



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EVALUACIÓN DE CAMBIOS SENSORIALES Y
DE COLOR POR EFECTO DE LA APLICACIÓN
DE NANOCÁPSULAS DE α TOCOFEROL EN
MANZANAS *RED DELICIOUS*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

IRENE GUADALUPE IZQUIERDO SANDOVAL

ASESOR:

M. en C. María de la Luz Zambrano Zaragoza



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la **Tesis:**

Evaluación de cambios sensoriales y de color por efecto de la aplicación de nanocápsulas de α tocoferol en manzanas Red Delicious

Que presenta la pasante: Irene Guadalupe Izquierdo Sandoval
Con número de cuenta: 302269134 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcallí, Méx. a 13 de junio de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. José Oscar German Ibarra	
VOCAL	M.C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	I.A. Ma. del Pilar Molina Rubio	
1er SUPLENTE	I.A. Alberto Solís Díaz	
2do SUPLENTE	I.A. Ma. Guadalupe Pérez Loredo	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm

Aprendí que lo difícil no es llegar a la cima, sino jamás dejar de subir

Que cada día es el más importante de la vida

Que la paciencia permite alcanzar metas

Que soñar no es imposible

Que el esfuerzo siempre trae recompensas

Y sobre todo que siempre estuvo a mi lado Dios...

Dedicatorias y Agradecimientos

Quiero dedicar esta tesis a mis abuelitos Carmen y Francisco (q.e.p.d.) que me cuidan desde el cielo, gracias por el amor y cariño que me brindaron y por creer en mí siempre.

A mi abuelita Porfiria y abuelito Alberto gracias por todos sus consejos, su amor, cariño y ser parte importante de mi vida.

A mi madre por que le debo todo lo que soy le doy gracias por sus enseñanzas, consejos, amor y por su confianza que me brindo durante toda mi carrera.

A mi padre le agradezco todo su esfuerzo y su apoyo en los momentos más difíciles y por sus palabras de aliento para seguir adelante en todo momento.

Agradezco a mi hermano Omar por ser una persona especial, darme ánimos, siempre querer lo mejor para mí en todo y ayudarme cuando lo necesitaba jeres un gran hermano y un gran mánager; te quiero mucho.

A mi hermana Adriana, a su esposo Rodolfo y a mis sobrinos Vanessa y Ángel por brindarme su amor, cariño y esos momentos de alegría se los agradezco de todo corazón.

A la Maestra Luz Zambrano Zaragoza porque me ayudo cuando más la necesitaba y sin conocerme me brindo su apoyo, amistad, cariño y momentos de felicidad durante la elaboración de esta tesis, muchas gracias por aparecer en mi vida, ser mi amiga y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

Al Dr. Quintanar Guerrero le agradezco todo su apoyo, paciencia, motivación y amistad y el haberme permitido trabajar en su laboratorio, muchas gracias por ser un maestro noble, divertido y compartir su sabiduría con nosotros los alumnos de I.A.

Al profesor Alfredo Álvarez Cárdenas que me ayudo y apoyo durante gran parte de la carrera, lo felicito ya que es una gran persona y nunca olvidare a un maestro tan especial como usted.

A mis amigas que fueron un gran impulso durante toda la carrera: Berenice, Erika, Claudia, Carmen, Magaly, Viridiana, Alicia, Cristina y Guadalupe por ser mis mejores amigas y brindarme su amistad durante todo este tiempo en la Universidad las quiero mucho chicas.

*A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y en especial a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por permitirme ser parte de esa gran casa de estudios, mil Gracias!!!*

Irene

ÍNDICE

I.	RESUMEN	1
II.	INTRODUCCIÓN	3
1.	ANTECEDENTES	5
1.1	MANZANA	5
1.1.1	Propiedades Nutritivas	6
1.1.2	Producción de manzana en México	7
1.1.3	Características de las principales variedades de manzana en México	9
1.2	FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS	10
1.2.1	Manzana mínimamente procesada	13
1.2.2	Características fisicoquímicas de los productos mínimamente procesados	15
1.2.3	Efectos fisiológicos debido al procesamiento mínimo	16
1.2.3.1	Cambios Bioquímicos	17
1.2.3.2	Respiración	17
1.2.3.3	Pérdida de peso	18
1.2.4	Evaluación sensorial en productos mínimamente procesados	19
1.3	RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	22
1.3.1	Composición de los recubrimientos comestibles	24
1.3.2	Propiedades de los recubrimientos comestibles	26
1.3.2.1	Propiedades de barrera	26
1.3.2.2	Propiedades mecánicas	28
1.3.2.3	Transporte de aditivos	28
1.3.3	Aplicación de recubrimientos comestibles en frutas	28
1.3.4	Reactivos utilizados en recubrimientos comestibles	29
1.3.4.1	Cloruro de Calcio	29
1.3.4.2	Acido Ascórbico	30
1.3.4.3	Vitamina E	30
1.3.4.4	DI- α -Tocoferol Polietilen Glicol 1000 Succinato (TPGS)	30
1.3.4.5	Goma Xantana	31
1.4	NANOTECNOLOGÍA	31
1.4.1	Nanocápsulas	32
1.4.2	Nanoemulsión	33
1.4.3	Sistemas coloidales	33
1.4.3.1	Estabilidad de los sistemas coloidales	34
1.4.3.2	Potencial zeta (ξ)	34
1.4.3.3	Tamaño de partícula	35
1.4.3.4	Índice de polidispersión	35
2.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	36
2.1	Objetivos	36
2.2	Materiales y reactivos	37
2.3	Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	37
2.4	Material biológico	37
2.5	Preparación de la emulsión y nanoemulsión O/W	38

2.6	Preparación de Nanocápsulas	38
2.7	Preparación de goma xantana	38
2.8	Estabilidad de las dispersiones coloidales	39
2.9	Aplicación de los recubrimientos	39
2.10	Pérdida Fisiológica de peso de las manzanas	42
2.11	Determinación de color	42
2.12	Evaluación sensorial	44
3.	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
3.1	Tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta (ζ)	46
3.2	Pérdida Fisiológica de peso de las manzanas	51
3.3	Diferencia de Luminosidad en las manzanas	52
3.4	Cambios en valores de “a”	54
3.5	Cambios en Luminosidad, ángulo Hue y Cromaticidad	55
3.6	Evaluación Sensorial	59
4.	CONCLUSIONES	65
5.	RECOMENDACIONES	66
6.	BIBLIOGRAFÍA	67

Índice de tablas

Tabla	Título	Página
1.	Características de la manzana	5
2.	Composición de la manzana por cada 100g de porción comestible	6
3.	Situación actual de la producción Nacional en México	8
4.	Ejemplos de Recubrimientos	29
5.	Métodos de obtención de las nanocápsulas	33
6.	Tratamientos	40

Índice de figuras

Figura	Título	Página
1.	Manzana <i>Red Delicious</i>	9
2.	Métodos de evaluación sensorial	20
3.	Nanocápsulas de Aceite	32
4.	Preparación de muestras de manzana	39
5.	Muestra recubierta con CaCl_2	40
6.	Diagrama de bloques para la elaboración de manzana <i>Red Delicious</i> mínimamente procesada	41
7.	Colorímetro Minolta CR-300	43
8.	Evaluación sensorial	44
9.	Formato de evaluación sensorial	45
10.	Cambios en Tamaño de partícula de los sistemas	46
11.	Cambios en Índice de polidispersión de los sistemas	48
12.	Cambios en el Potencial Z de los sistemas	48
13.	Tamaño de Partícula	49
14.	Índice de Polidispersión	50
15.	Potencial Z	50
16.	Porcentaje de pérdida de peso	51
17.	Cambios en Luminosidad en función del tratamiento	52
18.	Comparación de Luminosidad en el almacenamiento	53
19.	Cambios en “a” por efecto del tratamiento en manzana	54
20.	Valor de Luminosidad de los recubrimientos	55
21.	Valor de ángulo Hue de los recubrimientos	56
22.	Valor de Croma de los recubrimientos	57
23.	Valor de Luminosidad	57
24.	Valor de ángulo Hue	58
25.	Valor de Cromaticidad	59
26.	Evaluación sensorial a los 3 días de almacenamiento	60
27.	Evaluación sensorial a los 6 días de almacenamiento	61
28.	Evaluación sensorial a los 12 días de almacenamiento	62
29.	Evaluación sensorial a los 15 días de almacenamiento	64

Índice de ecuaciones

Ecuación	Título	Página
1.	Porcentaje de pérdida fisiológica de peso	42
2.	Diferencia de Luminosidad	43
3.	Diferencia de valor de “a”	43

RESUMEN

El consumo de frutas frescas cortadas se ha incrementado considerablemente en los últimos tiempos; debido principalmente a sus propiedades nutrimentales, ya que éstas son ricas en antioxidantes y otras sustancias que contribuyen en la prevención de enfermedades crónicas degenerativas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de sistemas de talla submicrónica, sobre las características sensoriales asociadas a los cambios de color debidos al oscurecimiento de manzana *Red Delicious* fresca cortada, con la finalidad de mostrar una alternativa para incrementar su vida útil.

Los sistemas con dl- α -tocoferol empleados fueron nanocápsulas, nanoemulsión, emulsión, y solución de dl- α -Tocoferol Polietilen Glicol Succinato (TPGS). Las nanocápsulas fueron preparadas por el método de emulsificación-difusión; la emulsión y nanoemulsión por el método de emulsificación convencional. A los sistemas coloidales obtenidos se les determinó la distribución de tamaños de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta, con el fin de inferir sobre su estabilidad. Para la evaluación de la efectividad y calidad sensoriales los sistemas con dl- α -tocoferol fueron contrastados con muestras tratadas con ácido ascórbico y un control.

La aplicación de los recubrimientos en la superficie de manzana fresca cortada, se realizó por inmersión previo a un tratamiento con solución de Cloruro de Calcio (CaCl_2), después el producto fue envasado y almacenado en refrigeración a 4°C, monitoreando sus cambios sensoriales y de color durante 15 días de almacenamiento.

El tamaño de partícula promedio para los sistemas de talla submicrónica fue de 150 nm, índice de polidispersión menor a 0.3 y potencial zeta promedio de -30 mV, indicativo de que los sistemas fueron estables y que no floclaron ni coalescieron, además de que la utilización de goma xantana como polisacárido regulador de la transferencia de gases no modificó la estabilidad de los sistemas.

Dentro de los resultados de las muestras se observó que las que estaban cubiertas con ácido ascórbico presentaban un mayor porcentaje de pérdida de peso con un 0.44%; mientras que las que tenían nanocápsulas tuvieron un 0.23% siendo las muestras que tuvieron la menor disminución de peso en comparación con los demás recubrimientos.

Con respecto a la luminosidad se observó que la goma xantana seguida de la nanoemulsión presentó un incremento con respecto al tiempo, mientras que las muestras con nanocápsulas tuvieron menos diferencia seguidas de las de solución de TPGS. Mientras que las muestras con nanocápsulas tuvieron menos variación con respecto a las deltas de “a” (coordenadas cromáticas) y al igual que en la luminosidad las cubiertas con dispersión de goma xantana tuvieron un rango mayor durante el periodo de almacenamiento.

En los resultados de estado puro del color (ángulo Hue) y la intensidad del color (Croma), las muestras que se mantuvieron en un rango estable fueron las de nanocápsulas y nanoemulsión, mientras que las que tenían goma xantana mostraban un oscurecimiento enzimático, lo que concuerda con los cambios en luminosidad debidos a la presencia de la enzima polifenoloxidasas.

En la evaluación sensorial durante los primeros 3 días las muestras de ácido ascórbico y solución de TPGS fueron muy aceptadas con respecto a los parámetros de color, olor, sabor y textura por los jueces catadores, pero conforme fue aumentando el tiempo a los 6 y 12 días de almacenamiento las muestras con emulsión y nanocápsulas fueron las mejor aceptadas, y a los 15 días las muestras con nanocápsulas tuvieron una mayor aceptación con respecto al color seguidas de las muestras con nanoemulsión; mientras que las muestras con goma xantana fueron mejor aceptadas con respecto al parámetro de textura, por lo que se llegó a la conclusión que durante el periodo de almacenamiento los recubrimientos de nanocápsulas con dl- α -tocoferol fueron efectivos en la conservación de la calidad sensorial de manzana fresca cortada.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias actuales en la conservación de alimentos se han enfocado a cubrir los requerimientos del consumidor, en productos convenientes y funcionales; de tal manera que las tecnologías emergentes han contribuido en gran medida al desarrollo de frutas y vegetales frescos y/o procesados que cumplan con los beneficios para la salud que han sido atribuidos a su alto contenido de antioxidantes, vitaminas y otras sustancias importantes para la dieta.

Los recubrimientos comestibles son una alternativa para incrementar la vida útil de frutos frescos cortados, ya que contribuyen a disminuir los efectos de la acción de enzimas como la polifenol oxidasa, favoreciendo la calidad de frutas mínimamente procesadas; además de que reducen la pérdida de humedad, la migración de solutos, el intercambio de gases y la respiración celular así como contribuyen a reducir el efecto de los desórdenes fisiológicos para evitar la alteración de la estructura celular y deshidratación en las frutas recién cortadas. Estos recubrimientos también sirven como portadores de aditivos alimentarios, como agentes antioscurecimiento, antimicrobianos, saborizantes y nutraceuticos.

En este sentido, la nanotecnología ha empezado a desarrollarse en el área de alimentos al innovar e investigar el proceso de sistemas encapsulados con la capacidad de realizar diferentes sistemas. Este tipo de tecnología se refiere a los materiales con dimensiones de 1×10^{-9} m, en sistemas biológicos las tallas submicrónicas que van desde los 50 nm hasta los 1000 nm, empleándose principalmente nanopartículas coloidales las que se obtienen a partir de emulsiones en sistemas mono y bi-capa.

Las nanocápsulas son nanopartículas poliméricas en donde la sustancia activa generalmente oleosa se encuentra en el centro rodeada por un polímero que sirve como un sistema de control de la liberación del activo. Uno de los métodos más empleados para la preparación de nanocápsulas es el de emulsificación-difusión, esto debido a la alta capacidad de encapsulación de activos (70-90%) y a su estabilidad al almacenamiento.

Los recubrimientos más empleados actualmente para la conservación de fruta mínimamente procesada son los que se desarrollan a partir de polisacáridos, proteínas y lípidos, por lo que se pretende desarrollar recubrimientos comestibles de talla submicrónica que debido a sus propiedades y talla de partícula hagan posible una mayor interacción con la superficie del producto, logrando así incrementar su vida útil.

En la primera etapa se prepararon los sistemas coloidales con dl- α -tocoferol, formulando con ellos los sistemas a comparar utilizando goma xantana al 0.3 % y propilenglicol 0.5 % como plastificante. Se determinó la estabilidad de los sistemas durante 8 semanas de almacenamiento, evaluando los cambios en tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta.

En una segunda etapa se llevó a cabo la aplicación de los diferentes recubrimientos por inmersión en manzana fresca cortada para posteriormente almacenarlas a 4°C por 18 días. Llevándose a cabo la evaluación de cambios de color asociados con el desarrollo de oscurecimiento, por efecto de la acción de las enzimas polifenoloxidasas y fenoles que se determinó en función a los cambios en el ángulo Hue. Posteriormente se llevó a cabo la evaluación sensorial en función a la apreciación de textura, color, sabor y olor; utilizando para ello una escala hedónica y realizando la evaluación por atributos; de acuerdo con esto los sistemas de talla submicrónica obtenidos fueron estables durante 8 semanas de almacenamiento a 4°C, además éstos mostraron mayor efectividad en el mantenimiento de las características sensoriales y de color de manzana fresca cortada.

1. ANTECEDENTES

1.1 MANZANA

La manzana (*Malus domestica*) es la fruta más popular, por ser una importante fuente alimenticia en climas fríos (soporta hasta -10°C) y contiene un alto valor nutricional a pesar del almacenamiento prolongado. Las manzanas son el segundo cultivo de mayor valor económico en los Estados Unidos precedido por las naranjas. El 61% de las manzanas se consumen como fruta fresca y el 39% son procesadas; es el fruto de mayor difusión a escala mundial, debido a su facilidad de adaptación a climas y suelos, su valor alimenticio de gran calidad (Agricultura, Sectores e Información, 2010).

En la Tabla 1 se presentan las características principales de la manzana:

Tabla 1. Características de la Manzana

Forma	Son frutos por lo general de forma ovoide, a veces alargados o redondos, que esconden numerosas semillas de color pardo en su interior. Su piel es casi siempre brillante y lisa
Tamaño y peso	Las manzanas más comercializadas son aquellas cuyo diámetro va desde los 75 milímetros hasta los 85 o más y su peso oscila desde 170 gramos hasta 250 gramos
Color	Los diferentes colores de la piel hacen que se diferencien las frutas en cuatro grupos: verdes, rojas, amarillas y bicolores. Todas ellas con sabores, aromas y calidad de su carne diferentes
Sabor	La pulpa puede ser dura o blanda, pero siempre refrescante y jugosa, y su sabor va desde el muy dulce al muy ácido pasando por toda una mezcla de gustos acidulados y azucarados. La carne es más o menos aromática según la variedad

(Washington Apple Comisión, 2007).

Este tipo de fruta es posible encontrarla gracias a las buenas prácticas de manipulación y conservación del alimento que existen hoy en día. Después de su recolección, a las manzanas que van a ser almacenadas se les aplican diversos métodos de conservación, como el enfriamiento rápido de la fruta, el almacenaje en cajas con películas plásticas y la refrigeración controlada, que reducen la pérdida de agua y evitan que la piel de la manzana se arrugue. A la hora de elegir las manzanas, se deben desechar aquellas con golpes, pudrición, arrugas, puntos blandos y manchas, si bien las que tienen algunas manchas más o menos oscuras o parezcan moteadas pueden estar perfectamente sanas. Estas motas pueden estar extendidas por toda la piel y son una de las características de algunas variedades, normalmente excelentes para su uso. La madurez de las manzanas se puede comprobar sosteniéndolas por el centro y aplicándoles una ligera presión, si la carne es firme o la piel sólo se arruga ligeramente, la manzana está en su mejor punto de sazón. La pulpa siempre debe ser firme, aromática y no debe resultar harinosa (Lalatta, 1999).

1.1.1 Propiedades Nutritivas

Desde el punto de vista nutritivo mostrado en la Tabla 2 la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta un 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante.

Tabla 2. Composición de la manzana por cada 100 g. de porción comestible

Calorías	46
Hidratos de Carbono (g)	11.7
Fibra (g)	1.7
Potasio (mg)	99
Magnesio (mg)	5
Provitamina A (mcg)	4
Vitamina C (mg)	3
Vitamina E (mg)	0.5

*mcg = microgramos

Fuente: (Washington Apple Comisión, 2007)

Los azúcares, la mayor parte fructosa (azúcar de la fruta) y en menor proporción, glucosa y sacarosa, de rápida asimilación en el organismo, son los nutrientes más abundantes después del agua. Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de vitamina C. Es rica en fibra, que mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio. La vitamina E posee acción antioxidante, interviene en la estabilidad de las células sanguíneas como los glóbulos rojos y en la fertilidad. El potasio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal. Una de las razones por las cuales las manzanas pueden mantener su atractivo y calidad durante el transporte y comercialización, se debe a una capa delgada de cera que se les aplica para su posterior almacenamiento (Alimentación sana, 2011).

Las manzanas recién cosechadas tienen su propia capa de cera, la cual les ayuda a no marchitarse y a mantener su peso. Las manzanas se lavan en el lugar de empaque para quitarles el polvo y los residuos químicos. Este lavado les quita aproximadamente la mitad de su cera original la cual es reemplazada por una capa natural. La cera natural que se aplica a las manzanas Washington para protegerlas generalmente es carnauba (Palmera de Brasil) o goma de laca; estas formulaciones de cera son recubrimientos naturales. Tanto la cera natural como aquella que se les aplica puede verse blanca sobre la superficie de las frutas si éstas han estado expuestas a demasiado calor y/o demasiada humedad. Esta apariencia blancuzca se parece a la apariencia de un dulce cuando éste se mete al congelador. Las investigaciones muestran que la cera en las manzanas evita que se pierda la humedad, promueve la firmeza de la fruta por más tiempo y disminuye su ritmo de respiración y se ha demostrado que el uso de estas ceras en especial en las manzanas Red Delicious mejora su firmeza, color y reduce la pérdida de peso a parte de que también beneficia a otros tipos de manzanas (Washington Apple Comisión, 2007).

1.1.2 Producción de manzana en México

A nivel mundial la manzana es la fruta más cultivada y la que más se exporta e importa, debido en gran parte a su aptitud y para el transporte de larga distancia, al régimen de conservación y a su capacidad de ser manipulada durante la carga. Asia es el continente de

mayor producción, el Continente Europeo es la segunda área geográfica en importancia seguida de América del Norte donde destaca E.U. como segundo productor del mundo; por último se encuentra América del sur, África y Oceanía (Plan rector del sistema producto manzana, 2004).

