

1.9.3.1 Hidrocoloides

Por lo general forman recubrimientos con buenas propiedades mecánicas y son una buena barrera para los gases (O_2 y CO_2), pero no impiden suficientemente la transmisión de vapor de agua (Baldwin y col., 1996).

1.4.3.2 Lipídicos

Formados por compuestos hidrofóbicos y no poliméricos con buenas propiedades barrera para la humedad, pero con poca capacidad para formar films, reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior y pueden mejorar el brillo, así como el sabor (Baldwin y col., 1996).

1.4.3.3 Compuestos

Formulaciones mixtas de recubrimientos comestibles hidrocoloides y lipídicos que aprovechan las ventajas de cada grupo y disminuyen los inconvenientes. En general, los lipídicos aportan resistencia al vapor de agua y los hidrocoloides presentan permeabilidad selectiva al O_2 y CO_2 , la duración de la película o film es mayor y presentan buena cohesión estructural o integridad del recubrimiento (Baldwin y col., 1996).

También se pueden incorporar otros componentes que ayudan a mejorar las propiedades finales de los recubrimientos, como plastificantes y/o faciliten su obtención como surfactantes y emulsionantes. Otra gama de ingredientes de los RC de gran interés son los antioxidantes, antimicrobianos, y reafirmantes de la textura con el fin de mejorar las propiedades de las coberturas. Se ha demostrado que algunos aditivos actúan más efectivamente en alimentos cuando son aplicados formando parte del recubrimiento que cuando son aplicados en soluciones acuosas mediante dispersión o inmersión, ya que las coberturas pueden mantener los aditivos en la superficie del alimento durante más tiempo (Baldwin, 1996).

1.9.4 Factores que afectan a la calidad de los frutos recubiertos con recubrimientos comestibles compuestos.

Las propiedades del recubrimiento, las características del fruto, la técnica de aplicación y el secado del recubrimiento, y las condiciones de almacenamiento determinan la calidad del fruto recubierto con recubrimientos comestibles compuestos. La Figura 3 muestra los principales factores que intervienen en la calidad final de los frutos recubiertos con recubrimientos comestibles compuestos.

De estas propiedades, la permeabilidad al vapor de agua y a los gases; tanto al CO₂ como a O₂, son las propiedades de mayor interés para el recubrimiento de los frutos. Las propiedades mecánicas determinan la habilidad del recubrimiento para formar una capa continua con buena integridad física en torno al fruto. Las propiedades de barrera y mecánicas de los recubrimientos dependen de factores intrínsecos del propio recubrimiento, como son la composición, el espesor y la técnica de preparación de los mismos, y extrínsecos como las condiciones de secado y de almacenamiento.

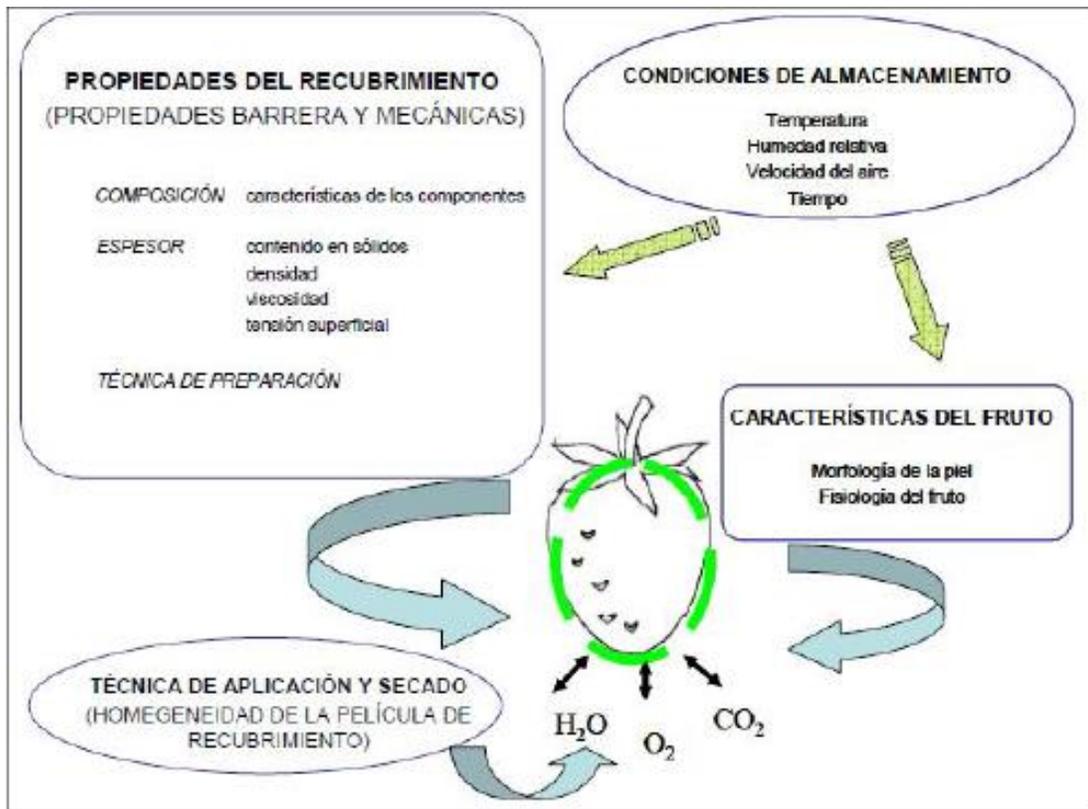


Figura 3. Factores que afectan la calidad de los frutos recubiertos con RC compuestos (Navarro, 2007).

Sin embargo, en la calidad final del fruto recubierto no solo intervienen las propiedades barrera y mecánicas del recubrimiento; otros factores, como la técnica de aplicación y la morfología de la piel del fruto, que condicionan la distribución del recubrimiento en la superficie del fruto, así como la fisiología del fruto y las condiciones de almacenamiento, determinan la calidad final del fruto recubierto.

1.10 Emulsiones

Las emulsiones se definen como mezclas coloidales que constan de dos fluidos inmiscibles entre sí, donde uno de ellos se encuentra disperso en el otro en forma de gotas muy finas, y este sistema se encuentra estabilizado mediante un agente emulgente (McClementes, 2005; Charcosset, 2009; Quintanilla-Carvajal y col., 2009). La fase que está presente como finas gotas se llama fase dispersa y la fase

en la cual están suspendidas las gotas se conoce como fase continua (Singh y col., 2012). Con base en la naturaleza de las fases (oleosa o acuosa) las emulsiones se dividen comúnmente en dos tipos: aceite en agua y agua en aceite. Las emulsiones aceite en agua se forman cuando la fase oleosa está dispersa en la fase continua acuosa. Por el contrario, en las emulsiones agua en aceite la fase acuosa está dispersa y la fase oleosa sirve como fase continua. También existen las emulsiones múltiples, las cuales son sistemas de dispersión más complejas. Este tipo de emulsiones se obtienen mediante un proceso llamado de doble emulsificación por lo tanto, estos sistemas se pueden llamar emulsiones dobles y pueden ser de dos tipos: aceite en agua en aceite y agua en aceite en agua (Mahato, 2007; Singh y col., 2012).

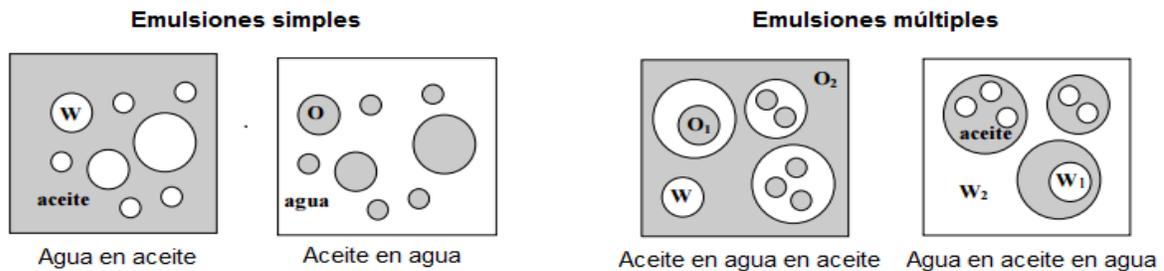


Figura 4. Diferentes tipos de emulsiones (Hernández, 2004).

1.10.1 Nanoemulsiones

Tomando en cuenta el tamaño de gota de la fase dispersa, las emulsiones se pueden clasificar en microemulsiones las cuales se caracterizan por tener tamaños de partículas de 1-10 nm, las mini o nano emulsiones tienen tamaños de partículas entre 20 y 500 nm; por su parte las macroemulsiones tienen un rango de 0.5-100 μm (Windhab y col., 2005). La conversión de dos fases inmiscibles en una emulsión, o bien la reducción del tamaño de gota de la fase dispersa, se alcanza por el proceso de homogenización. Algunos métodos convencionales que se emplean para su preparación son básicamente equipos de agitación, molinos coloidales, homogeneizadores, ultrasonidos o microfluidizadores (Charcosset, 2009).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, el presente estudio pretendió aportar información respecto de los efectos que tienen las aplicaciones de cubiertas comestibles a base de almidón y carboximetilcelulosa en forma de nanoemulsiones en la calidad de mango Tommy Atkins mínimamente procesado.

2. HIPÓTESIS

La aplicación de dispersiones en forma de nanoemulsión puede incrementar la vida de anaquel de mango mínimamente procesado hasta por un periodo de 15 días en condiciones de refrigeración a 5°C.

3. OBJETIVOS

3.1 General.

- Mejorar el proceso de conservación de mango Tommy Atkins mínimamente procesado empleando nanoemulsiones a base de almidón modificado y carboximetilcelulosa incorporando antioxidantes y agentes hidrofóbicos en forma de nanoemulsión.

3.2 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 CaCl_2 .
- Evaluar el efecto de tamaño de partícula de las nanoemulsiones a base de almidón modificado, carboximetilcelulosa y la combinación de ambas con pre tratamientos de CaCl_2 en la calidad y conservación de mango mínimamente procesado.

