



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**

Nanoemulsión de mucílago de nopal *opuntia ficus*  
con dl- $\alpha$ -tocoferol, una nueva alternativa para  
preservar la manzana fresca cortada y  
conservada a bajas temperaturas

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**VICTORIA MENDOZA AGUILAR**

**ASESORES: DRA. ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ**

**C. DRA. 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**

U. N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**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:**

Nanoemulsión de mucílago de nopal opuntia ficus con dl-a-tocoferol, una nueva alternativa para preservar la manzana fresca cortada y conservada a bajas temperaturas

Que presenta la pasante: Victoria Mendoza Aguilar  
Con número de cuenta: 407003963 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 17 de agosto de 2011.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas	
<b>VOCAL</b>	I.B.Q. Leticia Figueroa Villarreal	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
<b>1er SUPLENTE</b>	Dra. Ma. de los Angeles Cornejo Villegas	
<b>2do SUPLENTE</b>	I.A. Alberto Solís Díaz	

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



El presente trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT: IT231511-3 Nanopartículas en recubrimientos comestibles para la conservación de frutas frescas cortadas, de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

---



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi fortaleza y ampara, por darme salud y personas increíbles en mi vida, mis padres, por todas las personas que pusiste a mi alrededor, porque de todas ellas hicieron posible este logro, por las virtudes recibidas sin merecerlas solamente por tú infinita bondad y amor. Infinitas gracias por dejarme estar aquí y ahora.

A mis héroes o mejor conocidos como mis padres a los cuales amo y admiro por su ejemplo de vida cimentado en el esfuerzo y amor. Mil gracias por su apoyo incondicional, por su gran fortaleza y amor, por demostrarme que nunca es tarde para comenzar de cero, sin importar los errores cometidos ni la edad, por enseñarme que la felicidad depende de uno sin importar las tormentas y conflictos a tu alrededor. Pero sobre todo por la confianza, apoyo y permanecer a mi lado sin importar nada. Millones de gracias, los amo.

A mis hermanas porque aun en la ausencia, la distancia siempre están en mi corazón, porque sin importar las diferencias en los momentos difíciles no importa la hora o el día siempre estaremos juntas. Pueden contar conmigo siempre. Las amo.

A mis abuelos porque sin ellos no tendría a los increíbles padres con los que cuento, mil gracias por su apoyo y cariño.

A mis amigos, gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y porque han estado conmigo siempre sin importar la distancia, siempre estuvieron ahí para apoyarme mil gracias de verdad a todas mis amigas y amigos, los quiero montones.

A mis asesoras la doctora Elsa y la maestra Luz por ser mis directoras pero sobre todo por su amistad, por preocuparse no solo por mi conocimiento sino por mi vida y crecimiento personal, por su fortaleza y porque son mujeres admirables, son un ejemplo a seguir para la sociedad, mil gracias porque me trataron como una hija. Les estoy eternamente agradecida por todo lo aprendido y lo vivido, jamás las olvidare. Las quiero y admiro profundamente.

Al doctor David Quintanar por compartir sus conocimientos sobre nanotecnología, por permitirme utilizar su equipó y su laboratorio, por hacer divertido el trabajo aun cuando es intenso, pero sobre todo por sembrar en mí el espíritu de investigación.

A la M en C. Alicia del Real López, por la paciencia en la toma micrografías y por su valiosa interpretación.

A la UNAM, por la oportunidad de estudiar y formarme un espíritu Universitario de Investigación y porque aquí conocí a personas excepcionales, de las cuales siempre llevaré un grato recuerdo.

**Actúa como si todo dependiera de ti pero confía como si todo dependiera de Dios**

San Ignacio de Loyola

---



## ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>I. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1 La manzana	1
1.1.1 Características de la manzana	3
1.2 Alimentos frescos cortados	7
1.2.1 Cambios de calidad en manzana fresca cortada	11
1.2.2 Oscurecimiento enzimático	12
1.2.3 Cambios texturales en manzana	13
1.3 Recubrimientos comestibles	14
1.3.1 Caracterización de recubrimientos comestibles	15
1.3.2 Ventajas y desventajas de los recubrimientos	17
1.3.3 Agentes formadores de recubrimientos comestibles	18
1.3.4 Aplicación de los recubrimientos comestibles en manzana	19
1.3.5 Mucílago de nopal como recubrimiento	21
1.4 Mucílago de Nopal	21
1.4.1 Composición química	23
1.5 Emulsiones como recubrimientos comestibles	24
1.5.1 Nanoemulsiones	26
1.5.2 Métodos de preparación de nanoemulsiones	26

---



1.5.3 Caracterización de sistemas coloidales	28
1.5.3.1 Tamaño de partícula	28
1.5.3.2 Índice de polidispersión	29
1.5.3.3 Potencial zeta	29
<b>II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL</b>	<b>30</b>
2.1 Problema	30
2.2 Objetivos	30
2.3 Selección y justificación de variables	31
2.4 Desarrollo experimental	32
2.4.1 Materiales	32
2.4.2 Materia Prima	33
2.4.3 Descripción de las actividades preliminares	34
2.4.4 Actividades del objetivo particular 1	36
2.4.4.1 Preparación de la nanoemulsión de dl- $\alpha$ -tocoferol (Vitamina E) y mucílago de nopal	36
2.4.4.2 Tamaño de partícula	37
2.4.4.3 Potencial zeta	38
2.4.5 Actividades del objetivo particular 2	38
2.4.5.1 Cortado de la fruta y aplicación de recubrimiento	38
2.4.5.2 Índice de oscurecimiento	39
2.4.6 Actividades del objetivo particular 3	40
2.4.6.1 Diferencia de peso	40
2.4.6.2 Jugosidad, sólidos solubles, pH y acidez titulable	40
2.4.6.3 Cambios texturales (Compresión)	42
2.3.6.4 Respiración	43

---



2.4.7 Actividades del objetivo particular 4	43
2.4.7.1 Morfología de la manzana con y sin recubrimiento	43
2.5 Tratamiento estadístico	43
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>45</b>
3.1 Actividades preliminares	45
3.1.1 Caracterización de la cámara	45
3.1.2 Caracterización térmica del mucílago por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	46
3.2 Resultados del objetivo particular 1	47
3.2.1 Preparación de la nanoemulsión de dl- $\alpha$ -tocoferol y mucílago de nopal	47
3.2.2 Tamaño de partícula	49
3.2.3 Potencial zeta	50
3.3 Resultados del objetivo particular 2	51
3.3.1 Cortado de la fruta y aplicación de recubrimiento	51
3.3.2 Índice de oscurecimiento	52
3.4 Resultados del objetivo particular 3	54
3.4.1 Diferencia de peso	54
3.4.2 Jugosidad, sólidos solubles, pH y acidez titulable	57
3.4.3 Cambios texturales (Firmeza)	61
3.4.4 Respiración	64
3.5 Resultados del objetivo particular 4	65
3.5.1 Determinación de morfologías de la manzana	65
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>70</b>

---



---

## Lista de figuras

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1.1	Corte transversal de la manzana <i>Red delicious</i>	4
1.2	Formas de presentación de los alimentos frescos cortados	8
1.3	Técnicas para mantener la calidad de los alimentos	10
1.3a	Luz ultravioleta	10
1.3b	Atmósferas modificadas	10
1.3c	Atmósferas modificadas	10
1.3d	Recubrimientos comestibles	10
1.4	Manzana con oscurecimiento enzimático	13
1.5a	Corte transversal del cladodio de nopal	22
1.5b	Micrografía del parénquima del nopal (ideoblastos)	22
2.1	Materiales biológicos	33
2.1a	Manzana	33
2.1b	Mucílago de nopal	33
2.2a	Cámara de refrigeración	34
2.2b	Termohigrómetro	34
2.2c	Anemómetro de “Hilo caliente”	34
2.3	Calorímetro DSC Q10 <sup>®</sup>	36
2.4	Ultra-Turax T50 <sup>®</sup>	37
2.5	Vasos de poliestireno con manzanas recubiertas	38
2.6	Colorímetro Minolta modelo CR300 <sup>®</sup>	39

---



---

2.7a	Extractor	41
2.7b	Potenciómetro	41
2.7c	Refractómetro	41
2.7d	Bureta	41
2.8	INSTRON 411 <sup>®</sup>	42
2.9	Microscopio electrónico de barrido al alto vacío (SEM-HL)	43
3.1	Termograma de flujo de calor en función de la temperatura (DSC) para mucílago fresco y deshidratado	46
3.2	Gráfica de tamaño de partícula vs porcentaje de intensidad por ciclo	48
3.3	Manzana cortada con golpe	52
3.4	Gráfica de Índice de oscurecimiento enzimático vs tiempo de almacenamiento	53
3.5	Gráfica de Pérdida de Peso en función de tiempo de almacenamiento	55
3.6	Gráfica de jugosidad vs el tiempo de almacenamiento	57
3.7	Gráfica de sólidos solubles vs tiempo de almacenamiento	58
3.8	Gráfica de pH vs tiempo de almacenamiento	59
3.9	Gráfica de acidez vs tiempo de almacenamiento	60
3.10	Gráfica de tenacidad vs tiempo de almacenamiento	61
3.11	Gráfica de carga vs tiempo de almacenamiento	63
3.12	Gráfica de concentración de oxígeno vs tiempo de almacenamiento	64
3.13a	Morfología del mucílago	66
3.13b	Morfología de la manzana	66
3.13c	Morfología de la manzana con recubrimiento de mucílago con plastificante	66
3.13d	Morfología de la manzana con recubrimiento de emulsión-mucílago	66

---



3.13e	Morfología de la manzana con recubrimiento de nanoemulsión	66
3.13f	Morfología de la manzana con recubrimiento de nanoemulsión-mucílago	66

---



## Lista de cuadros

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1.1	Producción agrícola, cíclicos y perennes 2009	2
1.2	Poblaciones con mayor consumo de manzana	3
1.3	Propiedades químicas de la manzana	5
1.4	Contenido de vitaminas en la manzana	6
1.5	Firmeza, jugosidad, sólidos solubles, pH y acidez	6
1.6	Aplicaciones de recubrimientos comestibles en manzanas frescas cortadas	20
1.7	Recubrimientos con mucílago de nopal	21
2.1	Selección de factores	32
3.1	Temperatura, humedad relativa y velocidad del aire	45
3.2	Tamaño de partícula	50
3.3	Potencial zeta	51

---



## RESUMEN

Las enfermedades crónicas degenerativas han impulsado a los consumidores al cambio de sus hábitos alimenticios. Por lo que las frutas frescas cortadas, son una buena alternativa, un ejemplo de ellas son las manzanas por su alto contenido de fenoles que contribuyen a reducir el estrés oxidativo, razón por la que su demanda se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas. Con el cortado, los frutos sufren daños físicos que limitan su vida útil se han planteado diversas alternativas de conservación; tales como las atmósferas modificadas que disminuyen la velocidad respiratoria. Sin embargo, en el desarrollo del oscurecimiento en el fruto, por acción de la polifenoloxidasas, éstas no representan una solución única, por lo que se han estudiado diversos tratamientos, utilizando ácido ascórbico, cisteína, lisina, y diversos ácidos orgánicos. Además, se ha demostrado que la utilización de hidrocoloides contribuye a limitar el intercambio de gases entre el fruto y el medio ambiente. En este trabajo se evaluó la funcionalidad de un recubrimiento elaborado con una nanoemulsión con dl- $\alpha$ - tocoferol y mucílago de nopal aplicado a manzanas frescas cortadas. Planteándose que si bien un recubrimiento contribuye a limitar el intercambio de vapor de agua y oxígeno. La reducción del tamaño de partícula a talla submicrónica permitirá una mejor distribución en la superficie e interacción con la membrana celular, contribuyendo con ello a incrementar la vida útil. Los recubrimientos se prepararon por un método de homogenización a alta velocidad. La aplicación de ellos se realizó por inmersión de gajos de manzana. Posteriormente, se envasaron en vasos de poliestireno, almacenados a 4 °C por 21 días. La evaluación de las unidades experimentales se realizó cada tercer día, determinando la firmeza, jugosidad, cambios de color, acidez titulable, pH y °Brix. Las manzanas recubiertas con nanoemulsión-mucílago mostraron los mejores atributos de calidad. La textura, se encontró valores entre 44 y 55 N para punción, una jugosidad con un intervalo de 0.54 a 0.66 g/mL durante su almacenamiento en refrigeración. Después las muestras de emulsión-mucílago. Estas presentaron mejores atributos que las recubiertas con mucílago o nanoemulsión. La mayor variación correspondió a las de lote control, o sin recubrimiento. El índice de oscurecimiento que presentó la manzana con un recubrimiento de nanoemulsión-mucílago fue un 50% menor que el de las manzanas control. Los parámetros de pH y °Brix permanecieron constantes para todos los tratamientos. Por lo que se puede concluir que la nanoemulsión-mucílago, es un recubrimiento que alarga la vida útil de las manzanas frescas cortadas, además de que proporcionar un aporte nutracéutico a las frutas, por las características que le confiere el mucílago, siendo este un hidrocoloide natural.

**Palabras clave:** *Mucílago, Nanoemulsión, Recubrimiento, Red-Delicious.*



## INTRODUCCIÓN

Hoy en día el sobrepeso y las enfermedades crónicas degenerativas han alcanzado cifras muy elevadas por el ritmo acelerado en que vive la población actual, esto conlleva a malos hábitos de consumo. Por lo que actualmente la sociedad ha adquirido una tendencia que exige alimentos frescos, nutritivos, seguros, de bajo costo, pero sobre todo, saludables (Lee et al., 2003; Torrieri et al., 2008). Es por ello que el consumo de frutas y hortalizas frescas se ha incrementado considerablemente en los últimos años (McHugh y Senesi, 2000; Soliva-Fortuny et al., 2001; Rojas-Graü et al., 2008a). Los frutos frescos cortados presentan un rápido deterioro debido a que sufren lesiones en los tejidos, lo que genera que su vida útil sea menor, y a consecuencia hay una alta actividad metabólica de la célula de la membrana que promueve cambios fisiológicos incrementando su respiración, producción de etileno y ablandamiento de los tejidos, lo que provoca la pérdida de calidad de dichos productos. (Albanese et al., 2007; Chien et al., 2007; Rojas-Graü et al., 2007). Para retardar esta pérdida, una excelente alternativa es el uso de recubrimientos y películas comestibles, ya que actúan como barrera al vapor de agua y gases (Avena-Bustillos et al., 1997; Lee et al., 2003; Pérez-Gago et al., 2006). Los recubrimientos provocan un pequeño cambio a la atmosfera del fruto, debido a que regulan el intercambio gaseoso del fruto y junto con una temperatura óptima de refrigeración, contribuyen a una vida útil razonable para los frutos frescos cortados (Rico et al., 2007; Rojas-Graü et al., 2008b).

Rojas-Graü et al. (2008a) realizaron estudios con recubrimientos comestibles a partir de polisacáridos (alginato y gelana), demostrando que retardan la pérdida de agua y reducen el oscurecimiento enzimático. Resultados similares fueron obtenidos para un recubrimiento de alginato-fructosa-sorbato de potasio por Olivas



et al. (2007). Por otro lado se ha señalado que los recubrimientos preparados a partir de emulsiones permiten un control de maduración y pérdida de agua debido a que el componente lipídico le otorga una barrera al vapor de agua. Con el uso de un hidrocoloide adicionalmente, provee una selecta barrera al oxígeno y al dióxido de carbono además de que le proporciona mayor integridad a la estructura del fruto, mejorando sus propiedades mecánicas. Así que, se ha reportado una gran variedad de recubrimientos elaborados a partir de diferentes materiales dentro de los que destacan gomas y mucílagos (Kester y Fennema 1986; García et al., 2000; Yang y Paulson, 2000; Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005). Dadas las propiedades gelificantes y reológicas de los mucílagos, los cuales pueden formar disoluciones coloidales viscosas, resultan tener un excelente potencial como recubrimientos a frutas y vegetales, en combinación con un apropiado emulsificante y estabilizante (Medina-Torres et al., 2000; Matsuhiro et al., 2006). Otro aspecto que debiera considerarse, aunque aún no existen reportes en la literatura en el área de recubrimientos comestibles, es la consideración de la talla submicrónica de los componentes que integran el recubrimiento. Cuando estos son sistemas física y termodinámicamente estables debido a que el tamaño de partícula ayuda a tener una mayor estabilidad coloidal porque reduce la fuerza gravitacional, evitando la sedimentación. Por ejemplo en el caso de las emulsiones, la proporción relativamente grande entre el espesor de la interfase y el tamaño del glóbulo, reduce el adelgazamiento de la película (Mustafa et al., 2009; Fu et al., 2010; Qian y McClements, 2010; Rao y McClements, 2010; Yoon Sung et al., 2010; Zhisheng et al., 2010), adicionalmente, el tamaño submicrónico aumenta su facilidad de adsorción (Shafiq-un-Nabi et al., 2007; Gao et al., 2011; Silva et al., 2011).