En México se producen 0.46 millones de toneladas de manzanas al año y en el país los Estados con mayor superficie y producción de manzana son en orden de importancia Chihuahua, Coahuila y Durango. Las tendencias nacionales son estables en superficie pero inestables en cuanto a la producción dado a factores climáticos como lo pueden ser las heladas tardías y el granizo entre otros. La demanda de manzana en México es del 91.3% como consumo en fresco, el 8.5% para productos industriales (jugos concentrados y sidras) y el 0.1% para exportaciones.

Actualmente Chihuahua es el principal productor de manzana en el país como se muestra en la Tabla 3 con una aportación de más del 58%, además de que en el Estado se selecciona y empaca más del 75% de las cajas a nivel nacional (SAGARPA, 2010).

Tabla 3. Situación actual de la producción Nacional en México

Estado	Producción (ton.)	Estado	Producción (ton.)
Aguascalientes	420	Michoacán	1,158.46
Baja California	6.20	Morelos	0
Coahuila	59,653.78	Nuevo León	6,472.68
Chiapas	3,384.53	Oaxaca	2,109.55
Chihuahua	398,155.26	Puebla	39,554.60
D.F.	425.05	Querétaro	1,671.50
Durango	47,794.72	Sonora	1,080.24
Guanajuato	66.90	S.L.P.	161.25
Guerrero	114.40	Tlaxcala	113.61
Hidalgo	4,308.30	Veracruz	10,755.01
Jalisco	141.80	Zacatecas	5,826.00
México	1,281.34		

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2010.

1.1.3 Características de las principales variedades de manzana en México

Alrededor del mundo existen 7,500 variedades de manzana. Las siguientes son las que encabezan la lista dentro de las variedades que más demanda tienen en México como se muestra en la Figura 1 Red Delicious, Golden Delicious, Golden Supreme, Gala, Fuji, Granny Smith, etc. Existen numerosas variedades de manzanas, de las cuales se pueden encontrar en el mercado desde Septiembre hasta Junio; aunque la Golden Delicious se encuentra prácticamente todo el año (Agricultura, Sectores e Información, 2010).



Figura 1. Manzana *Red Delicious*

- **Red Delicious (Deliciosa roja):** Es un fruto de buen tamaño, color rojo intenso, con un punteado amarillo, carne azucarada, jugosa, ligeramente acidulada y muy aromática su temporada es de Septiembre a Octubre.
- **Golden Delicious (Deliciosa Dorada):** El fruto es grande y de color amarillo dorado, más largo que ancho, con la carne blanca amarillenta, jugosa, perfumada y muy sabrosa. El pedúnculo es largo, de piel delgada y resistente; ya que se trata de una variedad de buena conservación natural y en frío, su temporada suele ser de Septiembre a Noviembre.

- **Golden Supreme:** Es de tamaño mediano, como la mayoría de las manzanas, es de color verde-blanco, su piel es muy fina y es poco ácida, su carne es crujiente y jugosa y poco aromática. Su temporada es durante la segunda quincena de Julio y la primera de Agosto.
- **Gala:** Es una variedad de origen Neozelandés, la manzana es de color amarilla, tiene forma de corazón y la cáscara es de un color distintivo amarillo-anaranjado con líneas rojas.
- **Fuji:** Ésta es originaria de Japón con una textura suave, fina, firme y con una consistencia crujiente. La superficie es rojo oscuro con un interior de color blanco amarillento. El sabor de esta variedad es extremadamente dulce con una gran cantidad de jugo.
- **Granny Smith:** Es una variedad de origen Australiano, son de color verde intenso volviéndose mas claras durante la madurez, crujientes, jugosas y ácidas. (Agricultura, Sectores e Información, 2010).

1.2 FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

El concepto de frutas mínimamente procesadas, se basa en la aplicación de tratamientos que permitan su empaque, comercialización y facilidad de consumo produciendo cambios poco notables respecto a las características deseadas de calidad del producto fresco entero; de tal forma que mantienen sus atributos y propiedades de calidad similares a las del producto fresco (Vargas y Vargas y col., 2007).

Este tipo de frutas se encuentran en los principales segmentos de crecimiento de la industria alimentaria; sin embargo, las frutas recién cortadas se encuentran en estudio continuo debido a las dificultades para mantener su calidad y frescura durante períodos prolongados (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003).

Actualmente la presencia en el mercado de alimentos envasados listos para su consumo responde a cambios en los hábitos alimenticios, consecuencia de la evolución que experimenta la sociedad actual. Concretamente, la popularidad que las frutas frescas cortadas van adquiriendo, se debe a la demanda de productos de alta calidad que mantengan las características organolépticas y nutricionales de los productos frescos. Además este tipo de productos es cada vez más apreciado, debido a la falta de tiempo que caracteriza la vida actual. La industria de procesado de frutas está muy interesada en la aplicación de técnicas de conservación, que combinadas o no, puedan mantener las propiedades de frescura del producto original, asegurando además su estabilidad microbiológicamente durante un periodo suficientemente largo para garantizar su distribución (Lamikanra y col., 2010).

La calidad de las frutas depende tanto de la variedad como de las características de cosecha como son las condiciones climáticas, el estado de madurez de la cosecha, la recolección y la manipulación postcosecha. Los procedimientos de manejo, métodos de preparación, tiempo y condiciones de un producto fresco cortado también tienen un gran impacto en la calidad final. Otros factores que influyen en la calidad de las frutas frescas cortadas durante el método de preparación son las herramientas de corte, su tamaño, superficie de las piezas, lavado, eliminación de humedad de la superficie y las condiciones posteriores de manipulación como son: el envasado, velocidad de enfriamiento, variación de temperatura, la humedad relativa y la comercialización acelerada. Un programa de garantía de calidad eficaz debe tener en cuenta todos los factores que afectan la calidad de los frutos (Martín-Belloso y Oliu-Oms, 2005).

La textura que incluye la firmeza y jugosidad del fruto, juega un papel importante en la calidad del producto al momento de la comercialización y es después del color, el parámetro crítico previo al consumo en el que se centra la atención en el momento del almacenamiento, distribución y comercialización de frutas (Harker y col., 2006).

Las frutas frescas cortadas se obtienen a través de diversas operaciones unitarias de preparación, tales como: pelado, reducción de tamaño y envasado. La elaboración de productos frescos cortados incluye el envasado en atmósfera modificada (EAM), así como

el almacenamiento en un rango de temperatura comprendido entre 2 y 4°C, durante un período de vida útil del producto de aproximadamente 7 a 10 días. Además, la ruptura de los tejidos vegetales debido al daño mecánico que se produce durante la manipulación de la fruta, se puede minimizar procesando la fruta antes de que se alcance la plena madurez organoléptica, ya que en este estado la textura del fruto es más firme (Vargas y Vargas y col., 2007).

Las frutas frescas juegan un papel importante en la nutrición humana, especialmente como fuentes de vitaminas (vitamina C, vitamina A, vitamina B6, tiamina, niacina), minerales y fibra dietética. Así como otros componentes como flavonoides, carotenoides, polifenoles y otros fitonutrientes que pueden disminuir el riesgo de cáncer, hipertensión arterial y otras enfermedades (Lamikanra y col., 2010).

Dada la importancia de la calidad nutricional de los frutos, se han realizado mejoras en los diversos productos y variedades. Mediante el uso de sistemas de mejoramiento genético de plantas, es ahora posible desarrollar genotipos con mayor calidad nutricional y sensorial de tal manera que tengan mejores características para los consumidores. A pesar de todo esto, las frutas frescas tienen el inconveniente de ser sensibles a la temperatura, tanto de congelación incipiente como de susceptibilidad al daño por frío, por lo que su almacenamiento se debe de llevar a cabo tomando en consideración estos factores además de la humedad relativa de tal manera que se logre incrementar su vida útil (Harker y col., 2006).

También modificaciones en el tiempo de cosecha y realización de operaciones mínimas necesarias para su conservación como lo es el pre-enfriamiento, influyen también en el sabor, calidad nutrimental y descomposición (Lee y col., 2003).

Las pérdidas en productos frescos cortados, dependen principalmente de la naturaleza del producto, condiciones de cosecha, época del año, temperatura, tiempo de pre-enfriamiento; así como del estado de madurez del producto. Estas condiciones pueden conducir a estrés fisiológico, pérdida de vida útil y calidad (Lamikanra y Watson, 2002b).

La importancia que tiene actualmente la comercialización y distribución de productos frescos cortados se ha incrementado considerablemente en los últimos años, por lo que ha sido necesario contar con productos microbiológicamente seguros, con características físicas, calidad aceptable y alto valor nutrimental; por lo que se han incrementado las investigaciones en relación al diseño y estudio de nuevas formas de prolongar la vida útil de productos frescos cortados (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003).

El deterioro de la calidad de frutas mínimamente procesadas durante el almacenamiento se ve reducido por diversos factores, entre los que se incluyen: la pérdida de agua, cambios enzimáticos, deterioro de la textura, así como el continuo cambio metabólico que sufren estos productos que propician el crecimiento microbiano (Rojas-Graü y col., 2008). De tal forma existen factores que contribuyen al incremento de la vida útil del producto como son: el tipo de tratamiento al que se someterá el fruto, la sanitización, tipo y condiciones de envasado, así como la temperatura de almacenamiento (Rocculi y col., 2004).

Los requisitos que debe de cumplir un producto mínimamente procesado son: buena calidad, apariencia, textura, sabor, olor y seguridad microbiológica para que el incremento de vida útil sea lo suficiente seguro y que se encuentra dentro de un sistema de distribución y venta que faciliten su comercialización. Si alguno de estos requisitos no se cumple o se encuentra por debajo de los valores mínimos aceptables para cada parámetro, el producto pierde automáticamente su valor comercial. (Rojas-Graü, 2006).

1.2.1 Manzana mínimamente procesada

Recientemente la demanda del consumo de productos mínimamente procesados se ha incrementado debido a su carácter fresco, porque se obtienen diferentes beneficios a la salud. La firmeza, textura, color y el contenido de azúcar son atributos importantes de calidad que influyen directamente en los consumidores cuando se adquieren manzanas frescas. Al igual que la superficie de la fruta y su calidad interna, especialmente la firmeza y el contenido de azúcar, permitiría a la industria de la fruta proporcionar una mejor calidad para el consumidor (Lu, 2004).

Las manzanas recién cortadas (rodajas o cubos) son productos mínimamente procesados que la industria de las frutas ha demostrado gran interés en su desarrollo ya que su vida útil se ha estimado en un rango de 2-3 semanas, sin embargo se han buscado y desarrollado diferentes recubrimientos que eviten la aparición de microorganismos, pérdida de calidad, cambios de color debido a la aparición de la enzima polifenol oxidasa (PPO) (Lee y col., 2003).

Al utilizar recubrimientos comestibles sobre la manzana mejora sus características visuales ya que dan brillo, firmeza y una alta barrera para el intercambio de gases modificando el ambiente interno, reduciendo la pérdida de agua a la vez que minimiza la tasa de respiración, ayudando a extender la vida de anaquel, aunque una óptima temperatura de refrigeración es de gran importancia (Vargas y Vargas y col., 2007).

En recientes estudios algunos de los tratamientos que se han utilizado para reducir el oscurecimiento en las manzanas recién cortadas son: el ácido ascórbico y sus isómeros, el ácido cítrico solo o en combinación. El ácido ascórbico es probablemente el agente más utilizado contra el oscurecimiento enzimático su actividad reside en su carácter reductor y previene la formación de pigmento marrón actuando como un inhibidor de la enzima (Son y col., 2001; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso., 2003).

Entre algunos agentes químicos utilizados en el pasado para evitar el perdeo enzimático y pérdida de humedad en frutas eran los sulfitos; sin embargo su uso ha sido restringido debido a las preocupaciones del consumidor sobre sus efectos nocivos, por lo tanto se han buscado nuevas alternativas que sirvan para mejorar la apariencia de las frutas mínimamente procesadas como ha sido el uso de ácido ascórbico y 4-hexilresorcinol, ya que han demostrado ser una buena alternativa en manzanas recién cortadas, al igual que se ha estudiado el deshidratar osmóticamente o utilizar atmósferas modificadas (Soliva Fortuny y col., 2001).

1.2.2 Características fisicoquímicas de los productos mínimamente procesados

La calidad de un fruto depende en gran medida de sus propiedades fisicoquímicas, que a su vez se ven reflejadas en la calidad sensorial que involucra el balance entre acidez, dulzura y aroma; de tal manera que para correlacionar estas propiedades se han desarrollado diversas mediciones que pueden determinar el grado de madurez que el fruto ha desarrollado. La calidad del sabor involucra la percepción de ciertos sabores y aromas de muchos compuestos; este enfoque puede utilizarse para definir un nivel de aceptabilidad así como es importante su contenido de azúcares, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y activos volátiles de olor (Rocculi y col., 2004).

Con respecto a la acidez en el caso de las manzanas la cantidad de ácido en este tipo de fruta varía más a menudo entre las estaciones y los huertos que entre la fecha de cosecha. Sin embargo, si el contenido de ácido es muy bajo cuando la fruta es cosechada, la calidad de la alimentación tras el almacenamiento puede ser inaceptable, porque la acidez cae notablemente durante el almacenamiento. No todas las variedades de manzana presentan un cambio significativo en el contenido de ácido, por lo que, la acidez debe utilizarse en combinación con otros índices de madurez. Para la mayoría de las frutas la acidez y el sabor se ven afectados por la proporción de azúcar con el ácido (Janick, 1992).

Debido al pH bajo de la mayoría de las frutas, la flora predominante consiste en mohos y levaduras, responsables de la producción de una amplia variedad de enzimas que intervienen en la degradación de los tejidos vegetales (Torricella y col., 2007).

Entre los factores que tienen mayor influencia en las características fisicoquímicas de los frutos es el estrés al que estos son sometidos tanto en precosecha (nutrientes, agua, energía solar, etc.) como en poscosecha (cosecha, manipulación, preenfriamiento, etc.). Estos factores influirán en la resistencia del producto, cantidad de compuestos fenólicos, producción de etileno, velocidad de maduración, resistencia térmica, entre otros, lo cual es importante a tomar en cuenta en la selección de la variedad y estado de madurez (Artés y col., 1998).

Las frutas al momento del procesamiento mínimo sobrellevan una serie de daños debido a la ruptura celular que sufren durante el pelado y cortado, de tal manera que cada uno de estos daños representa un estrés físico. Los factores internos y externos que afectan la respuesta a las heridas, incluye la especie, el cultivar, la madurez, la temperatura de almacenamiento y de procesamiento, niveles de CO₂ y O₂ y presión de vapor de agua (Hodges y Toivonen, 2008).

El reblandecimiento del tejido y la pérdida de integridad por el proceso de maduración o bien por la pérdida fisiológica de peso traen como consecuencia modificaciones en la textura, apariencia y finalmente pérdida del producto. Es por esta razón que se han creado diversas alternativas para mantener la calidad textural de las frutas presentándose como una de las más efectivas la utilización de calcio (Robles-Sánchez y col., 2009a).

Los frutos mínimamente procesados sufren modificaciones de apariencia física como por ejemplo el oscurecimiento enzimático, que es considerado uno de los factores principales en el deterioro de la calidad de frutos, ya que este oscurecimiento se ve asociado a la acción de otras enzimas que contribuyen a la pérdida de turgencia y textura. Las modificaciones sufridas se hacen evidentes al momento de la comercialización y más aún si durante el proceso de selección no se tuvo cuidado en el estado de madurez, daños mecánicos, variedad, temperatura, condiciones de pelado y cortado (Rojas-Graü, 2006).

1.2.3 Efectos fisiológicos debido al procesamiento mínimo

En el procesamiento mínimo de fruta es necesario llevar a cabo el pelado y cortado de la misma, con la finalidad de continuar con los tratamientos necesarios para su conservación. La forma en que se realiza el corte es identificada como uno de los parámetros críticos, sobre la calidad de los frutos cortados e influyen directamente sobre la pérdida de turgencia ya que en la forma en que sea presentado el producto determinará los cambios fisiológicos como la senescencia y la maduración, que a su vez influirán sobre la vida útil del producto envasado y refrigerado (García-Ramos, 2000).

1.2.3.1 Cambios Bioquímicos

Los productos frescos cortados presentan diversos síntomas de deterioro, debido a la acción enzimática y microbiana, asociada a la ruptura de los tejidos, existen cambios texturales provocados por efecto de las enzimas pectinmetilesterasa y en color por las polifenoloxidasas. Por lo que todos estos cambios disminuyen considerablemente el tiempo de vida útil de los frutos mínimamente procesados (Rojas-Graü y col., 2006).

Durante el oscurecimiento enzimático los compuestos fenólicos son oxidados hasta quinonas mediante reacciones catalizadas por enzimas denominadas genéricamente polifenoloxidasas, produciendo el oscurecimiento superficial del producto y disminuyendo así su calidad visual (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005).

El grado de oscurecimiento que sufren las frutas frescas cortadas también puede depender de la concentración y tipo de compuestos fenólicos presentes en los frutos, estado de madurez, presencia de oxígeno (O_2) y compartimentación de las enzimas y sustratos (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005).

La adición de antioxidantes inhibe la reacción de oscurecimiento enzimático, actuando sobre la enzima o el sustrato. Los antioxidantes más empleados en frutos mínimamente procesados para evitar el oscurecimiento superficial se encuentran, el ácido ascórbico, ácido cítrico, sulfitos, cisteína, entre otros. Los tratamientos combinados de antioxidantes y sales de calcio, además de controlar el oscurecimiento enzimático refuerzan las estructuras de las paredes celulares en frutas (Son y col., 2001).

1.2.3.2 Respiración

Entre las operaciones unitarias, el pelado y troceado constituyen etapas críticas que tienen una influencia determinante en la calidad del producto final y que la ruptura del tejido por el corte, provoca un incremento de la respiración y transpiración que conducen a un rápido deterioro del producto, con la consecuente pérdida de sus características sensoriales y

nutricionales originales. El aumento de la respiración en respuesta al corte en parte se explica a la eliminación de barreras (epidermis o cutícula) para el intercambio de gases en los tejidos (Hodges y Toiven, 2008).

Cuando los productos son envasados para su venta y llegan a ser expuestos a altas temperaturas durante su distribución, se corre el riesgo de acumulación de microorganismos que producen olores desagradables siendo algunas variedades de frutas más susceptibles (Torricella y col., 2007).

Otro factor muy importante es el de la pérdida de agua y es determinada por diferentes factores, probablemente uno de los más importantes es la resistencia de la epidermis externa o cutícula ya que cuando se encuentra presente, limita la transpiración y por ende la pérdida de vapor de agua. Sin embargo el pelar y cortar da como resultado la reducción o eliminación de la resistencia de estas barreras a la transpiración, debido al aumento de la superficie en relación al volumen y a la eliminación de los tejidos de protección. Aumentando la susceptibilidad al marchitamiento que es un factor importante en la pérdida de calidad (Lamikanra y Watson, 2002b).

1.2.3.3 Pérdida de peso

La fruta con mayor firmeza es menos susceptible a magulladura, sin embargo, hay que tener en cuenta la carnosidad de los frutos por ejemplo los frutos menos firmes y también mucho menos carnosos pueden ser también menos susceptibles a magulladuras que frutos más firmes y carnosos; por lo que la disminución del contenido en agua de los frutos disminuye su susceptibilidad a magulladura, ya que se ha demostrado que en el caso de la manzana, una pérdida acelerada de agua reduce el tamaño y por lo tanto existe una pérdida de peso (Lu, 2004).

Es por ello que cada etapa del proceso de elaboración juega un papel importante en los mecanismos de alteración de las frutas frescas, tales como: la pérdida de agua, el oscurecimiento enzimático, el ablandamiento por rompimiento de tejidos, un aumento en la

tasa respiratoria con la consecuente producción de etileno, aparición de olores y sabores desagradables y alteraciones microbianas. Estos fenómenos fisiológicos son responsables de cambios bioquímicos que conllevan la degradación de las propiedades sensoriales de la fruta recién cortada, aunque son numerosos los factores que influyen en los procesos de deterioro (Martín-Belloso y col., 2007).

1.2.4 Evaluación sensorial en productos mínimamente procesados

La utilización y aplicación de la evaluación sensorial comenzó a crecer rápidamente en la segunda mitad del siglo XX, debido principalmente a la expansión de alimentos procesados listos para su consumo. La evaluación sensorial es una serie de técnicas que permiten precisar las respuestas humanas cuando consumen alimentos y que permiten identificar las preferencias y percepción de los consumidores. La evaluación sensorial permite caracterizar propiedades sensoriales de alimentos que puedan dar información importante para el desarrollo de alimentos y además darle a éstos un sustento científico y comercial (Lawless y Heymann, 2010).

Las frutas cortadas o mínimamente procesadas han sido parte de la alimentación humana; la vitalidad de los productos frutihortícolas, sus características nutritivas y organolépticas especiales son responsables de la preferencia del consumo en fresco (Lamikanra y col., 2010).

La producción de alimentos de alta calidad y excelencia, con destino a mercado interno y externo es de alta prioridad y es además lo que el consumidor demanda actualmente. Normalmente, el consumidor tiene gustos muy definidos y asocia determinadas características a la calidad o satisfacción que produce un alimento, por lo que espera encontrarlos cuando lo adquiere y consume (Lawless y Heymann, 2010).