4. METODOLOGÍA

4.1 Material biológico

Los frutos de mango Tommy Atkins 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. Se seleccionaron los frutos en estado de madurez $\frac{3}{4}$ y libres de defectos. Los mangos seleccionados, fueron almacenados a 5 °C por 24 h antes de ser sometidos al procesamiento mínimo. Durante el proceso, los frutos enteros se sometieron a un lavado manual por cepillado y después a una desinfección por inmersión en solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm durante 10 min.

4.2 Preparación de mango mínimamente procesado

En la Figura 5 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 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 agua. Para aplicar las nanoemulsiones (descritas en las secciones 4.2.1 y 4.2.2), se usó el método por inmersión del producto durante 3 min, después se drenaron durante 2 min más. Se utilizó como grupo control el mango sin la nanoemulsión y el pretratamiento con CaCl_2 .

Todo el material utilizado en la preparación de las muestras se sanitizó en una solución de plata coloidal (0.1ml/L). El producto fue empacado manualmente en envases de polipropileno de capacidad de 150 mL con tapa; en cada contenedor se

colocaron 70 g de fruta. Todos los empaques se colocaron en cajas de cartón y fueron almacenadas en cámaras de refrigeración a 5 °C hasta su análisis.

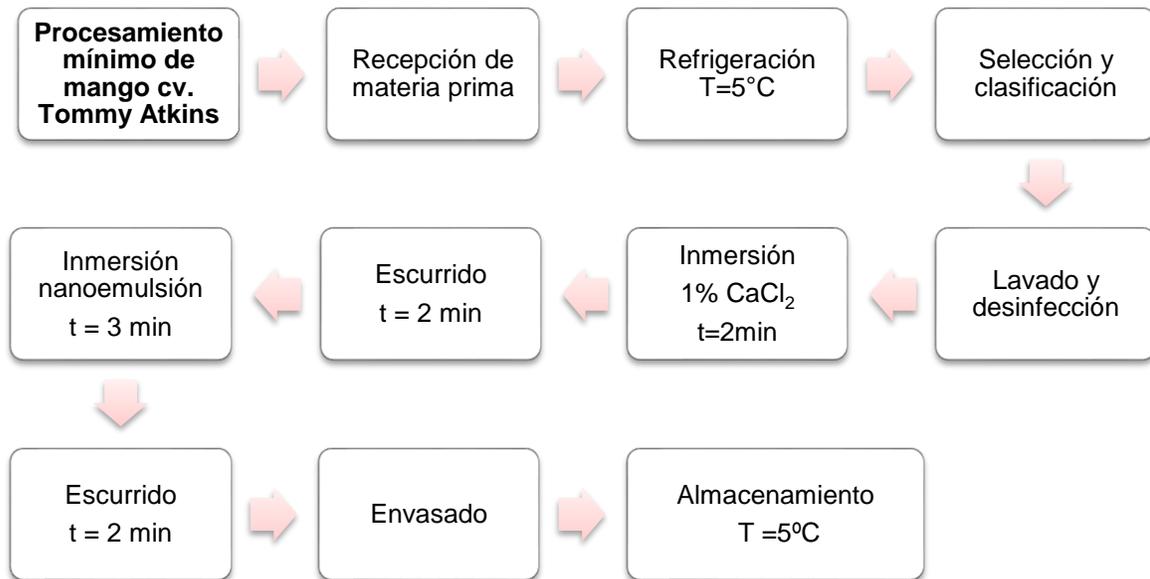


Figura 5. Proceso de preparación de mango mínimamente procesado.

4.2.1 Preparación de emulsión convencional

La emulsión se preparó por el método de emulsificación convencional (Solans, 2005). La fase dispersa estuvo compuesta por 0.2 g/L de acetato de α -tocoferol, 2 g/L de glicerol y 0.16 g/L de surfactante lipofílico (Span[®]80, HLB=4.3). Se realizaron 3 formulaciones de fase continua, las cuales se describen a continuación:

F₁: 4 g/L de almidón ingredion[®] y 0.84 g/L de surfactante hidrofílico (Tween[®] 80, HLB=14.9).

F₂: 0.3 g/L de carboximetilcelulosa y 0.84 g/L de surfactante hidrofílico (Tween[®] 80, HLB=14.9).

F₃: 4 g/L de almidón ingredion[®], 0.3 g/L de carboximetilcelulosa y 0.84 g/L de surfactante hidrofílico (Tween[®] 80, HLB=14.9).

Una vez preparadas ambas fases, éstas 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.

4.2.2 Preparación de nanoemulsiones

Las nanoemulsiones fueron preparadas a partir de la emulsión formada de acuerdo con lo descrito en el punto 4.2.1. 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®T50 USA) 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.

4.3 Estrategia experimental

En el trabajo experimental de este estudio se evaluó el efecto de diferentes nanoemulsiones a base de almidón modificado, carboximetilcelulosa y la combinación de ambos en la calidad de MMP. Posteriormente se evaluó el tamaño de partícula de los diferentes recubrimientos comestibles en la calidad del producto. La metodología de esta estrategia experimental se presenta a continuación.

4.3.1. Estudio del efecto de los RC en emulsión simple en la calidad de mango mínimamente procesado.

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 10 se resume la composición de estas emulsiones aplicadas.

Cuadro 10. Composición de las fases de la emulsión de los RC para el tratamiento de mango mínimamente procesado.

Fase dispersa		Fase continua
2 g/L glicerol 0.2 g/L α -tocoferol 0.16 g/L span [®] 80	0.84 g/L tween [®] 80	4 g/L almidón ingredion [®] 0.3 g/L carboximetilcelulosa 4 g/L almidón ingredion [®] + 0.3 g/L carboximetilcelulosa

El proceso seguido para el procesamiento mínimo del mango se realizó en la Planta Piloto de Alimentos de la Universidad Autónoma de Querétaro según como se describe en la Figura 5.

La Figura 6 presenta de manera esquemática los procedimientos realizados para el estudio de los RC en el MMP. Las variables respuestas evaluadas fueron las siguientes:

- Caracterización de los recubrimientos. Tamaño de partícula, índice de polidispersión (IPD) y potencial zeta.
- Calidad sensorial. A través de escalas subjetivas se evaluó el aspecto visual, textura, oscurecimiento, aroma y liberación de líquidos.
- Análisis fisicoquímicos. Determinación de firmeza, color, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable y pH.

5.4 Caracterización de los recubrimientos comestibles

Entre los parámetros más importantes a considerar en la preparación de nanoemulsiones se encuentran el tamaño de partícula, el índice de polidispersión (PDI) y el potencial zeta (ζ), a continuación se describe la metodología para cada una de estas mediciones.

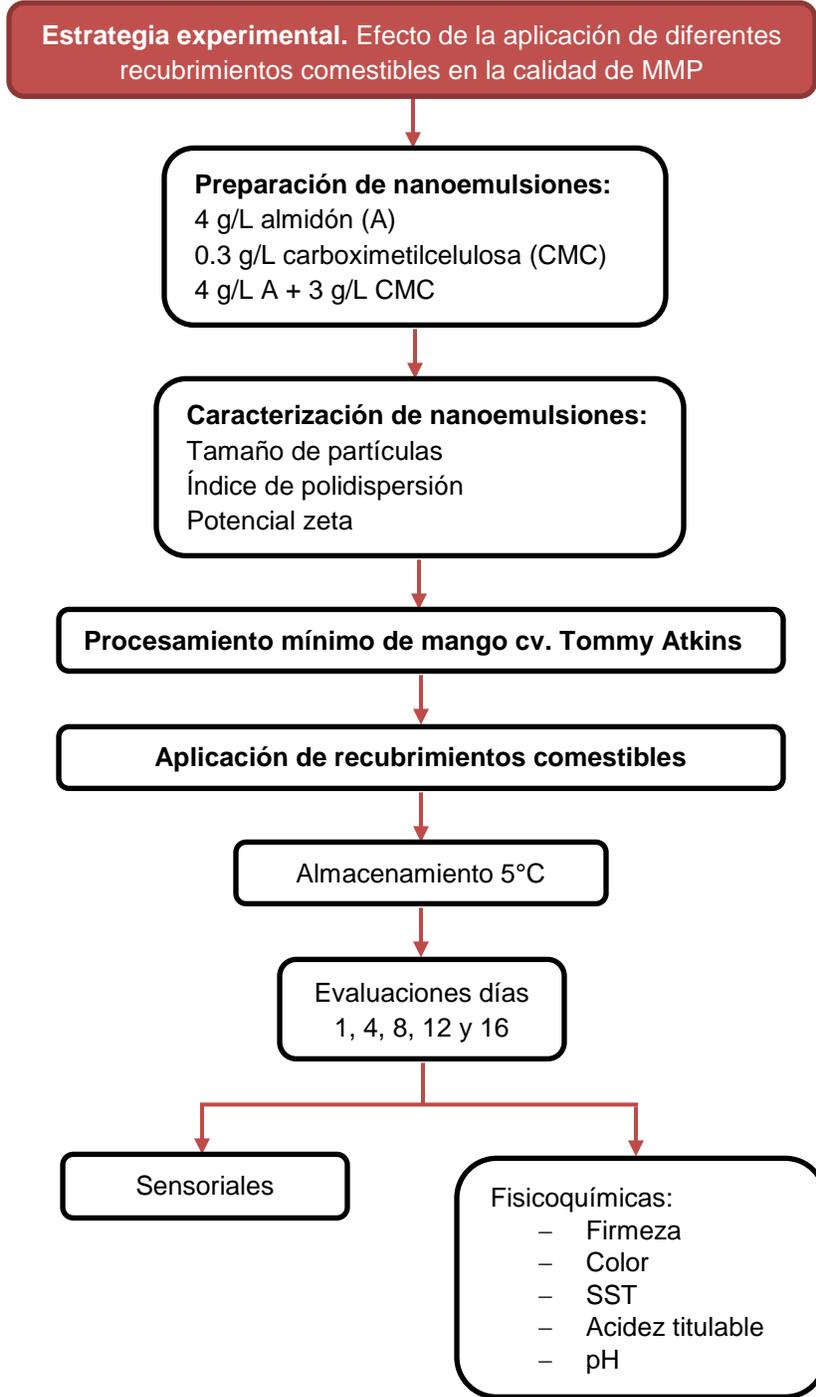


Figura 6. Estrategia experimental seguida para el estudio de los RC y MMP.