Las nanoemulsiones son un mezcla heterogénea de aceite y agua, con glóbulos de tamaño nanométrico en el rango de distribución entre los 100 y los 1000 nm (Shah et al., 2010; Solé et al., 2010; Yoon Sung et al., 2010). Razón por la que el objetivo de este trabajo fue evaluar las potencialidades de la utilización de sistemas de talla submicrónica sobre la efectividad en la disminución del índice de



oscurecimiento e incremento de vida útil en manzana fresca cortada refrigerada comparando la formulación y tamaño de partícula de sistemas con mucílago de nopal y dl- $\alpha$ - tocoferol.



## I. ANTECEDENTES

### 1.1 La manzana

La manzana fue introducida en la península Itálica por los romanos y los árabes. Se fue extendiendo por todo el mundo a lo largo de los años y hoy en día los principales países productores son; España, China, Estados Unidos, Alemania, Italia, Polonia, Francia, Irán, Rusia, India, Brasil, Bélgica, Países bajos y Austria (EROSKI, 1998). La facilidad del manzano a diferentes climas, y suelos permiten cultivarlo a gran escala en todos los países de climas relativamente fríos o templados. Es por ello que existen más de mil variedades de manzanas en todo el mundo. Se podría decir que el cultivo de manzanas es tan antiguo como la humanidad misma. El manzano es el árbol más cultivado, debido a que este fruto ha tomado fuerza en la industria por sus características resistentes a las enfermedades, a las heladas de invierno, por su apariencia (olor y forma), su textura y su alto rendimiento (Comité, 2005).

Entre las variedades de manzana más conocidas se encuentran: “*Golden deliious*”: de origen americana, introducida en el mercado en el año de 1914, su piel es amarilla verdosa con pequeños puntos oscuros, de forma redonda regular. “*Granny smith*” su lugar de origen es Australia, tiene piel de color verde, se considera descendiente de las manzanas silvestres francesas que cultivaba la abuela australiana María Ann Smith, es extremadamente ácida, crujiente y jugosa, con una forma muy redondeada. Vendida desde el año 1868. “*Red delicious*”, es un fruto grande y alargado, con piel de color rojo brillante, tiene su origen en Perú y fue introducida al mercado en el año de 1874. “*Fuji*” es una variedad japonesa que se introdujo al mercado en 1962, esta variedad es una cruce de las variedades *Red delicious* y *Ralls janes* que se obtuvo en una estación de



investigación en Japón. “*Gala*”, fruto con rayas rosa-anaranjadas sobre un fondo amarillo, es una cruce de las variedades *Kidd’s orange* y *Golden delicious* que fue desarrollada por cultivadores en Nueva Zelanda y dada a conocer en el año de 1965. “*McIntosh*”, el color de su piel está formado por una combinación de dos tonos de rojo o un tono rojo y uno verde. Y “*Braeburn*”: esta variedad fue introducida al mercado en 1952, proveniente de Nueva Zelanda, es un fruto agrídulce de color naranja a rojo sobre un fondo amarillo (Washington, 2007; Do Nascimento, 2008).

En México se cultivaron en el 2009 alrededor de 560 mil toneladas, la mayoría provenientes de Chihuahua, el mayor productor de manzanas. En el cuadro 1.1 se observan la producción nacional de las diferentes variedades en México.

**Cuadro 1.1 Producción agrícola, cíclicos y perennes 2009**

Cultivo	Variedad	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Ton)
Manzana		3,052.87	3,011.85	22,845.14
	<i>Criolla</i>	7,494.50	7,386.00	28,818.87
	<i>Golden delicious</i>	25,731.09	23,350.2	280,105.19
	<i>Red delicious</i>	18,626.48	18,174.83	188,808.66
	<i>Rome beauty</i>	2,879.75	2,630.75	29,856.88
	<i>Starking</i>	2,373.10	2,367.10	10,808.40
	<i>Starking delicious</i>	71.00	71.00	249.20

Fuente: (SAGARPA, 2010)

En el cuadro 1.1 se puede apreciar que de la producción total la variedad “*Golden delicious*” fue la más cosechada y por tanto la de mayor volumen de venta, probablemente por sus características intrínsecas. Este fruto es extremadamente dulce y de alta preferencia por el consumidor, sobre todo para los infantes en México. También se observa que la segunda manzana con mayor producción es la



“Red delicious”, la cual tiene un sabor ligeramente dulce, pero de diferente textura. Uno de sus mejores atributos es que es una variedad muy jugosa. En el cuadro 1.2 se presentan las poblaciones con mayor consumo por este fruto en la República mexicana.

**Cuadro 1.2 Poblaciones con mayor consumo de manzana**

	% De población consumidora	Consumo kilos por persona /año	Consumo kilos por familia /año
<b>Pachuca</b>	67.4	17.4	55.7
<b>León</b>	70.9	12.3	46.8
<b>Morelia</b>	73.6	11.3	46.8
<b>Puebla</b>	70.3	10.7	44.6
<b>Zamora</b>	70.8	10.3	40.1
<b>Aguascalientes</b>	74.0	10.7	36.5
<b>Irapuato</b>	75.8	7.7	32.3
<b>Guadalajara y Zapopan</b>	72.6	9.0	31.9
<b>Culiacán</b>	74.1	7.9	31.5
<b>Mazatlán</b>	77.3	7.0	27.3
<b>Durango</b>	58.3	5.3	16.2

*Fuente: (Comité, 2005)*

En el cuadro 1.2 se reporta que la población de Mazatlán tiene el mayor porcentaje de población consumidora, mientras que Pachuca tiene el mayor consumo per cápita y por familia. Nótese en el cuadro que no son los estados de mayores habitantes los principales consumidores.

### 1.1.1 Características de la manzana

La manzana es un fruto que se puede encontrar en diferentes colores (rojo, amarillo y verde). El color rojo característico de algunas manzanas es debido al aumento de las antocianinas y está relacionado directamente con los pigmentos de la piel y la exposición a la luz. El fruto es de forma esférica y troncocónica: de pulpa blanca, jugosa, aromática y con sabor agradable. El color de la cáscara del fruto no es un indicador de calidad y madurez. Sin embargo, el consumidor



selecciona el fruto por su color. La firmeza de los frutos se define como la consistencia del tejido, por lo tanto es un factor importante para la definición de calidad de los atributos de la manzana, por ejemplo manzanas crujientes y firmes tiene mayor preferencia que las manzanas suaves y pastosas. La firmeza de las manzanas va a depender del tipo de cultivo y de la variedad. La calidad también depende del sabor; el cual incluye los sólidos solubles, que tienen relación con los azúcares presentes en el fruto, ya que estos determinan la madurez del mismo. De igual modo la acidez determina la cantidad de ácido málico presente en el fruto y este también está relacionado con la madurez (Do Nascimento, 2008).

La variedad '*Red delicious*' (figura 1.1) son frutos grandes, más elipsoides. Generalmente tienen cinco lóbulos o protuberancias bien marcadas, a veces de forma irregular por la polinización, con tamaños medios de 70 a 85 milímetros de calibre y una altura que va desde los 85 a los 90 milímetros, con un peso de 160 a 240 gramos.



**Figura 1.1 Corte transversal de la manzana *Red delicious***

Ésta se caracteriza por tener piel brillante con estrías rojas y verdosas, de consistencia crujiente, jugosa, de sabor dulce ligeramente ácido y muy aromática,



su pulpa es blanquecina con tono amarillento, como se observa en la figura 1.1. Es autoestéril y de floración semi-tardía. Este fruto se encuentra con mayor facilidad en el mercado los meses de Septiembre a Junio (Comité, 2005).

Desde el punto de vista nutricional la manzana es una de las frutas más completas toleradas por la mayoría de las personas. Hoy en día se sabe que el contenido moderado en potasio de las manzanas las convierte en una fruta diurética, recomendada para las personas con enfermedades cardiovasculares, como la hipertensión arterial o enfermedades asociadas a la retención de líquidos. Contienen una importante cantidad de fibra insoluble, que regula la función intestinal y también contiene antioxidantes. Está compuesta por un 85% de agua, por lo que esto le otorga una propiedad refrescante e hidratante. Su composición química se observa en el cuadro 1.3.

**Cuadro 1.3 Propiedades químicas de la manzana**

	<b>Porción Comestible g/100g</b>	<b>Humedad %</b>	<b>Proteínas %</b>	<b>Lípidos %</b>	<b>Hidratos de Carbono %</b>	<b>Fibra %</b>
<b>Manzana</b>	84	85.7	0.3	0	12	2

*Fuente: Moreiras et al. (2006)*

En el cuadro 1.3 se observa que la manzana tiene una porción comestible de 84 g/100 g, lo que muestra que la mayor parte del fruto es aprovechado. También se observa que este fruto presenta un alto porcentaje de humedad, con casi nulas proteínas, sin grasas, buena fuente de carbohidratos y proporciona fibra, por lo que es considerado como un buen alimento dentro de la dieta humana, además de que aporta propiedades antioxidantes.



Adicionalmente, en el cuadro 1.4 se presentan los contenidos vitamínicos de la manzana entera.

**Cuadro 1.4 Contenido de vitaminas en la manzana**

	Vitamina C (mg)	Vitamina E (mg)	Vitamina A (µg RAE)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)	Piridoxina (mg)	Folato (µg)
<b>Manzana</b>	4.6	0.18	3	0.017	0.026	0.091	0.041	3

*Fuente: Moreiras et al. (2006)*

En el cuadro 1.4 evidencia que la manzana tiene un alto contenido de vitamina C y de vitamina A, por lo que lo hacen un fruto muy nutritivo.

Por otro lado, el conjunto de atributos físicos, como la firmeza, la jugosidad, los sólidos solubles, el pH y la acidez que determinan la calidad del fruto se presentan en general en el cuadro 1.5.

**Cuadro 1.5 Firmeza, jugosidad, sólidos solubles, pH y acidez**

	Firmeza (N)	Jugosidad (g jugo/ 100 g pulpa)	Sólidos Solubles (°Brix)	pH	Acidez (g ácido málico / 100g pulpa)
<b>Manzana</b>	53	48-54	13-15	3.6-3.9	0.2258 – 0.2252

*Fuente: Seipel et al. (2009)*

El cuadro 1.5 se muestra los valores promedio de los atributos físicos, para la “Red delicious”. El valor de la firmeza, es parte de su textura, el cual se reporta como de 53 N y se determinó por compresión. Estos datos obtenidos evidencian un fruto de alta calidad. Sin embargo, la textura de las manzanas varía con el tipo de cultivo y la variedad de la manzana. Al igual que la dulzura y la acidez, varían dependiendo de la posición en la que crecieron las manzanas en el árbol, generalmente las que se encuentran alrededor del árbol son mas rojas y tienen un



contenido de azúcares mayor a las que se encuentran en el centro del árbol. El día de cosecha también es de gran importancia para los compuestos volátiles, debido a que el retardo de la cosecha tiende a disminuir la concentración de los compuestos volátiles (Do Nascimento, 2008).

Para evitar pérdidas de calidad después de la cosecha, es necesario hacer un preenfriamiento rápido de las manzanas, si esto no se lleva a cabo la manzana se afecta en la firmeza y reduce la vida útil del fruto. Después del preenfriado las manzanas se almacenan entre 1 - 4 °C a una humedad relativa de 90%-95%.

## **1.2 Alimentos frescos cortados**

La conservación de los alimentos es fundamental para mantener el suministro mundial. Esto ha llevado a los científicos a desarrollar nuevas tecnologías para mantener la calidad y cantidad de alimentos, con el fin de incrementar la producción de los mismos, sin que estos sean afectados y poder cumplir con las expectativas del consumidor. Hoy en día los consumidores quieren alimentos frescos, nutritivos, seguros, atractivos, a bajo precio y listos para comer. Este es el caso de los alimentos frescos cortados. Sin embargo, el mantenimiento de la calidad de estos productos no es fácil, ya que estos son tejidos vivos que siguen respirando aún cuando han sido cortados del árbol. Si a dicho fruto se le somete a un corte estos siguen siendo en su naturaleza y calidad semejante. El metabolismo continúa y los tejidos no producen las mismas respuestas fisiológicas, porque experimentan un aumento de la tasa de producción de etileno y respiración, con la consecuencia de un aumento en la velocidad de la pérdida de calidad (Rojas-Graü et al., 2009b; González-Aguilar et al., 2010).

Valero (2008) define a los frutos frescos cortados como, aquel producto que se encuentra contenido en bolsas o bandejas y está listo para consumir; ya que está



limpio, pelado y cortado. Las formas en las que se presentan éstos son muy variadas, pueden ser en gajos, cubos, esferas, laminillas, figuras diversas. O bien combinaciones entre ellas, para elaborar ensaladas, aperitivos, postres, etc. como se puede apreciar en la figura 1.2.



**Figura 1.2. Formas de presentación de los alimentos frescos cortados**

Estas frutas frescas y cortadas han sido ligeramente modificadas en su apariencia original, sin cambiar sus propiedades organolépticas y nutrimentales. Este grupo de alimentos se considera dentro de la IV gama en la clasificación de los vegetales. Tiene su origen en 1975 en Estados Unidos y en 1980 surge en Europa en los países de Suiza y Alemania. En la década de los 90's se extiende su uso al resto de los países europeos, donde tiene un alto grado de aceptación, es fresco, limpio y listo para su consumo. Además, se encuentra disponible con excelentes



presentaciones en los exhibidores de los supermercados a precios muy accesibles al consumidor.

En la figura 1.2 se aprecian diferentes formas de presentar los frutos cortados, Uvas, melón, jícama, manzana, sandía, naranja, kiwi, entre otras. Las formas dependen del gusto y la creatividad del productor, además de las características del tejido del fruto para cortar ciertas figuras.

El inconveniente de los frutos frescos cortados es que a diferencia de los frutos enteros, estos presentan daños mecánicos que alteran los tejidos, al romperse las membranas celulares e incrementarse la actividad enzimática, lo que provoca reacciones indeseables. Estos cambios celulares se producen durante las operaciones de pelado y cortado, lo que permite que las enzimas se entremezclen con los substratos y que se aceleren los cambios de la calidad.

El corte de los productos acelera la respiración, provocando daños mecánicos y ablandamiento del tejido vegetal. Los tejidos cortados constituyen barreras menos eficaces a la difusión de los gases, toleran concentraciones elevadas de oxígeno, niveles inferiores de dióxido de carbono que los productos intactos. Es por ello que para retardar estas pérdidas los productos troceados deben enfriarse a 4 °C.

El éxito de los productos frescos cortados radica en el manejo y en el desarrollo de nuevas técnicas que mantengan la calidad e inhiban el crecimiento microbiano. Algunos ejemplos de estas técnicas son: atmósferas modificadas, luz ultravioleta, químicos (adición de estabilizantes del color y textura), aplicación de antimicrobianos y el uso de recubrimientos o películas comestibles. Estos desarrollos propiciaron que el ramo de la ingeniería en alimentos se encuentre en constante evolución.



En la figura 1.3 se muestran productos donde se aplican algunas de las técnicas de conservación mencionadas anteriormente.



**Figura 1.3 Técnicas para mantener la calidad de los alimentos; 1.3a) Luz ultravioleta; 1.3b) y 1.3c) Atmosferas modificadas; 1.3d) Recubrimientos comestibles.**

Se puede observar en la figura 1.3, tres diferentes formas para mantener la calidad de los alimentos, luz ultravioleta (ver figura 1.3a) la cual consiste en hacer pasar un alimento por una irradiación de 254 nm, para eliminar y controlar el crecimiento de microorganismos (González-Aguilar et al., 2010). Otra técnica que se observa en las figuras 1.3 b y 1.3 c son las atmósferas modificadas o empaques activos, los cuales contiene una cantidad conocida de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono, entre otros gases que estan interaccionando con los alimentos durante su almacenamiento. Estos envases fueron los primeros en comercializarse (Soliva-Fortuny et al., 2001; González-Aguilar et al., 2010). También en la figura 1.3d se aprecian las técnicas de recubrimientos comestibles;



ésta consiste en aplicar una capa de polisacáridos naturales para recubrir y proteger los alimentos.

Willey (1997) mencionó que la operación de cortado induce profundos cambios cuantitativos y cualitativos en el metabolismo tisular. Los cambios que se producen incluyen aceleración de la respiración, síntesis del ADN y del ARN, inducción de nuevas enzimas, degradación de las membranas y aparición de nuevo mARN. El cortado induce una actividad metabólica, produciéndose como principales manifestaciones fisiológicas de este fenómeno un incremento en la velocidad de la respiración y en algunos casos, producción de etileno. La respuesta de los tejidos depende de la magnitud del estrés a que ha estado sometido.

La temperatura ayuda a la disminución de la respiración y el retraso de la senescencia, ya que existe una relación lineal entre el logaritmo de la velocidad del consumo de oxígeno y la temperatura. Las reacciones bioquímicas son catalizadas por enzimas, por lo que los cambios bioquímicos en las frutas frescas cortadas disminuyen por efecto de las bajas temperaturas, ya que disminuye las reacciones. Esto ayuda a mantener su calidad y extender su vida comercial debido a la inhibición o disminución de actividades enzimáticas y la síntesis del etileno y factores bióticos y abióticos (Soliva-Fortuny et al., 2003).