Los métodos utilizados para evaluar calidad son: escalas objetivas basadas en instrumentos de medición y métodos subjetivos basados en el juicio humano. Una vez que se garantiza la seguridad e higiene de un alimento es de confianza para su consumo, lo satisfactorio de sus

propiedades organolépticas pasa a ser el criterio más importante, el que determina la elección y más aún, la fidelidad de un consumidor hacia un producto o marca (Espino Díaz y col., 2009).

Los métodos de evaluación sensorial o pruebas sensoriales son indispensables dentro del control de la calidad de los alimentos; ya que frecuentemente se rechazan producciones por problemas sensoriales, iniciándose procesos de reclamación contra los productores; por tal motivo se requiere que se lleven a cabo las evaluaciones y se realicen con una fundamentación científica, asegurándose así la obtención de buenos resultados. Para lograr esto se requiere del constante desarrollo de los procedimientos de evaluación sensorial y la correcta planificación, diseño y obtención de la calidad sensorial adecuada (Torricella y col., 2007).

Las pruebas sensoriales se clasifican, según los objetivos que se persiguen, en dos grandes grupos: analíticas y afectivas. Las afectivas se dirigen, fundamentalmente, hacia los consumidores y pretenden evaluar su aceptación o preferencia por un determinado producto o productos. Las pruebas analíticas se diferencian de las anteriores en que se necesitan catadores adiestrados para dar respuesta acerca de la calidad sensorial del producto sin tener en cuenta sus gustos o preferencias personales como se muestra en la Figura 2 (Siddiq y col., 2011).



Figura 2. Métodos de evaluación sensorial

Fuente: Alfa Sensoriales-Análisis sensorial de los alimentos 2008

Dentro de las pruebas analíticas se encuentran las pruebas descriptivas, las cuales se utilizan para describir las diferencias entre muestras durante los estudios de calidad, o para definir los atributos o parámetros que más influyen en la calidad sensorial a través de escalas para describir la intensidad de los mismos (Lawless y Heymann, 2010).

Los valores de las escalas e intervalos indican la posición relativa que el degustador le asigna a una muestra con respecto a las demás dentro del grupo evaluado, estas escalas son de gran utilidad para obtener una respuesta rápida acerca de la diferencia entre varias muestras. Este tipo de escalas requiere la participación de catadores adiestrados, capaces de evaluar calidad independientemente de sus gustos o preferencias (Torricella y col., 2007).

Los sentidos son instrumentos sensoriales siendo éstos, la vista, oído, gusto, olfato y tacto; también conocidos como analizadores, ya que son mecanismos nerviosos complejos que empiezan en un aparato receptor externo y que terminan en el cerebro. Los analizadores reciben los estímulos del mundo exterior transformándolos en sensaciones, las que se interpretan e integran con otras sensaciones y transformándose así en percepciones. Los estímulos son los atributos sensoriales o características organolépticas del alimento que se evalúa (Espino-Díaz, 2009).

Generalmente para la evaluación sensorial de frutas se emplean escalas de intervalo con el objetivo de asegurar la validez de los métodos estadísticos utilizados en el procesamiento de los resultados. Dentro las frutas mínimamente procesadas se debe de tomar en cuenta que tradicionalmente se atribuye mayor importancia a los referentes como al olfato y al gusto que hasta cierto punto es lógico, ya que en la mayoría de los alimentos la característica organoléptica sabor es la más importante con respecto al conjunto, por lo que los analizadores del olfato y el gusto son los que mayor papel desempeñan en la evaluación sensorial (Rojas-Graü y col., 2007a).

La vista es un sentido físico que generalmente recibe la primera información sobre el alimento: tamaño, forma, brillo, color, es decir el aspecto en general, ya que es la que percibe los diferentes colores que ocurre a nivel del sistema nervioso central. Los sentidos

químicos como el olfato recibe la información después de la vista y estos analizadores olfativos son superiores a los del gusto clasificando y asociando los diferentes olores ya conocidos (Alfa Sensoriales-Análisis sensorial de los alimentos, 2008).

Los del gusto (sentido químico) reciben información en el momento en que el sujeto consume el alimento, es decir después de que éste se ha introducido en la cavidad bucal. El gusto se relaciona estrechamente con el olfato y esta unión recibe la denominación de analizador químico, por ser la energía química la que estimula a ambos, sólo que el olfato analiza la composición de la fase gaseosa y el gusto la líquida, estas composiciones varían dependiendo tanto del tipo de fruta como la clase de la misma, ya que no existen frutas o alimentos con sabores aromas y texturas idénticas (Torricella y col., 2007).

El tacto que es también importante nos ayuda a sentir una información inmediata a partir de las cualidades mecánicas y térmicas del alimento al actuar sobre la superficie de la piel, durante la masticación o simplemente al estar en contacto. El sabor amargo se percibe fundamentalmente en la base de la lengua, mientras que el dulce en la punta. El ácido y el salado se distribuyen más o menos uniformemente entre la punta, bordes y base. De ahí la importancia de que al degustar el alimento, esté en contacto con toda la superficie de la lengua (Siddiq y col., 2011).

1.3 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

El estilo de vida de los consumidores modernos, unido al deseo de adquirir productos naturales y beneficiosos para la salud, ha hecho que la producción y consumo de frutas con proceso mínimo, como es el caso de las frutas cortadas, se haya visto incrementado en los últimos años. Sin embargo, la obtención de estos productos lleva consigo una serie de operaciones que pueden desencadenar cambios en la calidad del producto final. Encontrar métodos que ayuden a frenar este deterioro constituye uno de los principales objetivos de los sectores involucrados en la producción y conservación de frutas cortadas. En este sentido los recubrimientos comestibles constituyen una estrategia potencial para reducir los efectos perecederos de los alimentos que ocasiona el procesado mínimo en los tejidos

vegetales de frutas frescas cortadas, constituyendo un campo innovador en el área de la conservación de alimentos frescos (Conforti y Totty, 2007).

Un recubrimiento comestible es definido como una capa delgada de material comestible formado como un revestimiento y este tipo de recubrimientos son aplicados sobre el alimento, generalmente por inmersión del producto en una solución. El parámetro que define la capacidad de un recubrimiento es el de que pueda distribuirse uniformemente sobre la superficie de las frutas, lo que afecta directamente su desempeño como un agente de conservación (Lima y col., 2010).

Este tipo de aplicaciones ayudan a retardar la deshidratación, la supresión de la respiración, mejoran la calidad y textura del producto final, retiene compuestos volátiles como el sabor y reduce el crecimiento microbiano. Estos recubrimientos crean una atmosfera modificada (AM) dentro del fruto generando una captura física de dióxido de carbono (CO_2) dentro de la fruta y un sellado parcial de los poros lo cual reduce el intercambio y transferencia de gases (Carneiro-da-Cunha y col., 2009).

Los recubrimientos comestibles deben cumplir una serie de características para poder ser empleados en frutas frescas cortadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptable, ser estable tanto desde el punto de vista fisicoquímico como microbiológico, además de poseer un costo razonable (Lawless y Heymann, 2010).

Por otro lado tienen la habilidad para modificar el transporte de gases, ya que es importante para productos como frutas y vegetales frescos; los cuales son caracterizados por tener un metabolismo activo. Aplicados a productos que respiran deben permitir una correcta modificación del entorno gaseoso dentro del envase. Su uso sobre frutas permite la producción de una atmósfera modificada mediante un aislamiento del producto del ambiente que lo rodea (Rojas-Graü y col., 2007b).

El recubrimiento de frutas cortadas suele hacerse por inmersión sobre los trozos de fruta, generalmente precedidos por un rápido escurrido-secado de la solución sobrante y posterior almacenamiento refrigerado. Cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión de los recubrimientos gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta. La incorporación de agentes antimicrobianos dentro de los recubrimientos constituye una técnica innovadora en el mantenimiento de la seguridad, inocuidad y vida útil de frutas mínimamente procesadas (Rojas-Graü, 2006).

1.3.1 Composición de los recubrimientos comestibles

La eficacia de los recubrimientos comestibles depende de la composición del recubrimiento. El desarrollo de recubrimientos comestibles se ha centrado en las barreras que contienen proteínas, polisacáridos y lípidos (Oms-Oliu y col., 2008).

Una de las aplicaciones comerciales más exitosas la constituye la familia de productos a base de sales de calcio, vitaminas, minerales y carboximetilcelulosa entre otros (Pérez Gago y col., 2006).

Por otro lado la elección del tipo de sustancias a emplear o aditivos están relacionadas con el tipo de función, el tipo de alimento y el método de aplicación, ya que proveen una barrera al transporte de masa en o a través del alimento fresco o manufacturado (Navarro-Tarazaga y col., 2008).

Estos están elaborados de capas delgadas de un material biopolímero (proteína o polisacárido como una solución hidrocoloide, o como una emulsión con lípidos), que son aplicados sobre la superficie de un alimento en adición o reemplazo de la corteza natural, y que reducen la difusión de gases (O_2 , CO_2 , etileno y vapor de agua), permitiendo extender la vida útil del alimento ya que retardan la migración de humedad, controlan el transporte

de gases, retienen componentes volátiles, sirven de vehículo de aditivos y mejoran las propiedades mecánicas, además de impartir una mayor integridad a la estructura del mismo (Conforti y Totty, 2007).

Para la formación de un recubrimiento comestible se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión. Cuando se combinan lípidos, proteínas y polisacáridos que pueden interactuar física y/o químicamente, se pueden obtener recubrimientos con mejores propiedades. Sin embargo, la compatibilidad de los componentes es un punto importante a considerar cuando se trata de una mezcla de biopolímeros, ya que se puede alterar drásticamente el funcionamiento de los compuestos del recubrimiento (Lima y col., 2010).

Con el fin de mejorar la adherencia, el intercambio de gases y las propiedades de permeabilidad a la humedad, generalmente se combinan dos o más materiales. Dichas mezclas suelen realizarse mediante emulsión de uno de los componentes, generalmente un lípido en el resto de los componentes o mediante un recubrimiento multicapa, donde el recubrimiento se aplica mediante una técnica de laminación, en la cual se hace la inmersión de la fruta en una primera solución, generalmente la matriz seguida por una inmersión en otro tipo de solución, ya sea de naturaleza lipídica o cálcica, entre otras (Lamikanra y col., 2010).

Además del componente de naturaleza polimérica y de alto peso molecular (matriz), otro componente importante de los recubrimientos son los plastificantes (aditivos que suavizan los materiales); éstos son moléculas pequeñas de bajo peso molecular, de baja volatilidad y con una naturaleza química similar a la del polímero formador de recubrimiento. Se usan para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos. Dentro de los agentes plastificantes utilizados más frecuentemente se encuentran: glicerol, polietilenglicol, sorbitol, aceites, ácidos grasos, ceras, etc., siendo el glicerol uno de los más utilizados. Los plastificantes afectan la capacidad de atracción de agua del sistema y generalmente suelen aumentar la permeabilidad al oxígeno de los recubrimientos (Mora-Huertas y col., 2010).

La adición de surfactantes y emulsificantes reduce la actividad de agua superficial y la velocidad de pérdida de humedad de los alimentos recubiertos. Se pueden agregar también agentes de liberación controlada y lubricantes para prevenir que los alimentos recubiertos se hagan pegajosos; entre éstos últimos se incluyen grasas, aceites, emulsificantes y silicona (Conforti y Totty, 2007).

El crecimiento de microorganismos en la superficie de productos cortados es una de las principales causas de su deterioro, pudiendo ser evitado mediante el uso de agentes antimicrobianos. Entre los principales agentes antimicrobianos incorporados en recubrimientos comestibles se encuentran sorbatos, ácidos y más recientemente aceites esenciales (Hernández-Muñoz y col., 2008).

Además de compuestos antimicrobianos y antioxidantes, los recubrimientos comestibles también pueden incorporar agentes estabilizantes de la textura, imprescindibles para el mantenimiento de la calidad de productos frescos cortados. Las sales cálcicas se emplean frecuentemente en frutas frescas cortadas con la finalidad de frenar fenómenos de pérdida de firmeza. En efecto, uno de los compuestos más usados es el cloruro cálcico, el cual puede añadirse al recubrimiento para mantener la textura inicial de las frutas, mejorando su calidad durante el almacenamiento (Rojas-Graü, 2006).

1.3.2 Propiedades de los recubrimientos comestibles

Las propiedades físicas y químicas de los recubrimientos comestibles son afectadas por la estructura del polímero, plastificante o solvente y otros factores relacionados con la disolución del recubrimiento (Rojas-Graü, 2006).

1.3.2.1 Propiedades de barrera

Son aquellas propiedades de los recubrimientos que sirven como barrera de resistencia a la migración de la humedad, oxígeno, sabor, aroma ya que tienen como función proteger del medio ambiente al alimento. La deshidratación superficial constituye uno de los principales

problemas en el mantenimiento de la vida útil de los productos cortados. La pérdida de agua de frutas y vegetales frescos cortados se traduce en una pérdida de peso del producto con la consecuente disminución de la calidad durante su comercialización. La naturaleza de los recubrimientos empleados desempeñan un papel muy importante: a mayor hidrofobicidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua (Aplicación de los recubrimientos comestibles, 2010). Los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales, tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelano, carragenano, etc.), así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica (Pérez-Gago y col., 2006).

Para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de este tipo de recubrimientos se pueden incorporar lípidos, que emulsificados en la solución formadora de coberturas o formando una doble capa sobre el producto, pueden ayudar a prevenir reacciones degradativas del tejido como consecuencia de la pérdida de humedad, así como las reacciones respiratorias en los tejidos vegetales. De esta manera se pueden formular coberturas comestibles combinando las ventajas de los componentes hidrocoloides y de los componentes lipídicos, estos últimos como barrera al vapor de agua y los primeros como barrera selectiva al oxígeno y al dióxido de carbono, además de proveer una matriz de soporte estructural. Por otro lado tienen la habilidad para modificar el transporte de gases, ya que es importante para productos como frutas y vegetales frescos, los cuales son caracterizados por tener un metabolismo activo. Aplicados a productos que respiran deben permitir una correcta modificación del entorno gaseoso dentro del envase (Rojas-Graü, 2006).

Los recubrimientos con buenas propiedades de barrera a los gases pueden dar origen a la respiración anaeróbica e interferir con el proceso normal de maduración. Las coberturas deben permitir el paso de cierta cantidad de oxígeno a través del recubrimiento con el fin de evitar condiciones anaeróbicas y sus negativas consecuencias (Carneiro-da-Cunhay col., 2009).

1.3.2.2 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles están relacionadas con las características organolépticas, manipulación del alimento y que dependen en gran medida del tipo de material empleado en su elaboración y especialmente de su grado de cohesión, es decir, la habilidad del polímero para formar puentes moleculares y estables entre cadenas poliméricas, los cuales impiden su separación (Guilbert y Biquet, 1996). Por lo tanto, la elección de las sustancias a emplear y/o aditivos activos a añadir están totalmente relacionadas con la función para la cual se desea utilizar la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el método de aplicación (Debeaufort y col., 1998).

1.3.2.3 Transporte de aditivos

Al utilizar recubrimientos comestibles en frutas mínimamente procesadas constituye la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento ya que por ejemplo, el enriquecimiento de los recubrimientos comestibles con aditivos funcionales permite mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento (Guilbert y Biquet, 1996).

1.3.3 Aplicación de recubrimientos comestibles en frutas

Los recubrimientos comestibles tienen la función de proteger a los alimentos desde el momento en que se aplican hasta que llegan al consumidor; por ello es que se ha estudiado la aplicación de este tipo de recubrimientos en frutas como las manzanas, fresas, mangos, tomates, kiwis etc. basados en polisacáridos utilizándolos para aumentar la vida útil de frutas, verduras y otros productos evitando o reduciendo significativamente la deshidratación, rancidez oxidativa y el oscurecimiento de la superficie (Rojas-Graü, 2006). A continuación en la Tabla 4 se presentan algunos recubrimientos que utilizaron diferentes autores para recubrir frutos:

Tabla 4. Ejemplos de Recubrimientos

Fruto	Recubrimiento	Función	Autor
Manzana <i>Annurca</i>	Trehalosa	O ₂ y H ₂ O de barrera Reducción de la enzima polifenoloxidasas.	Albanese y col., 2007
Manzana <i>Fuji</i>	Carragenina	O ₂ y H ₂ O de barrera. Mejorar calidad sensorial	Lee y col., 2003
Manzana <i>Fuji</i>	L-Ac. Ascórbico Metabisulfito de sodio	O ₂ y H ₂ O de barrera. Mejorar calidad sensorial	Cortez-Vega y col., 2008
Manzana <i>Golden Delicious</i>	Proteína de suero (WPI) Cera de abeja (BW)	O ₂ de barrera. Reducción de peso.	Pérez-Gago y col., 2003
Manzana <i>Golden Delicious</i>	Ac. Ascórbico Ac. Cítrico Cloruro de Calcio	O ₂ y H ₂ O de barrera. Aumento de firmeza y contenido de sólidos solubles.	Rocculi y col., 2004
Manzana <i>Red Delicious</i>	β -cyclodextrin (β -CD) 4-Hexilresorcinol (HR) Metil-jasmonato (MJ)	O ₂ y H ₂ O de barrera.	Álvarez-Parrila y col., 2007
Manzana <i>Slices</i>	Ac. Oxálico Ac. Oxalacético Ac. Ascórbico Cisteína	O ₂ y H ₂ O de barrera.	Son y col., 2001

1.3.4 Reactivos utilizados en recubrimientos comestibles

1.3.4.1 Cloruro de Calcio

Es un compuesto químico inorgánico, mineral utilizado como eliminador de agua en alimentos actualmente ya que los iones de calcio actúa como cofactor en muchas reacciones

enzimáticas y actualmente como recubrimiento comestible es suave, flexible, transparente y con un ligero sabor a sal (Aplicación de los recubrimientos comestibles, 2010).

1.3.4.2 Ácido Ascórbico

Se obtiene de forma natural de frutas cítricas y vegetales de hoja verde, además de muchas frutas y vegetales en conserva, también se obtiene de forma sintética por una serie de procesos químicos. Sirve como un buen conservador de alimentos, antioxidante, productos industrializados, misceláneos y embutidos; además que es soluble en agua (Dirección general de organización de consumidores, 2011).

1.3.4.3 Vitamina E

La vitamina E pertenece al grupo de los antioxidantes liposolubles, se presenta en forma de tocoferoles y tocotrienoles. La forma de α - tocoferol es la estructura que predomina en los alimentos de origen vegetal. La reacción predominante para que el α -tocoferol tenga actividad antioxidante es la donación de un átomo de hidrogeno, donde se forma un radical tocoferoxilo. La vitamina E previene y controla reacciones de oxidación en los tejidos (lípidos, proteínas, ADN, etc.) (Robles-Sánchez y col., 2007).

1.3.4.4 DI- α -Tocoferol Polietilen Glicol 1000 Succinato (TPGS)

Es un derivado de la vitamina E soluble en agua, se prepara por la esterificación del grupo del succinato ácido cristalino ácido- α -Tocoferol por Polietilen Glicol 1000. Además de ser capaz de mejorar la biodisponibilidad oral de la vitamina E, tiene una aplicación como potenciador con la capacidad de aumentar la absorción a través de la pared intestinal. Entre algunas de sus funciones más importantes es un vehículo de emulsiones y protege a los fármacos durante el proceso de absorción (Hong y Hopkins, 1999).

1.3.4.5 Goma Xantana

Este tipo de goma es producida por la fermentación de carbohidratos con la bacteria *Xantomonas campestri*. Está constituida por una estructura básica celulósica con ramificaciones de trisacáridos, es un agente espesante. Es completamente soluble en agua fría o caliente y produce elevadas viscosidades en bajas concentraciones, además de poseer una excelente estabilidad al calor y pH, pues la viscosidad de sus soluciones no cambia entre 0 y 100°C, tiene la capacidad de estabilizar suspensiones y emulsiones (Pasquel, 2001).

1.4 NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología es un conjunto de técnicas que permiten la manipulación directa y la reconstrucción del mundo a nivel de átomos y moléculas ya que se refiere a los materiales, estructuras y sistemas que operan a una escala de 100 nanómetros o menos (Scrinis y Lyons, 2007).

En las nanopartículas (sólidos coloidales entre 10^{-8} y 10^{-7} m) se pueden diferenciar dos grandes grupos: las nanoesferas y las nanocápsulas, las cuales difieren principalmente en su constitución, ya que mientras que las nanoesferas están formadas de una densa matriz polimérica, las nanocápsulas se componen de una membrana polimérica que recubre un centro líquido oleoso. (Chaves y col., 2002).