4.4.1 Tamaño de partícula e índice de polidispersión (PDI)

La distribución del tamaño de partícula y el PDI 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, obteniéndose la distribución de tamaños de partícula con su correspondiente PDI.

4.4.2 Potencial Zeta (ζ)

El potencial Zeta ζ 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® midiéndose el potencial Zeta ζ en relación a la movilidad electroforética, tomando como referencia soluciones de poliestireno ($\zeta = -55$ mV). El ζ es una medida del grado de repulsión entre las NC adyacentes, las partículas cargadas en forma similar en una dispersión provocan repulsión de las mismas, de tal manera que en una dispersión coloidal si el ζ es alto (positivo o negativo) entonces las nanoemulsiones formadas estarán electrostáticamente estabilizadas (Bala y col., 2005).

4.5 Análisis fisicoquímicos

Los cambios asociados al recubrimiento aplicado y al tiempo de almacenamiento se evaluaron determinando los cambios fisicoquímicos en el producto almacenado en refrigeración (5 °C) durante 16 días. La metodología seguida para realizar las determinaciones se describe a continuación.

4.5.1 Evaluación de los cambios de textura

La textura se midió conforme al método descrito por Sarzi de Souza y col., 2006. La fuerza máxima de ruptura y la distancia al punto de ruptura (deformación) se determinó en tres cubos de mango seleccionadas al azar de cada empaque, con un

analizador de textura utilizando una sonda cilíndrica de 5 mm a una velocidad de penetración de 1 mm/s penetrando una profundidad de 4 mm en el tejido del fruto. Los resultados se reportaron como fuerza de ruptura (N).

4.5.2 Evaluación sensorial de la calidad del mango mínimamente procesado

La calidad sensorial del MMP se midió a través del tiempo de almacenamiento. La comparación de los cubos de mango se realizó en los días 1, 4, 8, 12 y 16 por medio de escalas subjetivas que son adecuadas para evaluar la severidad de los daños, dicha escala indica la severidad de un defecto dado desde el punto de vista del consumidor. La evaluación se planteó tomando como base la propuesta de Beaulieu y Lea (2003), utilizando cartas de defectos como apoyo donde se observa de manera representativa la escala correspondiente de cada parámetro a calificar del mango, Cuadro 11.

Cuadro 11. Escalas subjetivas para evaluación de la calidad de mango mínimamente procesado (Beaulieu y Lea, 2003).

Características de calidad	Puntuación subjetiva				
	9	7	5 ^b	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 de corte fresco
Consistencia (pérdida de textura)	Ninguno	Ligero: no objetable	Moderado: comienza a ser objetable	Severo: definitivamente objetable	Extremo: rechazable
Aroma (desagradable, extraño)	Ninguno	Ligero: no objetable	Moderado: comienza a ser objetable	Severo: definitivamente objetable	Extremo: rechazable
Líquido exudado	Extremo	Severo	Moderado	Ligero	Ninguno

5^b puntuación límite para la comercialización del producto.

4.5.3 Determinación del color

Los cambios de color asociados a la maduración y a los efectos fisiológicos sobre MMP fueron medidos utilizando un espectrofotómetro portátil Minolta CM-2002, registrando los valores L^* , a^* y b^* de la escala internacional de color CIELAB utilizando un iluminante D65 y un observador de 10° . Con estos valores se calculó el índice de matiz (valor Hue) y la cromaticidad (valor C^*). Las ecuaciones para determinar estos parámetros son las siguientes:

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$
$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

4.5.4 Determinación de pH

En el jugo extraído de 20 g de MMP, se midió el pH de acuerdo con el método descrito en AOAC 32.010 (AOAC, 2002), utilizando un potenciómetro (Philips Harris modelo E3039018G/K, Shenstone England) con electrodo (modelo P43-120).

4.5.5 Determinación de Sólidos Solubles Totales

La concentración de sólidos solubles totales (SST) se determinó del 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) a 20°C , el cual mide el índice de refracción de la luz provocada por los sólidos solubles presentes en el jugo (azúcares libres, ácidos orgánicos entre otros). El índice de refracción del agua pura es de 13330 y corresponde a 0% de sólidos solubles totales. Dado que en los productos hortícolas el mayor contenido son azúcares se puede expresar el contenido de SST como % de $^\circ\text{Brix}$, asumiendo que 1 $^\circ\text{Brix}$ es equivalente al 1% de sacarosa en solución acuosa.

4.5.6 Determinación de acidez titulable

La medición de la acidez titulable se realizó siguiendo la metodología de la AOAC (1998). A 5 g de tejido fresco se les adicionó 20 mL de agua destilada, se homogenizaron en un homogeneizador ULTRA-TURRAX T25 durante 20 seg a 13 500 rpm, se filtró y del filtrado 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 100 g muestra, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{(N(\text{NaOH}) (\text{ml gastados NaOH})(\text{volumen aforado})(\text{meq. ácido}))}{(\text{vol. alícuota})(\text{peso muestra})} \times 100$$

Mili equivalentes de ácido cítrico = 0.064 g

4.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 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.

5. RESULTADOS

5.1 Estudio del efecto de los RC en la calidad de mango mínimamente procesado

5.1.1 Caracterización fisicoquímica de la emulsión simple

5.1.1.1 Tamaño de partícula, potencia ζ e índice de polidispersión (IDP)

Bajo las condiciones de preparación de las emulsiones descritas anteriormente, se midieron las características de tamaño y estabilidad de las mismas. El cuadro 12 concentra los valores medios obtenidos de los datos de tamaño de partícula, el potencial zeta así como el índice de polidispersión de las emulsiones elaboradas a base de almidón, carboximetilcelulosa y la mezcla de ambos.

Cuadro 12. Caracterización del tamaño y estabilidad de las nanoemulsiones.

Nanoemulsión	Tamaño de partícula (nm)	Potencial ζ (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 7 muestra la distribución de frecuencia de tamaños de partícula de los tres materiales en el volumen de la nanoemulsión preparada, almidón (A), carboximetilcelulosa (CMC) y la combinación de ambos (A + CMC). Los tres recubrimientos mostraron una distribución bimodal de tamaños; sin embargo, en el caso de CMC no se lograron los tamaños de partícula que la identificarían como una nanoemulsión. 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. Los valores del potencial ζ de -5.76, -42.30 y -13.83 para las nanoemulsiones de A, CMC y A + CMC, respectivamente.

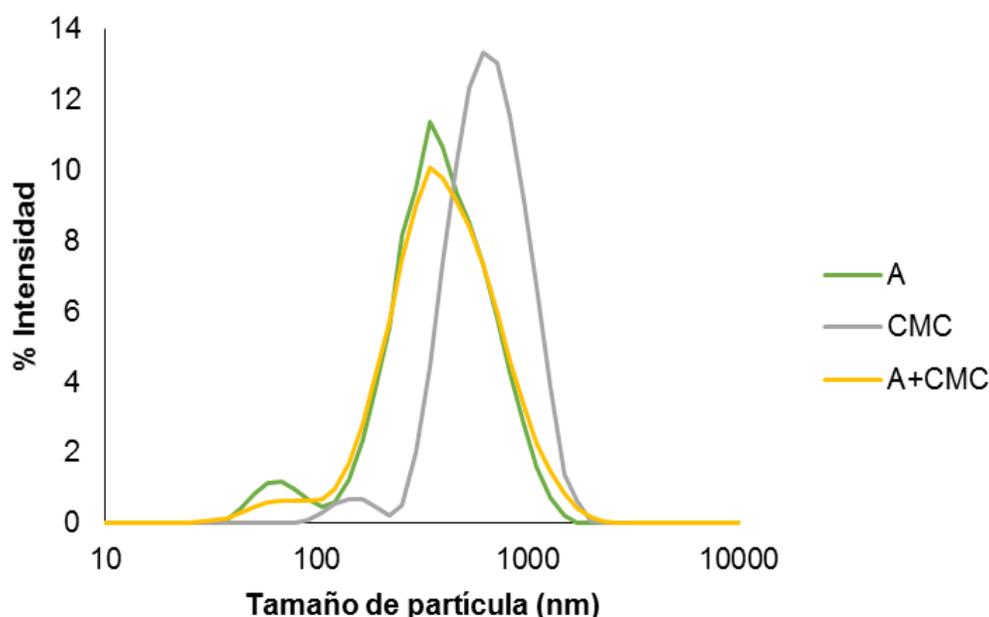


Figura 7. Distribución de tamaño de partícula de almidón (A), carboximetilcelulosa (CMC) y A+CMC.

Los valores de Potencial ζ representan un índice de estabilidad de las nanoemulsiones o nano-partículas; de acuerdo con Mirhosseini y col. (2008) valores absolutos altos indican mayor estabilidad electrocinética y señalan que aquellos sistemas que muestren valores mayores de 25 son más estables. De acuerdo con esto, el RC de CMC (-42.30 ± 1.41) es más estable; mientras que los sistemas de A (-5.76 ± 0.72) y A + CMC (-13.83 ± 1.77) son más inestables.

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

5.2.1 Calidad visual

En el Cuadro 13 se resumen la significancia estadística de la comparación de los diferentes recubrimientos evaluados a través de la prueba de Dunnett respecto de las muestras control no tratadas en la calidad visual del producto y en el Cuadro 14 se muestran los datos de comparación de medias para cada tratamiento durante el periodo de almacenamiento.

Como se indicó en el Cuadro 11 de la Sección 5.5.2 de análisis sensorial; las muestras al inicio de su almacenamiento mostraron un aspecto visual calificado por los jueces como excelente.

Después de los 16 días de almacenamiento, la calidad sensorial percibida sensorialmente fue calificada de regular a buena, siendo las muestras con RC de CMC las que obtuvieron una menor puntuación; mientras que las muestras recubiertas con almidón (A) presentaron la mayor puntuación al término del almacenamiento, presentando diferencias significativas en este día.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	1	0.6117	0.8603	0.9835	0.0386*
CMC	1	0.0020*	0.0320*	0.2773	0.5090
Almidón + CMC	1	0.6117	0.0821	0.0028*	0.2319

*= $p \leq 0.05$

Adicionalmente, la calidad visual del MMP con los diferentes recubrimientos mejora de manera notoria a partir del día 12 de almacenamiento, en comparación con el control.