La acción microbiana, causada por hongos y levaduras, se incrementa ya que el corte permite que el jugo salga desde los tejidos internos hacia la superficie del producto. Dichos jugos contienen los nutrientes necesarios para el desarrollo y el crecimiento microbiano (González-Aguilar et al., 2009).

### **1.2.1 Cambios de calidad en manzana fresca cortada**

La principal alteración que presenta la manzana frescas cortadas se encuentran la pérdida de agua, el oscurecimiento enzimático, el ablandamiento de los tejidos, el



aumento de la respiración, la presencia de sabores y olores desagradables, así como posibles alteraciones microbianas. La pérdida de calidad nutricional sobre todo vitamina C, puede ser importante debido al daño mecánico causado durante el cortado, almacenamiento prolongado, temperaturas altas, humedad relativa baja y daño por frío, por tanto cada etapa del proceso de elaboración desempeña un papel importante en los mecanismos de alteración del producto.

### **1.2.2 Oscurecimiento enzimático**

El oscurecimiento de la manzana es considerado una de las principales limitantes de la vida útil del producto, ya que genera un rechazo para el consumidor. Este oscurecimiento se produce, debido a que al romperse los compartimentos de las células, los compuestos fenólicos pueden participar tanto en reacciones de oscurecimiento enzimático como no enzimático.

El oscurecimiento enzimático y la oxidación de sustratos fenólicos es catalizada por la polifenoloxidasa (PPO) y se forman quinonas. Estas pueden participar en reacciones secundarias, que ayudan a la formación de productos de oscurecimiento secundarios, llamados melaninas, que producen el cambio en la coloración del fruto y disminuyen su calidad visual.

La causa de oscurecimiento no enzimático se debe a las interacciones entre los fenoles y metales pesados, como el hierro, presentes en la manzana los cuales producen un cambio de color. La actividad de las polifenoloxidasas va a depender del cultivo, el grado de madurez, la presencia de oxígeno y la variedad de la manzana. En cambio, el grado de oscurecimiento que ocurre en el fruto depende de la concentración y tipo de compuesto fenólico presente. Una variedad con mayor actividad de la polifenoloxidasa es la "*Red delicious*" (Rocha y Morais, 2001; Chung y Moon, 2009; González-Aguilar et al., 2009).



En la figura 1.4 se presenta una manzana con oscurecimiento enzimático.



**Figura 1.4 Manzana con oscurecimiento enzimático**

Se observa en la figura 1.4 un corte transversal por la parte central de una manzana “*Red delicious*” con oscurecimiento enzimático, debido a la reacción por presencia de PPO en contacto con el oxígeno.

### **1.2.3 Cambios texturales en manzana**

Otro cambio importante que manifiestan las manzanas frescas cortadas, es la pérdida de firmeza, que se produce por la acción de las enzimas proteolíticas y pectolíticas sobre la pared celular. Después de la operación de cortado los tejidos presentan una pérdida de firmeza debido a la hidrólisis enzimática de las



sustancias pépticas que forman parte de la pared celular. Enzimas como pectino-metil-esterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) desempeñan un papel importante en el ablandamiento de los tejidos. La PME produce la hidrólisis de la pectina, al formar metanol y ácido péctico, el cual es despolimerizado por la PG, desestabilizando la estructura celular. No obstante, la actividad enzimática de los tejidos cortados puede depender del estado fisiológico del fruto entero. Este incremento en la actividad enzimática causa daños microestructurales en diferentes componentes estructurales de la célula. Esto conlleva a una disminución de la adhesión entre células y la aparición de exudados que inundan los espacios intercelulares debido a la permeabilidad de las manzanas. El estrés que sufren los tejidos durante la operación de pelado y cortado puede aumentar la permeabilidad de las membranas y así el intercambio celular de fluidos. Este daño celular provoca una descompartimentalización de enzimas y sustratos al causar un aumento en la actividad enzimática y pérdida de fluidos. Así la degradación de la firmeza en el fruto fresco cortado durante los primeros días, se relaciona con la hidrólisis enzimática de componentes celulares por parte de enzimas liberadas durante el proceso de cortado (González-Aguilar et al., 2009).

### **1.3 Recubrimientos comestibles**

Las películas y recubrimientos se han utilizado por siglos para impedir la pérdida de humedad y crear una superficie brillante de frutas con fines estéticos. En cambio, el término, recubrimiento comestible, solo en los últimos 50 años, se ha empleado en aplicaciones alimenticias. En la mayoría de los casos, éste término en la industria se usa para indicar que la superficie de un alimento está cubierta por una capa relativamente delgada de material de cierta composición (Embuscado y Huber, 2009). Recientemente el interés de los recubrimientos comestibles para la aplicación en alimentos se ha incrementado para la



conservación de una amplia variedad de alimentos principalmente frutos y vegetales frescos.

Del-Valle et al. (2005), Rojas-Graü et al. (2009a) y González-Aguilar et al. (2010) mencionan que los recubrimientos comestibles se pueden dividir en proteínas, polisacáridos, lípidos y mixtos. Definen a estos como una capa muy delgada de material comestible formado en la superficie del alimento o colocado entre los componentes de los alimentos. Este tipo de recubrimientos ayuda a extender la vida útil de un alimento, además de proporcionar una barrera contra los riegos. Estos pueden ser por la disminución de la humedad debido a la migración o la pérdida de los compuestos volátiles. El recubrimiento ayuda a retardar el proceso de la respiración y los cambios en las propiedades texturales. Se considera parte integral del alimento y puede ser ingerida.

Los recubrimientos comestibles deben cumplir una serie de requisitos para poder ser empleados en los frutos frescos cortados, entre ellos se encuentran: ser considerados como sustancias seguras (no tóxicas), ser estables en condiciones de alta humedad relativa, 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 aceptables y ser estables tanto en el punto de vista fisicoquímico como microbiológico. Asimismo de ser de un costo razonable e incoloras (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005; Rojas-Graü et al., 2009b).

### **1.3.1 Caracterización de recubrimientos comestibles**

Los recubrimientos comestibles aplicados en frutas cortadas producen una atmósfera modificada que reduce el deterioro, retarda la maduración de las frutas climatéricas, reduce la pérdida de agua, retarda los cambios de color, mejoran la apariencia, disminuyen la pérdida de aromas, reducen el intercambio de humedades, pueden contener compuestos antioxidantes o algún nutraceutico



seleccionado. También, estabilizan la textura, dan color, sabor y una mejor apariencia al producto. Las principales propiedades que deben tener los recubrimientos son las siguientes:

- **Propiedades de barrera:** La característica funcional más importante es la pérdida de humedad. La deshidratación superficial es uno de los principales problemas de la calidad de los productos cortados. La pérdida de agua se traduce en una pérdida de peso y la disminución de la calidad durante su comercialización. Para ayudar a mejorar las propiedades de barrera los recubrimientos se realizan a base de emulsiones, de esta manera se formulan coberturas comestibles combinando las ventajas de los compuestos hidrocoloides y de los componentes lipídicos, los primeros como barrera selectiva a los gases y los últimos como barrera al vapor de agua, impidiendo la pérdida de peso.

La habilidad para modificar el transporte de gases es importante para productos como frutas, los cuales se caracterizan por tener un metabolismo activo. El uso de los recubrimientos comestibles sobre los frutos genera una atmósfera modificada mediante un aislamiento del producto del ambiente que lo rodea. Sin embargo, los recubrimientos extremadamente impermeables pueden inducir a la creación de condiciones anaerobias, que producen pérdidas de componentes aromáticos típicos de la fruta y presencia de aromas indeseables (García et al., 2000; Chein et al., 2007; Viña et al., 2007; González-Aguilar et al., 2010).

- **Propiedades mecánicas:** dependen del tipo de material empleado, es decir, la habilidad del polímero para formar puentes moleculares numerosos y estables. Las propiedades dependen en gran medida de la composición y estructura de los ingredientes. Por lo tanto, la elección de sustancias y/o aditivos están totalmente relacionadas con la función para la cual se desea



utilizar el recubrimiento, la naturaleza del alimento y el método de aplicación. Cuando el material empleado se coloca en la superficie de la fruta, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas en el recubrimiento y adhesión entre el recubrimiento y la fruta (Yang y Paulson 2000; Olivas y Barbosa-Cánovas 2005; Yang et al., 2010).

- **Transporte de aditivos:** Los recubrimientos pueden ser un medio o vehículo para cargar antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, esto permite mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento (Ponce et al., 2008).

### **1.3.2 Ventajas y desventajas de los recubrimientos**

Las principales ventajas de los recubrimientos comestibles son: pueden ser ingeridas por el consumidor, su costo es relativamente bajo, mejoran las características nutricionales y sensoriales del alimento, presentan mejor retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor, disminuyen la pérdida de agua, disminución de los desórdenes metabólicos durante el periodo de conservación, soportan otros componentes, reducción de los desperdicios, proporcionan seguridad al consumidor y mantienen la calidad durante el almacenamiento (Rico et al., 2007; Torrieri et al., 2008; Rojas-Graü et al., 2009a). Sin embargo, también se pueden presentar algunas desventajas como lo es su grosor que puede limitar el intercambio gaseoso durante la respiración, pudiendo causar una acumulación de altos niveles de etanol y esto llevar a un desarrollo de malos sabores. Por el otro lado, un recubrimiento con escasas propiedades de barrera causa una pérdida de peso debido a la disminución de humedad del alimento, y esto da origen al crecimiento microbiano. Los recubrimientos comestibles con buenas propiedades barrera dan origen a la respiración anaerobia e interfieren con el proceso natural de maduración (Rico et al., 2007).



### **1.3.3 Agentes formadores de recubrimientos comestibles**

Para la formación de recubrimientos se utilizan tres tipos de materiales (Shon y Haque 2007) las cuales se enlistan a continuación:

- Hidrocoloides
- Lípidos
- Mezclas

Las condiciones y las características de los materiales con los que se fabriquen y sus interacciones otorgan las propiedades al recubrimiento (García et al., 2000; Mei y Zhao 2003; Viña et al., 2007).

Los recubrimientos elaborados con hidrocoloides incluyen a las proteínas y polisacáridos (goma, mucílagos, pectinas, almidones entre otros). Las ventajas de estos recubrimientos son la barrera al oxígeno, dióxido de carbono y lípidos, además, de que no aportan ningún sabor al alimento. Sin embargo, no tienen una buena barrera al vapor de agua y son sensibles al calor (Viña et al., 2007).

Los polisacáridos debido a su naturaleza hidrofílica, carecen de ser una buena barrera al vapor de agua. Sin embargo, ayudan a retardar la pérdida de humedad de algunos alimentos durante períodos de almacenamiento cortos. Tienen una barrera a los gases y son de fácil adhesión a la superficie de los frutos (García et al., 2000; Oms-Oliu et al., 2008).

Los recubrimientos de proteínas poseen mayor resistencia al vapor de agua que el resto de los hidrocoloides. Son susceptibles al cambio de pH y pueden otorgar un valor nutricional agregado al producto (Viña et al., 2007).



La elaboración de recubrimientos a base de lípidos se utilizan principalmente por sus altas propiedades de barrera al vapor de agua debido a la polaridad relativamente baja, además de dar brillo. Las ceras son comúnmente usadas en frutos para ayudar a retardar la respiración y la pérdida de humedad, ya que son más resistentes al paso del agua (García et al., 2000; Viña et al., 2007).

Las mezclas de componentes producen recubrimientos comestibles heterogéneos formados por componentes hidrocoloides, proteínas y/o lípidos. Esto permite tomar ventaja de las características funcionales en cada uno de los componentes. Un ejemplo de ello puede ser la formación de emulsiones como recubrimientos (García et al., 2000; Shon y Haque, 2010).

Además del componente principal los recubrimientos comestibles también contienen aditivos como lo son los plastificantes, saborizantes, pigmentos, emulsificantes, surfactantes, conservadores, potencializadores de sabor y textura (Ponce et al., 2008).

#### **1.3.4 Aplicación de los recubrimientos comestibles en manzanas**

La manzana es uno de los principales frutos estudiados a lo largo de la historia, debido a que se encuentra presente la mayor parte del año. Los principales estudios realizados a este fruto han sido para alargar sus atributos físicos, en los productos frescos cortados. Esto debido a la pérdida de la calidad, por los cambios ópticos que se presentan por la acción de las enzimas, y la degradación química y física del alimento debido a estas acciones.

En el cuadro 1.6 se muestra la recopilación de estudios de diferentes autores, en recubrimientos comestibles en manzanas frescas cortadas, en el campo de los alimentos, donde se analizó el efecto causado por cada uno de los materiales con



los que fueron elaborados los recubrimientos y el porcentaje de compuesto utilizado.

**Cuadro 1.6 Aplicaciones de recubrimientos comestibles en manzanas frescas cortadas**

Material del recubrimiento	Ingrediente funcional	% incorporado	Efecto	Referencia
Alginato y pure de manzana	Limón	1.0-1.5 (v/v)	Reduce la presencia de psicrófilicos, mohos y levaduras	Rojas-Graü et al. (2007)
	Orégano	0.1-0.5 (v/v)		
	Vainilla	0.3-0.6 (v/v)		
Alginato	Canela	0.7 (v/v)	Inhibe la presencia microbiana por 30 días	Rabybaudi9-Massilia et al. (2008)
	Clavo	0.7 (v/v)		
	Limón	0.7 (v/v)		
	Cinnamaldehyde	0.5 (v/v)		
	Eugenol	0.5 (v/v)		
	Citral	0.5 (v/v)		
Carragenina y proteína de suero concentrada	Ácido ascórbico	1.0 (w/v)	Mantiene el color original sin cambios sensoriales	Lee et al. (2003)
	Ácido cítrico	1.0 (w/v)		
	Ácido oxálico	0.05 (w/v)		
Proteína de suero concentrada con cera de abeja	Ácido ascórbico	0.5-1.0 (w/v)	Reduce el oscurecimiento	Perez-Gago et al. (2006)
	Cisteína	0.1-0.5 (w/v)		
	4-Hexilresorcinol	0.005-0.02 (w/v)		
Maltodextrina y metilcelulosa	Ácido ascórbico	No reportado	Reduce la decoloración de la superficie	Brancoli and Barbosa-Cánovas (2000)
Carboximetilcelulosa y proteína de soya	Ácido ascórbico	0.5 (w/v)	Retarda el oscurecimiento	Baldwin et al. (1996)
Pectina y pure de manzana	Ácido ascórbico	0.5 (w/v)	Preserva el color 12 días	McHugh and Senesi (2000)
	Ácido cítrico	0.5 (w/v)		
Alginato y gelana	N-acetilcisteína	1.0 (w/v)	Mantiene el color 2 semanas	Rojas-Graü et al. (2008)
Alginato y gelana	N-acetilcisteína	1.0-2.0 (w/v)	Retarda el oscurecimiento por 2 semanas	Rojas-Graü et al. (2007)
	Glutación	1.0-2.0 (w/v)		
Alginato y gelana	Cloruro de calcio	2.0 (w/v)	Mantiene la firmeza 2 semanas	Rojas-Graü et al. (2008)
Proteína de suero concentrada	Cloruro de calcio	1.0 (w/v)	Inhibe la pérdida de firmeza	Lee et al. (2003)
Alginato	Cloruro de calcio	10.0 (w/v)	Mantiene la firmeza	Olivas et al. (2007)
Alginato	Lactato de calcio	2.0 (w/v)	Mantiene la textura inicial por más de 30 días	Raybaudi-Massilia et al. (2008)

**Fuente:** Rojas-Graü et al., 2009a

En el cuadro 1.6 se observan algunos estudios de recubrimientos comestibles que se aplicaron en manzanas frescas cortadas, teniendo cada uno resultados



específicos. Los autores tratan de prevenir el oscurecimiento de la manzana e inhibir la presencia microbiana, principalmente.

### 1.3.5 Mucílago de nopal como recubrimiento

El mucílago de nopal es considerado un hidrocoloide, ampliamente utilizado como espesante y estabilizador. Las posibilidades de utilizarlo como goma son prometedores, debido a la similitud que presenta en su estructura química con algunas gomas comerciales como las pectinas y los alginatos (Medina-Torres, 2003). En el cuadro 1.7 se muestran algunos estudios donde el mucílago se empleó como base de recubrimientos comestibles.