Las potencialidades de la aplicación de la nanotecnología en la conservación de los alimentos han sido analizados; además si se considera que las propiedades de muchos alimentos son determinadas por su estructura a nanoescala, la habilidad para controlar las propiedades de soluciones, dispersiones, emulsiones, geles y otros nanomateriales pueden tener una contribución genética para la elaboración de alimentos saludables a la vez de mejorar el envasado de alimentos (Foladori e Invernizzi, 2008). La nanotecnología puede ser de gran importancia en forma de nanocápsulas a diferentes áreas como son: desarrollo de materiales, procesamiento, desarrollo de productos y los métodos e instrumentos para

mejorar la inocuidad de los alimentos, este tipo de tecnología tiene como objetivo examinar los factores que pueden influir en la aceptación de productos para así mejorar y crear nuevas técnicas aplicadas a diferentes alimentos mejorando su aspecto, características tanto físicas como químicas, sabor, color etc. garantizando una buena calidad, salud y seguridad para el consumidor (Chun, 2009).

1.4.1 Nanocápsulas

Las nanocápsulas se definen como sistemas coloidales de talla submicrónica que al reducir el tamaño de partícula (250-500 nm) como se muestra en la Figura 3, incrementan su área superficial con cambios en sus propiedades que son benéficos para el transporte de sustancias activas y su liberación en diferentes sistemas que se encuentran rodeados por una membrana polimérica, (Mora-Huertas y col., 2010; Sozer y Kokini, 2009).

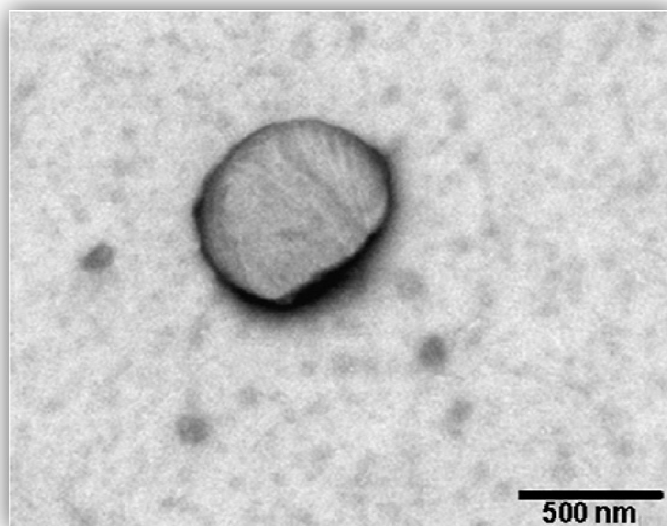


Figura 3. Nanocápsulas de Aceite

Fuente: CSIC 2009

Las características más importantes de las nanocápsulas son su tamaño, la eficiencia de encapsulación y su carga superficial (potencial zeta); ya que de estas características depende su eficiencia sobre el alimento (Llabot y col., 2008). En la Tabla 5 se observan los métodos de obtención de nanocápsulas:

Tabla 5. Métodos de obtención de Nanocápsulas

Métodos	Descripción
<i>Polimerización Interfacial</i>	Involucra una reacción de polimerización que ocurre en la interface entre los nanoglóbulos de aceite que contienen la sustancia activa y una fase acuosa
<i>Desplazamiento de solvente</i>	Consiste en disolver una fase oleosa y el polímero de recubrimiento en un solvente polar. Esta fase se vierte a una fase acuosa bajo agitación magnética, formándose las nanocápsulas debido a la rápida difusión de la fase orgánica en la acuosa, lo que provoca una emulsificación espontánea. La subsecuente agregación del polímero sobre las nanogotas de aceite provocará la formación del sistema vesicular
<i>Emulsificación Difusión</i>	Es un proceso en el que se forma una emulsión aceite/ agua entre un solvente parcialmente soluble en agua (el cual a sido previamente saturado y contiene disuelto al polímero y sustancia activa), y una fase acuosa saturada del solvente generalmente con uno o varios estabilizantes. La adición de agua a la emulsión provoca el rompimiento del equilibrio y la salida del solvente a la fase continua con la subsecuente agregación del polímero sobre el aceite en forma de nanocápsulas

(Chaves y col., 2002).

1.4.2 Nanoemulsión

Son dispersiones finas de aceite en agua con un tamaño de 100 a 600 nm. Debido a su tamaño de partícula son adecuadas para la presentación eficiente de ingredientes activos a través de la piel con esto aumenta la penetración de los activos y posee una gran estabilidad frente a la sedimentación (Solans y col., 2005).

1.4.3 Sistemas coloidales

Son sistemas formados por partículas de tamaños entre 1 nanómetro y 1 micrómetro normalmente se encuentran formando una disolución en un medio con partículas de tamaño más pequeño. El estudio de los coloides es importante porque es necesario entender a nivel molecular su comportamiento físico y químico. Para formar un coloide hay que

estabilizarlo; para que las partículas no se peguen unas con otras (coagulen o flocculen) y el coloide se mantenga estable. La estabilización se puede realizar de dos maneras, que dan lugar a los dos tipos de coloides: coloides estabilizados por carga y coloides estabilizados entrópicamente (o estéricamente). Este mecanismo de estabilización de coloides involucra la presencia de moléculas poliméricas (liofílicas), que se adsorben sobre la superficie de las partículas coloidales y que evitan que éstas flocculen. Los sistemas coloidales poseen al menos dos fases, una de ellas finamente dividida en pequeñas partículas (fase dispersa o fase discontinua) rodeada completamente por la otra fase (fase dispersante, medio de dispersión o fase continua) (Sistemas coloidales, 1998; Química de los coloides, 2010).

1.4.3.1 Estabilidad de los sistemas coloidales

Es muy grande y difiere según se trate de los coloides hidrófobos o hidrófilos. El comportamiento de los coloides hidrófilos e hidrófobos es muy distinta, dependiendo de diferentes variables como ser: viscosidad, tensión superficial y estabilidad de cada uno de ellos. Si el medio de dispersión es agua, como es en la mayoría de los casos, se les llama hidrófobos cuando hay repulsión por el agua e hidrófilos cuando hay atracción por el agua (Química de los coloides, 2010).

La estabilidad de los hidrófobos depende de la carga eléctrica de sus micelas, que siendo de un mismo signo para cada clase de coloides se mantienen en solución mediante un proceso de repulsión continua; la estabilidad de los hidrófilos depende del grado de hidratación de sus micelas (Textos científicos, 2005).

1.4.3.2 Potencial zeta (ξ)

La estabilidad de un coloide está relacionada con el potencial zeta del sistema. El potencial zeta es una propiedad física que se presenta por cualquier partícula en suspensión, el conocimiento del potencial zeta puede reducir el tiempo necesario para producir formulaciones ya que también ayuda en la predicción de la estabilidad a largo plazo. Este potencial da una indicación de la estabilidad de los sistemas coloidales si todas las

partículas en suspensión tienen un gran potencial zeta negativo o positivo entonces tenderá a repelerse entre sí y no habrá tendencia a flocular (Schramm, 2005).

1.4.3.3 Tamaño de partícula

Hay parámetros relacionados con el tamaño y forma de las partículas: estabilidad del medicamento, sabor, color, absorción, velocidad de disolución, uniformidad de contenido de la forma. Es necesario también realizar estudios de granulometría del polvo y clasificaremos las partículas según su tamaño, esto se realizará para todos los componentes sobre todo para las formas sólidas orales (comprimidos y cápsulas). La reactividad de estos polvos viene dada por la superficie específica, a menor tamaño de partícula mayor superficie, mayor velocidad de disolución, mayor absorción es decir aumenta la reactividad del polvo. La distribución está muy relacionada con el tamaño, al disminuir el tamaño aumentamos la biodisponibilidad, ya que aumenta la velocidad de disolución que es factor limitativo con lo que aumenta la absorción (El ergonomista, 2005).

1.4.3.4 Índice de Polidispersión

El índice de polidispersidad o polidispersión nos da una idea de la diversidad de moléculas existentes en una mezcla, cuando el índice es igual a 1, todas las moléculas son de un mismo tipo y se dice entonces que la mezcla es monodispersa. La polidispersión en mezclas granulares es de suma importancia debido a que, en materiales polidispersos sujetos a movimientos oscilatorios verticales, suelen aparecer fenómenos de segregación de partículas en los que éstas se separan por tamaños (Schramm, 2005).

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

Objetivo General

Comparar el efecto que tiene la aplicación de recubrimientos de nanocápsulas soportadas en goma xantana con α tocoferol con respecto a otros sistemas en manzanas *Red Delicious* mediante una evaluación sensorial y cambios de color.

Objetivos Particulares

1. Evaluar la estabilidad de los sistemas coloidales con α -tocoferol durante 8 semanas de almacenamiento, mediante el análisis de los cambios en tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta que garantice una aplicación uniforme en los recubrimientos desarrollados.
2. Evaluar el efecto de la forma de dispersión de sistemas con α -tocoferol sobre los cambios sensoriales en rebanadas de manzana *Red Delicious* durante el almacenamiento refrigerado para inferir sobre su calidad sensorial y vida útil.
3. Determinar los cambios de color por efecto del tratamiento con nanocápsulas respecto a los demás sistemas con α -tocoferol para delimitar el efecto de los tratamientos sobre la luminosidad y valores de coordenadas cromáticas en el eje de las abscisas (rojo-verde), a positivo (rojo) y a negativo (verde).

2.2 Materiales y reactivos

Para la preparación de los sistemas se utilizaron los siguientes reactivos: Poly- ϵ -Capro Lactona (PCL) con un peso molecular de $\approx 80,000$ ($\rho=1.147 \text{ g/cm}^3$ a 25°C) de Sigma-Aldrich®; El estabilizante no iónico: poly (vynil) alcohol, poloxamero-407 (F-127) BASF (México) utilizados en la formulación de nanocápsulas, span 80 y tween 80 grado alimenticio, marca ICI-Surfactantes con la finalidad de obtener un balance hidrofílico lipofílico > 6 en la preparación de la emulsión y la nanoemulsión, Acetato de dl- α -tocoferol (98%) marca Sigma, dl- α -tocoferol Polietilen Glicol Succinato 1000 (TPGS) grado alimenticio, marca Eastman. El disolvente parcialmente miscible en agua fue acetato de etilo (grado analítico) de Fermont (México); seleccionado debido a su baja toxicidad para la preparación de las nanocápsulas. El agua destilada fue calidad Milli-Q (Millipore®, USA-Bedford, MD), goma xantana (Sigma Aldrich) fue utilizada como matriz continua del recubrimiento y propilenglicol (99%) marca (Sigma) como plastificante, cloruro de calcio (CaCl_2) y Cloruro de benzalconio.

2.3 Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

Se utilizó una cámara de refrigeración con volumen total de 20m^3 . Previo a la caracterización de la cámara se llevó a cabo la limpieza y sanitización; utilizando Cloruro de benzalconio al 50% para evitar la reproducción de microorganismos durante el periodo de almacenamiento en la experimentación. La caracterización y ajuste de la cámara de refrigeración a las condiciones de almacenamiento se llevó a cabo utilizando un sistema de adquisición de temperatura Mod. EL-USB-TC-Thermocouple Data Logger Marca Lascar electronics con termopar tipo K.

2.4 Material biológico

Se utilizó un lote de 30 Kg de manzanas de la variedad “Red Delicious” que fue adquirido en la central de abastos de la Ciudad de México. La selección de la materia prima se realizó en base a sus características físicas como son: estado de madurez, forma y tamaño;

eliminando aquellos frutos que presentaran daños y lesiones externas. Previo a su preparación, los frutos se mantuvieron refrigerados a temperatura de 4°C.

2.5 Preparación de la emulsión y nanoemulsión O/W

Emulsión: Se utilizó el método de emulsificación convencional (Kulmyrzaev y col., 2000), que consiste en llevar a cabo la emulsificación por homogenización utilizando como estabilizantes span 80 en la fase continua, tween 80 y 2g/L de acetato dl- α -tocoferol en la fase dispersa. La formación de la emulsión se realizó utilizando un sistema de dispersión de velocidad variable (2,000 rpm) llevando a cabo el mezclado durante 5 minutos.

Nanoemulsión: Se realizaron los pasos de la emulsión y una vez que se obtuvo mediante el método de emulsificación convencional, se sometió a 5 ciclos de 5 minutos con descansos entre cada arranque y paro de ciclo, a una velocidad de 10,000 rpm con la ayuda de un dispersor (Ultra turrax modelo T50 de IKA USA).

2.6 Preparación de Nanocápsulas

Se prepararon por el método de emulsificación-difusión (Quintanar-Guerrero y col., 1996), de acuerdo con la optimización realizada por Zambrano-Zaragoza y col. (2011). En la fase orgánica saturada con agua se solubilizaron la poly- ϵ -caprolactona y el dl- α -tocoferol (2g/L), en la fase acuosa saturada con disolvente se colocó el estabilizante (50 g/L); durante 10 min a 4000 rpm para finalmente llevar a cabo el proceso de difusión adicionando un exceso de agua con lo que se induce la salida del disolvente a la fase continua, logrando con ello la formación de las nanocápsulas; una vez formadas, el disolvente se eliminó mediante evaporación en un rota vapor a 30°C y vacío de 70 cm de Hg.

2.7 Preparación de goma xantana

La dispersión de la goma xantana, se realizó utilizando un agitador de velocidad variable y propela de agitación tipo turbina a 2000 rpm adicionándose 3 g/L de goma xantana con 5

g/L de plastificante. Esta dispersión se utilizó como matriz continua en la emulsión, nanoemulsión y nanocápsulas de dl- α -tocoferol.

2.8 Estabilidad de las dispersiones coloidales

Se determinó el tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta a los siguientes sistemas: emulsión, nanoemulsión y nanocápsulas con dl- α -tocoferol sin goma xantana y a los mismos sistemas pero con goma xantana los cuales fueron evaluados durante 8 semanas de almacenamiento con la finalidad de tener referencia de las características de los sistemas formados, así como su estabilidad; para ello se utilizó un sistema de dispersión láser Nano Sizer marca Malvern Instruments® versión 5.02.

2.9 Aplicación de los recubrimientos

Una vez preparados los diferentes sistemas, se procedió a recubrir las manzanas “Red Delicious” las cuales primero fueron lavadas con agua y jabón, después desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio a 70 ppm durante 3 min., después se descorazonaron como se observa en la Figura 4 cortadas en 8 gajos y se sumergieron durante 2 minutos en una solución de CaCl_2 al 1% para posteriormente dejarlas escurrir durante 1 min.



Figura 4. Preparación de muestras de manzana

Posteriormente se recubrieron de acuerdo al tratamiento mostrado en la Tabla 6. Una vez recubiertos se escurrieron durante 30 minutos y finalmente fueron colocados en envases de PS (poliestireno) con una masa promedio de 85g como se muestra en la Figura 5 y refrigerados a 4°C.

Tabla 6. Tratamientos

Tratamiento	Abreviatura	CaCl ₂	Recubrimiento
Cloruro de Calcio	CC	2 min	NO
Solución de Ac. Ascórbico	AA	2 min	3 min
Solución de TPGS	TPGS	2 min	3 min
Goma Xantana	GX	2 min	3 min
Emulsión con dl- α -tocoferol	E+GX	2 min	3 min
Nanoemulsión con dl- α -tocoferol	NE+GX	2 min	3 min
Nanocápsulas con dl- α -tocoferol	NCS+GX	2 min	3 min



Figura 5. Muestra recubierta con CaCl₂

En la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración de manzana mínimamente procesada.

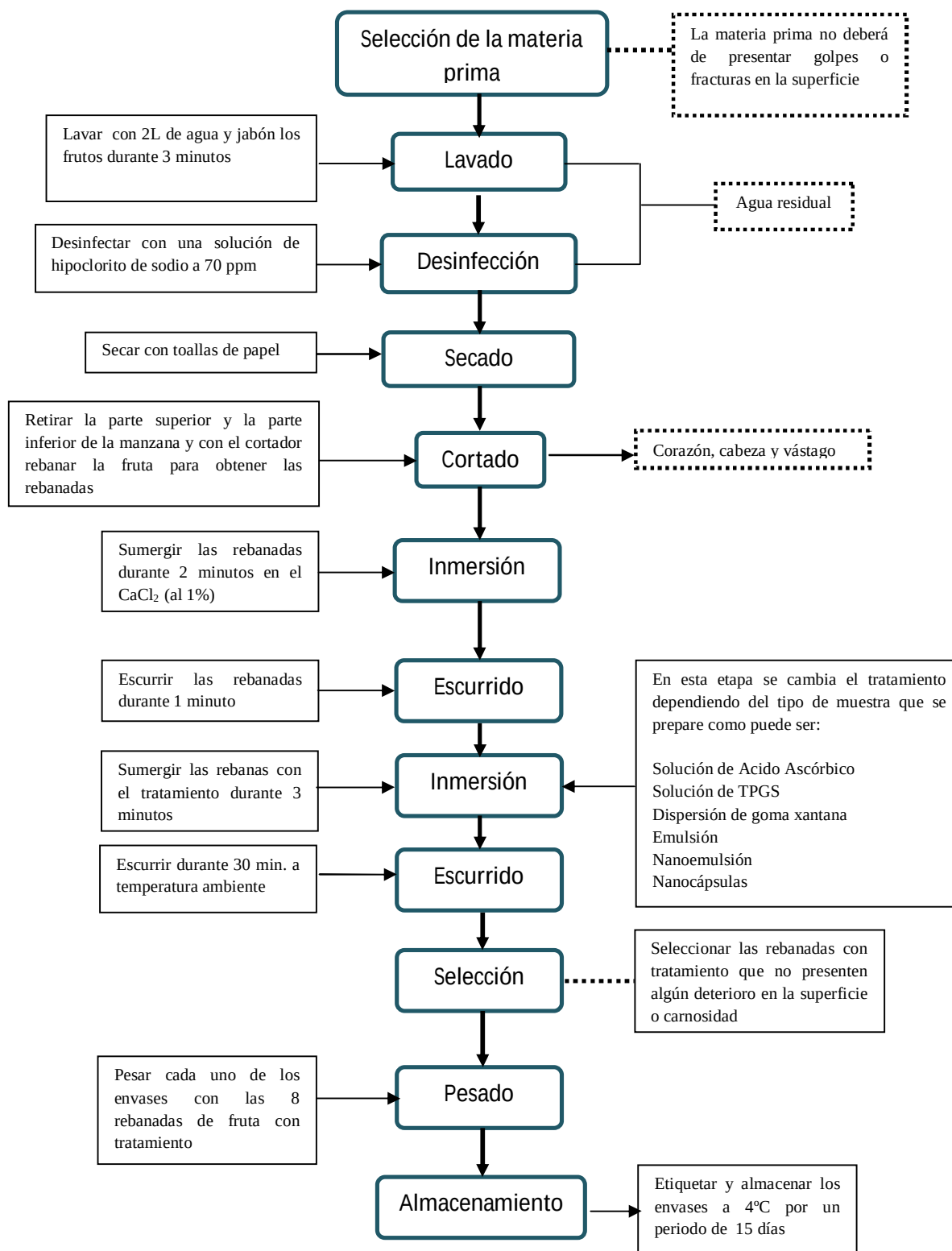


Figura 6. Diagrama de bloques para la elaboración de manzana *Red Delicious* mínimamente procesada

2.10 Pérdida Fisiológica de peso de las manzanas

Se llevó a cabo un control con respecto al peso de cada uno de los envases con tratamiento tanto al inicio como al final de la experimentación, para observar el porcentaje de pérdida de peso de cada uno de los sistemas como menciona Márquez y col. (2009). Se determinó gravimétricamente con una balanza analítica, utilizando la siguiente ecuación y se expresó como porcentaje de pérdida de peso:

$$\%PFP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100 \text{ (expresado en g)} \quad (1)$$

Donde:

$\%PFP$ = Porcentaje de perdida Fisiológica de Peso

P_i = peso inicial

P_f = peso final

2.11 Determinación de color

La determinación de los datos de color se obtuvieron mediante la toma de lecturas por encima del envase a tres gajos por vaso de cada sistema con 5 rebanadas recubiertas de los diferentes tratamientos, marcando tres puntos fijos en los que se tomaron las lecturas durante el periodo de almacenamiento.

Para determinar el color se utilizó un colorímetro Minolta CR-300 como el que se muestra en la Figura 7, a 2° del observador e iluminante D65 determinando los cambios en L^* (luminosidad), a^* (tono=coordenada cromática en el eje de las abscisas rojo (a^+),verde(a^-)) y b^* (saturación=coordenada cromática en el eje de las ordenas amarillo (b^+),azul(b^-)); cada tercer día por un período de 15 días a una temperatura de 4°C.



Figura 7. Colorímetro Minolta CR-300

Para obtener la diferencia de L y a como menciona Son y col., (2001) se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\Delta L = (L_i - L_c) \quad (2)$$

Donde:

ΔL = Diferencia de Luminosidad

L_i = Luminosidad del día inicial

L_c = Luminosidad del día correspondiente

$$\Delta a = (a_i - a_c) \quad (3)$$

Donde:

Δa = Diferencia de valor de "a"

a_i = valor de a del día inicial

a_c = valor de a del día correspondiente

2.12 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se realizó mediante una prueba descriptiva, empleando escalas de intervalos numéricos, en la cual se calificaron las características organolépticas que fueron: color, olor, sabor y la textura de las rebanadas de manzana Red Delicious recubiertas con los siete diferentes tratamientos a temperatura de 4°C como se observa en la Figura 8, utilizando como jueces a 10 personas catadoras semientrenadas realizando las encuestas cada tercer día; por un periodo de 15 días.