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	9.0 ± 0.00 ^a			
4	8.7 ± 0.11 ^a	7.3 ± 0.11 ^b	8.5 ± 0.11 ^a	7.3 ± 0.11 ^a
8	7.2 ± 0.18 ^a	7.5 ± 0.18 ^b	7.0 ± 0.18 ^a	7.7 ± 0.18 ^a
12	6.8 ± 0.17 ^a	6.1 ± 0.17 ^a	7.0 ± 0.17 ^b	5.9 ± 0.17 ^a
16	6.8 ± 0.19 ^b	5.4 ± 0.19 ^a	6.0 ± 0.19 ^a	4.5 ± 0.19 ^a

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 la figura 8 se muestra el aspecto visual para las muestras al inicio y final de 16 días de almacenamiento a 5°C. En esta imagen se señala el aspecto de la nanoemulsión de Almidón, la cual luce con una mejor apariencia visual al finalizar los 16 días de almacenamiento.

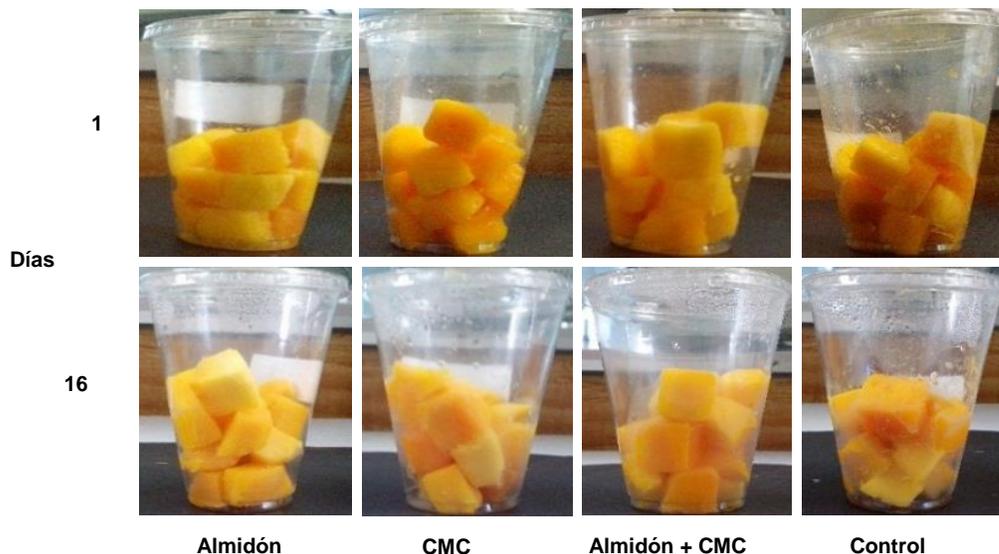


Figura 8. Aspecto visual de MMP Tommy Atkins almacenado a 5°C.

5.2.2 Oscurecimiento

La significancia estadística de la comparación de los diferentes recubrimientos de acuerdo al oscurecimiento del tejido en los diferentes días de almacenamiento se muestra en el Cuadro 15: mientras que en el Cuadro 16 se muestran los datos de comparación de medias para cada tratamiento durante el periodo de almacenamiento.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	1	0.9324	0.9369	0.9970	0.0457*
CMC	1	0.1059	0.1159	0.6792	0.5356
Almidón + CMC	1	0.9324	0.2261	0.0604	0.2549

*= $p \leq 0.05$

Al inicio del almacenamiento tanto las muestras de mango con RC de almidón (A) y la mezcla de almidón y carboximetilcelulosa (A + CMC) presentaron valores similares de probabilidad de oscurecimiento de 0.9324; mientras que las muestras recubiertas solo con CMC presentaron valores de 0.1059, esto sugiere que el almidón inhibe el pardeamiento enzimático y las reacciones metabólicas asociadas con la maduración. Después de 8 días de almacenamiento las muestras se observaban más oscuras con valores de (1.8 a 2.7); sin embargo, hasta el día 16 de almacenamiento, las muestras con los tres recubrimientos fueron evaluados con oscurecimiento ligero; presentándose diferencias significativas para el tratamiento de almidón. Cabe mencionar que el tratamiento de almidón siempre fue evaluado con la calificación más baja, lo cual indica que fue el tratamiento que menor oscurecimiento mostró después de 16 días de almacenamiento, presentando diferencias significativas respecto al control en este día de almacenamiento.

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	1.0 ± 0.00 ^a			
4	1.0 ± 0.25 ^a	1.2 ± 0.25 ^a	1.0 ± 0.25 ^a	1.9 ± 0.25 ^a
8	1.8 ± 0.25 ^a	2.2 ± 0.25 ^a	2.7 ± 0.25 ^a	1.4 ± 0.25 ^a
12	2.7 ± 0.30 ^a	2.9 ± 0.30 ^a	3.0 ± 0.30 ^a	3.5 ± 0.30 ^a
16	3.0 ± 0.20 ^b	3.8 ± 0.20 ^a	3.3 ± 0.20 ^a	4.3 ± 0.20 ^a

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).

5.2.3 Aroma

En el Cuadro 17 se resumen la significancia estadística de la comparación de medias de las evaluaciones sensoriales del aroma a distintos días de almacenamiento del MMP y en el Cuadro 18 se muestran los datos de comparación de medias para cada tratamiento durante el periodo de almacenamiento.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	1	0.1487	0.6700	0.9965	0.1048
CMC	1	<0.0001*	0.0035*	0.6472	0.6736
Almidón + CMC	1	0.1487	0.0126*	0.0484*	0.3972

*= $p \leq 0.05$

En el día 4 los valores de aroma de todas las muestras de MMP (9.0) fueron mayores que el control (8.2) señalando que las aplicaciones de nano emulsiones retienen mejor el aroma. No obstante, después de 12 días de almacenamiento, los efectos no fueron estadísticamente significativos indicando que los tratamientos no tuvieron un efecto en este factor de calidad.

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	9.0 ± 0.29 ^a			
4	9.0 ± 0.05 ^a	9.0 ± 0.05 ^b	9.0 ± 0.05 ^a	8.2 ± 0.05 ^a
8	8.1 ± 0.12 ^a	8.2 ± 0.12 ^b	7.7 ± 0.12 ^b	8.3 ± 0.12 ^a
12	6.5 ± 0.28 ^a	5.5 ± 0.28 ^a	6.7 ± 0.28 ^b	6.0 ± 0.28 ^a
16	7.9 ± 0.25 ^a	8.0 ± 0.25 ^a	7.7 ± 0.25 ^a	6.2 ± 0.25 ^a

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).

Se observa que en el día 12 de almacenamiento, se presentaron calificaciones que evalúan al mango con un aroma característico de ligero a moderado (5.5 a 6.7) y en el día 16 estas calificaciones suben, colocándose en una escala de ningún aroma a ligero, esto puede deberse a la uniformidad en la madurez de los tejidos seleccionados en los diferentes días. En el día 16 de almacenamiento no se presentan diferencias significativas de los tratamientos respecto al control.

5.2.4 Consistencia

El cuadro 19 presenta los valores de probabilidad de la comparación de los diferentes recubrimientos evaluados a través de la prueba de Dunnett ($P \geq 0.05$); mientras que, la comparación de medias para cada tratamiento durante el periodo de almacenamiento se resume en el Cuadro 20.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	1	0.9496	0.9471	0.9986	0.0710
CMC	1	0.1530	0.1433	0.8111	0.6080
Almidón + CMC	1	0.9496	0.2668	0.1538	0.3243

*= $p \leq 0.05$

La consistencia del MMP disminuyó a lo largo del periodo almacenamiento, como era de esperarse. Después de 12 días de almacenamiento las muestras de MMP, fueron evaluadas bajo los criterios de pérdida de textura moderada (4.8 - 5.5). Las muestras con 16 días de almacenamiento fueron calificadas como muestras de ligera pérdida de textura ligera (7.1 - 7.5). Las muestras con RC de almidón mantuvieron las mejores calificaciones a lo largo del almacenamiento, esto indica que la aplicación de nanoemulsiones de almidón también retiene mejor las características de consistencia de estas muestras. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas respecto al control en ninguno de los tratamientos.

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	9.0 ± 0.00 ^a			
4	8.8 ± 0.28 ^a	8.1 ± 0.28 ^a	8.8 ± 0.28 ^a	8.4 ± 0.28 ^a
8	8.1 ± 0.27 ^a	8.2 ± 0.27 ^a	7.7 ± 0.27 ^a	8.1 ± 0.27 ^a
12	4.8 ± 0.39 ^a	5.5 ± 0.39 ^a	5.4 ± 0.39 ^a	5.4 ± 0.39 ^a
16	7.5 ± 0.22 ^a	7.1 ± 0.22 ^a	7.4 ± 0.22 ^a	6.5 ± 0.22 ^a

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).

5.2.5 Lixiviado o exudado de líquidos

La comparación de medias y el análisis estadístico del comportamiento de lixiviado de MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento se muestran en los Cuadros 21 y 22, respectivamente. Se observaron diferencias significativas respecto al control en los días 4 (para todos los recubrimientos), 8 (para el recubrimiento de CMC) y 12 para el recubrimiento de almidón + CMC.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.7603	<0.0001*	0.8729	0.9935	0.2037
CMC	0.5103	<0.0001*	0.0384*	0.5019	0.8458
Almidón + CMC	0.5103	<0.0001*	0.0951	0.0176*	0.6462

*= $p \leq 0.05$

Contrario a lo esperado, se presentan valores más altos de lixiviado en las muestras con RC en comparación con el control.

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	2.9 ± 0.29	2.5 ± 0.29	3.2 ± 0.29	1.2 ± 0.29 ^a
4	2.3 ± 2.1e ^{-9b}	1.7 ± 2.1e ^{-9b}	3.0 ± 2.1e ^{-9b}	1.0 ± 2.1e ^{-9a}
8	1.5 ± 0.19 ^a	2.2 ± 0.19 ^b	2.5 ± 0.19 ^a	1.0 ± 0.19 ^a
12	2.4 ± 0.23 ^a	1.0 ± 0.23 ^a	2.3 ± 0.23 ^b	1.4 ± 0.23 ^a
16	2.7 ± 0.35 ^a	1.0 ± 0.35 ^a	2.1 ± 0.35 ^a	1.2 ± 0.35 ^a

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).