Cuadro 1.7 Recubrimientos con mucílago de nopal

Fruto	Efecto	Referencia
Jícama	Ayudó a mejorar la pérdida de firmeza en las muestras.	Abraján (2008)
Fresa	Conservó la textura de las fresas además de sus propiedades físicas y sensoriales	Del-Valle et al. (2005)
Cacahuates tostados	Aumentó la estabilidad del producto al impedir la oxidación de los lípidos.	Mestrallet et al. (2009)

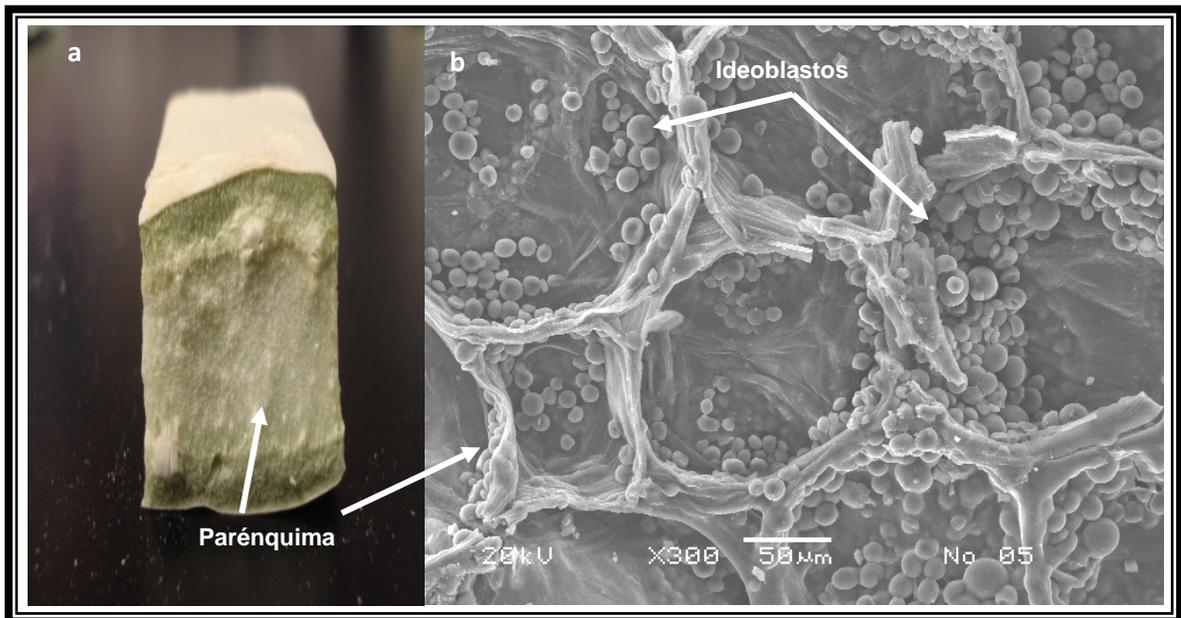
En el cuadro 1.7, se aprecian algunos ejemplos de recubrimientos, elaborados con mucílago *Opuntia ficus indica*, el recubrimiento ayuda a mantener la firmeza de los frutos, además de que impide la transferencia de gases, como el oxígeno, al formar una capa protectora.

### 1.4 Mucílago de Nopal

El mucílago de nopal (ver figura 1.5a corte transversal) se encuentra dentro de las grandes células vesiculares o ideoblastos del parénquima como muestra la figura



1.5a y 1.5b correspondiente a la micrografía de un corte transversal de nopal (Ruiz-Hernández, 2009). Son sustancias análogas a las gomas, generalmente heteropolisacáridos obtenidos de las plantas (Del-Valle et al., 2005).



**Figura 1.5a) Corte transversal del cladodio de nopal; 1.5b) Micrografía del parénquima del nopal (ideoblastos)**

En la figura 1.5a se muestra, un corte transversal de la penca del nopal donde se aprecia el parénquima. En la figura 1.5b se presenta la micrografía a 300 aumentos donde se observan una gran cantidad de ideoblastos o células buliformes que contienen al mucílago (Hiperbotánica, 2001).

El mucílago al contacto con el agua forma dispersiones viscosas. Se puede también obtener de algunas cactáceas, o de algunos frutos; tales como: sábila, mezquite, agave, maguey, entre otros (Sáenz et al., 2004).

El mucílago tiene una estructura ramificada, que contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, así como de ácido galacturónico en diferentes proporciones. La estructura del mucílago se propone



como dos distintas fracciones solubles en agua. Uno es una pectina con propiedades gelificantes con el  $\text{Ca}^{2+}$ , y el otro es un mucílago sin propiedades gelificantes. Se conoce que la fracción de polisacáridos solubles en agua con propiedades espesantes en la variedad *Opuntia ficus indica* representa menos del 10% del material soluble en agua (Sepúlveda et al., 2007).

En los nopales la epidermis tiene dos capas, una de células verdes, llamada clorénquima y otra capa interna que está formada por un cilindro de células blancas, conocida como parénquima (ver figura 1.5b). Estas cumplen con la función de retener agua principalmente. En los tejidos de la clorénquima y del parénquima existen células mucilaginosas, es ahí donde se almacena el material comúnmente conocido como “baba de nopal” o mucílago. Las células mucilaginosas se encuentran en mayor proporción en el parénquima. El mucílago es un compuesto muy complejo que tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener grandes cantidades de agua. Los estudios de tejidos celulares han demostrado que el mucílago está presente solo en el Aparato de Golgi y la síntesis del mucílago se lleva a cabo en él y en las vesículas derivadas de la misma. Estos polisacáridos al disolverse en agua causan un hinchamiento y son los que le ayudan al nopal a conservar el agua en tiempos de sequía (Sepúlveda et al., 2007).

#### **1.4.1 Composición Química**

El mucílago *Opuntia ficus indica* es un polisacárido natural de aproximadamente 55 residuos de azúcares sin ácido urónico, compuesto de arabinosa, ramnosa, galactosa y xilosa. A diferencia de la fracción soluble en agua presenta fracciones neutras de los glucanos y glicoproteínas y fracciones de ácidos que contienen arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico (Sáenz et al., 2004).



McGravie y Parolis (1981a, b) encontraron que el mucílago de nopal se compone de una familia de polisacáridos ramificada. Que consiste en un columna vertebral de unidades de ácido  $\alpha$ -D- galacturónico unidades ligadas 1 $\rightarrow$ 2 a  $\beta$ -L- ramnosa unida 1 $\rightarrow$ 4 con ramificaciones en el C-4, las ramificaciones siendo oligosacaridos de galactosa que llevan arabinosa y xilosa como sustitutos.

Medina-Torres et al. (2000) reportaron que el mucílago de la variedad de nopal *Opuntia ficus indica* está compuesto de un 44.04% de arabinosa, 20.43% galactosa, 22.13% xilosa, 7.02% ramnosa y un 6.38% de ácido galactúronico. Adicionalmente se mostraron que el peso molecular de este hidrocoloide es de  $3 \times 10^6$  g/mol. Mientras que el indicado por Trachtenberg y Mayer (1981) fue menor, demostrando estos que era de  $4.3 \times 10^6$  g/mol, y muy distinto al que determinó Medina-Torres et al. (2000) de  $2.3 \times 10^4$  g/mol. La diferencia de las técnicas de extracción y la contaminación del mucílago con otros componentes celulares pueden explicar estos resultados, además de los estados de madurez en la penca y la variedad del nopal.

En el área de alimentos se ha incrementado el interés por la alta concentración de mucílago encontrado en algunas especies de nopal, la conformación polimérica y las propiedades reológicas de este compuesto, ya que sugieren un potencial considerable de estas cactáceas como fuente de materia prima en la formación de películas, geles y recubrimientos (Majdoub et al., 2001).

### **1.5 Emulsiones como recubrimientos comestibles**

Manson et al. (2006), definieron a las emulsiones como dispersiones inestables en las que interaccionan dos fases líquidas inmiscible entre sí, y se forma a través del corte mecánico, para abatir sus fuerzas. Para hacer una emulsión de larga



duración, los glóbulos deben persistir durante semanas o años sin que se fusionen, para lograr esto es necesario agregar un surfactante.

Las emulsiones se clasifican no sólo por la base de su composición, también se pueden clasificar de acuerdo a su morfología. Las emulsiones que tienen el agua como fase continua y el aceite como fase dispersa se llaman “directa”, a base de agua o emulsiones aceite en agua. En este caso el agente tensoactivo es generalmente soluble en la fase acuosa y proporciona una mayor estabilidad al agua. Las emulsiones que tienen el aceite como la fase continua se llama “inversa”, a base de aceite o emulsiones agua en aceite; y en este tipo de emulsiones el surfactante es generalmente soluble en el aceite y proporciona una mayor estabilidad a las películas de aceite (Mason et al., 2006).

La industria de alimentos es una de las industrias que dependen en gran medida de las emulsiones y los emulsificantes. Tradicionalmente las emulsiones se producen bajo la homogenización y la fase acuosa junto con la presencia de uno o más emulsificantes. Los emulsificantes reducen la tensión interfacial, lo que permite la formación de pequeñas gotas formando una capa protectora alrededor de ellas para protegerlas de la agregación mediante la generación de interacciones de repulsión (Guzey y McClements, 2006).

Los recubrimientos comestibles mixtos a base de compuestos lipídicos e hidrocoloides, se forman para combinar las ventajas de ambos compuestos. El lípido en la formación del recubrimiento sirve como una barrera al vapor de agua, mientras que el componente hidrocoloide proporciona una barrera al oxígeno y dióxido de carbono, además de la matriz. Las características organolépticas, funcional, propiedades nutricionales y mecánicas de un recubrimiento comestible puede ser modificado por la adición de diversas sustancias químicas en cantidades menores. Tales como los plastificantes, que se utilizan a menudo para modificar las propiedades mecánicas del recubrimiento. Mientras que los



compuestos lipofílicos actúan como emulsionantes y forman una capa protectora que impide la transferencia del agua (García et al., 2000).

Griffen en 1949 citado por Salager (1998), notó que existía una relación entre la naturaleza de un surfactante y sus propiedades como agente tensoactivo y emulsionante. Fue entonces cuando propuso el concepto de Balance Hidrofílico-Lipofílico (HLB), que es un método experimental que consiste en atribuir un cierto número HLB a los emulsificantes, a partir de la estabilidad de la emulsión.

El HLB corresponde a la máxima estabilidad de una emulsión, y puede llamarse como HLB requerido. Éste es una propiedad que tienen los aceites. El HLB es un concepto fisicoquímico, ya que indica un balance entre las tendencias hidrofílicas y lipofílicas del emulsionante. Este concepto reduce la complejidad para la formación de emulsiones, y ayuda a que estas tengan mayor estabilidad (Salager, 1998).

### **1.5.1 Nanoemulsiones**

Fu et al., (2010) definieron a la nanoemulsión como una clase de emulsión con glóbulos de tamaño nanométrico entre 50-500nm. Generalmente en este tamaño tienen mejor estabilidad debido a que el tamaño de la partícula no permite la sedimentación y la agregación de los glóbulos. Las nanoemulsiones se clasifican según la organización espacial del aceite y el agua, como las emulsiones convencionales. Sin embargo, estos sistemas siguen siendo inestables termodinámicamente y tienden a la ruptura con el paso del tiempo (McClements y Rao, 2011).

### **1.5.2 Métodos de preparación de nanoemulsiones**

Existen diferentes métodos por los que se elaboran las nanoemulsiones utilizando diferentes enfoques:



Los de alta energía, se utilizan dispositivos mecánicos capaces de generar intensas fuerzas, y de formar pequeñas gotitas de agua en la fase lipídica. Ejemplo de éstas es la homogenización a alta presión, microfluidización y ultrasonidos. Son los métodos más comunes utilizados en la industria, ya que está bien estudiado que estas pueden producirse a gran escala.

Las de bajo consumo de energía se basan en la formación espontánea de glóbulos de pequeñas mezclas agua en aceite en un sistema emulsionante. Estas soluciones se forman, cuando es alterada la interface a las condiciones ambientales, como la presión o temperatura (McClements y Rao, 2011).

Los métodos más comunes para la preparación de nanoemulsiones utilizados en alimentos, son los de alta presión, siendo los más comunes los que se presentan a continuación:

- Homogenización a alta presión

Pasar una mezcla a través de un estrecho orificio, para que ocurra una cizalla en la mezcla y como resultado adquirir tamaños de talla sumicornica, ésta puede realizarse en frío o en caliente. Y es necesario una fuerza destructiva por parte de la homogenización, supere a las fuerzas de restauración. Esto va a depender del diseño del equipo, la velocidad, tamaño de los orificios, la temperatura y las condiciones de la muestra entre otras (Mason et al., 2006; McClements y Rao, 2011).

- Microfluidización

Se utiliza generalmente en la industria farmacéutica para elaborar productos a base de emulsiones. Aunque también ha sido utilizada en la elaboración de bebidas, para producir emulsiones de sabor o en la leche homogenizada. La microfluidización consiste en hacer fluir una emulsión a través de un canal de dos corrientes, donde pasa cada corriente a través de otro canal fino. Y luego dirigir las



dos corrientes de un lado al otro de la cámara. Se generan fuerzas intensas dentro de la cámara lo que permite la formación de glóbulos (Mason et al., 2006; McClements y Rao, 2011).

- Ultrasonidos

En este tipo de homogenización se utilizan ondas ultrasónicas de alta intensidad para crear las fuerzas necesarias para la separación de aceite y agua en gotas muy pequeñas. La sonda se coloca dentro de la mezcla, la cual genera vibraciones mecánicas intensas que provocan la formación de pequeños glóbulos en el líquido. Recientemente, se ha demostrado que el tamaño de los glóbulos en un dispositivo ultrasónico tienden a disminuir conforme la onda ultrasónica se incrementa (Mason et al., 2006; McClements y Rao, 2011).

### **1.5.3 Caracterización de sistemas coloidales**

Los sistemas dispersos son sistemas de al menos dos fases, una fase discontinúa que se presenta en pequeñas partículas y la fase continua, sustancia que se va a encontrar en mayor cantidad y rodea a las partículas dispersas. Las emulsiones son sistemas coloidales termodinámicamente inestables, debido a que la energía libre del aceite y el agua por separado es menor que en la emulsión. Por consecuencia las emulsiones convencionales tienden a separarse.

La estabilidad cinética de las nanoemulsiones puede mejorar, por su tamaño de partícula y distribución de este. O al incorporarse las sustancias estabilizadoras como: emulsionantes, modificadores de textura, entre otros.

#### **1.5.3.1 Tamaño de partícula**

El tamaño de partícula se refiere al diámetro del glóbulo y es importante debido a que le confiere propiedades a la nanoemulsión. Ya que entre más pequeña sea la gota, el área superficial de la emulsión es mayor, también ayuda a reducir la



fuerza gravitacional y el movimiento browniano puede ser suficiente para superar a la gravedad. Esto significa que la sedimentación durante el almacenamiento de la emulsión se prolonga por más tiempo. Además de que también entre más pequeño sea el glóbulo ayuda a evitar la floculación, la deformación y evitar la unión entre partículas (Trados et al., 2004; Guzey y McClements, 2006; Qian y McClements, 2010; Rao y McClements, 2011).

### **1.5.3.2 Índice de polidispersión**

El índice de polidispersión indica la distribución de los tamaños de partícula en la solución y ayuda a conocer que tan estable es la emulsión, según la distribución de los tamaños. Generalmente se representa con una gráfica de campana, y lo más recomendable para la estabilidad de la emulsión es que la amplitud de la campana no sea amplia (Silva et al., 2011).

### **1.5.3.3 Potencial zeta**

El potencial zeta ayuda a predecir la estabilidad del sistema coloidal como en una emulsión submicrónica. Es decir que entre mayor sea el potencial zeta las partículas se repelen con mayor facilidad debido a sus cargas eléctricas, y hay menor agregación entre estas. Una emulsión alcanza su máximo de estabilidad cuando el valor del potencial zeta es mayor de 30 mV (Araújo et al., 2011; Rao y McClements, 2011).



## **II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

### **2.1 Problema**

El oscurecimiento enzimático es una problemática que presentan muchos de los frutos frescos cortados, por lo que continuamente se buscan alternativas para disminuir este efecto; las alternativas actuales se inclinan a la utilización de aditivos de origen natural. En este sentido las nanoemulsiones de mucílago de nopal con dl- $\alpha$ -tocoferol son una alternativa de recubrimiento, siendo posible tomarlo como modelo para evaluar su efectividad en manzana mínimamente procesada.

### **2.2 Objetivos**

#### **Objetivo General**

Evaluar la funcionalidad de una nanoemulsión con dl- $\alpha$ -tocoferol y mucílago de nopal aplicado como recubrimiento, sobre el índice de oscurecimiento de manzana fresca cortada; mediante la determinación de los cambios en color y propiedades fisicoquímicas y su efecto sobre la vida útil en refrigeración.

#### **Objetivo Particular 1**

Establecer las condiciones de preparación de una nanoemulsión con dl- $\alpha$ -tocoferol y mucílago de nopal, mediante la utilización de un método de homogenización de alta energía, de tal manera que se logre obtener un sistema estable de talla submicrónica a temperatura ambiente.



### **Objetivo Particular 2**

Evaluar el potencial de una nanoemulsión con mucílago de nopal, aplicada como recubrimiento en manzana fresca cortada, comparándola con otros sistemas coloidales mediante la medición de color y correlacionándolo con el índice de oscurecimiento.