Figura 8. Evaluación sensorial

A continuación en la Figura 9 se muestra el tipo de encuesta que se aplicó a los evaluadores utilizando una escala con valores de 0 (como el valor mínimo) a 10 (como el valor máximo) como referencia para que se evaluaran las diferencias entre cada una de las muestras con los diferentes tipos de recubrimiento.

El análisis de resultados se hará con un análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia del 0.05%.

Evaluación Sensorial de Manzana Red Delicious

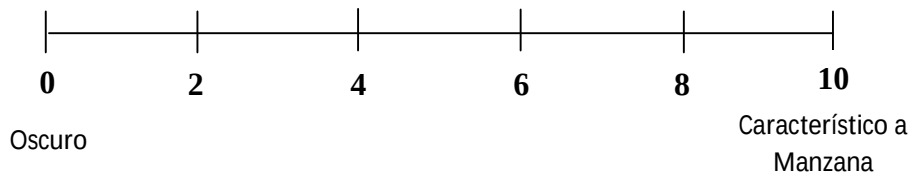
Nombre: _____

Fecha: _____

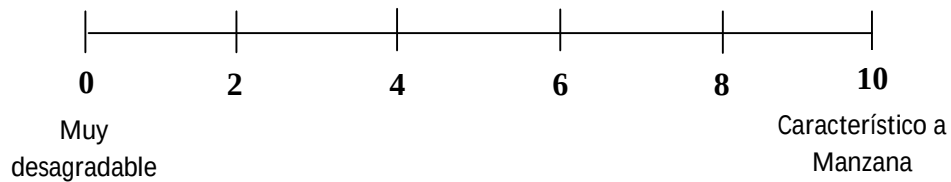
Instrucciones: Por favor observe primero la muestra y evalúe las siguientes características e indique con una X sobre la escala, la calificación que represente su evaluación.

Muestra 75

Color

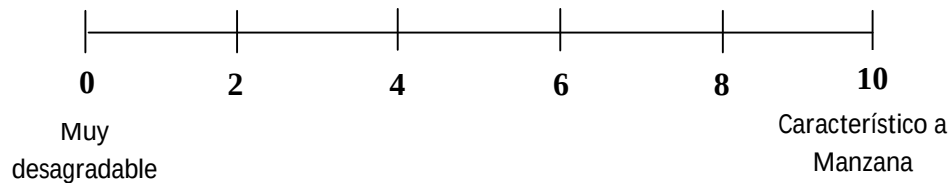


Olor



Ahora prueba un poco de muestra e indica con una X sobre la escala la calificación que represente su evaluación:

Sabor



Textura

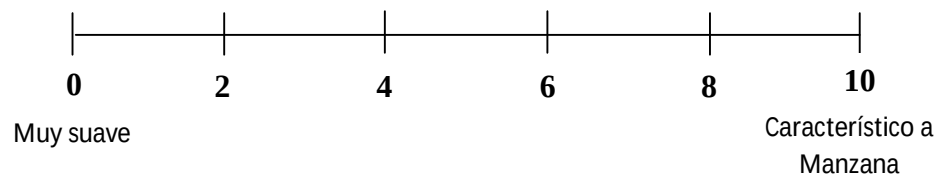


Figura 9. Formato de Evaluación sensorial

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Tamaño de partícula, índice de polidispersión y potencial zeta (ζ)

En la Figura 10 se presentan los datos representativos de las variaciones del tamaño de partícula durante las 8 semanas de almacenamiento a 4°C, observándose que la mayor talla de partícula la presentaron las muestras de emulsión con y sin goma xantana de entre 400 a 800 nm, no existiendo diferencia significativa en el tamaño de partícula de los sistemas de talla nanométrica durante el periodo de almacenamiento con tamaños de partícula que van de los 150 a 239 nm.

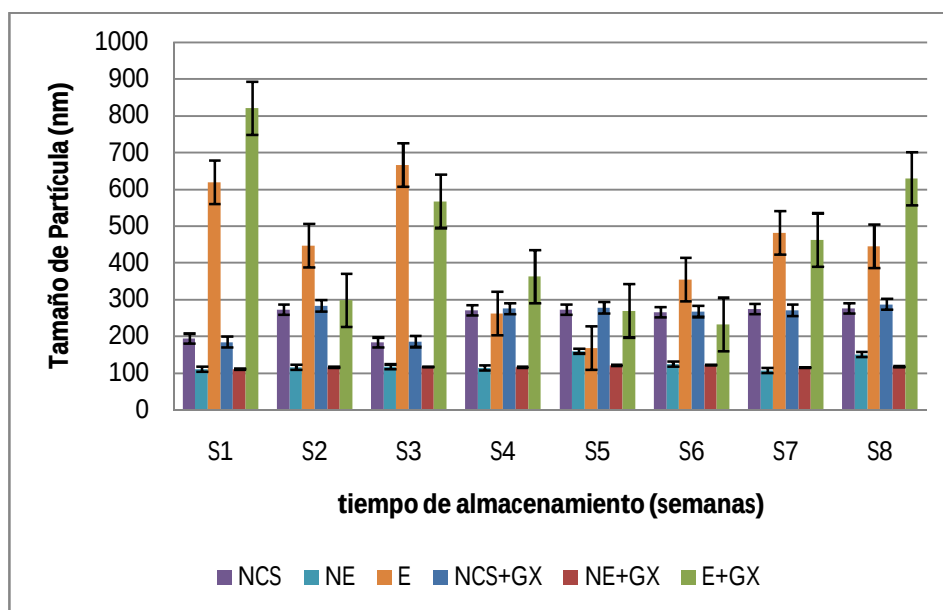


Figura 10. Cambios en Tamaño de partícula de los sistemas

Estos resultados se correlacionan con los presentados por Relkin y col., (2008) quienes reportaron que los tamaños de partícula dependiendo de las condiciones de preparación variaban entre los 120 y los 800 nm, lo que coincide con los tamaños obtenidos para las nanoemulsiones preparadas.

Por otro lado Khoee y Yaghoobian (2009) quienes trabajaron con span y tween como surfactantes al elaborar nanoemulsiones de Penicilina G. obtuvieron como resultados

tamaños de partícula de 356 nm al utilizar 4% de Span 20, ya que ellos variaron los niveles de surfactantes para observar su efectividad de encapsulación.

Resaltando que en el caso de los sistemas preparados con dl- α -tocoferol, no existieron modificaciones significativas debido a la utilización de goma xantana como polisacárido de recubrimiento a utilizar en la conservación de manzana mínimamente procesada. Los sistemas de talla submicrónica estudiados fueron estables en su distribución de tamaños de partícula durante las 8 semanas de almacenamiento, mostrando ligeros incrementos en el tamaño de partícula después de la tercer semana de almacenamiento sin que fuesen superiores estos incrementos a los 200 nm, permaneciendo prácticamente sin variación durante el resto del periodo de almacenamiento en que fue monitoreada su estabilidad.

En la Figura 11 se muestran los resultados de índice de polidispersión, la emulsión con y sin goma xantana mostraron modificaciones y distribuciones considerables siendo los menos estables reflejado en la amplitud de los tamaños de partícula, considerando que durante el periodo de almacenamiento el índice de polidispersión fue superior a 0.3 habiendo una diferencia significativa, lo que además se corroboraba con la agregación de las partículas que se observó en los contenedores, siendo importante resaltar que los sistemas nanoparticulados fueron estables al almacenamiento, en el caso de nanoemulsiones de β -caroteno Yuan y col. (2008) reportaron estabilidad para las nanoemulsiones formadas, considerando variaciones en la concentración de tween, concluyendo que el tamaño de partícula disminuye con el aumento de la presión de homogeneización, el numero de ciclos y la temperatura.

Para el caso de las nanocápsulas con y sin goma xantana se tuvieron índices de polidispersión menores a 0.3 durante siete semanas de almacenamiento, incrementándose ligeramente para las nanocápsulas con goma xantana a las 8 semanas sin que por ello implique una desestabilización del sistema (0.32). De los sistemas nanoparticulados el que presentó una estabilidad similar a las nanocápsulas fue la nanoemulsión con y sin goma xantana, ya que se mantuvo estable durante las primeras 4 semanas incrementando su

índice de polidispersión a 0.45 en la quinta semana, resaltando que la utilización de goma xantana contribuyó a darle estabilidad al sistema durante el almacenamiento refrigerado.

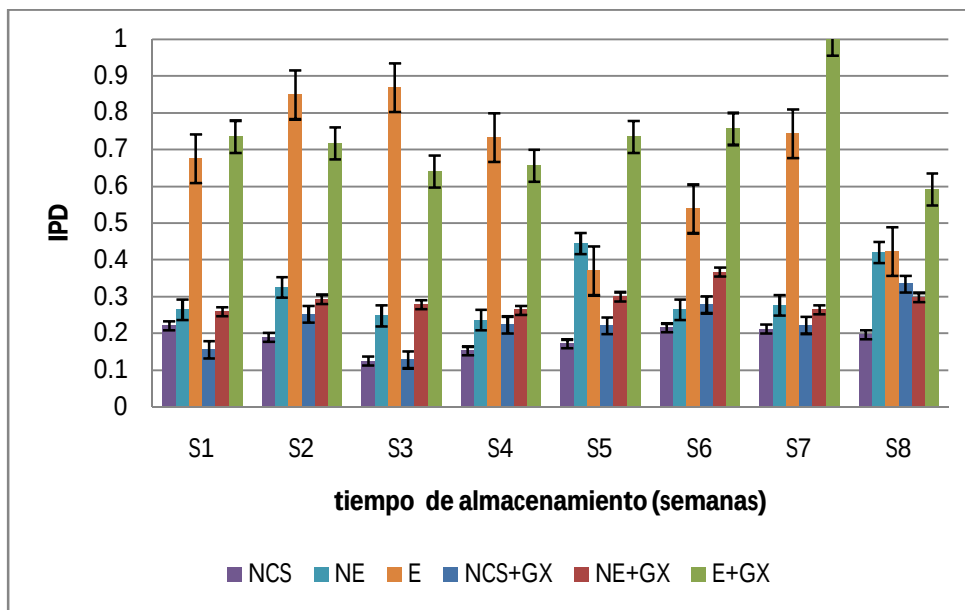


Figura 11. Cambios en Índice de polidispersión de los sistemas

En la Figura 12 se muestran los cambios asociados al potencial zeta durante las 8 semanas de almacenamiento.

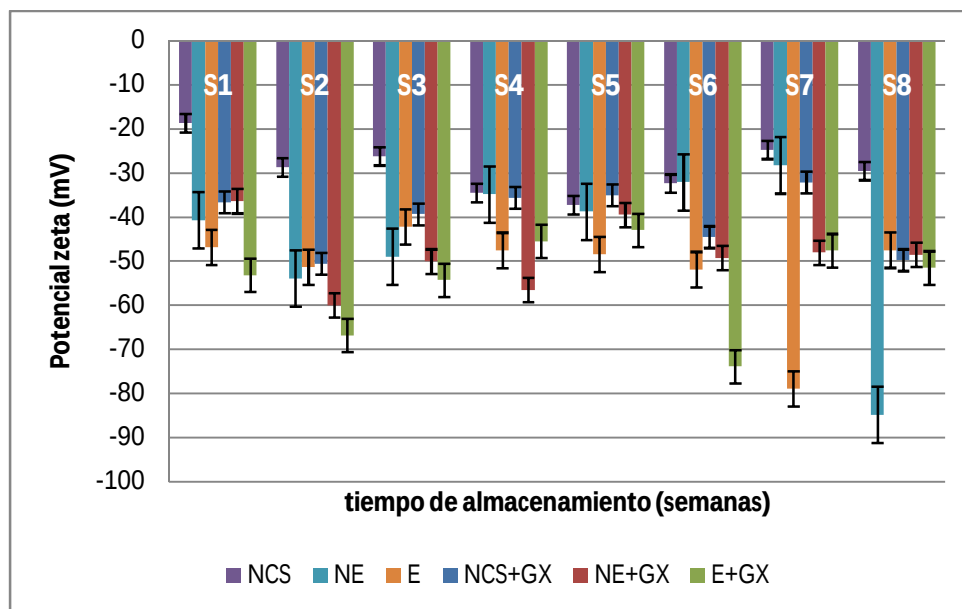


Figura 12. Cambios en el Potencial Z de los sistemas

El Anova con un nivel de significancia de 0.05 mostró que no existió diferencia estadísticamente significativa en la estabilidad de las nanocápsulas durante el tiempo de almacenamiento mientras que la nanoemulsión si mostró diferencia estadística siendo más alta a partir de la octava semana de almacenamiento, sin embargo el valor de índice de polidispersión alcanzado no fue mayor a 0.32. Para el caso de la utilización de pluronic como estabilizante Wulff-Perez y col., (2009) mostraron que las emulsiones preparadas con pluronic F68 fueron estables y que esto se debe a la absorción y concentración del surfactante y al diámetro del tamaño de partícula obtenido.

En las Figuras 13, 14 y 15 se muestran los gráficos de cajas en relación al comportamiento de los sistemas utilizados como recubrimiento, en éstas se comparan los cambios durante el almacenamiento con y sin goma xantana.

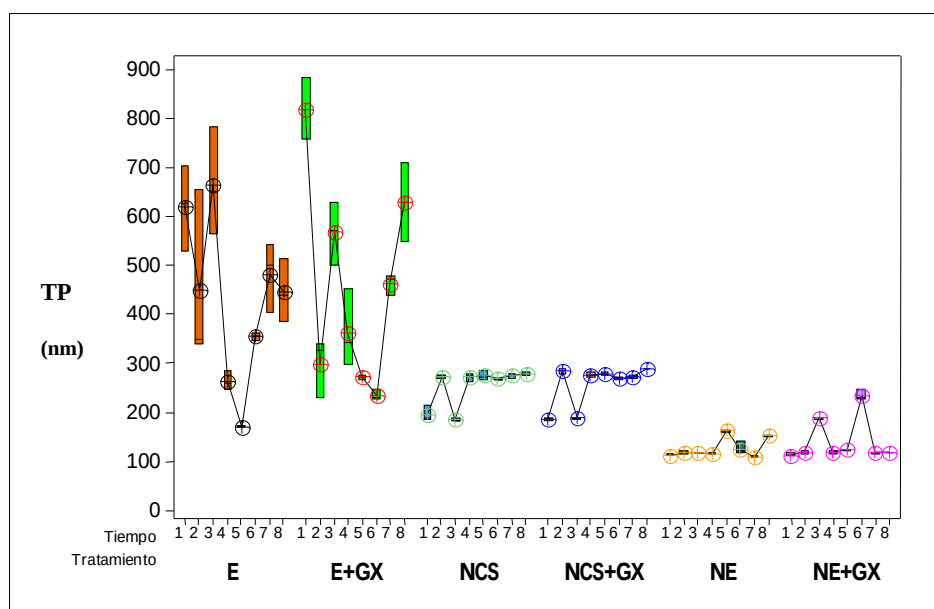


Figura 13. Tamaño de Partícula

Es claro observar que la utilización de goma xantana como polisacárido regulador de la transmisión de gases, no tuvo un efecto significativo sobre la variación en el tamaño de partícula y que en el caso de las nanocápsulas éste permaneció constante y por debajo de los 300 nm durante todo el periodo de almacenamiento. Además es importante resaltar que la goma xantana contribuyó a incrementar la carga de superficie en las nanocápsulas,

favoreciendo con ello a limitar la agregación del sistema y por ende a tener nanocápsulas y sistemas más estables.

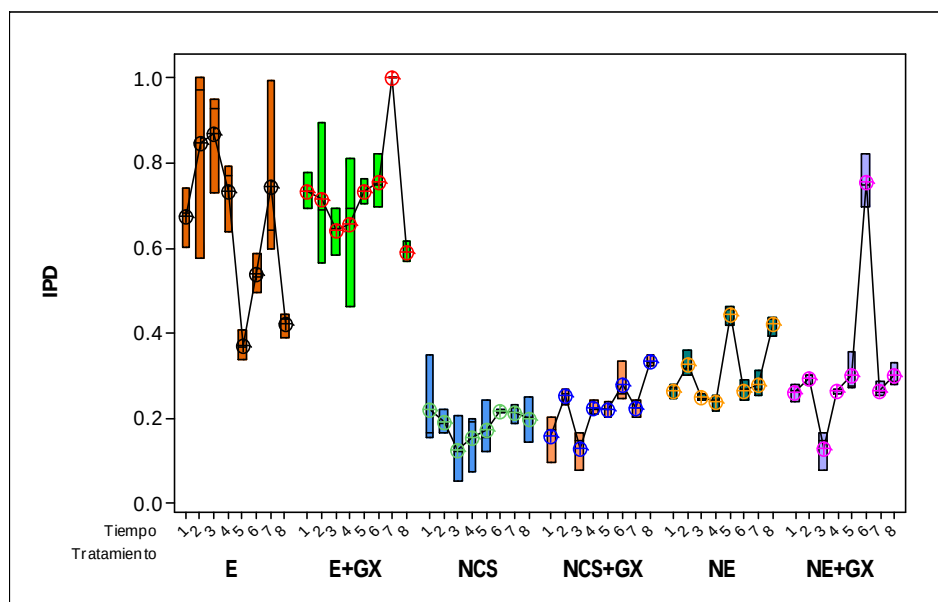


Figura 14. Índice de polidispersión

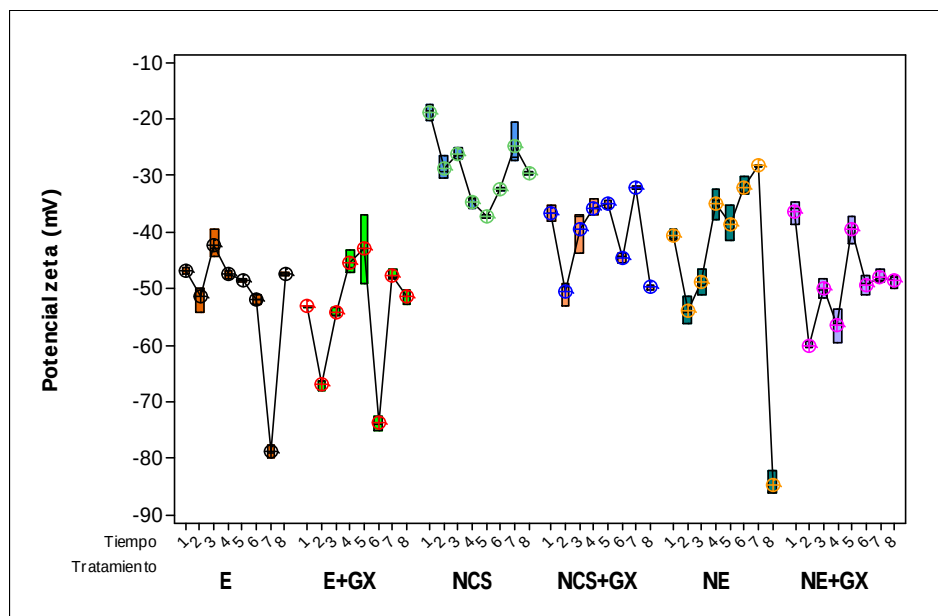


Figura 15. Potencial Z

3.2 Pérdida Fisiológica de peso de las manzanas

En la Figura 16 se observa la pérdida fisiológica de peso que se obtuvo pesando 3 vasos por cada tratamiento y que fue aumentando con el paso del tiempo en cada uno de los tratamientos; por lo que las manzanas recubiertas con CaCl_2 tuvieron un mayor porcentaje de pérdida de peso durante los 15 días de almacenamiento como consecuencia de la transpiración de la fruta, seguidas de las muestras recubiertas con nanoemulsión y ácido ascórbico; debido a que ocurre el fenómeno de ósmosis y la absorción en la manzana no es igual para cada sistema, por lo que la efectividad de los sistemas depende tanto de la barrera de oxígeno que ejercen los recubrimientos así como el paso del tiempo de almacenamiento, las muestras que casi no tuvieron pérdida de peso fueron las muestras de goma xantana seguidas de las que tenían emulsión y nanocápsulas de $\text{dl-}\alpha$ -tocoferol, a pesar de que todos los tratamientos estuvieron a temperatura de 4°C .