5.3 Cambios fisicoquímicos

5.3.1 Cambios objetivos de color

En los cuadros 23 y 24 se resume la significancia estadística de la interacción tratamiento-días y la comparación de medias para cada tratamiento durante los diferentes días de almacenamiento para la evaluación del color (cromaticidad), respectivamente.

Los valores de cromaticidad para el recubrimiento de almidón se mantuvieron constantes a lo largo del tiempo (49.6 a 61.5); mientras que estos mismos valores para los recubrimientos de CMC y A + CMC presentaron una ligera disminución.

Cuadro 23. Valores de probabilidad de la cromaticidad en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.9932	0.9998	0.9993	1	0.9677
CMC	0.9782	0.9876	0.9305	0.9954	0.9977
Almidón + CMC	0.9782	0.9998	0.9616	0.9089	0.9924

*= $p \leq 0.05$

No se presentaron diferencias significativas para ninguno de los tratamientos respecto al control, lo cual nos indica que la aplicación de estas nanoemulsiones no afecta el color del MMP.

Cuadro 24. Comparación de medias de cromaticidad en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	49.6 ± 1.13 ^a	54.4 ± 1.13 ^a	54.3 ± 1.13 ^a	51.9 ± 1.13 ^a
4	58.6 ± 1.89 ^a	54.8 ± 1.89 ^a	50.4 ± 1.89 ^a	49.6 ± 1.89 ^a
8	61.0 ± 1.23 ^a	54.3 ± 1.23 ^a	51.7 ± 1.23 ^a	44.1 ± 1.23 ^a
12	61.5 ± 1.54 ^a	51.3 ± 1.54 ^a	49.9 ± 1.54 ^a	51.1 ± 1.54 ^a
16	51.5 ± 1.63 ^a	51.0 ± 1.63 ^a	54.2 ± 1.63 ^a	52.2 ± 1.63 ^a

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 los Cuadros 25 y 26 se observan la significancia estadística del efecto de los tratamientos y los valores de las coordenadas Hue del MMP durante su almacenamiento, respectivamente.

Al igual que con las medidas de cromaticidad, los valores de las coordenadas Hue, se mantuvieron constantes durante los 16 días de almacenamiento para el tratamiento de almidón; mientras que, para los demás recubrimientos se presentó una ligera disminución de este valor; así mismo, se corrobora que la aplicación de las nanoemulsiones no tiene efectos significativos en el color del MMP.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.9959	0.9984	0.9995	0.9998	0.7631
CMC	0.9868	0.8566	0.9516	0.9688	0.9761
Almidón + CMC	0.9868	0.9984	0.9737	0.6200	0.9286

*= $p \leq 0.05$

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	81.0 ± 1.35 ^a	79.3 ± 1.35 ^a	61.0 ± 1.35 ^a	61.5 ± 1.35 ^a
4	81.1 ± 0.91 ^a	79.6 ± 0.91 ^a	82.0 ± 0.91 ^a	81.0 ± 0.91 ^a
8	80.7 ± 1.41 ^a	79.0 ± 1.41 ^a	80.5 ± 1.41 ^a	77.9 ± 1.41 ^a
12	79.8 ± 0.80 ^a	78.5 ± 0.80 ^a	79.9 ± 0.80 ^a	77.3 ± 0.80 ^a
16	80.9 ± 0.73 ^a	77.3 ± 0.73 ^a	79.1 ± 0.73 ^a	77.3 ± 0.73 ^a

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).

5.3.2 Cambios en la textura

En el Cuadro 27 se presenta la significancia estadística de la interacción tratamiento-días durante los diferentes días de almacenamiento y en el Cuadro 28 se muestran

los datos de comparación de medias para cada tratamiento durante el periodo de almacenamiento, para la evaluación de la pérdida de textura.

De acuerdo con el análisis estadístico ($p < 0.05$) los cambios de textura en los diferentes recubrimientos durante el tiempo de almacenamiento presentan diferencias significativas para almidón en el día 16, para CMC en los días 1, 4 y 8, y para A + CMC en los días 1, 8, 12 y 16.

La firmeza de los cubos de mango tratados con las diferentes nanoemulsiones disminuye gradualmente con el paso del tiempo, esto puede observarse en la Figura 10, la cual presenta los cambios en la firmeza del MMP a través del tiempo de almacenamiento. Respecto al día 1, el recubrimiento de A + CMC disminuyó su firmeza 24%; mientras que, los recubrimientos A, CMC y el control perdieron el 25%, 36% y 39% respectivamente.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.0944	0.8490	0.7028	0.9527	0.0016*
CMC	0.0157*	0.0274*	0.0049*	0.0892	0.1433
Almidón + CMC	0.0157*	0.8490	0.0170*	0.0002*	0.0289*

*= $p \leq 0.05$

Cuadro 28. Comparación de medias de textura en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	1.2 ± 0.10 ^a	0.8 ± 0.10 ^b	0.8 ± 0.10 ^b	0.9 ± 0.10 ^a
4	1.0 ± 0.18 ^a	1.2 ± 0.18 ^b	0.7 ± 0.18 ^a	1.0 ± 0.18 ^a
8	0.7 ± 0.13 ^a	0.6 ± 0.13 ^b	0.7 ± 0.13 ^b	0.7 ± 0.13 ^a
12	0.5 ± 0.11 ^a	0.5 ± 0.11 ^a	0.5 ± 0.11 ^b	0.8 ± 0.11 ^a
16	0.7 ± 0.11 ^b	0.6 ± 0.11 ^a	0.6 ± 0.11 ^b	0.5 ± 0.11 ^a

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).

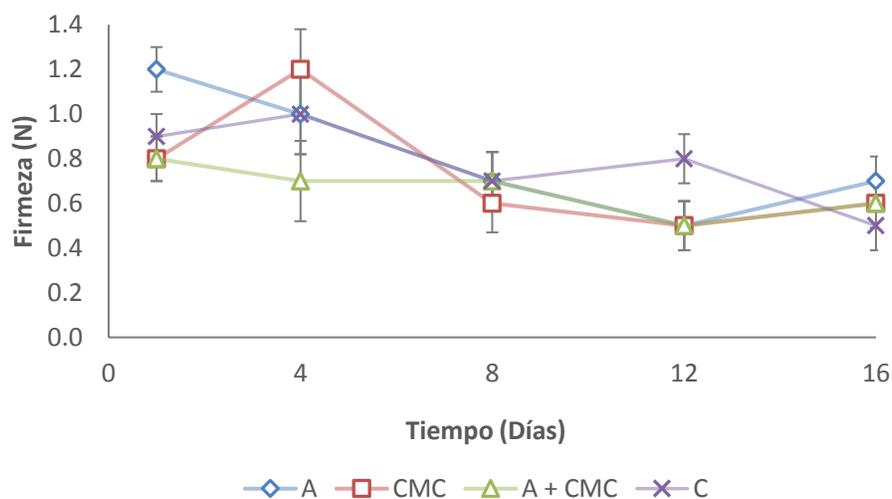


Figura 9. Cambios en los valores de firmeza de MMP Tommy Atkins almacenado a 5°C para los diferentes recubrimientos.

5.3.3 Cambios en el contenido de Sólidos Solubles Totales

En el Cuadro 29 se resumen la significancia estadística de la comparación de los diferentes RC evaluados a través de la prueba de Dunnett respecto de las muestras control no tratado, evaluando los cambios en los SST del MMP y en el Cuadro 30 se muestran los datos de comparación de medias para cada tratamiento durante el periodo de almacenamiento.

Los sólidos solubles totales se encontraron en un rango de 7.0 a 9.0 °Bx. El análisis estadístico ($p < 0.05$) no arrojó diferencias significativas. En los resultados se observa que estos valores no tuvieron mucha variación durante los 16 días de almacenamiento.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.8771	0.9964	0.9827	0.9993	0.5438
CMC	0.7037	0.7443	0.3899	0.8868	0.9360
Almidón + CMC	0.7037	0.9964	0.5485	0.2785	0.8276

*= $p \leq 0.05$

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	7.7 ± 0.39 ^a	8.5 ± 0.39 ^a	7.5 ± 0.39 ^a	8.0 ± 0.39 ^a
4	8.0 ± 0.70 ^a	8.7 ± 0.70 ^a	8.0 ± 0.70 ^a	7.8 ± 0.70 ^a
8	7.8 ± 0.41 ^a	7.2 ± 0.41 ^a	7.3 ± 0.41 ^a	8.0 ± 0.41 ^a
12	8.5 ± 0.48 ^a	8.2 ± 0.48 ^a	7.4 ± 0.48 ^a	8.6 ± 0.48 ^a
16	7.3 ± 0.51 ^a	7.8 ± 0.51 ^a	7.7 ± 0.51 ^a	8.2 ± 0.51 ^a

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).

5.3.4 Cambios en la acidez titulable

La acidez titulable se expresó en valores de porcentaje de ácido cítrico. La significancia estadística que resultó de la Prueba de Dunnett se presenta en el cuadro 31 y la comparación de medias de los diferentes tratamientos durante su almacenamiento se muestra en el cuadro 32.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.0840	0.6492	0.5709	0.9801	0.0004*
CMC	0.0133*	0.0029*	0.0013*	0.2365	0.0652
Almidón + CMC	0.0133*	0.6492	0.0053*	0.0019*	0.0094*

*= $p \geq 0.05$

El porcentaje de ácido cítrico se encontró en un rango de 0.44 a 0.75, el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al control para el recubrimiento de almidón en el día 16, para CMC en los días 1, 4 y 8; mientras que, para A + CMC en los días 1, 8, 12 y 16.

Cuadro 32. Comparación de medias de acidez titulable en MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento.