### **Objetivo Particular 3**

Determinar los cambios fisicoquímicos y texturales a la manzana fresca cortada a través de la evaluación de parámetros como firmeza, respiración, pH, sólidos solubles y acidez, diferenciando la funcionalidad de los recubrimientos para la contrastación de la vida útil durante su almacenamiento en refrigeración.

### **Objetivo Particular 4**

Diferenciar la morfología de las manzanas frescas cortadas recubiertos de: nanoemulsión-mucílago, nanoemulsión, emulsión-mucílago, mucílago y sin recubrimiento, la caracterización en un microscopio electrónico de barrido a alto vacío para observar las características de cada micrografía.

## **2.3 Selección y Justificación de Variables**

Los frutos frescos cortados presentan cambios de calidad debidos al estrés biótico y abiótico al que son expuestos en las diferentes etapas de su preparación reflejándose principalmente en cambios de color, firmeza, pH, acidez, sólidos solubles, etc. El proceso puede retardarse inhibiendo la acción enzimática, siendo una de las alternativas el empleo de recubrimientos comestibles a base de emulsiones y agentes antioxidantes, por lo que en este trabajo se probó la efectividad del mucílago de nopal y dl- $\alpha$ -tocoferol.



En el cuadro 2.1 se muestran los factores y los niveles de variación, así como las técnicas de caracterización o instrumentos empleados.

**Cuadro 2.1.** Selección de Factores

<b>Factores de variación</b>	<b>Niveles de variación</b>	<b>Factor Dependientes</b>	<b>Factor Respuesta</b>	<b>Técnica/ Instrumento</b>
<b>Características del recubrimiento</b>	*Nanoemulsión con mucílago	Tamaño de partícula	Homogeneidad	Z-sizer
	*Nanoemulsión sin mucílago	Potencial Z	Estabilidad	
	*Emulsión con mucílago	Índice de Polidispersión	Homogeneidad	
	*Mucílago con plastificante	Características morfológicas	Micrografía	Microscopio electrónico de barrido
	3 Réplicas c/u			
<b>Tiempo de Almacenamiento</b>	*1 Días *6 Días *8 Días *13Días *15 Días *20 Días *22 Días  3 Réplicas c/u	Peso	Pérdida de peso	Balanza Analítica
		°Brix	Sólidos solubles	Refractómetro
		pH	Ácido/Básico	Potenciómetro
		Acidez titulable	Acidez	Titulación
		Prueba de Punción	Fuerza necesaria para su ruptura	Texturómetro
		Prueba de Comprensión	Fuerza necesaria para generar una deformación	
		Variación de color	Índice Oscurecimiento	Colorímetro
		Oxígeno	Respiración	Analizador de oxígeno

## 2.3 Desarrollo Experimental

### 2.3.1 Materiales

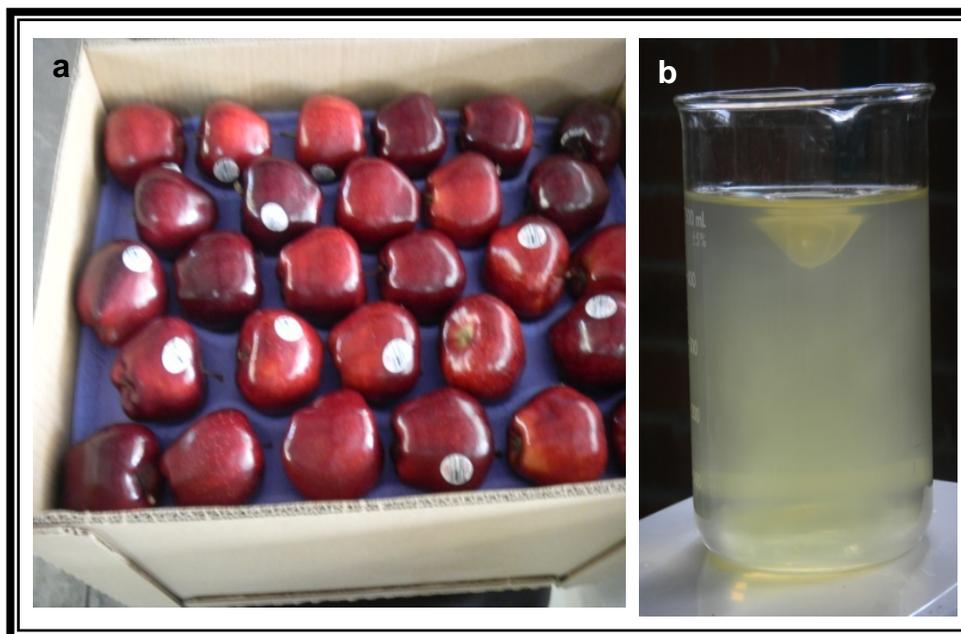
Los agentes emulsificantes se obtuvieron en la Drogeria Cosmopolita, S.A de C.V. ciudad de México, D.F. Tween 80 (HLB= 15,  $\mu \approx 425$  cps a 25 °C) y Span 80 (HLB= 4.3,  $\mu \approx 1000$  cps a 25 °C). El agente antioxidante utilizado para las



emulsiones fue acetato de dl- $\alpha$ -tocoferol (98%) (Balance hidrofílico-lipofílico (HLB= 6.0, P.M.= 472.8 g/mol) y como plastificante se utilizó glicerol ( $\rho \approx 1.2595$  g/mL, P.M. 92.09 g/mol). El agua destilada fue de calidad Milli-Q.

### 2.3.2 Materia Prima

Fue utilizado un lote de 20 kg de manzana variedad “Red Delicious” que fueron adquiridas en un mercado local; la figura 2.1<sup>a</sup> muestra las características visuales del fruto. El fruto se seleccionó de manera manual según los criterios de madurez establecidos por Contreras (2010). Evitando aquellos frutos con daño mecánico. Previo al tratamiento fueron almacenados a 4°C. El mucílago e extrajo del nopal (*Opuntia ficus indica*) con un peso de 400g  $\pm$  10, de aproximadamente 100 días de maduración. En la figura 2.1b se muestra una dispersión de mucílago de nopal.



**Figura 2.1. Materiales Biológicos; 2.1 a) Manzana; 2.1b) Mucílago de Nopal**

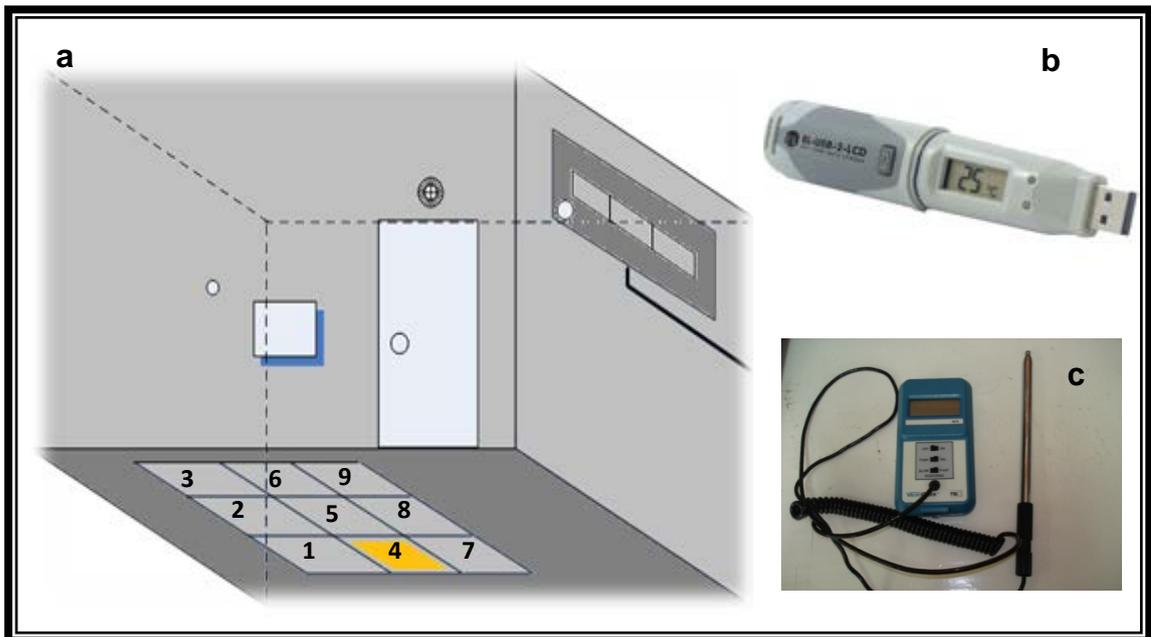
El nopal se recolectó en el rancho “los Lores” ubicado en el estado de Guanajuato-México, cosecha primavera-verano del 2010. La extracción de mucílago se realizó a partir de una molienda húmeda de nopal y la centrifugación. Después se precipitó con etanol de grado 96% (Paredes, 2011).



### 2.3.3 Descripción de las actividades preliminares

#### a) Caracterización de la cámara de refrigeración

Previo al almacenamiento de los gajos de manzana, se llevó a cabo la caracterización de la cámara de refrigeración, ubicada en el Nave 2000 de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán campo 1, con la finalidad de conocer las condiciones de trabajo y tener el control de los parámetros de almacenamiento mediante el monitoreo de la temperatura y la velocidad del aire. Dividiendo la cámara en 9 cuadrantes de acuerdo a los posibles acomodos de las manzanas y según los criterios heurísticos, en los cuales se recomienda que debe haber por lo menos 30 cm de separación de la pared a la tarima y 50 cm de separación en el techo, como se muestra en la figura 2.2a.



**Figura 2.2 a) Cámara de Refrigeración; 2.2 b) Termohigrómetro; 2.2 c) Anemómetro de “Hilo Caliente”**

Las temperaturas se censaron en cada uno de los cuadrantes de la cámara de refrigeración previamente marcados, con un termopar digital (termohigrómetro)



marca DATA LOGGER LASCAR modelo *EL-USB-TC Thermocouple electronics con termopar tipo K* (ver figura 2.2b). Y regulando el termostato del evaporador, para mantener la cámara de refrigeración a 4 °C, temperatura óptima para el almacenamiento de manzana. Se registró la temperatura en los diferentes puntos de la cámara para localizar el punto más frío y con menos variación.

La humedad relativa de los diferentes puntos, se determinó junto con la temperatura con un termopar digital (termohigrómetro) marca DATA LOGGER LASCAR modelo *EL-USB-TC Thermocouple electronics con termopar tipo K*.

Mientras que las velocidades del aire se determinaron a través de un anemómetro de “hilo caliente” (AIR FLOW TA-2-15/3k, USA), en metros/segundo. El equipo (ver figura 2.2c) se colocó de manera horizontal de tal manera que el aire fluyera perpendicularmente a través del sensor para poder detectar su velocidad. Las mediciones se determinaron en diferentes puntos de la cámara y a diferentes alturas, para posteriormente acondicionar la cámara para almacenar las manzanas frescas cortadas.

#### **b) Caracterización térmica del mucílago de nopal fresco y deshidratado por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)**

La caracterización térmica del mucílago de nopal fresco y deshidratado se realizó en un calorímetro DSC Q10® (ver figura 2.3), se tomaron muestras entre 3 y 5 mg, que se pesaron dentro de las charolas de aluminio. Posteriormente, se sellaron herméticamente y se colocaron dentro del calorímetro. El método aplicado a cada una de las muestras de mucílago consistió en una rampa de calentamiento, desde -40 °C hasta 200 °C con velocidades de 10 °C/min y 50 mL/min de flujo de nitrógeno, utilizado como gas de arrastre en la celda. El equipo se calibró previamente con Indio además de que se realizó una línea base con una charola de aluminio herméticamente cerrada y vacía con los mismos datos de la rampa. Esta determinación se realizó para encontrar las transiciones de fase de ambas muestras (mucílago



fresco y mucílago seco) y seleccionar la que se utilizaría para el trabajo experimental.



**Figura 2.3 Calorímetro DSC Q10®**

### **2.3.4 Actividades del objetivo particular 1**

#### **2.3.4.1 Preparación de los sistemas de recubrimiento**

##### **a) Emulsión y nanoemulsión**

**Emulsión:** Se utilizó el método de emulsificación convencional (Kulmyrzaev et al., 2000) que consiste en llevar a cabo la emulsificación por homogenización utilizando como estabilizantes Span 80 en la fase continua y mucílago de nopal al 1 %, Tween 80 y 2g/L de acetato dl-  $\alpha$ -tocoferol en la fase dispersa. La formación de la emulsión se realizó utilizando un sistema de dispersión de velocidad variable a 2,000 rpm (Eurostar Power Control-Visc IKA-WERKE®) a 2000 rpm durante cinco 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 por medio de la ayuda de un dispersor (Ultra turrax modelo T50 de IKA USA) con una herramienta de dispersión Modelo S 25 N-25 G de IKA. En esta etapa se prepararon dispersiones con y sin mucílago de nopal al 1 %.



**Figura 2.4 Ultra-Turrax T50**

#### **2.3.4.2 Tamaño de partícula**

El tamaño de partícula y el índice de polidispersión fueron determinados usando un Coulter Nano-Sizer<sup>®</sup> N4 Plus. Las mediciones se hicieron por triplicado. Se diluyó la nanoemulsión con agua Milli-Q<sup>®</sup> de acuerdo al volumen de frecuencia del histograma. Determinándose con la técnica de difracción de un haz de luz laser en un ángulo de 90°, a una temperatura de 25 °C.



### **2.3.4.3 Potencial zeta**

El potencial zeta de los recubrimientos se determinaron utilizando el Z-sizer 4 (Zetasizer Nano Series, Malvern Ltd, France), se disolvió apropiadamente la dispersión con agua Milli- Q<sup>®</sup>. Las medidas se hicieron por triplicado a 25 °C.

### **2.3.5 Actividades del objetivo particular 2**

#### **2.3.5.1 Cortado de la fruta y aplicación de recubrimiento**

Previo a la desinfección las manzanas se lavaron y secaron. Después se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio a 70 ppm, sumergiendo el producto por 5 minutos para posteriormente eliminar el exceso de sanitizante. Una vez llevadas a cabo las operaciones antes descritas las manzanas se cortaron en 8 gajos con un cortador tipo estrella y posteriormente se introdujeron en una solución de cloruro de calcio por 2 minutos. Finalmente, se recubrieron las manzanas, con los diferentes recubrimientos (nanoemulsión, nanoemulsión-mucílago, emulsión-mucílago y mucílago), se colocaron en vasos de poliestireno cristal de 250 ml como muestra la figura 2.5.



**Figura 2.5. Vasos de poliestireno con manzanas recubiertas**



Los vasos se almacenaron en una cámara de refrigeración a 4 °C durante 21 días. Los cambios asociados al almacenamiento se monitorearon 2 veces por semana con la finalidad de establecer la influencia del proceso en la vida útil del producto refrigerado.

### **2.3.5.2 Índice oscurecimiento**

Para la determinación del índice de oscurecimiento se midió el color de la superficie con un colorímetro Minolta Modelo CR300 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan), de acuerdo a la figura 2.6, donde se obtienen coordenadas de color Hunter Lab  $L^*$   $a^*$   $b^*$  (Donde:  $L^*$  representa la diferencia entre la luminosidad ( $L^*=100$ ) y la oscuridad ( $L^*=0$ );  $a^*$  representa la diferencia entre verde (-100) y rojo (+100);  $b^*$  representa la diferencia entre azul (-100) y amarillo (+100)); utilizando un ángulo de observador de 2° y un iluminante C.



**Figura 2.6. Colorímetro Minolta Modelo CR300**

Se realizaron tres muestras por tratamiento, por cada tercer día en las dos caras del gajo. Para calcular el índice de oscurecimiento se usaron las



ecuaciones propuestas por Buera et al. citado por Olivas et al. (2007), se calculó de la siguiente manera:

$$IO = \frac{100(x - 0.31)}{0.172}$$

Donde

$$x = \frac{a * + 1.75L *}{5.645L * + a * - 3.012b *}$$

### **2.3.6 Actividades del objetivo particular 3**

#### **2.3.6.1 Diferencia de peso**

Para evaluar la eficiencia de los recubrimientos se determinó la pérdida de peso muestreándose cada tercer día, por triplicado, en una balanza digital Sartorius, bl 15005 ATAGO 1020 ( $\pm 0.01$ ) y realizando una comparación con el peso inicial de la manzana.

#### **2.3.6.2 Jugosidad, sólidos solubles, pH y acidez titulable**

El jugo de 3 gajos de manzana se extrajo en un extractor de jugos TAURUS Liqua Fruit Pro (figura 2.8 a). Se determinó el volumen de jugo en relación al peso y con éste se determinó a su vez los sólidos solubles, pH y acidez .

Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro Philip Harriss E30390/8. El potenciómetro se calibró antes de la medición con las soluciones buffer de pH= 7.0 y 4.0. Se hicieron 3 réplicas (figura 2.8 b).