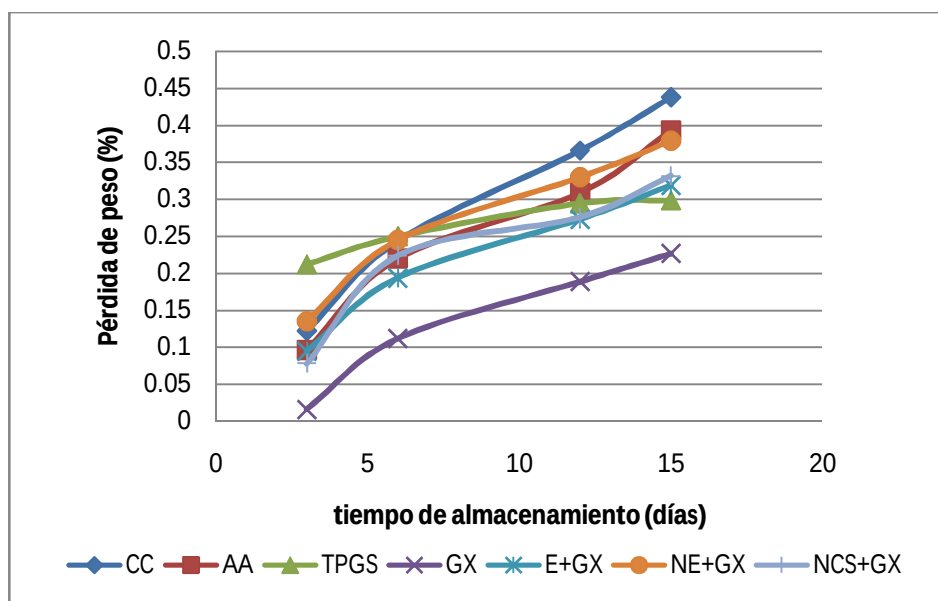


Figura 16. Porcentaje de pérdida de peso

En este sentido, Navarro-Tarazaga y col., (2008) quienes aplicaron recubrimientos de Hidroxi Propil Metil Celulosa (HPMC) en mandarinas almacenadas a 5°C , mostraron que la pérdida de peso se veía incrementada cuando el producto era almacenado en refrigeración sin aplicación de un recubrimiento, por lo que es posible aseverar que el empleo de un

recubrimiento contribuye a disminuir la pérdida de peso, en el caso de este estudio se logró establecer que las muestras sin recubrimiento incrementaban la pérdida de peso y las muestras con recubrimiento mantenían su peso durante el almacenamiento; lo que nos indica que los recubrimientos para frutas mínimamente procesadas si ayudan a conservar y a controlar la pérdida de peso.

3.3 Diferencia de Luminosidad en las manzanas

En la Figura 17 se muestran los cambios en luminosidad durante el periodo de almacenamiento y que fue correlacionada de acuerdo a Son y col., (2001) con la condición inicial de las manzanas sin tratamiento. Se observa que los menores cambios durante el almacenamiento lo mostraron las muestras tratadas con nanocápsulas, mientras que las mayores variaciones en luminosidad lo mostraron las muestras tratadas con goma xantana, esto debido a que al ser aplicada como recubrimiento mostró un incremento en la luminosidad, por la brillantez que da a los frutos la utilización de algunos polisacáridos como recubrimientos mostrando una diferencia estadísticamente significativa.

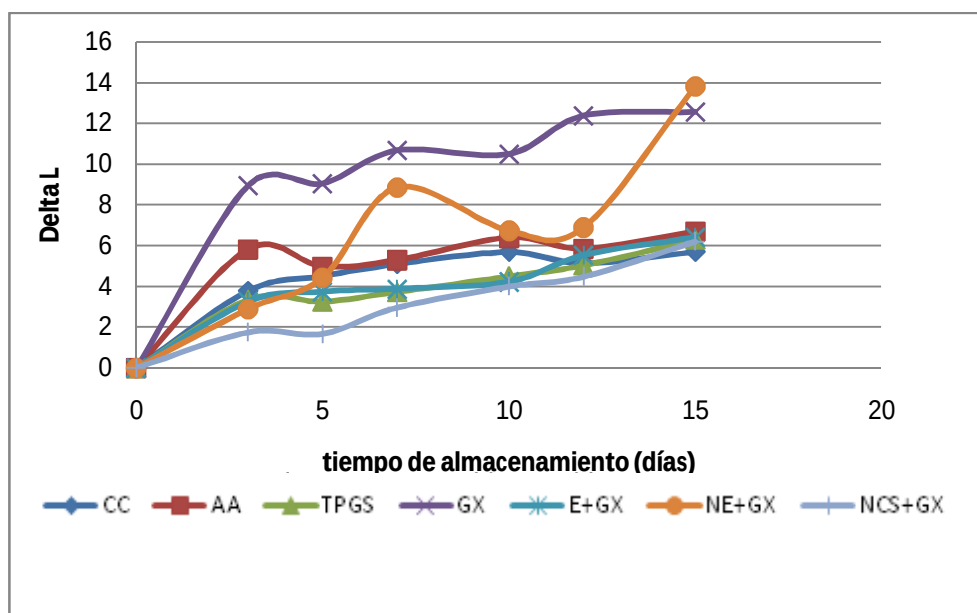


Figura 17. Cambios en luminosidad en función al tratamiento

Respecto a la luminosidad que imparten los recubrimientos Rojas-Graü y col., (2007b) mostraron que al utilizar N-acetilcisteína y plastificantes existía un incremento en la luminosidad al ser aplicada en la superficie de manzanas Fuji, atribuido a su naturaleza hidrofílica, por lo que en el caso de utilizar goma xantana se obtiene un comportamiento similar, sin que por ello implique que sea el sistema más efectivo para incrementar la vida útil de manzana en relación a su efecto antioscurecimiento, ya que sería necesario considerar las variaciones en el parámetro a .

Las muestras tratadas con ácido ascórbico también mostraron diferencias significativas en los valores de delta L; de acuerdo con Ndiaye y col., (2009) el ácido ascórbico contribuye a inhibir la actividad enzimática de los productos, su actividad antioxidante se agota rápidamente, razón por la que es efectiva durante los primeros días de almacenamiento refrigerado como lo muestran las variaciones presentadas relativas a la condición inicial. En la Figura 18 se muestra el cambio total de luminosidad durante el periodo de almacenamiento, mostrándose que las nanocápsulas no mostraron una variación significativa durante el día inicial al día 15 seguidas de las muestras tratadas con solución de TPGS que mostraron las menores variaciones en cuanto a la luminosidad, siendo un parámetro importante en la percepción de la frescura de un fruto.

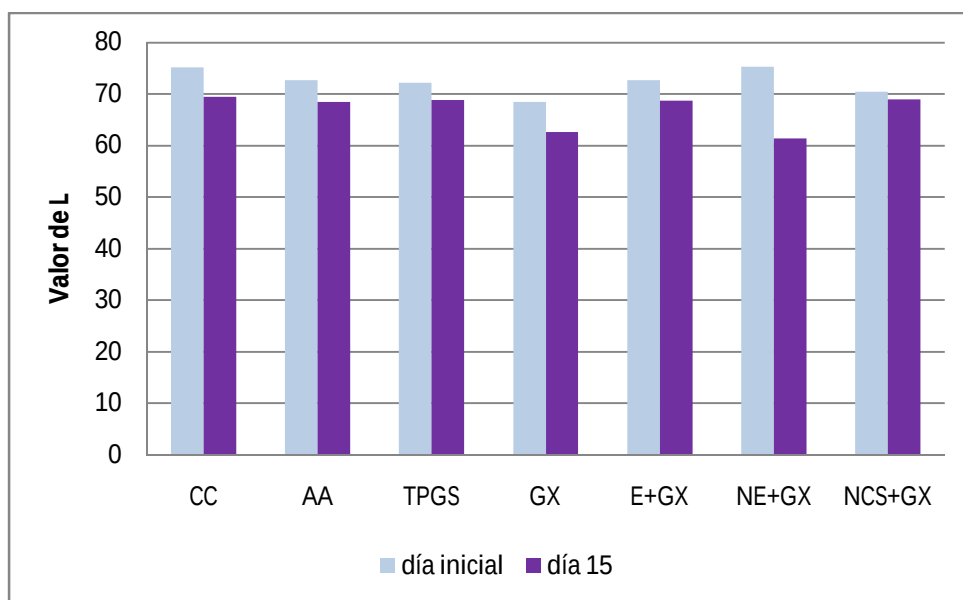


Figura 18. Comparación de luminosidad en el almacenamiento

3.4 Cambios en valores de “a”

En la Figura 19 se observan los cambios en “a”, expresados como las diferencias entre la condición inicial y durante el tiempo de almacenamiento, realizando el cálculo de acuerdo con lo propuesto por Son y col., (2001); estos valores indican las coordenadas cromáticas en el eje de las abscisas que va de rojo-verde, a (+) = rojo y a (-) = verde.

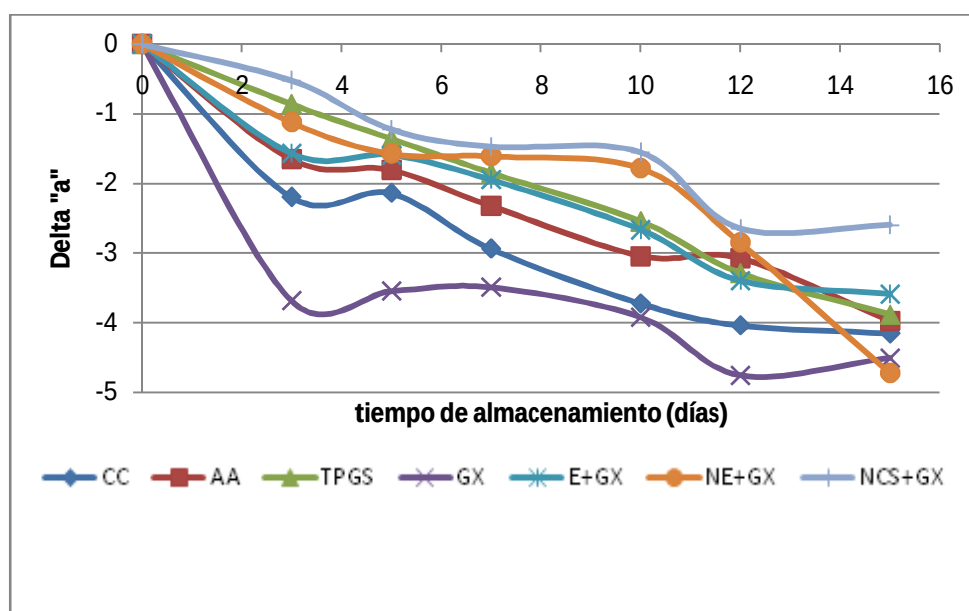


Figura 19. Cambios en “a” por efecto del tratamiento en manzana

Muestra que las mayores diferencias con respecto a la condición inicial ($a \sim -3.02$) indicativo de que existía un oscurecimiento relativo en la manzana, fueron para las muestras tratadas con goma xantana, lo que implicó que al final del almacenamiento la utilización de sólo este recubrimiento no es efectivo en la inhibición del oscurecimiento en manzana mínimamente procesada e inclusive en apariencia son más oscuras que las muestras control, atribuido al carácter hidrofílico del polisacárido que propicio la migración de agua desde la manzana a la superficie, lo que al final implicó una deshidratación superficial que modificó la apariencia del oscurecimiento.

Las muestras con nanocápsulas fueron las que no mostraron una diferencia significativa dando menores variaciones con deltas de -2.6 durante el periodo de almacenamiento, por lo

que fueron las que menos se oscurecieron durante los 15 días de almacenamiento. Las muestras con TPGS también fueron efectivas respecto a la inhibición del oscurecimiento; sin embargo mantuvo una velocidad sostenida en cuanto a la pérdida de “a” lo que implicó que fuera un oscurecimiento relativo a la condición inicial.

3.5 Cambios en Luminosidad, ángulo Hue y Cromaticidad

En la Figura 20 se muestran los cambios en luminosidad en función al tiempo de almacenamiento refrigerado, es posible detectar que la mayor disminución en luminosidad lo presentaron las muestras con goma xantana, lo que nos indica que hubo una disminución del color y por lo tanto las muestras empezaron a oscurecerse sobre todo a partir de la segunda semana (7 días), mostrándonos que las nanocápsulas permanecen constantes al igual que la muestra con emulsión y solución de TPGS, arrojándonos datos muy bajos de goma xantana, ya que fue la muestra que más se oscureció durante los 15 días de almacenamiento seguida de las muestras que estaban recubiertas con nanoemulsión existiendo una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás tratamientos los cuales fueron las muestras con ácido ascórbico y las de emulsión.

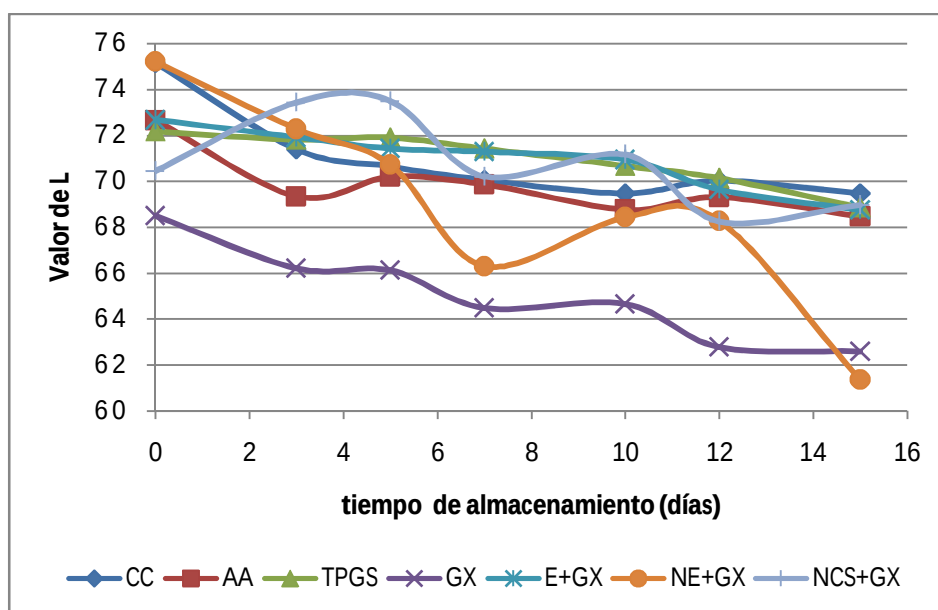


Figura 20. Valor de Luminosidad de los recubrimientos

En la Figura 21 y 22 se observa que los valores promedio del ángulo Hue (tono o color) y Croma (la intensidad o pureza del color) de los diferentes recubrimientos.

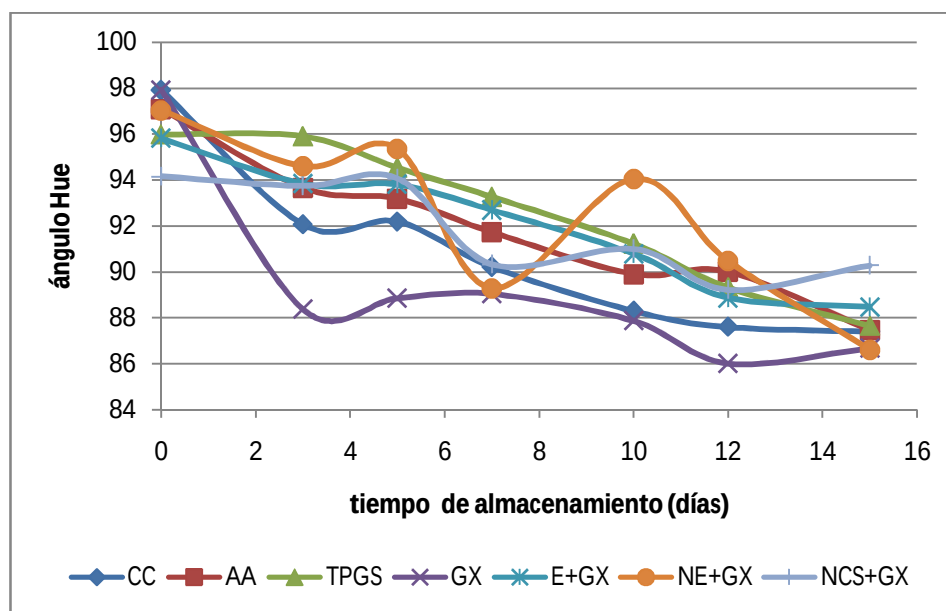


Figura 21. Valor de ángulo Hue de los recubrimientos

Al principio los valores oscilan entre 94 y 98 reflejando que están dentro del intervalo del color amarillo y de los cuales destaca que la nanoemulsión, solución de TPGS y nanocápsulas se mantienen dentro de ese rango ya que tienen valores más cercanos al inicial reflejado en el valor del ángulo Hue las nanocápsulas se encuentran en 93.7 durante el sexto día.

Debido a que esas muestras se mantenían más claras en comparación con las que tenían goma xantana las cuales reflejaban durante las últimas dos semanas un oscurecimiento enzimático mayor, debido a la presencia de las polifenoloxidasas, observando que en el último día del almacenamiento estas tenían un valor de 86.8, ya que esas muestras tenían un color más oscuro en comparación con todos los tratamientos mostrando que la efectividad de los recubrimientos va disminuyendo conforme pasa el tiempo de almacenamiento.

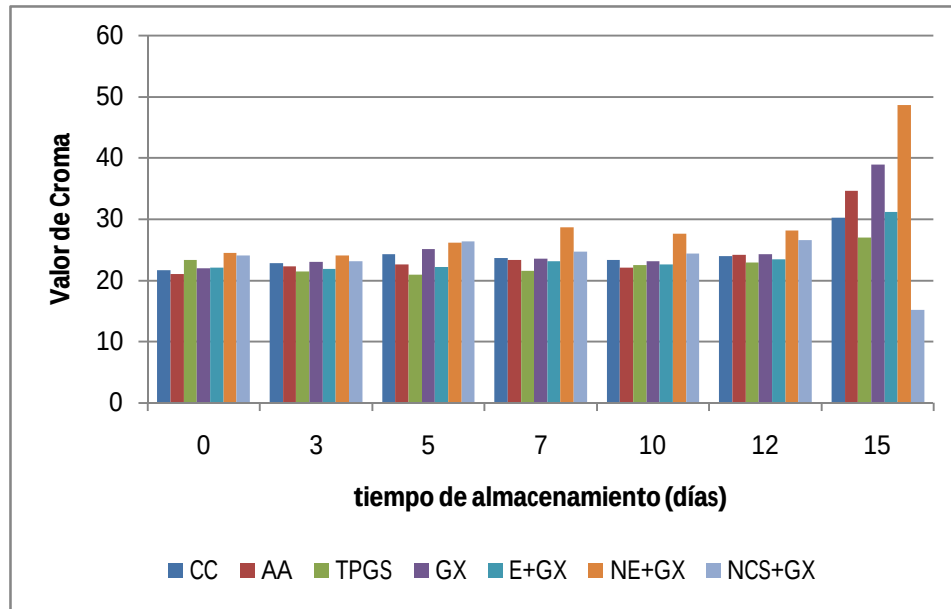


Figura 22. Valor de Croma de los recubrimientos

En la Figura 23, 24 y 25 se representan los cambios que tuvieron cada uno de los sistemas de recubrimiento, mostrando que tanto las nanocápsulas así como la solución de TPGS no muestran un efecto significativo ($\alpha = 0.05$) en Luminosidad (76-68.2), ángulo Hue (87-95) y croma (20-35).

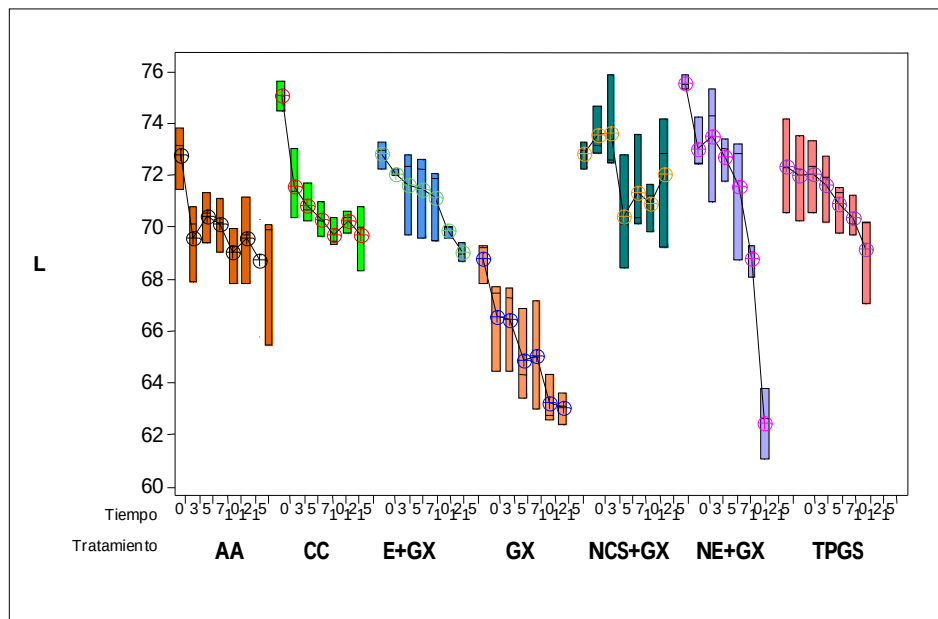


Figura 23. Valor de Luminosidad

Lo que significa que mantuvieron una mayor estabilidad de color durante el almacenamiento refrigerado sin variaciones considerables en cuanto al oscurecimiento enzimático seguida de la muestra con CaCl_2 que obtuvo un valor de luminosidad de 75.5 a 68, estableciéndose que el tiempo es un factor importante en la evaluación de la efectividad de un recubrimiento, ya que el que mantenga su efectividad por mayor tiempo será el sistema que mejor funcione en la conservación del producto.