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	0.59 ± 0.09 ^a	0.67 ± 0.09 ^b	0.51 ± 0.09 ^b	0.72 ± 0.09 ^a
4	0.44 ± 0.12 ^a	0.70 ± 0.12 ^b	0.53 ± 0.12 ^a	0.53 ± 0.12 ^a
8	0.51 ± 0.10 ^a	0.65 ± 0.10 ^b	0.51 ± 0.10 ^b	0.39 ± 0.10 ^a
12	0.75 ± 0.15 ^a	0.55 ± 0.15 ^a	0.53 ± 0.15 ^b	0.59 ± 0.15 ^a
16	0.67 ± 0.09 ^b	0.51 ± 0.09 ^a	0.46 ± 0.09 ^b	0.39 ± 0.09 ^a

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).

5.3.5 Cambios en el pH

Los valores de probabilidad de la interacción entre el tratamiento y los días para el parámetro pH del MMP Tommy Atkins durante su almacenamiento se muestra en el Cuadro 33 y la comparación de medias de los diferentes tratamientos durante su almacenamiento para el pH se muestra en el cuadro 34.

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

Tratamiento*Días	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Almidón	0.0727	0.7327	0.7427	0.9824	0.0212*
CMC	0.0109*	0.0068*	0.0076*	0.2663	0.4186
Almidón + CMC	0.0109*	0.7327	0.0245*	0.0025*	0.1630

*= $p \geq 0.05$

El valor de pH del MMP Tommy Atkins se encontró en un rango de 3.5 a 4.0, el análisis estadístico ($p < 0.05$) arrojó diferencias significativas en comparación con el control, en el día 1 y 8 para los recubrimientos de CMC y A + CMC, el día 4 para CMC, el día 12 para A + CMC y en el día 16 para almidón.

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

Días	Almidón	CMC	Almidón + CMC	Control
1	3.6 ± 0.09 ^a	3.6 ± 0.09 ^b	3.6 ± 0.09 ^b	3.4 ± 0.09 ^a
4	3.7 ± 0.14 ^a	3.5 ± 0.14 ^b	3.6 ± 0.14 ^a	3.6 ± 0.14 ^a
8	3.8 ± 0.14 ^a	3.7 ± 0.14 ^b	3.8 ± 0.14 ^b	3.9 ± 0.14 ^a
12	3.5 ± 0.16 ^a	3.9 ± 0.16 ^a	3.8 ± 0.16 ^b	3.7 ± 0.16 ^a
16	3.5 ± 0.17 ^b	4.0 ± 0.17 ^a	3.9 ± 0.17 ^a	3.9 ± 0.17 ^a

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).

6. DISCUSIÓN

6.1 Estudio del efecto de los RC en la calidad de mango mínimamente procesado

6.1.1 Caracterización fisicoquímica de la emulsión simple

6.1.1.1 Tamaño de partícula, potencia ζ e índice de polidispersión (IDP)

El Cuadro 12 concentra los valores medios de los datos de tamaño de partícula, potencial ζ y el IDP de los diferentes RC utilizados en este estudio. La Figura 7 muestra la distribución de frecuencia de tamaños de partícula de los tres materiales en el volumen de las nanoemulsiones preparadas, almidón (A), carboximetil celulosa (CMC) y A + CMC. Los tres recubrimientos mostraron una distribución bimodal en el tamaño de partícula; para los RC de A y A + CMC, la primera moda ubicó tamaños menores de 100 nm (50 a 100 nm) mientras que para CMC esa primera moda eran los tamaños de alrededor de 100 y 200 nm; en todos los casos el porcentaje de intensidad de estos tamaños fue muy pequeña (menos de 2%). La segunda moda fue la más importante, las suspensiones de A y A + CMC mostraron una moda de 261 y 319 nm con un porcentaje de intensidad de 10 y 11 %; respectivamente, mientras que el RC a base de CMC presentaba tamaños de partícula de 538 nm con un % de intensidad de alrededor a 14 %; sin embargo, en el caso de CMC no se lograron los tamaños de partícula que la identificarían como una nanoemulsión, sino que entra en la clasificación de macroemulsión, por lo tanto, esta característica puede afectar el comportamiento o estabilidad en sus aplicaciones. Estos datos sugieren que las suspensiones con almidón presentan valores más pequeños de tamaños de partícula. 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. De acuerdo a Aranberri y col. (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-Sainz y col., 2010). Las partículas del RC a base 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.

Bala y col. (2005) y Mirhosseini y col. (2008) han establecido que el potencial ζ 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 estabilizado. Mirhosseini y col. (2008) mencionan que potenciales con valores absolutos menores de 25 mV son indicativos de probable agregación de las dispersiones. En general el potencial ζ para almidón, CMC y almidón + CMC fue de -5.8, -42.2 y -13.8 mV respectivamente.

De acuerdo con Schramm (2005) valores de potencial ζ entre -5 y -10 mV pueden presentar problemas de aglomeración; mientras 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 tendrían problemas de estabilidad y, la suspensión de CMC tendría buena estabilidad (-43 mV), aunque el tamaño de partícula fue alto. Esta diferencia de tamaño en las partículas indujo a evaluar la eficiencia de estos sistemas en mango mínimamente procesado.

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

6.2.1 Calidad visual

Al inicio del almacenamiento, las diferentes muestras estudiadas obtuvieron una puntuación excelente. Durante los días 8 y 12, se obtuvieron calificaciones de calidad buena y a los 16 días de almacenamiento la calidad percibida sensorialmente fue calificada de regular a buena, siendo las muestras recubiertas con el RC a base de CMC las que obtuvieron una menor puntuación (5.4) y las muestras con RC a base de almidón las que obtuvieron la mayor puntuación (6.8) (Cuadro 14).

Se presentaron diferencias significativas respecto al control en los días 4 y 8 de almacenamiento para las muestras recubiertas con la nanoemulsión a base de CMC,

el día 12 para el recubrimiento de A + CMC y en el 16 para las muestras con RC a base de almidón (Cuadro 13).

En la figura 8 se aprecia que el aspecto de las muestras de MMP Tommy Atkins recubiertas con la nanoemulsión a base de almidón, lucen una mejor apariencia visual al finalizar los 16 días de almacenamiento comparadas con las muestras recubiertas con CMC, las muestras recubiertas con A + CMC y el control.

Teniendo como punto de referencia que el límite de comercialización de las muestras es cuando sean calificadas con un máximo de 5 puntos (regular), las muestras recubiertas con la nanoemulsión a base de almidón es la más recomendable. La vida de anaquel para las muestras con recubrimientos de almidón y de almidón + CMC fue de 12 días; mientras que, para las muestras recubiertas con RC a base de CMC fue de 8 días. Adicionalmente, se ve retardada la pérdida de la calidad visual del MMP Tommy Atkins con recubrimiento a partir del día 12 de almacenamiento, en comparación con el control. La apariencia es un criterio muy importante para determinar la aceptabilidad de los productos. Ésta es utilizada como un indicador de frescura y calidad en los productos mínimamente procesados tanto en la investigación como en la industria (Djioua y col., 2009).

Un factor importante que ayudó a que la utilización del recubrimiento no afectara la apariencia del mango, 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 y Hubinger, 2012).

6.2.2 Oscurecimiento

Después del octavo día de almacenamiento, las muestras presentan un aumento considerable en los valores de oscurecimiento (1.8 a 2.7); sin embargo, hasta el día dieciseisavo de almacenamiento, las muestras recubiertas con cualquier recubrimiento fueron evaluadas con un ligero oscurecimiento. El recubrimiento a base de almidón siempre mostró las calificaciones más bajas de oscurecimiento (Cuadro 16), lo cual indica que fue el tratamiento que menor oscurecimiento mostró

después de 16 días de almacenamiento, presentando diferencias significativas respecto al control (Cuadro 15).

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son muy perecederas debido a que pierde la protección del pericarpio, siendo modificadas sus propiedades fisicoquímicas por los trastornos metabólicos que se producen por el corte (Tovar y col., 2001), adicional a esto, este tipo procesamiento genera oscurecimiento y disminución de la firmeza (Chiumarelli y col., 2011).

6.2.3 Aroma

Las muestras de mango mínimamente procesadas almacenadas durante los 16 días conservaron un ligero aroma característico del mango. En el día 4 los valores de aroma de todas las muestras de MMP fueron mayores que el control señalando que los RC de nanoemulsiones retienen mejor el aroma. No obstante, después de 12 días de almacenamiento, los efectos no fueron estadísticamente significativos indicando que los tratamientos no tuvieron un efecto en este factor de calidad.

En el día 12 de almacenamiento, los jueces no entrenados calificaron a las muestras con valores de 5.5 a 6.7 lo que indica que las muestras conservaron un aroma característico de ligero a moderado; para el día 16 las muestras presentaron un menor aroma ya que los jueces las evaluaron en un promedio de 7.7 a 8.0, esto puede deberse a la heterogeneidad en la madurez de los frutos de mango.

En el día 16 no se presentaron diferencias significativas respecto al control; sin embargo, es importante mencionar que, en este día, en las muestras control se evidenció una liberación de gas en el envase al momento de destaparlo, lo cual indica que el mango se encontraba en un proceso de fermentación. El desarrollo del mal olor es un indicativo de deterioro del producto, esto puede deberse a la acumulación de productos de la respiración anaerobia como etanol y acetaldehído (Martín-Belloso y Soliva-Fortuny, 2006).

6.2.4 Consistencia

La pérdida de textura es el cambio más notable que ocurre en frutas y hortalizas frescas durante su almacenamiento, y está relacionado con los cambios metabólicos y con la pérdida de humedad (Rojas-Graü y col., 2009).

La consistencia del mango disminuyó a lo largo del periodo almacenamiento. Después del día 12, la consistencia de las muestras fue evaluada bajo los criterios de pérdida de textura moderada ya las muestras fueron calificadas con valores de 4.8 - 5.5. En el día 16 de almacenamiento estas calificaciones se posicionaron en el rango de pérdida de textura ligera con valores de 7.1 - 7.5 (Cuadro 20). La heterogeneidad de madurez 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 y consistencia en diferentes materias primas de origen biológico (Chiumarelli y Hubinger 2012; Chiumarelli y col., 2011). Esto puede explicar el incremento en las calificaciones de pérdida de textura del día 12 al 16. Las muestras recubiertas con RC a base de almidón presentaron las mejores calificaciones a lo largo del tiempo de almacenamiento, esto indica que la aplicación de nanoemulsiones de almidón también retiene mejor las características de consistencia de estas muestras. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas respecto al control en ninguno de los tratamientos (Cuadro 19).