Para la determinación de sólidos solubles se utilizó un refractómetro digital Reichert modelo AR-200 (ver figura 2.8 c) calibrado a 20 °C. Expresado en °Brix. Las medidas se hicieron por triplicado sobre la fase líquida de la muestra obtenida.



La acidez se determinó por volumetría de acuerdo al método 942.15 (AOAC, 2000), para la valoración se utilizó NaOH 0.1 N y fenoftaleína como indicador, registrando el volumen gastado para la neutralización del ácido y expresado el % de ácido en base a los miliequivalentes de ácido málico. En la figura 2.8d se muestra la bureta utilizada durante la experimentación.



**Figura 2.8. a) Extractor; 2.8 b) Potenciómetro 2.8 c) Refractómetro; 2.8 d) Bureta**

Todos los experimentos se realizaron por triplicado y se utilizó la siguiente relación, expresando el resultado como el % de acidez en función al contenido de ácido málico.

$$\% \text{ acidez} = \frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * \text{meq}_{\text{ácido málico}} * 100}{V}$$



Donde:

$V_{NaOH}$  = Volumen de NaOH gastado (mL)

$N_{NaOH}$  = Normalidad de la solución de NaOH

$meq_{ácido\ malico}$  = Miliequivalentes para ácido málico (ác. Málico = 0.067)

$V$  = Volumen de la muestra (mL)

### 2.3.6.3 Cambios texturales (Punción y Compresión)

#### *Compresión*

La resistencia a la compresión de la manzana se determinó con un equipo INSTRON 4411 con celda de carga de 5 kN y una compresión de 50 % (ver Figura 2.9). Las mediciones se realizaron durante el período de almacenamiento con un cilindro de compresión de 3.5 cm de diámetro (Andrés et al., 2002).



Figura 2.9 INSTRON 411®



#### **2.3.6.4 Respiración**

El efecto del recubrimiento durante la respiración se analizó mediante el método estático, midiendo el espacio libre de oxígeno en los frascos de vidrio de 170 mL, se colocaron los gajos dentro del envase hermético y se evaluaron con una equipo Quantick Instruments modelo 905 Oxygen Analyzer tomándose muestras durante 3 semanas.

#### **2.3.7 Actividades del objetivo particular 4**

##### **2.3.7.1 Morfología de las manzanas con y sin recubrimiento**

La morfología de la manzana se observó en un microscopio electrónico de barrido al alto vacío con un voltaje de aceleración de 20kV (SEM-HL) JEOL, JSM-6060LV (ver figura 2.10).



**Figura 2.10 Microscopio electrónico de barrido al alto vacío (SEM-HL).**

#### **2.4 Tratamiento Estadístico**

Para establecer las diferencias estadísticas en función a los tratamientos se llevó a cabo un ANOVA considerando dos factores (tiempo de almacenamiento y tratamiento de las manzanas) con un nivel de significancia del 95%.



Para analizar las diferencias entre los tratamientos se llevaron a cabo ANOVAS, realizando una diferenciación de medias mediante pruebas de Tuckey con un nivel de significancia del 95% ( $\alpha = 0.05$ ), considerando la variabilidad de los resultados y atribuidos a los diferentes tratamientos.



### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Actividades Preliminares

##### 3.1.1 Caracterización de la cámara

Se caracterizó la cámara con la finalidad de garantizar una temperatura estable de 4 °C durante el almacenamiento, siendo en estos lugares donde se colocaron las unidades experimentales. Los valores se reportan en el cuadro 3.1

**Cuadro 3.1** Tabla de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire

Cuadrante	Temperatura (° C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Aire (m/s)
1	5.09 ± 0.40	90.5 ± 3.79	0.54 ± 0.45
2	5.14 ± 0.39	92.7 ± 2.05	0.41 ± 0.33
3	5.20 ± 0.42	93.4 ± 1.92	0.33 ± 1.78
4	<b>5.25 ± 0.37</b>	<b>93.7 ± 1.79</b>	<b>0.23 ± 0.05</b>
5	5.19 ± 0.40	93.6 ± 1.84	0.34 ± 0.15
6	5.20 ± 0.41	93.1 ± 2.64	0.38 ± 0.39
7	5.19 ± 0.44	93.7 ± 2.14	0.28 ± 0.13
8	5.29 ± 0.44	93.9 ± 2.64	0.24 ± 0.19
9	5.25 ± 0.53	94.3 ± 2.74	0.25 ± 0.10

Las muestras se almacenaron en el cuadrante 4, porque fue el que presentó los valores más constantes de temperatura, la velocidad del aire con menor variación además de que la humedad relativa se encuentra entre 90 y 95 %.



### 3.1.2 Caracterización térmica del mucílago por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Los resultados del flujo de calor aplicado a muestras de mucílago obtenido de nopal fresco y nopal deshidratado de 400 gramos de peso. Se muestran en la figura 3.1. Las imágenes se desfasaron para su mejor interpretación.

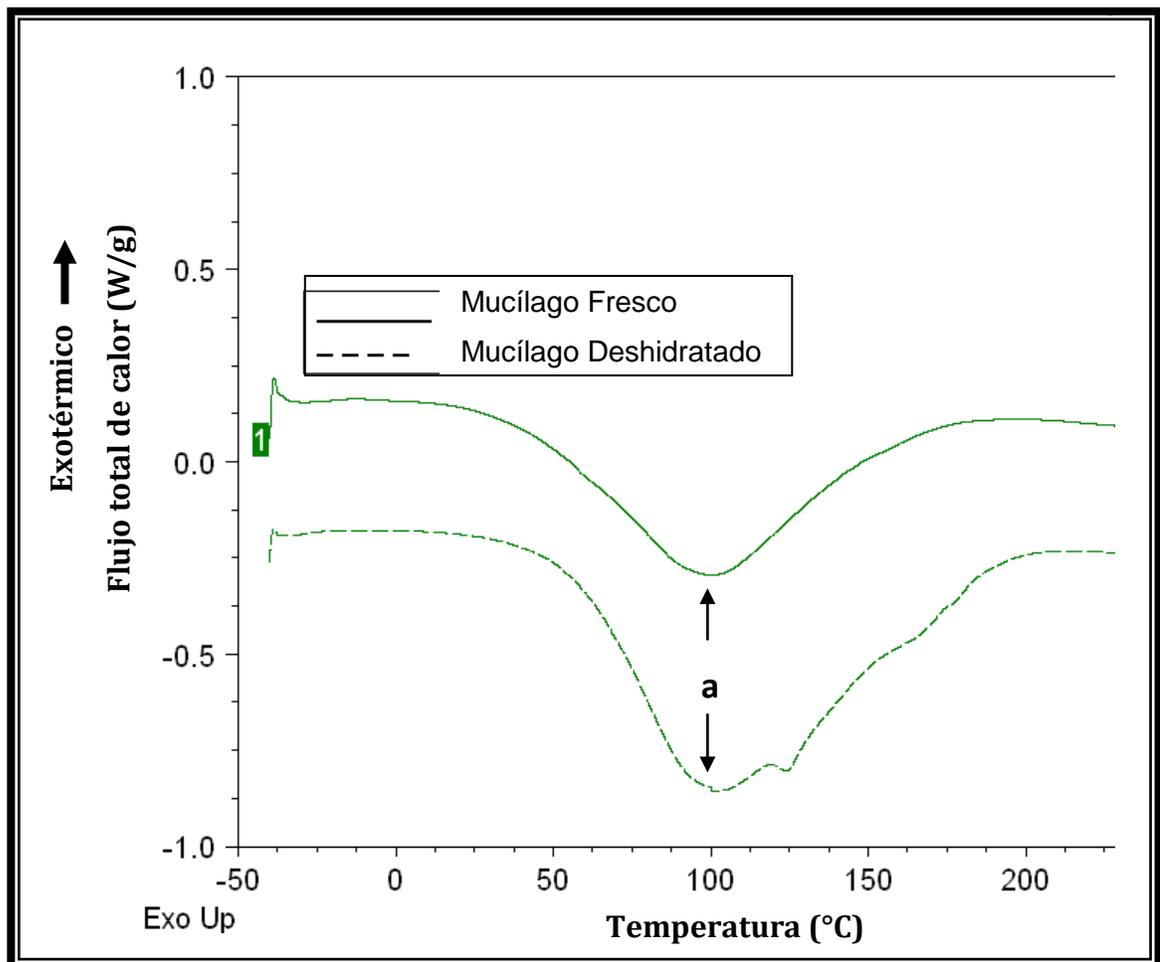


Figura 3.1. Termograma de flujo de calor en función de la temperatura (DSC) para mucílago fresco y seco

Se observa que ambos termogramas muestran un cambio endotérmico (a) por arriba de 90 °C debido probablemente a una transición de fase del agua contenida



en la muestra, por lo que podría corresponde a la pérdida de agua del mucílago (Tsujiyama y Miyamori, 2000).

Es evidente que el termograma del mucílago fresco y el deshidratado son similares y presentaron los mismos cambios durante la corrida experimental entre los 60 y los 150 °C, esto confirmado con la primera y segunda derivada. De manera que se puede utilizar el mucílago tanto fresco como deshidratado, porque a las condiciones en que se preparará la nanoemulsión ambas muestras tienen el mismo comportamiento. Adicionalmente, a temperaturas de refrigeración que es donde permanecerá el recubrimiento no muestra ningún cambio térmico. Este trabajo utilizó el mucílago fresco.

El peso molecular del mucílago *Opuntia ficus-indica* fue reportado por algunos autores entre ellos Medina-Torres et al. (2000) con un valor que se encuentra alrededor de  $2.3 \times 10^4$ g/mol ellos explican que el polímero se encuentra en un estado vítreo a temperatura ambiente. Sin embargo, el termograma de la figura 3.1 muestra una transición vítrea, la cual está relacionada con la estructura de la cadena del polímero y la transición vitrea aumentará a medida que la densidad de enlaces cruzados aumente, además, coincide con algunos otros polímeros como la maltodextrina, la amilosa y algunos polímeros sintéticos de acuerdo a lo reportado por León-Martínez et al. (2010).

### **3.2 Resultados del objetivo particular 1**

#### **3.2.1 Preparación de la nanoemulsión de dl- $\alpha$ -tocoferol y mucílago de nopal**

En la figura 3.2 se muestra el comportamiento del tamaño de partícula en función a los ciclos de homogenización utilizados para la preparación de la nanoemulsión con mucílago y sin mucílago, cabe mencionar aquí que según lo reportado por



Contreras (2010) la concentración óptima de dl- $\alpha$ -tocoferol para disminuir el índice de oscurecimiento es de 2,000 ppm.

Los resultados que se presentan fueron los obtenidos para la nanoemulsión con mucílago, a partir de este recubrimiento se tomaron las condiciones para ambas nanoemulsiones. En la figura 3.2 se observa el gráfico la distribución de tamaño de partícula en fracción de intensidad.

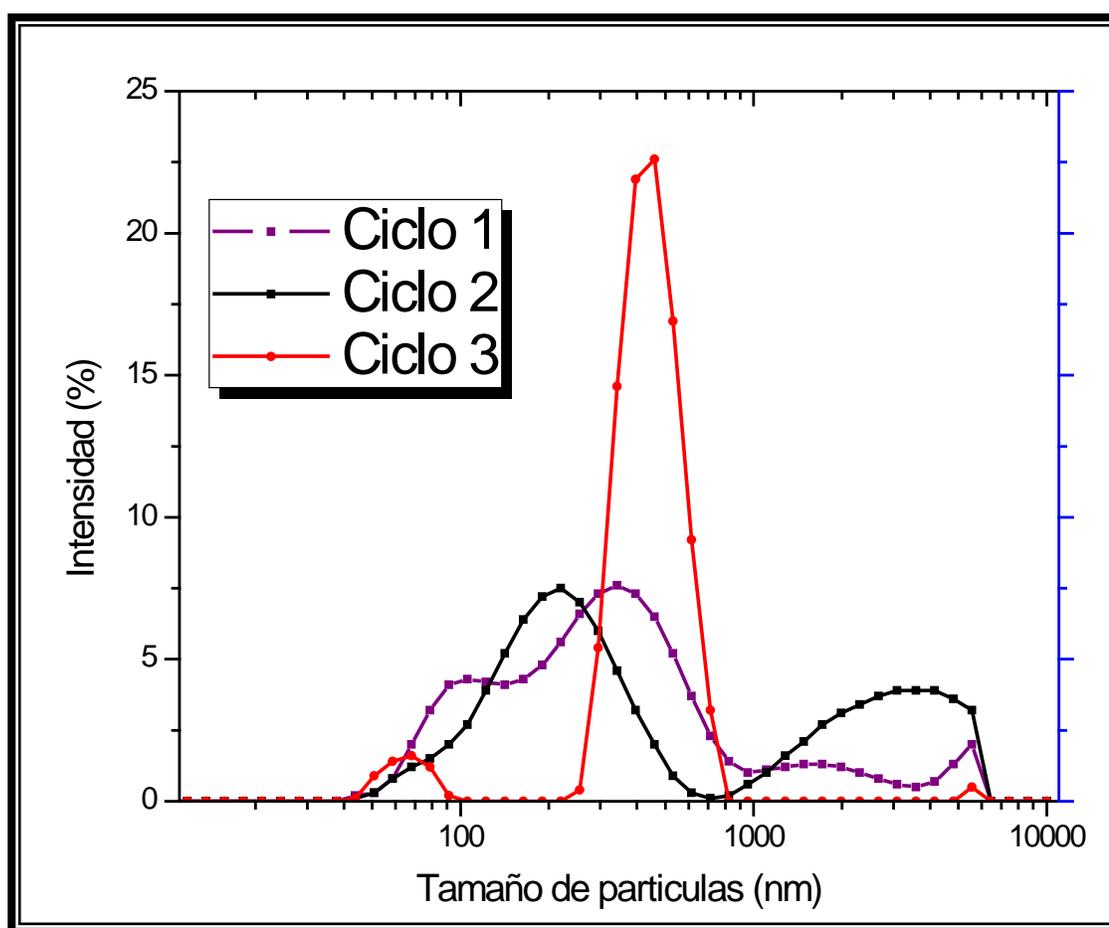


Figura 3.2 Gráfica de tamaño de partícula vs porcentaje de intensidad por ciclo

Se puede apreciar que los resultados del ciclo 1 aplicado a la nanoemulsión con mucílago presentó una curva monomodal con tamaños de partícula entre los 100 y 1000 nm. En el ciclo 2, la gráfica presentó tamaños de partículas que tienden a ser



menores a la anterior, pero con un comportamiento bimodal, lo cual no es deseable porque la nanoemulsión se encuentra repartida en dos grupos de tamaños predominantes que le darán menor estabilidad. Mientras que para el ciclo 3, los tamaños no son los menores de los tres ciclos, probablemente esto se debe a que en el sistema disperso va presentando agregaciones entre los glóbulos de la nanoemulsión. La gráfica obtenida del ciclo 3 mostró un comportamiento monomodal y la amplitud de la campana es muy cerrada. En esta curva con el ciclo 3 la mayoría de las partículas se encuentran dentro del intervalo entre 300 y 700 nm estos tamaños ayudan a que sea estable la nanoemulsión. El gráfico mostró que los dos primeros ciclos muestran un máximo a una fracción intensidad  $< 10\%$  lo que implica que existe un amplio intervalo de tamaños de partícula que influirán considerablemente en la talla de partícula y funcionalidad de los sistemas. El tercer ciclo de homogenización muestra claramente que la distribución es más estrecha con tallas entre los 250 y 1000 nm y una pequeña fracción por debajo de los 100 nm. Un ciclo 4 se aplicó a la nanoemulsión, los datos no mostrados en el trabajo, el cual se descalificó porque presentó mayor agregación y un comportamiento diferente. Por lo cual se estableció para la formación del sistema coloidal que todas las corridas experimentales se realizaron con tres ciclos a 10,000 rpm.

### **3.2.2 Tamaño de partícula**

Las nanoemulsiones son sistemas transparentes y translucidas, existen diferentes puntos de vista sobre el tamaño de partícula utilizado, Weiss et al. (2006) reportó rangos entre 100 y 500 nm, Tardos et al. (2004) de 50 a 200 nm. Por lo que se ha llegado a establecer que los tamaños de partícula de los sistemas coloidales se encuentran entre intervalos muy grandes de 0 a 1000 nm (Shah et al., 2010). Sin embargo, es importante considerarlo debido a que la reducción de tamaño de partícula ayuda a disminuir la fuerza gravitacional y la sedimentación, además de prevenir la floculación (Tadros et al., 2004).



En el cuadro 3.2 se reportan los promedios de los resultados obtenidos para los diferentes recubrimientos utilizados durante la experimentación de este trabajo.