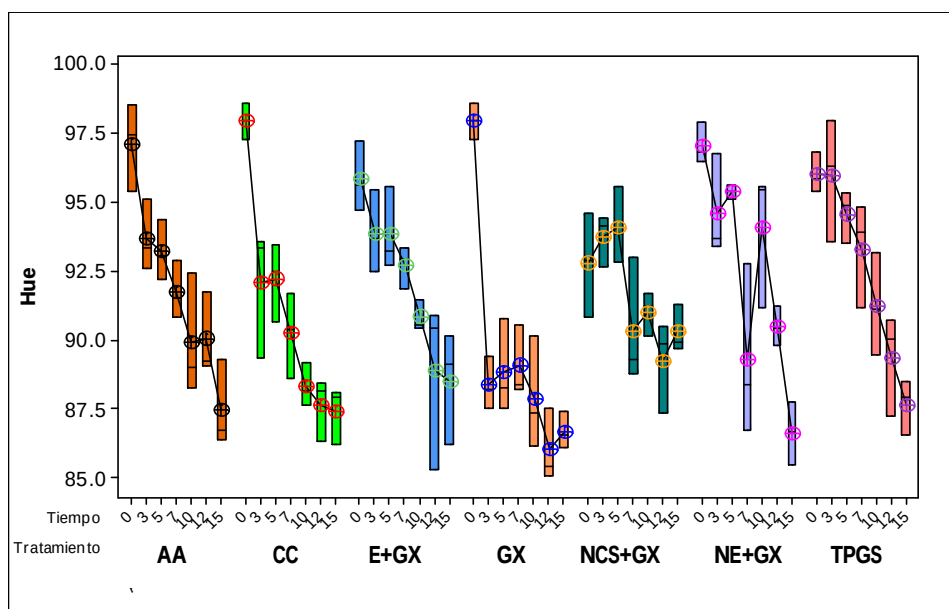


Figura 24. Valor de ángulo Hue

En comparación con los resultados obtenidos por Cortez Vega y col., (2008) donde observaron el efecto del L-acido ascórbico y metabisulfito de sodio el cual fue efectivo para reducir el efecto de la enzima polifenoloxidasas sobre manzana tipo Fuji que estuvieron almacenadas a 5°C donde se obtuvieron datos de Luminosidad de 72.6 para las muestras control, para el metabisulfito de sodio de 81.0 y 76.9 para el L-acido ascórbico demostrando que al someterlas a diferentes recubrimientos mantienen su color durante el almacenamiento que son datos muy parecidos a los obtenidos en la solución de TPGS.

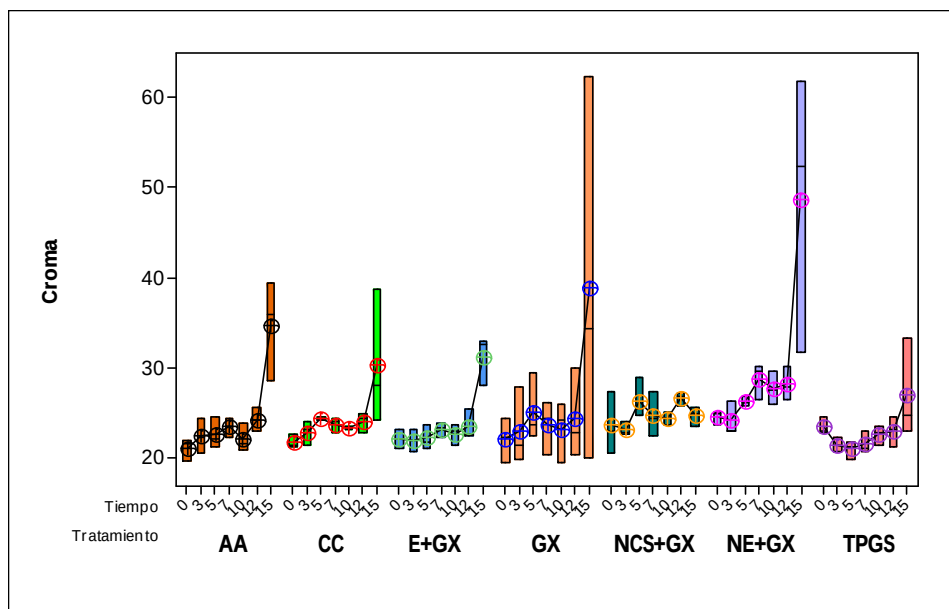


Figura 25. Valor de Cromaticidad

3.6 Evaluación Sensorial

La Figura 26 representa los cambios en los parámetros descriptivos de los sistemas analizados, mostrando en cada eje la escala hedónica de 1 a 10 tomada como referencia para la evaluación sensorial y adaptada de Márquez y col., (2009).

Como era de esperarse y debido a los cambios físicos de color por la acción enzimática, las muestras que tuvieron mayores variaciones fueron las control y goma xantana, no existiendo diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) para las muestras tratadas con nanoemulsión, emulsión, TPGS y nanocápsulas a los 3 días de almacenamiento refrigerado.

Es importante resaltar que las muestras que modificaron su percepción sensorial en sabor fueron las tratadas con emulsión y nanoemulsión, atribuido esto a los cambios en los ingredientes utilizados como estabilizantes del sistema coloidal para obtener un Balance Hidrofílico-Lipofílico (HLB) de 6 y que fueron tween 80 y spam 80, lo que contribuyó a su vez en modificar las características texturales.

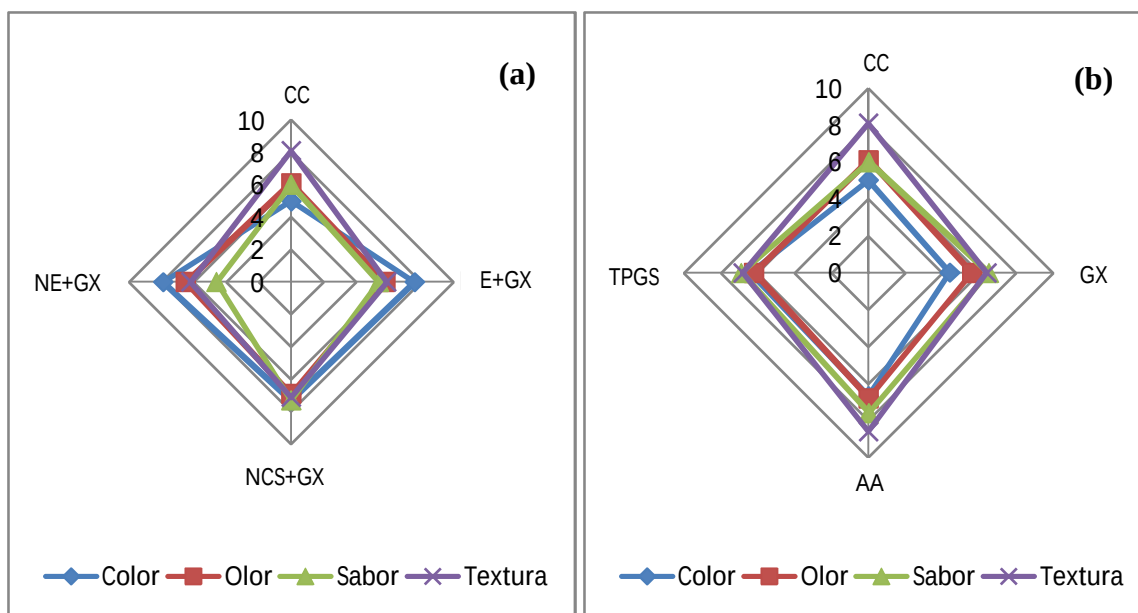


Figura 26. Evaluación sensorial a los 3 días de almacenamiento
(a) Muestra con CaCl₂, Nanoemulsión, Emulsión y Nanocápsulas y (b) Muestra con CaCl₂, solución de TPGS, goma xantana y Ac. Ascórbico.

Estos resultados son coincidentes respecto a la retención de color con los mostrados por Pérez-Gago y col., (2006) quienes utilizaron recubrimientos con base en proteína de suero de leche, llegando a la conclusión que la utilización de un recubrimiento contribuye a modificar la velocidad de oscurecimiento de los productos vegetales que han sido sometidos a reducción de tamaño; coincidiendo esto con los resultados obtenidos en el presente estudio y que resaltan el beneficio de la utilización de sistemas de talla submicrónica para la conservación de manzana fresca cortada.

En la Figura 27 se presentan los cambios asociados a los parámetros descriptivos evaluados en relación al deterioro de manzana fresca cortada; realizando una comparación con respecto a las muestras sin tratamiento y almacenadas a las mismas condiciones, es posible establecer que a los 6 días de almacenamiento las muestras con nanocápsulas, nanoemulsión, TPGS y emulsión no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.05$) y una variación en la percepción sensorial del color de 30% menor (este porcentaje se obtuvo en relación al número de jueces y las respuestas obtenidas) con respecto a manzanas recién cortadas.

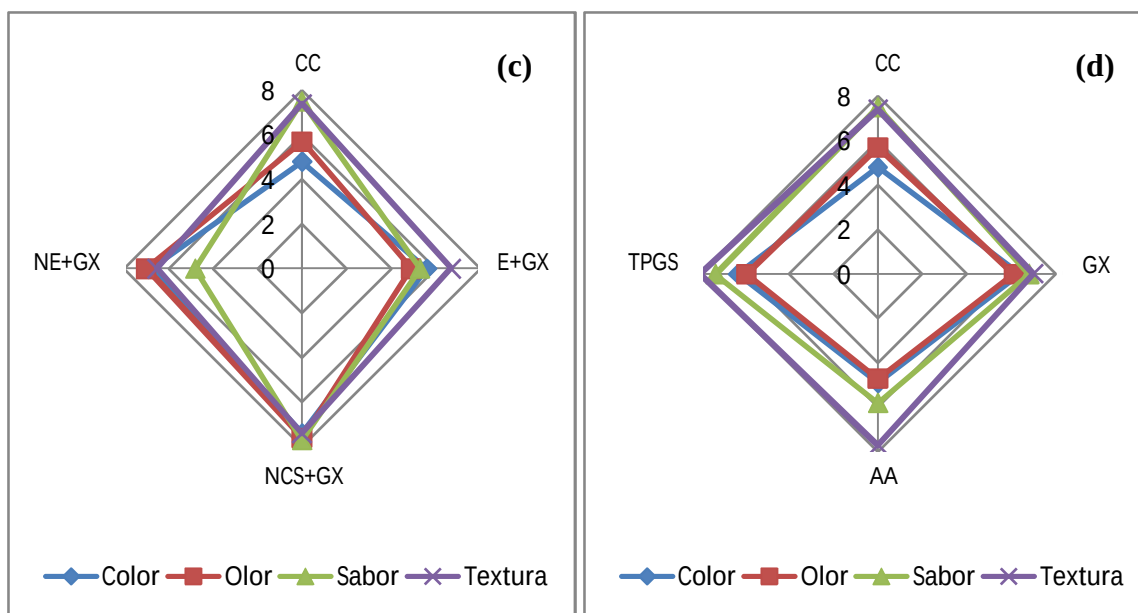


Figura 27. Evaluación sensorial a los 6 días de almacenamiento

(c) Muestra con CaCl_2 , Nanoemulsión, Emulsión y Nanocápsulas y (d) Muestra con CaCl_2 , solución de TPGS, goma xantana y Ac. Ascórbico.

En cuanto a textura y sabor las muestras tratadas con TPGS mostraron los menores cambios con una reducción del 10% con respecto a la percepción inicial, las nanocápsulas fueron el segundo sistema más efectivo a los 6 días de almacenamiento con una reducción del 25% de las características sensoriales; sin embargo las muestras tratadas con nanoemulsión fueron las que tuvieron los cambios más drásticos respecto a la percepción del sabor con una reducción de este parámetro hasta del 60% con respecto a la manzana fresca.

En este sentido Soliva-Fortuny y col. (2001), resaltaron que el procesamiento mínimo tiene influencia sobre el desarrollo de oscurecimiento debido a la acción enzimática de polifenoloxidasas en manzana Golden Delicious, siendo exponencial para muestras sin tratamiento durante los primeros días de almacenamiento y que la utilización de atmósferas modificadas o recubrimientos, contribuye a disminuir la velocidad de deterioro de los productos y el efecto visual sobre la aceptación del consumidor.

Respecto a los cambios en el color en muestras con ácido ascórbico Bourtoom y Chinnan., (2008) mencionan que el ácido ascórbico evitó el oscurecimiento en rodajas de manzana y

previene los cambios de color aplicado a temperatura ambiente. Roble-Sánchez y col., (2009b) también trabajaron con los dos tipos de recubrimientos que fueron CaCl_2 y ácido ascórbico aplicados a cubos de mango fresco; mostrando que los primeros días de almacenamiento no hubo incremento de oxidación, siendo eficaces para la visualización de la apariencia de color.

De acuerdo con Oms-Oliu y col., (2008) la utilización de N-acetilcisteína y glutatión para recubrir peras frescas cortadas previno oxidación de la fruta, con lo que se establece que la utilización de un agente antioxidante como el dl- α -tocoferol contribuye a disminuir el efecto de oscurecimiento y cambios sensoriales en manzanas tratadas.

En la Figura 28 se presentan los resultados a los 12 días de almacenamiento de las manzanas control.

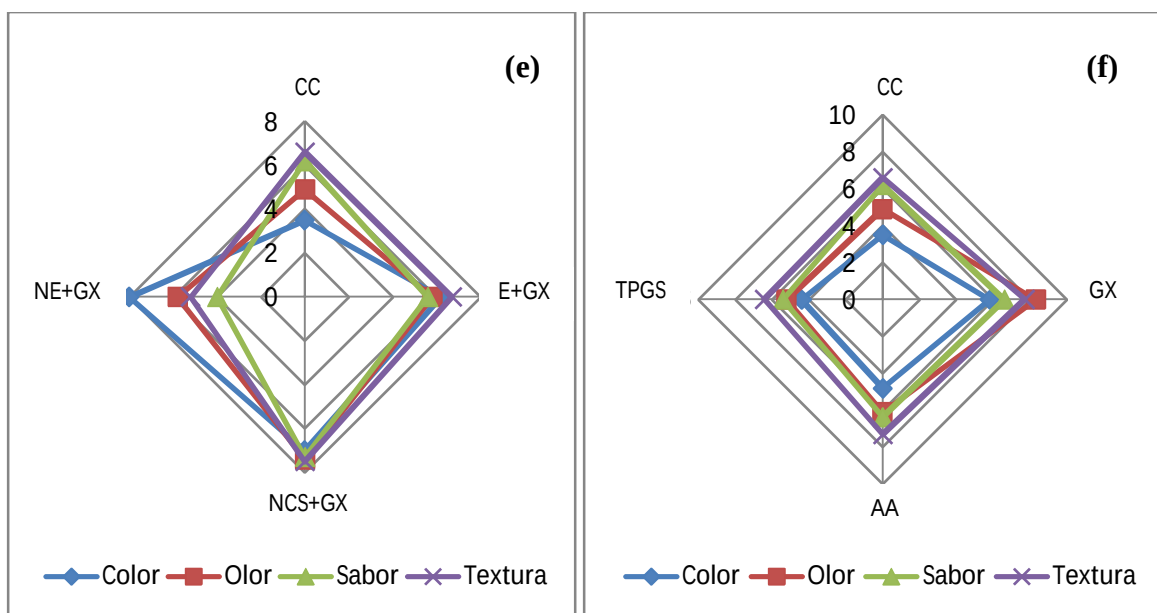


Figura 28. Evaluación sensorial a los 12 días de almacenamiento

(e) Muestra con CaCl_2 , Nanoemulsión, Emulsión y Nanocápsulas y (f) Muestra con CaCl_2 , solución de TPGS, goma xantana y Ac. Ascórbico.

Las cuales tuvieron un 61% de aceptación por parte de los jueces catadores en los parámetros sensoriales evaluados. No existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las muestras tratadas con ácido ascórbico y nanocápsulas con dl- α -tocoferol con un nivel de aceptación de 70%; mientras que las muestras con goma xantana en este momento tenían una aceptación del 73%; sin embargo es posible resaltar que el atributo referente al color con un 34% es el que contribuyó a esta disminución en la aceptación.

Las muestras tratadas con TPGS y nanoemulsión con dl- α -tocoferol tuvieron una aceptación del 56%, siendo las que tuvieron un mayor decaimiento respecto a las preferencias de los catadores, atribuidos principalmente a los cambios en sabor y textura. Durante este tiempo de almacenamiento las muestras no presentaron reproducción microbiana siendo esto un factor favorable que garantiza la vida útil de las rebanadas de manzana, al igual que Muñoz-Hernández y col., (2008) quienes utilizaron un recubrimiento de quitosán combinado con gluconato de calcio sobre fresas evitaron el crecimiento de microorganismos y disminuyeron la cantidad de CO₂ durante el almacenamiento, actuando como barreras que no permitieron la transferencia de agua protegiendo la piel, textura y el color del fruto siendo atributos de gran importancia para el consumo de frutas mínimamente procesadas.

De igual manera Navarro-Tarazaga y col., (2008) demostraron que al aplicar recubrimientos comestibles utilizando Hidroxi Propil Metil Celulosa (HPMC) en mandarinas observaron que la textura del fruto se conserva mucho mejor, ya que durante el almacenamiento las diferentes muestras cubiertas con los siete diferentes tratamientos no perdieron firmeza, demostrando que los recubrimientos utilizados con dl- α -tocoferol son efectivos durante el almacenamiento de la manzana Red Delicious, al igual que mantienen sus propiedades organolépticas a 12 días de su almacenamiento a temperatura de refrigeración.

En la Figura 29 en la última evaluación sensorial a los 15 días de almacenamiento se observó, que las muestras tratadas con nanocápsulas de dl- α -tocoferol tuvieron una aceptación del 75% con respecto al parámetro de color, debido a que retardó el

oscurecimiento enzimático seguidas de las muestras tratadas con nanoemulsión con dl- α -tocoferol con un 70% de aceptación y las muestras tratadas con goma xantana tuvieron una aceptación con respecto al parámetro de textura del 85%, seguidas de las muestras recubiertas con TPGS con un 82% de aceptación, siendo las muestras con emulsión menos aceptadas con respecto a todos los parámetros sensoriales seguidas por las que tenían CaCl_2 ; debido a que los jueces expresaban un ligero rechazo cuando observaban las muestras sobre todo en el color y el olor.

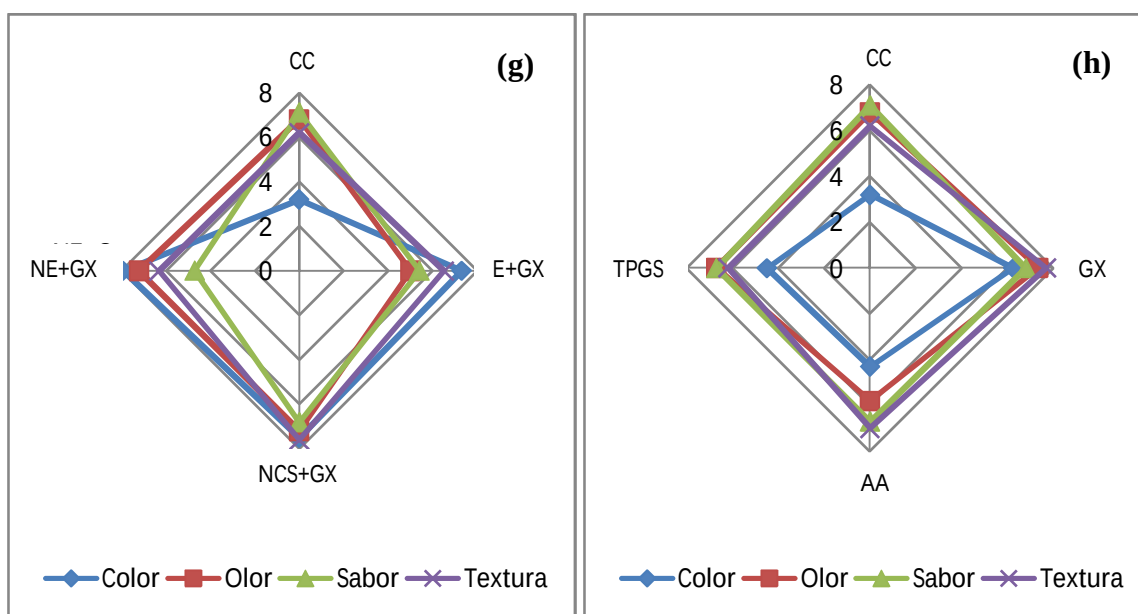


Figura 29. Evaluación sensorial a los 15 días de almacenamiento

(g) Muestra con CaCl_2 , Nanoemulsión, Emulsión y Nanocápsulas y (h) Muestra con CaCl_2 , solución de TPGS, goma xantana y Ac. Ascórbico.