6.2.5 Lixiviado o exudado de líquidos

La Lixiviación o pérdida de líquidos puede representar un defecto en los productos mínimamente procesados. En las muestras de mango mínimamente procesado y recubiertos con RC se observó mayor lixiviación comparada con el control (Cuadro 22), esto puede deberse a que quedaron residuos de nanoemulsión en los cubos de mango y no fue suficiente el tiempo de drenado para eliminar los excesos de los recubrimientos en el procesado mínimo, ya que los mayores valores se reportaron al día uno de almacenamiento los cuales no aumentaron a lo largo del mismo.

6.3 Cambios fisicoquímicos

6.3.1 Cambios objetivos de color

La medida objetiva del color se midió a través de la coordenada Cromaticidad (C^*) y del ángulo de matiz (Hue). Los valores de C^* y Hue, son considerados valores importantes en este trabajo debido a que incluyen las variaciones en las longitudes de onda a^* y b^* abarcando el espectro de color del mango en su proceso de maduración (color crema hasta amarillo intenso).

Los valores de cromaticidad para el recubrimiento de almidón se mantuvieron constantes a lo largo del tiempo (49.6 a 61.5) (Cuadro 24); mientras que estos mismos valores para los recubrimientos de CMC y de A + CMC presentaron una ligera disminución. No se presentaron diferencias significativas para ninguno de los tratamientos respecto al control, lo cual nos indica que la aplicación de estas nanoemulsiones no afecta el color del MMP (Cuadro 23).

Se observó el mismo comportamiento en los valores del ángulo de matiz (Hue) (Cuadro 26); así mismo, no se presentaron efectos significativos en el estudio de esta coordenada (Cuadro 25). En relación con el ángulo de matiz (Hue), González-Aguilar y col. (2008) indicaron que en mango el cambio de Hue está determinado por su cultivar y por una baja temperatura de almacenamiento.

Los caracteres derivados de C^* y Hue indican la intensidad o saturación de color y el color verdadero, respectivamente. Así, la disminución de C^* indicó una menor saturación del color amarillo característico del MMP, y la disminución de Hue una variación del color hacia un amarillo más claro. Estos resultados concuerdan con los reportados por Talcott y col. (2005) quienes reportaron una disminución en C^* de mango fresco cortado almacenado a 5 °C.

Dado que los RC a base de polisacáridos como el almidón son una buena barrera a los gases, con su aplicación se logra disminuir la tasa de respiración y las actividades

metabólicas, logrando así un retraso efectivo en el pardeamiento (Chiumarelli y col., 2011).

6.3.2 Cambios en la textura

Según Rico y col. (2007), la pérdida de firmeza es indeseable en productos hortofrutícolas mínimamente procesados debido a que los consumidores asocian directamente la textura con la frescura del tejido, por lo que una apariencia blanda puede incrementar el rechazo del producto. De acuerdo con el análisis estadístico ($p < 0.05$) los cambios de textura en las diferentes muestras recubiertas durante el tiempo de almacenamiento presentan diferencias significativas para las muestras con RC a base de almidón en el día 16, para aquellas recubiertas con CMC en los días 1, 4 y 8, y para almidón + CMC en los días 1, 8, 12 y 16 (Cuadro 27); por lo tanto, existen diferencias en la pérdida de firmeza de las muestras con el tiempo. Sin embargo, la firmeza de los cubos de mango tratados con las diferentes nanoemulsiones disminuye gradualmente con el paso del tiempo, esto puede observarse en la Figura 9, la cual presenta los cambios en la firmeza del MMP a través del tiempo de almacenamiento. Es posible observar que el recubrimiento a base de almidón tiene una reducción constante del día 1 al día 12 y, en el día 16, presenta un ligero aumento en la firmeza; lo mismo se observa con el recubrimiento de almidón + CMC. Después del día 4, las muestras con recubrimiento a base de CMC mostraron una reducción en la firmeza de sus tejidos. Esto concuerda con la discusión de Beaulieu y Lea (2003) quienes afirman que después de 7 días de almacenamiento el principal problema de deterioro en el MMP es la pérdida de firmeza. Debido a la aplicación de CaCl_2 en el control, se pudo conservar de manera positiva la firmeza en este tratamiento, ya que en el día 12 se observa mayor firmeza en el control (Cuadro 28). Adicionalmente, 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 y Hubinger 2012; Chiumarelli y col., 2011) Esto puede explicar la heterogeneidad en los resultados obtenidos.

Respecto al día 1, las muestras recubiertas con A + CMC disminuyeron su firmeza en un 24%; mientras que, las muestras recubiertas con A, las recubiertas con CMC y las muestras control perdieron el 25%, 36% y 39% respectivamente. De acuerdo con Martínez–Ferrer y col. (2002), la pérdida de firmeza observada en frutos precortados de piña (*Ananas comosus* L.) y mango, se debe a varios factores como pérdida de turgencia celular, pérdida del aire extracelular y vascular, y degradación de los constituyentes de la pared celular.

6.3.3 Cambios en el contenido de Sólidos Solubles Totales

No se presentaron diferencias significativas en el contenido de SST durante el almacenamiento del mango mínimamente procesado (Cuadro 29); por lo tanto, el uso de estos recubrimientos en el mango no afecta la concentración de SST. Se señala que los sólidos solubles totales (SST), expresados en °Brix se encontraron en un rango de 7 a 9 (Cuadro 30. Beaulieu y Baldwin (2002) indicaron que la evolución de SST en frutas y hortalizas mínimamente procesados, dependen del producto y la temperatura durante y después del proceso. La madurez de los frutos se refleja en el comportamiento de los SST según Fischer y Martínez (1999): El contenido de SST en el mango está constituido por azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) los cuales aumentan durante el periodo de maduración del fruto, producto de la hidrólisis de almidón y/o la síntesis de sacarosa, y de la oxidación de ácidos, consumidos en el proceso de respiración (Olivares, 1996). Sin embargo, en el presente estudio, el discreto cambio en esta variable podría estar determinado por la baja temperatura de almacenamiento.

6.3.4 Cambios en la acidez titulable

Entre los ácidos orgánicos el que más predomina en los frutos de mango es el ácido cítrico, mismo que disminuye conforme el fruto va madurando (Lizada, 1993)

El porcentaje de ácido cítrico se encontró en un rango de 0.44 a 0.75% (Cuadro 32), el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al control con las muestras recubiertas con el RC a base de almidón en el día 16, para las muestras recubiertas con RC a base de CMC en los días 1, 4 y 8, y para las recubiertas con A + CMC en los días 1, 8, 12 y 16 (Cuadro 31). Para los recubrimientos de A y de A + CMC, el porcentaje de ácido cítrico tuvo una variación pequeña a lo largo de los días de almacenamiento; mientras que, para el recubrimiento de CMC después del cuarto día de almacenamiento se observó una disminución constante en el contenido de éste. Durante este periodo, seguramente se presenta un incremento en la actividad respiratoria, que implica un consumo de substratos (azúcares y ácidos orgánicos) originando una disminución en los valores de acidez titulable.

6.3.5 Cambios en el pH

El análisis estadístico ($p < 0.05$) arrojó diferencias significativas en comparación con el control, en el día 1 y 8 para los recubrimientos de CMC y de A + CMC, el día 4 para el RC a base de CMC, el día 12 para el RC a base de A + CMC y en el día 16 para el RC a base de almidón (Cuadro 33). El pH del MMP Tommy Atkins se encontró en un rango de 3.5 a 4.0 (Cuadro 34). Para todas las nanoemulsiones se observa una tendencia al aumento en los valores de pH. El aumento en los valores de acidez titulable, la disminución de los valores de pH y el aumento de los valores de SST, se debe a la producción de ácidos orgánicos (ácidos tricarbónicos o ciclo de Krebs) y la hidrólisis de almidones a azúcares.

7. CONCLUSIONES

El uso de nanoemulsiones prolongó la vida de anaquel del mango Tommy Atkins mínimamente procesado por 12 días a 5 °C; 4 días más que el tratamiento control y se logró conservar los parámetros fisicoquímicos como la cantidad de sólidos solubles, el porcentaje de ácido cítrico y el pH.

La estabilidad de las nanoemulsiones es baja, lo cual no permite almacenarlas y por tanto se deben utilizar lo más pronto posible en el alimento.

El uso de nanoemulsiones prolongó la vida de anaquel del mango Tommy Atkins mínimamente procesado por 12 días a 5 °C; 4 días más que el tratamiento control.

La aplicación de nanoemulsiones en mango Tommy Atkins mínimamente procesado retrasó el daño o el oscurecimiento del tejido, debido al uso de antioxidantes.

Para efectos del presente estudio, el proceso de drenado de la nanoemulsión no fue el correcto; por lo cual se recomienda la implementación de un método de secado después de ser aplicada la nanoemulsión para disminuir la cantidad de líquido exudado.