**Cuadro 3.2** Tamaño de Partícula

<b>Recubrimientos</b>	<b>Tamaño de Partícula (nm) (Promedio)</b>
<b>Emulsión- Mucílago</b>	1740.33 ± 126.93
<b>Nanoemulsión- Mucílago</b>	257.33 ± 11.93
<b>Nanoemulsión</b>	130.06 ± 2.15

El promedio de los tamaños de partícula mostrados en el cuadro 3.2 para la nanoemulsión-mucílago se encuentran dentro del intervalo establecido por Weiss et al. (2006) para las nanoemulsiones. Evidentemente la emulsión tiene mayores tamaños de partícula. Los valores de la nanoemulsión-mucílago son mayores debido al comportamiento del hidrocoloide en relación con sus interacciones y cargas que no le permiten dispersarse en partículas de menor tamaño. (Qain y McClements, 2010; Choi et al., 2011).

### **3.2.3 Potencial zeta**

En el cuadro 3.3 se presenta el promedio de 3 determinaciones para el potencial zeta. Este es un parámetro importante en la preparación de emulsiones ya que permite inferir sobre la estabilidad del sistema (Choi et al., 2011). Es por ello que es un valor fundamental que muestra la interacción entre las partículas contenidas en la emulsión. Entre mayor sea el valor absoluto del potencial zeta, existe una mayor repulsión eléctrica, esto quiere decir que las partículas de la misma carga se repelen entre ellas con mayor facilidad por la magnitud del potencial en la capa de deslizamiento (Castillo 2010; Zambrano-Zaragoza et al., 2011). Para el caso específico de esta investigación el potencial zeta permitió establecer que el sistema desarrollado fue estable puesto que el valor del potencial zeta obtenido es



superior a -40 mV lo que implica que disminuyen las probabilidades de que la dispersión coalesca, flocule o sedimente (Friberg et al., 2004).

**Cuadro 3.3.** Potenciales zeta

<b>Recubrimientos</b>	<b>Potencial Zeta (Promedio)(mV)</b>
<b>Emulsión- Mucílago</b>	-40.3 ± 1.33
<b>Nanoemulsión- Mucílago</b>	-46.8 ± 1.58
<b>Nanoemulsión</b>	-46.7 ± 0.31

Los valores obtenidos del potencial zeta se encuentran dentro del intervalo reportado por Friberg et al. (2004) Ellos mencionan que los sistemas dispersos que presenten un potencial zeta entre -31 a -40 mV son sistemas moderadamente estables, mientras que los que se encuentran entre -41 a -60 mV tienen una buena estabilidad en el cuadro 3.3, se observa que el recubrimiento de emulsión-mucilago, tiene una estabilidad moderada mientras que la disminución de tamaño convierte a los recubrimientos en sistemas más estables como es el caso de las nanoemulsiones con y sin mucílago, los cuales presentan una buena estabilidad de acuerdo a la repulsión que presentan sus partículas entre sí.

### **3.3 Resultados del objetivo particular 2**

#### **3.3.1 Cortado de la fruta y aplicación de recubrimiento**

El cortado de la manzana para su almacenamiento en gajos fue un parámetro importante de control ya que de esto dependió la reproducibilidad de los resultados al momento de ser tratados con el recubrimiento correspondiente. Es importante resaltar que del lote total utilizado, una vez aplicada la selección, sólo un 10 % no se empleó para la investigación por presentar daños y defectos en los



frutos, en la figura 3.3 se muestra un trozo de manzana con daños que se desecho.



**Figura 3.3 Manzana cortada con golpe**

Los daños evidenciados en la manzana cortada de la figura 3.3 causan una aceleración en la respiración y la maduración del fruto, resultando una mayor pérdida de calidad en menor tiempo de almacenamiento. Además estos trozos de manzana, son más susceptibles a la descomposición.

### **3.3.2 Índice de oscurecimiento**

Uno de los cambios importantes asociados al cortado y ruptura de los tejidos celulares es debido a la liberación de enzimas como la polifenoloxidasas (PFO) que al entrar en contacto con los compuestos fenólicos causan el oscurecimiento del producto (Olivas et al., 2007). En la figura 3.4 se muestra el comportamiento del oscurecimiento en manzanas control y en manzanas con los diferentes recubrimientos utilizados. La gráfica corresponde al índice de oscurecimiento enzimático, con respecto a los días monitoreados en la investigación. Este estudio



se presenta para cada una de las unidades experimentales propuestas incluyendo el control utilizado que corresponde a manzanas sin recubrimiento.

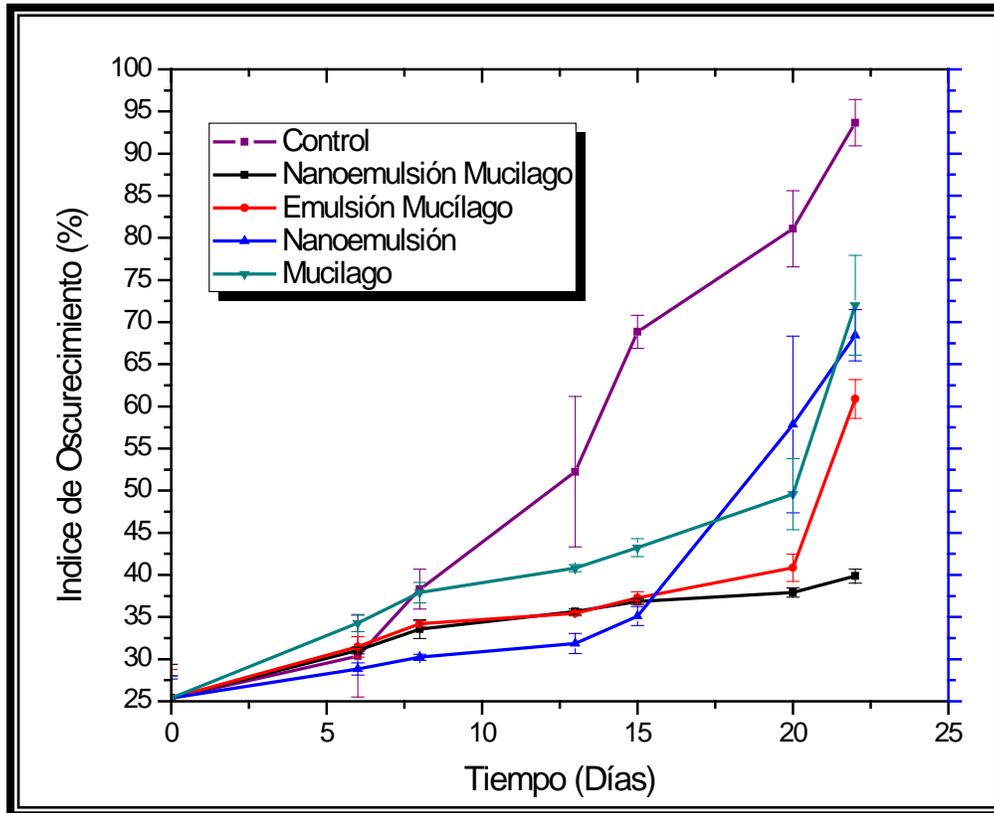


Figura 3.4 Gráfica de Índice de oscurecimiento enzimático vs tiempo de almacenamiento

En la figura 3.4 se presenta que hasta los 6 días de almacenamiento las manzanas muestran un incremento en el índice de oscurecimiento existiendo diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha = 0.05$ ) con respecto a la velocidad de cambio en las manzanas tratadas con mucílago. Sin embargo, en los demás casos incluidas las manzanas control el comportamiento inicial puede ser atribuido a la utilización de  $\text{CaCl}_2$  como pretratamiento realizado, ya que de acuerdo a (García y Barret, 2002) el cloruro de calcio inhibe el oscurecimiento en tiempos cortos de almacenamiento. La figura 3.4 además muestra como las manzanas recubiertas manifiestan menos oscurecimiento que aquellas que no recibieron este



tratamiento, resaltando que las que inhibieron más eficazmente el oscurecimiento en manzanas fueron las tratadas con nanoemulsión-mucílago, Comparando los resultados con los obtenidos por Olivas et al. (2007), en donde mostraron la utilización de recubrimientos de alginato en el índice de oscurecimiento en manzana Gala, se puede establecer que durante los primeros 6 días encontraron un comportamiento similar al obtenido en este trabajo; sin embargo, es importante resaltar que no mostraron diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la composición de los recubrimientos, mientras que para este trabajo se puede resaltar que la velocidad de cambio en el índice de oscurecimiento es dependiente tanto de la talla de partícula como de la forma de incorporación del mucílago durante la preparación de la base de los recubrimientos.

### **3.4 Resultados del objetivo particular 3**

#### **3.4.1 Diferencia de peso**

La transpiración de los tejidos produce una pérdida de humedad en el fruto fresco cortado, lo cual conlleva a que haya una pérdida de peso en la manzana. Por efecto del troceado la fruta queda con mayor área de superficie expuesta, es decir tiene mayor contacto con el medio ambiente, por esa razón va a presentar mayor deshidratación en el producto y esto se reflejó no sólo en el peso, sino también en algunas características generalmente no deseables en los frutos troceados. Las unidades experimentales almacenadas modifican su velocidad de respiración. De tal manera que es determinante monitorear la pérdida de peso de cada muestra durante los días que permanecieron en el almacenamiento refrigerado.

En la figura 3.5 se presenta la gráfica de diferencia de peso en función del tiempo de almacenamiento refrigerado de cada muestra. Cada uno de los puntos de la gráfica representa un diferente día de almacenamiento. Nótese que las unidades



experimentales se almacenaron durante 21 días junto con su correspondiente control.

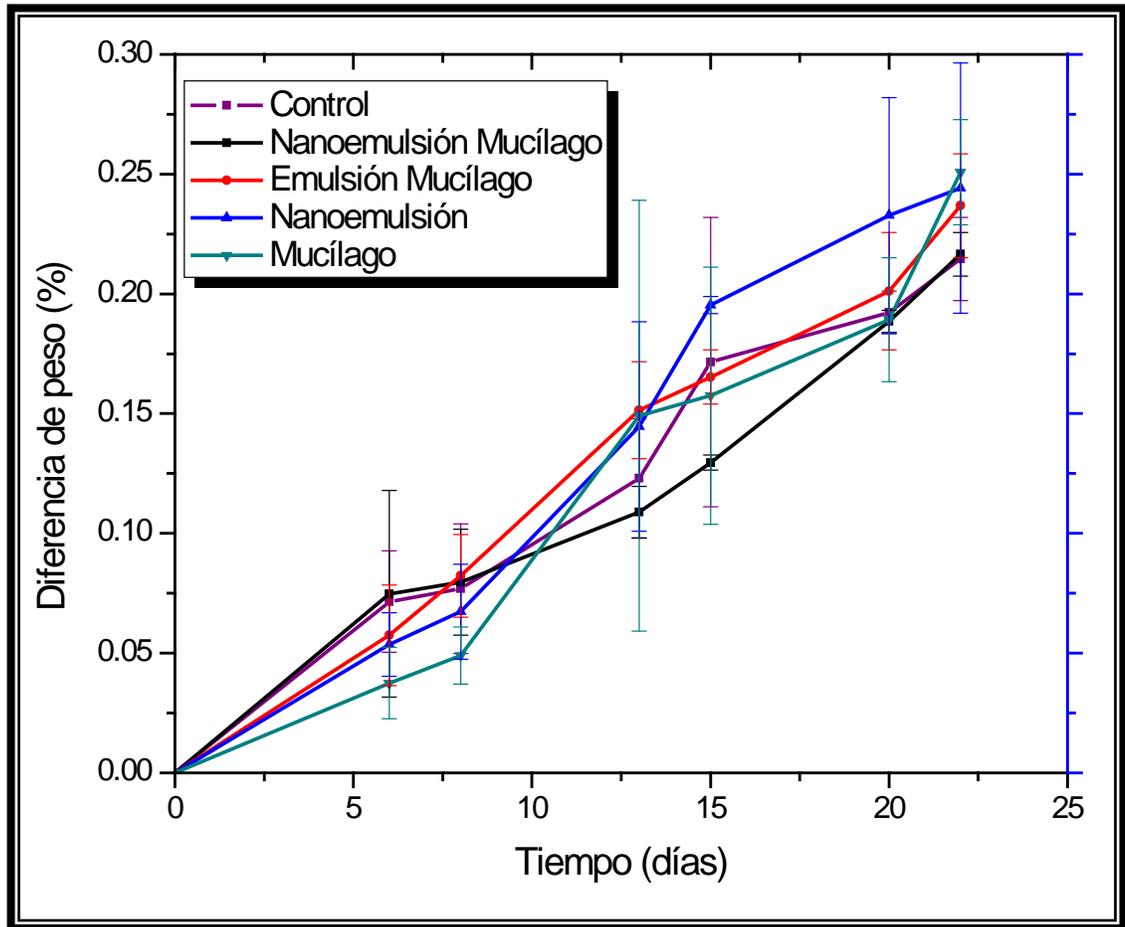


Figura 3.5 Gráfica de Pérdida de Peso en función de tiempo de Almacenamiento

En la figura 3.5 se observa que el comportamiento es similar en todas las muestras ya que tienden a aumentar al transcurrir el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, se muestra claramente que no existió diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha = 0.05$ ) entre los tratamientos respecto a la pérdida de peso, resaltándose que las muestras con recubrimiento de nanoemulsión-mucílago tienen el menor cambio de tal manera que el fruto con recubrimiento de nanoemulsión con mucílago presentó la menor pérdida de peso durante el tiempo



de almacenamiento. Esto debido a que el mucílago se encuentra formado en una nanoemulsión, donde los agentes estabilizantes Tween 80 y Span 80 aunado al dl- $\alpha$ -tocoferol, tienen la capacidad de impedir las interacciones que ayudan a evitar el oscurecimiento, no permiten que el agua emigre del alimento y sirven como barrera al vapor de agua.

En la mayoría de los frutos que presentan una pérdida superior al 8% producen pérdidas de calidad sensorial irreversible según lo reportado por Vargas et al. (2005). Sin embargo, en este estudio existe una pérdida de peso no significativa estadísticamente al ser esta del 0.25%. La nanoemulsión-mucílago y el control en el día 6 presentan la mayor pérdida de peso y para el resto de los recubrimientos está pérdida ocurre hasta el día 15. Para el último día de almacenamiento las manzanas que presentan la mayor pérdida de peso son la nanoemulsión sin mucílago y el mucílago con plastificante. En el caso del mucílago-plastificante esto puede deberse a que este es un hidrocoloide que tiene la capacidad de captar agua. Por lo tanto absorbe el agua de la superficie expuesta del alimento. Mientras que para los recubrimientos con nanoemulsión sin mucílago, se evidencian diferencias de pérdida de peso menores. Después del día 15 los valores se disparan. Esto coincide con lo reportado por Contreras (2010), el hace un análisis comparativo entre diferentes recubrimientos comestibles de emulsiones con o sin goma, las mayores pérdidas de peso correspondieron a los frutos recubiertos con emulsiones sin alginato.

Olivas et al. (2007) reportaron que los hidrocoloides no tienen una buena propiedad de barrera al vapor de agua, en un estudio realizado en manzana gala con unos recubrimientos comestibles a base de un hidrocoloide. Sin embargo, no utilizan ningún envase, en esta investigación la poca diferencia de pérdida de peso en todos los recubrimientos, se debió al control en las condiciones de almacenamiento y a que se utilizaron envases de poliestireno, esto concuerda con Pérez-Gago et al. (2006), quien reportó que los trozos de manzana que estaban



dentro de una película de polipropileno, conservaban mejor el peso total del producto.

### 3.4.3 Jugosidad, sólidos solubles, pH y acidez titulable

#### a) Jugosidad

En la figura 3.6 se presenta el comportamiento de la jugosidad respecto al tiempo de almacenamiento de manzana fresca cortado en función al recubrimiento empleado para incrementar la vida útil del producto.