También se pueden observar que todos los parámetros de evaluación tienen una similitud en los resultados que se obtuvieron con respecto al valor de luminosidad, ángulo Hue y Cromaticidad; ya que como se mencionó en el análisis de resultados nos muestra que hubo un oscurecimiento enzimático y por lo tanto los jueces catadores no asociaban las demás muestras con una manzana recién cortada ya que cada recubrimiento tiene diferentes reactivos y por consiguiente la efectividad no es la misma a pesar de que todas las muestras de manzana estuvieron a la misma temperatura, empaque y condiciones de almacenamiento.

4. CONCLUSIONES

La utilización de nanocápsulas con dl- α -tocoferol fue el sistema más efectivo manteniendo el color característico a manzana, puesto que presentó menor variabilidad en el valor de “a” respecto al valor inicial. Las muestras recubiertas con goma xantana fueron las que desarrollaron un mayor oscurecimiento con respecto al valor de Luminosidad, por lo que la interacción y funcionalidad con los sistemas de talla submicrónica, tienen un efecto sinérgico con la goma xantana en relación a la conservación de las características de manzanas frescas cortadas.

Los valores de “a” obtenidos por colorimetría fueron los que se asociaron mejor con la percepción del cambio de color, siendo las muestras tratadas con nanocápsulas, las que mostraron valores negativos indicativos de mínimos desarrollos de colores cafés asociados a la polimerización de las o-quinonas.

Se llegó a la conclusión que los recubrimientos tuvieron efectos benéficos sobre la conservación de manzana fresca cortada, mostrando diferencias que afectan las características sensoriales evaluadas: color, olor, sabor y textura, arrojando resultados de mayor aceptación las muestras recubiertas con nanocápsulas de dl- α -tocoferol, lo que significa que se mantuvieron estables los sistemas durante el almacenamiento.

5. RECOMENDACIONES

Dadas las posibilidades de aplicación de recubrimientos de inhibición por sistemas nanoparticulados, se recomienda el desarrollo y aplicación a otros tipos de frutos susceptibles a oscurecimiento, considerando los cambios sensoriales por la interacción de los componentes de los sistemas dispersos, con la finalidad de ajustar las formulaciones para obtener cambios sensoriales mínimos.

Este tipo de estudios podría ampliar el consumo de fruta mínimamente procesada ya que esto favorecería la presentación de los productos teniendo un mayor grado de aceptación por su alta efectividad antioxidante, conservando su textura, sabor y olor siendo de gran relevancia científica y tecnológica el uso de estos recubrimientos en la industria alimentaria, ya que son nuevas alternativas para el consumidor moderno mejorando la calidad de las frutas que tienden a oscurecerse rápidamente.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agricultura, Sectores e Información. (2010). “*El cultivo de la manzana*”. México. Consultado 7-Sep-2010. Disponible en http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm

Akagi T., Baba M., Akashi M. (1998). “*Preparation of nanoparticles by the self-organization of polymers consisting of hydrophobic and hydrophilic segments: potential applications*”. Science Direct, 48:6729-6747.

Albanese D., Cinquanta L., Di Matteo L. (2007). “*Effects of an innovative dipping treatment on the cold storage of minimally processed Annurca apples*”. Food Chemistry, 105:1054-1060.

Alfa Sensoriales-Análisis sensorial de los alimentos (2008). “*Reseña histórica del análisis sensorial*”. México. Consultado 2-Feb-2011. Disponible en <http://alfasensoriales.blogspot.com/2008/10/analisis-sensorial.html>

Alimentación sana. (2011). “*La manzana: propiedades y características*”. México. Consultado 25-Feb-2011. Disponible en <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/manzana.htm>

Álvarez-Parrilla E., De la Rosa L.A., Rodrigo-García J., Escobedo-González R., Mercado-Mercado G., Moyers-Montoya E., Vázquez-Flores A., González-Aguilar G.A. (2007). “*Dual effect of b-cyclodextrin (b-CD) on the inhibition of apple polyphenol oxidase by 4-hexylresorcinol (HR) and methyl jasmonate (MJ)*”. Food Chemistry, 101:1346-1356.

Aplicación de los recubrimientos comestibles. (2010). “*Aplicación de recubrimientos comestibles*”. México Consultado 27-Sep-2011. Disponible en <http://www.slideshare.net/postcosecha/recubrimientos-comestibles>

Artés F., Castañes M., Gil M.I. (1998). "*Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables*". Food Science and Technology International, 4:377-389.

Bilbao-Sáinz C., Avena-Bustillos R.J., Wood D.F., Williams T.G., Mc Hugh T.H. (2010). "*Composite edible films based on hydroxypropyl methylcellulose reinforced with microcrystalline cellulose nanoparticles*". Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58:3753-3760.

Bourtoom T., Chinnan M. (2008). "*Preparation and properties of rice starch–chitosan blend biodegradable film*". Food Science and Technology, 41:1633-1641.

Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, Miguel A., Souza B., W.S., Souza, Marthyna P., Teixeira, J. A., Vicente, António A. (2009). "*Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from anacardium occidentale L.*". Journal of Food Engineering, 95:379-385.

Chávez. F., Olvera B.I, Ganem-Quintanar A., Quintanar-Guerrero, D. (2002). "*Liberación de sustancias lipofílicas de nanocápsulas poliméricas*". Journal of the Mexican Chemical Society, 46:349-356.

Chun A.L. (2009). "*¿Will the public swallow nanofood?*". Nature Nanotechnology, 4:790-791.

Conforti F. D., Totty J. A. (2007). "*Effect of three lipid/hydrocolloid coatings on shelf life stability of Golden Delicious apples*". International Journal of Food Science and Technology, 42:1101-1106.

Cortez-Vega W.R., Becerra-Prado A.M., Marques Soares J., Graciano Fonseca G. (2008). "*Effect of L-ascorbic acid and sodium metabisulfite in the inhibition of the enzymatic browning of minimally processed apple*". International Journal of Agricultural, 3:196-201.

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (2009). *“Un nuevo método permite encapsular sustancias en nanoesferas parcialmente metálicas”*. España. Consultado 9-Nov-2010. Disponible en <http://www.dicat.csic.es/rdcsic/rdcsicesp/rdma32esp.htm>

Debeaufort F., Quezada-Gallo J.A., Voilley G. (1998). *“Edible films and coatings: tomorrow’s packagings: a review”*. Food Science, 38: 299-313.

Días Narváez G.C., Pérez Cabrera L.E., Hernández Lozano L.C., Ramírez Gómez M. M. (2010). *“Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza y quitosano y su aplicación para extender la vida útil de fresas”*. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1341-1346.

Dirección general de organización de consumidores. (2011). *“Coordinación general de investigación y divulgación-dirección de organización a consumidores-compendio de orientación sobre ingredientes químicos”*. México. Consultado 28-Jul-2011. Disponible en http://bibliotecadigital.conevyt.org.mx/colecciones/consumir_bien/empleo_de_mat_quim.htm

El ergonomista. (2005). *“Tamaño y forma de las partículas”*. Consultado 3-Ago-2011. Disponible en <http://www.elergonomista.com/galenica/forma.htm>

Espino-Díaz M., Olivas-Orozco, G. I., González-Aguilar G.A., Gayosso (2009). Capítulo 12.-*“Recubrimientos comestibles utilizados para preservar la calidad sensorial y nutricional de vegetales frescos cortados”*.307-331. Aspectos Nutricionales y Sensoriales de Vegetales Frescos Cortados. González-Aguilar, G.A., Álvarez-Parrilla, E., De la Rosa, L., Olivas, G.I. y Ayala-Zavala, J.F.(eds). Trillas. México, D.F.ISBN:978-607-17-0414-6.

Foladori G., Invernizzi N. (2008). *“Nanotecnologías en la alimentación y agricultura”*. (CSEAM). Universidad de la República Montevideo.

García-Ochoa F., Santos V.E., Casas J.A. Gómez E. (2000). “*Xanthan gum: production, recovery, and properties*”. Biotechnology Advances, 18:549-579.

García-Ramos, F.J. (2000). “*Desarrollo de dispositivos mecánicos para minimizar daños y medir la firmeza en líneas de manipulación en fruta*”. Tesis de Doctorado de Ingeniería Agrónoma. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Guilbert S., Biquet B. (1996). “*Edible films and coatings. In: Food Packaging Technology*”. G Bureau, JL Multon (eds.). New York: VCH Publishers, Inc.

Harker F.R., Gunson F.A., Triggs C.M. (2006). “*Apple firmness: creating a tool for product evaluation based on a sensory–instrumental relationship*”. Postharvest Biology and Technology, 39:327–330.

Hernández-Muñoz P., Almenar E., Del Valle V., Velez D., Gavara R. (2008). “*Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (fragaria xananassa) quality during refrigerated storage*”. Food Chemistry, 110:428-435.

Hodges Mark D., Toivonen Peter M.A. (2008). “*Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress*”. Postharvest Biology and Technology, 48:155-162.

Hong Wei Wu., Hopkins Warren K. (1999). “*Characteristics of D- α - Tocopheryl PEG 1000 succinate for applications as an absorption enhancer in drug delivery systems*”. Pharmaceutical Technology. 1^a ed. USA.

Janick J. (1992). “*Horticultural reviews*”. John Wiley & Sons Inc.

Jun-Li F., Zheng-Wu W., Zhang J., Zhong-Ni W., Liu F. (2009). “*Study on food-grade vitamin E microemulsions based on nonionic emulsifiers*”. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Engineering. Aspects, 339:1–6

Khoe S., Yaghoobian M. (2009). *“An investigation into the role of surfactants in controlling particle size of polymeric nanocapsules containing penicillin-G in double emulsion”*. European Journal of Medicinal Chemistry, 44:2392–2399.

Kulmyrzaev A., Chanamai R., McClements D.J. (2000). *“Influence of pH and CaCl₂ on the stability of dilute whey protein stabilized emulsions”*. Food Research International, 33:15-20.

La Guía de Química. (2010). *“Coloides hidrófobos”*. México. Consultado 3-Ago-2010. Disponible en <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/coloides-hidrofijos>

Lakkis M.J. (2007). *“Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems”*. 1st ed. USA.

Lalatta F. (1999). *“Guía completa del cultivo de las manzanas”*. De Vecchi Barcelona España, 123.

Lamikanra O. (2002a). *“Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology and Market”*. 1st ed. USA.

Lamikanra, O., Bett-Garber, K. L., Watson, M. A., & Ingram, D. A. (2010). *“Underwater processing with and without added calcium influences shelf life quality of fresh-cut cantaloupe”*. Journal of Food Quality, 33(SUPPL. 1), 246-261.

Lamikanra, O., Watson, M. A. (2002b). *“Biochemical changes associated with fresh-cut fruit processing and storage”*. ACS Symposium Series 836, 52-68.

Lawless T.H., Heymann H. (2010). *“Sensory Evaluation of Food”*. 2nd ed. Springer USA.

Lee, J.Y., Park, H.J., Lee C.Y., Cho, W.Y. (2003). “*Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents*”. Food Science and Technology, 36:323-329.

Lima A. M., Cerqueira, M. A., Souza-Bartolomeu, W.S., Santos-Ed C. M., Texeira, J. A., Moreira R. A., Vicente A. A. (2010). “*New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits-Influence on fruits gas transfer rate*”. Journal of Food Engineering, 97:101-109.

Llabot J.M., Palma S.D., Allemandi D.A. (2008). “*Nanopartículas poliméricas solidas*”. Nuestra Farmacia, 53:40-47.

Lu R. (2004). “*Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit*”. Postharvest Biology and Technology, 31:147–157.

Márquez C. J., Cartagena V., Pérez Gago M.B. (2009). “*Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del níspero japonés (eriobotryajaponica t.)*”. Redalyc-Sistema de Información Científica, 16 (3):304-310.

Martín-Belloso O., Soliva-Fortuni, Robert C., Oms-Oliu G. (2007). “*Avances físico-químicos y microbiológicos*”. Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, 862-868.

Martín-Belloso, O., Oms-Oliu G. (2005). “*Efecto de la atmósfera modificada en las características físico-químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada*”. Departamento de Tecnología de Alimentos.

Mchugh, T.H., Senesi E. (2000). “*Apple wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples*”. Food Engineering and Physical Properties, 65:480-485.

Moinard Checot D., Chevalier Yves., Briancon S., Beney L., Fessi H. (2008). “*Mechanism of nanocapsules formation by the emulsion–diffusion process*”. Journal of Colloid and Interface Science, 317:458–468.

Mora-Huertas C.E., Fessi H., Elaissari A. (2010). “*Polymer-based nanocápsules for drug delivery*”. International Journal of Pharmaceutics, 385:113-117.

Muñoz-Hernandez P., Almenar E., Del Valle V., Vélez D., Gavara R. (2008). “*Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (Fragaria x ananassa) quality during refrigerated storage*”. Food Chemistry, 110: 428-435

Navarro-Tarazaga M. Ll., Del Río M.A., Krochta J.M., Péres-Gago M.B. (2008). “*Fatty acid effect on hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible film properties and postharvest quality of coated ‘ortanique’ mandarins*”. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56:10689-10696.

Ndiaye C., Xu S. Y., Wang Z. (2009). “*Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (Mangifera indica L.) slices*”. Food Chemistry, 113:92-95

Oliu, G.O. (2007). “*Alternativas de envasado de pera y melón frescos cortados en atmósfera modificada*”. Tesis de Doctorado de Tecnología de Alimentos, Universidad de Lleida, España.

Olivas G.I., Mattinson D.S., Barbosa-Cánovas G.V. (2007). “*Alginate coatings for preservation of minimally processed ‘Gala’ apples*”. Postharvest Biology and Technology 45:89–96.

Oms-Oliu G., Soliva-Fortuny R., Martín Belloso O. (2008). “*Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears*”. Postharvest Biology and Technology 50:87-94.

Pasquel A. (2001). “*Gomas: una aproximación a la industria de los alimentos*”. Revista amazónica de investigación alimentaria, 1:1-8.

Pérez Gago. M.B., Serra M., Mateos M., Del Rio M.A. (2003). “*Effect of solid content and lipid content of whey protein isolate- beeswax edible coatings on color change of fresh- cut Apples*”. Journal of Food Science, 67:2168-2191.

Pérez-Gago, M.B., Serra, M., del Río M.A. (2006). “*Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings*”. Postharvest Biology and Technology, 39:84–92.

Plan Rector del sistema producto manzana. (2004). “*Diagnostico del sistema producto manzana*”. México Consultado 27-Sep-2010. Disponible en <http://www.amsda.com.mx/PREstatales/Estatales/PUEBLA/PREmanzana.pdf>

Química de los coloides. (2010). “*Coloides*”. México. Consultado 2-Ago.2011. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/45712276/Quimica-de-Los-Coloides>

Quintanar-Guerrero D., Fessi H., Allemann E., Doelker E. (1996). “*Influence of stabilizing agents and preparative variables on the formation of poly (D,L-lactic acid) nanoparticles by an emulsification-diffusion technique*”. International Journal of Pharmaceutics, 143:133-141.

Relkin P., Yung M.J., Kalnin D., Ollivon M. (2008). “*Structural behaviour of lipid droplets in protein-stabilized nano-emulsions and stability of α -tocopherol*”. Food Biophysics, 3:163–168.

Robles-Sánchez M., Gorinstein S., Martín Belloso O., Astiazarán García H., González Aguilar G., Cruz Valenzuela R. (2007). “*Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud*”. Interciencia, 32:227-232.

Robles-Sánchez R.M., Islas-Osuna M.A., Astiazarán-García M., Vázquez-Ortiz F.A., Martín-Belloso O. (2009a). *“Quality index, consumer acceptability, bioactive compounds, and antioxidant activity of fresh-cut “Ataulfo” Mangoes (Mangifera Indica L.) as affected by low-temperature storage”*. Journal of Food Science, 74:126-134.

Robles-Sánchez R.M., Rojas-Graü M.A., Odriozola-Serrano I., González-Aguilar G.A., Martín Belloso O. (2009b). *“Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut ‘Kent’ mango (Mangifera indica L.)”*. Postharvest Biology and Technology, 51:384-390.

Rocculi P., Romani S., Rosa M.D. (2004). *“Evaluation of physico-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere”*. Food Research International, 37:329-335.

Rojas-Graü M. A., Raybaudi-Massilia R.M., Soliva-Fortuny R.C., Avena-Bustillos R.J., McHugh T.H., Martín-Belloso O. (2007a). *“Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples”*. Postharvest Biology and Technology, 45:254-264.

Rojas-Graü M. A., Tapia M. S., Martín Belloso O. (2008). *“Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples”*. Food Science and Technology, 41:131-147.

Rojas-Graü M. A., Tapia S.M., Rodríguez F.J., Carmona A.J., Martín-Belloso O. (2007b). *“Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples”*. Food Hydrocolloids, 21:118-127.

Rojas-Graü, M.A. (2006). *“Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación”*. Tesis de Doctorado de Tecnología de Alimentos, Universidad de Lleida, España.

Sayago A., Marín M.I., Aparicio R., Morales M.T. (2007). “*Vitamina E y aceites vegetales*”. *Grasas y Aceites*, 58:74-86.

Schramm Laurier L. (2005). “*Emulsions, foams, and suspensions fundamentals and applications*”. Alemania: Wiley-VCH 448.

Scrinis, G., Lyons, K. (2007). “*The emerging Nano-corporate paradigm: Nanotechnology and the transformation of nature, food and agri-food systems*”. *International Journal of Sociology of Food and Agriculture*, 15:22-44.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2010). SAGARPA. México. Consultado 23-Ago-2010. Disponible en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351

Siddiq M., Harte J. B., Singh S. P., Khan A. A., Dolan K. D., Saha, K. (2011). “*Effect of processing, packaging and vibration treatment on the sensory quality of fresh-cut apple slices*”. *Packaging Technology and Science*.

Siegrist M., Stampfli N., Kastenholz H., Keller C. (2009). “*Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging*”. *Appetite*, 51:283-285.

Sistemas Coloidales. (1998). “*Definición de sistemas coloidales*”. Consultado 2-Ago-2011. Disponible en <http://www.uam.es/departamentos/ciencias/fisicateoricamateria/especifica/hojas/kike/coloides.html>

Solans C., Izquierdo P., Nolla J., Azemar N., Garcia-Celma M.J. (2005). “*Nano-emulsions*”. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 10:102-110.

Soliva-Fortuni, Robert C., Grigelmo-Miguel M., Odriozola-Serrano I., Gorinstein S., Martin-Belloso O. (2001). "*Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging*". Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49:3685-3690.

Soliva-Fortuny, R. C., Martin-Belloso O. (2003). "*New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits:a review*". Trends in Food Science, 14:341-353.

Son S. M., Moon K.D., Lee. C.Y. (2001). "*Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices*". Food Chemistry, 73:23-30.

Sozer N., Kokini J.L. (2009). "*Nanotechnology and its applications in the food sector*". Trends in Biotechnology, 27:82-89.

Tan C. P., Nakajima M. (2005). " *β -Carotenenanodispersions: preparation, characterization and stability evaluation*". FoodChemistry, 92:661-671.

Textos Científicos. (2005). "*Propiedades de los coloides*". México. Consultado 2-Ago-2011. Disponible en <http://www.textoscientificos.com/quimica/propiedades-coloides>

Torricella Morales, R.C., Zamora Utset, E., Pulido Álvarez, H. (2007). "*Evaluación Sensorial aplicada a la investigación, desarrollo y control de la calidad en la Industria Alimentaria*". Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. 2nd ed. Universitaria, La Habana Cuba.

Tu. K., Nicolaï B., De Baerdemaeker J. (2000). "*Effects of relative humidity on apple quality under simulated shelf temperature storage*". Science Horticulturae, 85:217-229.

Vargas y Vargas L., Centurión Yah A., Tamayo Canul E., Tamayo Cortez Jorge., Saucedo Veloz C., Sauri Duch E. (2007). "*Variación de la respiración y producción de etileno de rebanadas de pitahaya (hylocereus undatus)*". Instituto Tecnológico de Mérida, 789-794.

Washington Apple Comisión. (2007). *“Información sobre las Manzanas”*. Estados Unidos. Consultado 22-Jul-2010. Disponible en <http://www.bestapples.com/espanol/facts/index.shtml>

Wulff-Pérez M., Torcello-Gomez A., Galvez-Ruiz M.J., Martin Rodríguez A. (2009). *“Stability of emulsions for parenteral feeding: preparation and characterization of o/w nanoemulsions with natural oils and pluronic f68 as surfactant”*. Food Hydrocolloids, 23:1096–1102.

Yuan Y., Gao Y., Zhao J., Mao L. (2008). *“Characterization and stability evaluation of β -carotene nanoemulsions prepared by high pressure homogenization under various emulsifying conditions”*. Food Research International, 41:61-68.

Zambrano-Zaragoza M.L., Mercado-Silva E., Gutiérrez-Cortez E., Castaño-Tostado E., Quintanar-Guerrero D. (2011). *“Optimization of nanocápsules preparation by the emulsion–diffusion method for food applications ”*. Food Science and Technology, 44:1362-1368.