8. REFERENCIAS

9. **AOAC. 1998.** Official method of analysis. 16th Ed. William S., Ed. Publisher by Association of official Analytical Chemists. Washington, D.C. C. Drom.
10. **AOAC. 2002.** Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Ed. Current through Revision # 1. **Association of Official Analytical Chemist. Gaithersburg, USA.**
11. **Schramm, L. L. 2005.** Emulsions, foams and suspensions fundamentals and applications. Wiley-VCH Alemania, 448-453.
12. **Bilbao-Sáinz, C., Avena-Bustillos, R. J., Wood, D. F., Williams, T. G. and McHugh, T. H. 2010.** Nanoemulsions prepared by a low-energy emulsification method applied to edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(22); 11932-11938.
13. **Aranberri I., Binks B. P., Clint J. H. and Fletcher P. D. I. 2006.** Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3).
14. **Bala, I., Bhardwaj, V., Hariharan, S., Sitterberg, J., Bakowsky, U. and RaviKumar, M. N. V. 2005.** Design of biodegradable nanoparticles: a novel approach to encapsulating poorly soluble phytochemical ellagic acid. *Nanotechnology*. 16(12); 2819-2822.
15. **Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Hagenmaier, R.D. 1996.** Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. En: *Postharvest Biology Technology*. Vol.9 (2): 151-163.
16. **Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O., Show, P.E. and Burns, J.K. 1995.** Effect of Coatings and Prolonged Storage Conditions on Fresh Orange Flavor Volatiles, Degrees Brix and Ascorbic Acid Levels. *J. Agric. Food Chem.* 43:1321-1331.
17. **Beaulieu, J.C., Baldwin, E. A. 2002.** Flavor and aroma of fresh-cut fruits and vegetables. In: *Fresh-cut Fruits and Vegetables. Science, Technology and Market*. O Lamikanra. (ed). CRC Press. Boca Raton, Fla, USA: 391-425.
18. **Beaulieu, J.C., Lea, J.M. 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.
19. **Charcosset, C. 2009.** Preparation of emulsions and particles by membrane emulsification for the food processing industry. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 241-249.
20. **Chiumarelli, M., and Hubinger M. 2012.** Stability, Solubility, Mechanical and Barrier Properties of Cassava Starch – Carnauba Wax Edible Coatings to Preserve Fresh-cut Apples. *Food Hydrocolloids* 28, (1): 59–67.
21. **Chiumarelli, M., Cristhiane C. F., Sarantópoulos C. and Hubinger M. 2011.** Fresh Cut ‘Tommy Atkins’ Mango Pretreated with Citric Acid and Coated with Cassava (*Manihot Esculenta Crantz*) Starch or Sodium Alginate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12 (3) 381–387.
22. **Debeaufor, F. Quezada-Gallo, J.A. Voilley, A. 2000.** Edible barriers: a solution to control water migration in foods. In: *Food Packaging. Testing Methods and*

- Applications. RISCH, S. J. (ed.). American Chemical Society. Washington, DC. USA. pp. 9-16
23. **Del-Valle**, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., Galotto M., J. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf life. *Food Chemistry*. 91, 751 – 756.
 24. **Díaz-Sobac**, R. Vázquez-Luna, A. Berinstain, C.I. De La Cruz, J. García, H.S. 1996. Emulsion coating to extend postharvest life of mango (*Mangifera indica* cv. Manila). *Journal of Food Processing and Preservation* 20(3): 191-202.
 25. **Djioua**, T., Florence C., Lopez F., Filgueiras H., Murillo A., Ducamp M. and Sallanon H. 2009. Improving the Storage of Minimally Processed Mangoes (*Mangifera indica* L.) by Hot Water Treatments. *Postharvest Biology and Technology* 52, (2): 221–226.
 26. **Dussán-Sarria**, S., Torres-León, C. y Reyes-Calvache, P.M. 2014. Efecto del recubrimiento comestible sobre los atributos físicoquímicos de mango 'Tommy Atkins' mínimamente procesado y refrigerado. *Acta Agronómica*. 63 (3): 212-221.
 27. **Emmambux**, N.M.; Minaar, A. 2003. The effect of edible coatings and polymeric packaging films on the quality of minimally processed carrots. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(10): 1065-1071.
 28. **FAOSTAT**. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado Abril 2014: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
 29. **Fischer**, G. y Martínez, O. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agron. Colomb.* 16 (1-3), 35-39.
 30. **González-Aguilar**, G., Celis, J., Sotelo-Mundo, R.R., De la Rosa, L.A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E. 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *Intl. J. Food Sci. Technol.* 43:91-101.
 31. **Greener**, D.I. and Fennema, O. 1994. Edible Films and Coatings: Characteristics, Formation, Definitions and Testing Methods. En: *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. J.M. Krochta, E.A. Baldwin y M. Nisperos-Carriedo (Eds.) Technomic, Lancaster, Pensilvania, EUA. p.1-21.
 32. **Hernández**, C. 2004. Formación de nanoemulsiones aceite en agua mediante el cambio de la composición-formulación por dilución con agua de sistemas próximos a la formulación óptima. Tesis de Pregrado. Informe técnico FIRP No 0401. Mérida: 22.
 33. **Kester**, J.J. and Fennema, O.R. 1986. Edible films and coatings: A review. En: *Food Technology*. Vol.40 (12): 47-59.
 34. **Lizada**, C. 1993. Mango. In: B. Seymour, J.E. Taylor, and G.A Tucker (eds). *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman and Hall, Nw York: 255-271.
 35. **Mahato**, R.I. 2007. *Pharmaceutical dosage forms and drug delivery*. Florida, E.U.A.: CRC Press.

36. **Martin-Belloso**, O. and Soliva-Fortuny, R. **2006**. Effect of modified atmosphere packaging on the quality of fresh cut fruits. *Stewart Postharvest Review*. 1: 3.
37. **Martínez-Ferrer**, M., Harper, C., Pérez-Muñoz, F., Chaparro, M. **2002** Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *J. Food Sci.* 67:3365–3371.
38. **McClements**, D.J. **2005**. Food emulsions, principles, practices, and techniques. 2da ed. Florida, E.U.A.: CRC Press.
39. **MIPRO**. **2007**. Ministerios de Agricultura y Ganadería Región Pacifico Central Agrocadena de Mango. Caracterización Agrocadena de Mango. Noviembre: 6.
40. **Mirhosseini**, H., Tan, Ch. P., Hamid, N. S. A., and Yusof, S. **2008**. Effect of arabic gum, xanthan gum and orange oil contents on ζ -potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 315(1-3); 47-56.
41. **Navarro**, M. **2007**. Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas. Tesis Doctoral. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia: 17.
42. **Olivares**, D. **1996**. Estudio del aprovechamiento del mango en estado fresco e industrializado para mercado nacional y para exportación. Tesis de grado. Universidad Autónoma Metropolitana, México: 170.
43. **Pastor**, C., Vargas, M., González-Martínez, C. **2005**. Recubrimientos comestibles: Aplicación a frutas y hortalizas. En: *Alimentación, Equipos y Tecnología*. Vol.197:130-135.
44. **Pratt**, H.K. **1975**. The role of ethylene in fruit ripening. Facteurs et regulation de la maturation des fruits. Centre National de La Recherche Scientifique, Anatole, France: 153-60.
45. **Purseglove**, J. **1974**. Tropical crop. Dicotyledons. London: 242-246.
46. **Quintanilla-Carvajal**, M., Chamacho-Díaz, B., Meraz-Torres, L., Chanona-Pérez, J., Alamilla-Beltrán, L., Jimenez-Aparicio, A. and Gutierrez-López, G. **2009**. Nanoencapsulation: a new trend in food engineering processes. *Food Engineering Reviews*, 2, 39-50.
47. **Rangel-Marrón**, M., López-Malo, A. **2012**. Cambios en frutas tropicales y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Seleccionados de Ingeniería de Alimentos*. Vol.: 6-2:94-109.
48. **Rico**, D., Martín-Diana, A.B., Baratb, J.M., Barry-Ryana, C. **2007**. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit vegetables: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 18:373–386.
49. **Rojas-Graü**, M., Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, R. **2009**. *Trends Food Sci. Technol.* 20, 438.
50. **Rotondo**, R., Ferratto, A., Firpo I. **2008**. En: *Hortalizas mínimamente procesadas o de IV Gama*. Facultad de Ciencias Agrarias. Vol. 12: 5.

51. **SAGARPA. 2005.** Plan Rector del Sistema Producto Mango Guerrero. Disponible en: <http://www.amsda.com.mx/PRNacionales/Nacionales/PRNmango2.pdf>. Consultado el 09 de Noviembre del 2014
52. **SAGARPA. 2009.** Identificación de las Necesidades Logísticas para la Comercialización del Sistema Producto Mango en la Región Noroeste. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/Mangos.pdf. Consultado el 10 de Noviembre del 2014
53. **Salamanca, G., Forredo-Logans, J., García-Lozano, C., Díaz, C. y Salazar, B. 2007.** Avances en la caracterización, conservación y procesamiento del mango (*Mangifera indica* L.) en Colombia. Revista Tumbaga. Vol. 2: 57-64.
54. **Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Cháfer, M., Chiralt, A. 2008.** Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimentos. En: VIII Congreso SEAE Bullas. p. 1-2.
55. **Sarzi de Souza, B., T.J. O'Hare, J. F Durigan, P. S Souza. 2006.** Impact of atmosphere, organic acids and calcium on quality of fresh-cut "Kesington" mango. Postharvest Biology and Technology. 42: 161-167.
56. **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&layout=mid=350.
57. **Singh, V., Kumar, M., Bilandi, A. and Sachdeva, V. 2012.** Recent advances in pharmaceutical emulsion technology. Journal of Pharmacy Research, 5(8), 4250-4258.
58. **Talcott, S.T., Moore, J.P., Lounds-Singleton, A.J., Percival, S.S. 2005.** Ripening associated phytochemical changes in mangos (*Mangifera indica*) following thermal quarantine and lowtemperature storage. J. Food Sci. 70:337-341.
59. **Torres-Oquendo, J.D. 2007.** Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (*Mangifera indica* L.). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España: 228.
60. **Tovar, B., Garcia, H. S. y Mata, M. 2001.** Physiology of Pre-cut Mango II. Evolution of Organic Acids. Food Research International 34, 705–714.
61. **USDA, United States Department of Agriculture. 2006.** Agricultural Research Service. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18.
62. **Viña, R. 2003.** IV Gama. Tecnologías aptas para la conservación de hortalizas. Buenos Aires. IDIA XXI, INTA: 37-41.
63. **Willey, R. 1997.** Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Editorial Acribia S.A, Zaragoza, España: 10, 65-67.
64. **Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D. 1999.** Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. 2ª Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España, 1999: 29, 33, 47.

65. **Windhab**, E., Dressler, M., Fiegl, K., Fischer, P., y Megias-Alguacil, D. **2005**. Emulsion processing-from single drop deformation to design of complex processes and products. *Chemical Engineering Science*. 60:210-213.
66. **Zarazúa**, J.A., Solleiro, M.A., Schwentesius, R. Castañón. **2007**. La innovación tecnológica como estrategia competitiva en las agroindustrias de hortalizas mínimamente procesadas. Núm. 345. México: 132.