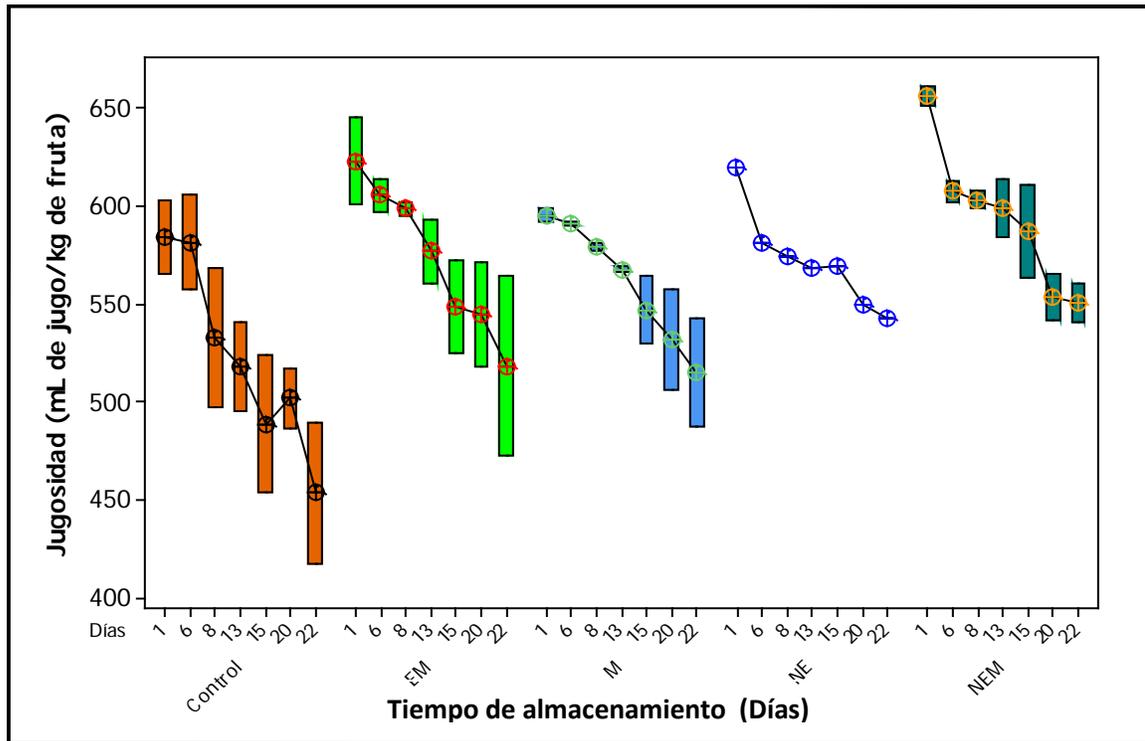


Figura 3.6 Gráfica de Jugosidad vs el tiempo de Almacenamiento

La figura 3.6 muestra que la mayor velocidad de cambio en la jugosidad la presentan las manzanas control con 5.88 mL de jugo/día ( $R^2 = 0.87$ ), mientras que no existió diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento con nanoemulsión y nanoemulsión-mucílago mostrando una velocidad de pérdida de



jugosidad de 3.2 mL/día con lo que además se observa que la utilización de un sistema de talla submicrónica al incrementar la superficie expuesta por los glóbulos formados permite disminuir la pérdida de calidad.

b) Sólidos solubles

Una alta concentración de sólidos solubles en las manzanas es un indicativo de la degradación ocurrida en el producto después de ser cortadas (Contreras, 2010). Los resultados de las muestras experimentales trabajadas se pueden observar en la figura 3.7 donde se graficó sólidos solubles vs tiempo de almacenamiento refrigerado.

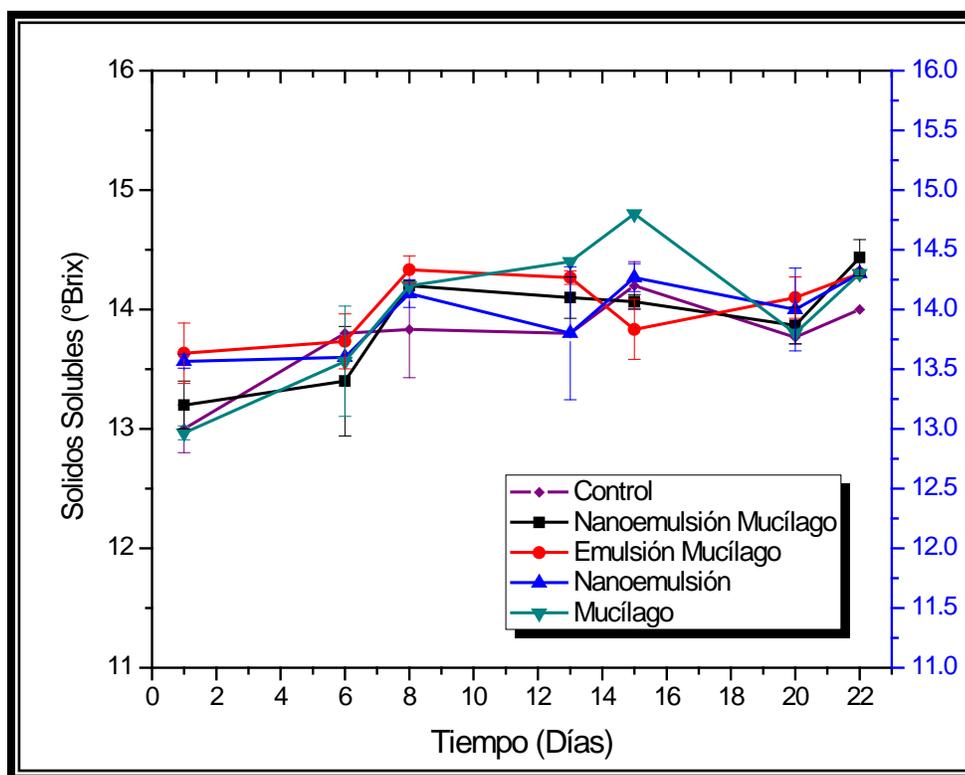


Figura 3.7 Gráfica de sólidos solubles vs tiempo de almacenamiento

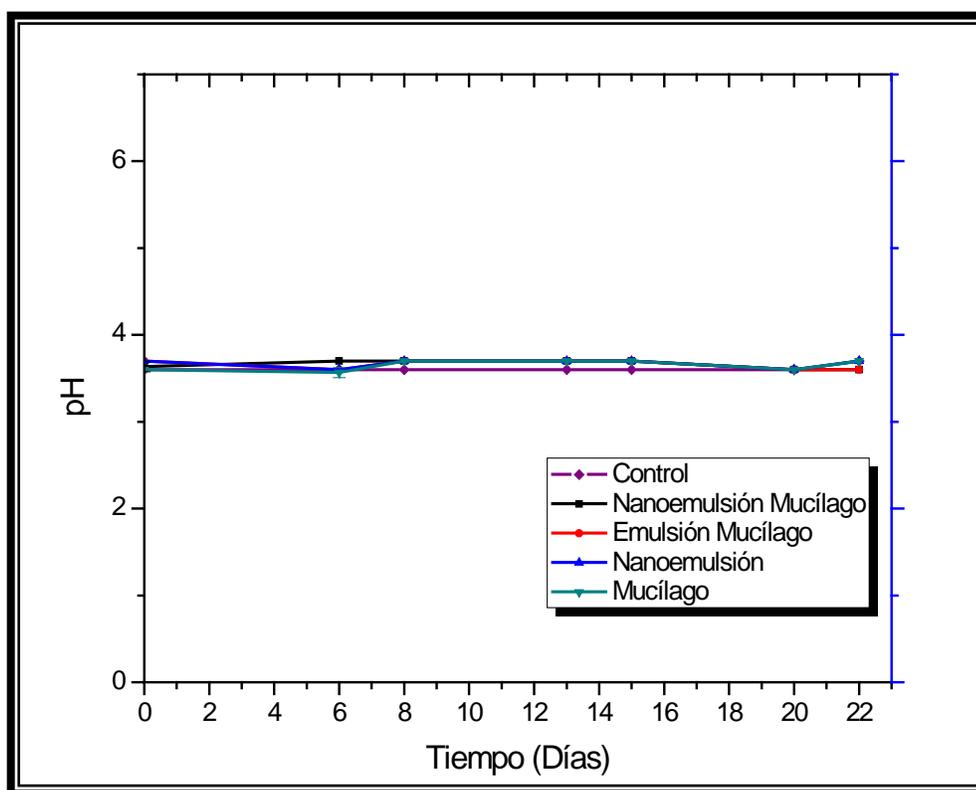
Además de acuerdo a la figura 3.7 los cambios en sólidos solubles fueron mínimos, sin diferencia estadísticamente significativa, ya que la cantidad de



sólidos solubles de las manzanas fueron similares para los diferentes recubrimientos. Esto es evidente porque los valores oscilaron entre 12 y 15, el comportamiento constante en manzanas también ha sido reportado por Rocha et al. (1998), Chien et al. (2007) y Olivas et al. (2007).

c) pH

La reducción del pH provocó una disminución en las propiedades sensoriales en la fruta. El pH óptimo de actividad enzimática en las manzanas es de 3.0 (Celis, 2007). Los resultados de pH se muestran en la figura 3.8 en donde se relaciona el pH con respecto al tiempo de almacenamiento  $\pm 4$  °C por 22 días.



**Figura 3.8 Gráfica de pH vs tiempo de almacenamiento**

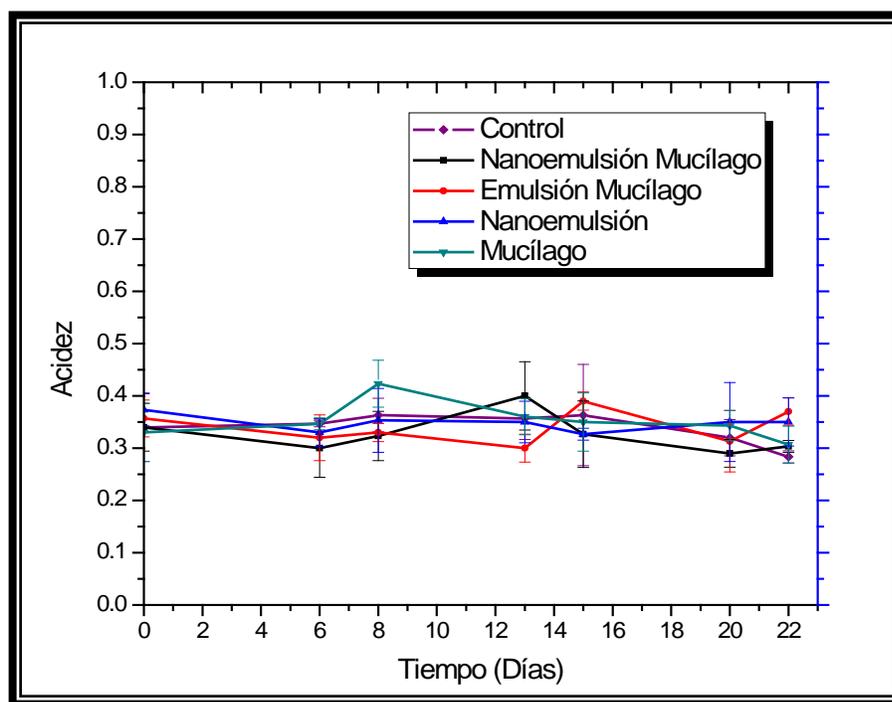
Los valores de pH se mantienen entre 3.5 y 3.7, para todas las muestras, las gráficas se encuentran sobrepuestas, lo cual se evidencia en la figura 3.8. Esto



permite aseverar que no hubo un cambio significativo para este parámetro. Lo que se asocia a una actividad microbiana mínima durante el almacenamiento. Sin embargo, los cambios con tendencia a aumentar el pH son debido a la degradación de los ácidos orgánicos y al aumento de la respiración, a causa del corte, según lo mencionado por Albanese et al. (2007) y Cortez-Vega et al. (2008). La estabilidad del pH en esta investigación se relaciona con la estabilidad organoléptica del producto.

d) Acidez

El ácido málico presente en la manzana es uno de los compuestos químicos que se degradan, a causa del oscurecimiento, debido al incremento de la respiración del fruto, provocado por el cortado de este (Rocha et al., 1998).



**Figura 3.9 Gráfica de acidez vs tiempo de almacenamiento**

Se esperaba que los cambios con respecto a la acidez fueran mayores para la muestra control, que no contiene una barrera para retardar el oscurecimiento y la



oxidación de los ácidos; sin embargo, como se muestra en la figura 3.9, no solo la muestra control tiene un bajo índice de acidez. Se puede visualizar que las manzanas tienen un comportamiento similar para todas las muestras. Probablemente el tratamiento previo con cloruro de calcio ayudo a evitar ésta pérdida.

### 3.4.4 Cambios texturales (Firmeza)

La pérdida de firmeza es un cambio de calidad muy común en los frutos frescos cortados, debido a razones diversas, dentro de las que destacan: el estrés que muestra el fruto al ser sometido a un corte y pelado, por acción de las enzimas, por deshidratación del tejido, entre otras (Varela et al., 2007). En la figura 3.10 se muestra la grafica de tenacidad vs tiempo de almacenamiento.

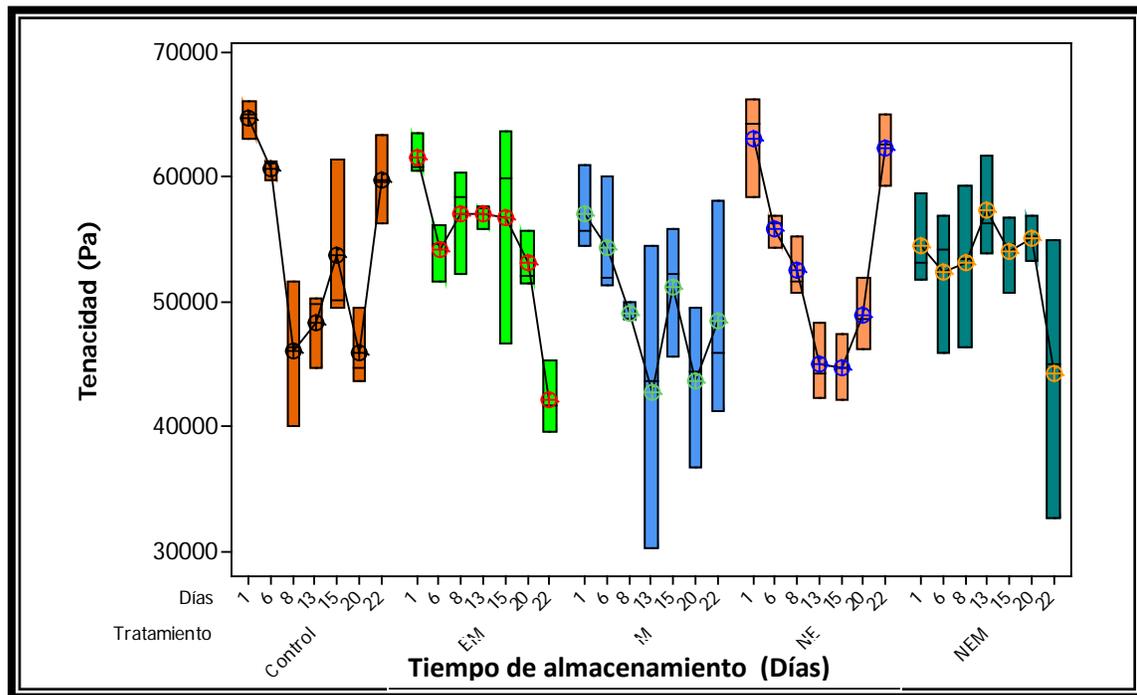


Figura 3.10 Gráfica de tenacidad vs tiempo de almacenamiento

En la figura 3.10 se muestra la tenacidad de los diferentes tratamientos, con respecto al tiempo de almacenamiento. Se observa que en el tratamiento control disminuyó la tenacidad en los primeros días, generando un ablandamiento de los



tejidos. Después del día ocho hubo un aumento de la tenacidad, probablemente por la deshidratación de los tejidos de la manzana. Para el recubrimiento con nanoemulsión sin mucílago, se observa que hay un descenso de la tenacidad hasta el día quince, a partir de ese día, hubo un aumento debido a que los glóbulos de aceite presentes en la nanoemulsión se infiltraron dentro de los poros del fruto, por su tamaño submicrónico. Sin embargo, en los recubrimientos con mucílago, éste le proporciona una capa protectora, sobre la superficie del fruto que le ayudan a conservar su humedad y por tanto en gran medida ayudan a mantener su tenacidad. El recubrimiento elaborado con mucílago-plastificante en los primeros días tiene un descenso en la tenacidad. Para el día trece, permanece su tenacidad constante hasta el último día. Debido a que el mucílago atrapa el agua del producto y la mantiene en la superficie. La emulsión mucílago muestra un descenso en la primera semana de almacenamiento, posteriormente, se mantiene constante por las ventajas que le otorga el mucílago antes mencionadas. Para la nanoemulsión-mucílago, éste es el recubrimiento aplicado que permitió al fruto mantener la tenacidad más estable durante el almacenamiento refrigerado. Por lo que este recubrimiento proporciona los menores cambios en la textura de las muestras. Estos resultados se correlacionan con la pérdida de peso, ya que estas unidades experimentales también fueron las que presentaron menor pérdida de peso. Adicionalmente, estos mismos frutos recubiertos con nanoemulsión-mucílago presentaron la mayor jugosidad, debido a que el mucílago no le permitió que el agua emigrara al exterior, ni que los glóbulos de tamaño submicrónico, se desplazaran al interior de la manzana, lo que le permite conservar sus propiedades físicas y buenos atributos de calidad, como color, acidez y pH.

La fuerza de la compresión es otro valor importante para determinar la textura en los alimentos. Físicamente representa la fuerza necesaria para que un alimento sea deformado por efecto de comprimirlo. Específicamente, es una prueba obligada para evaluar el almacenamiento de frutos frescos cortados.



La figura 3.11 muestra la variación en la carga máxima que expresan la firmeza del producto en relación al tiempo de almacenamiento la razón de cambio para la muestra control fue de 3.14 N/día hasta el día 20 de almacenamiento. Aumenta después debido a la deshidratación superficial del tejido.

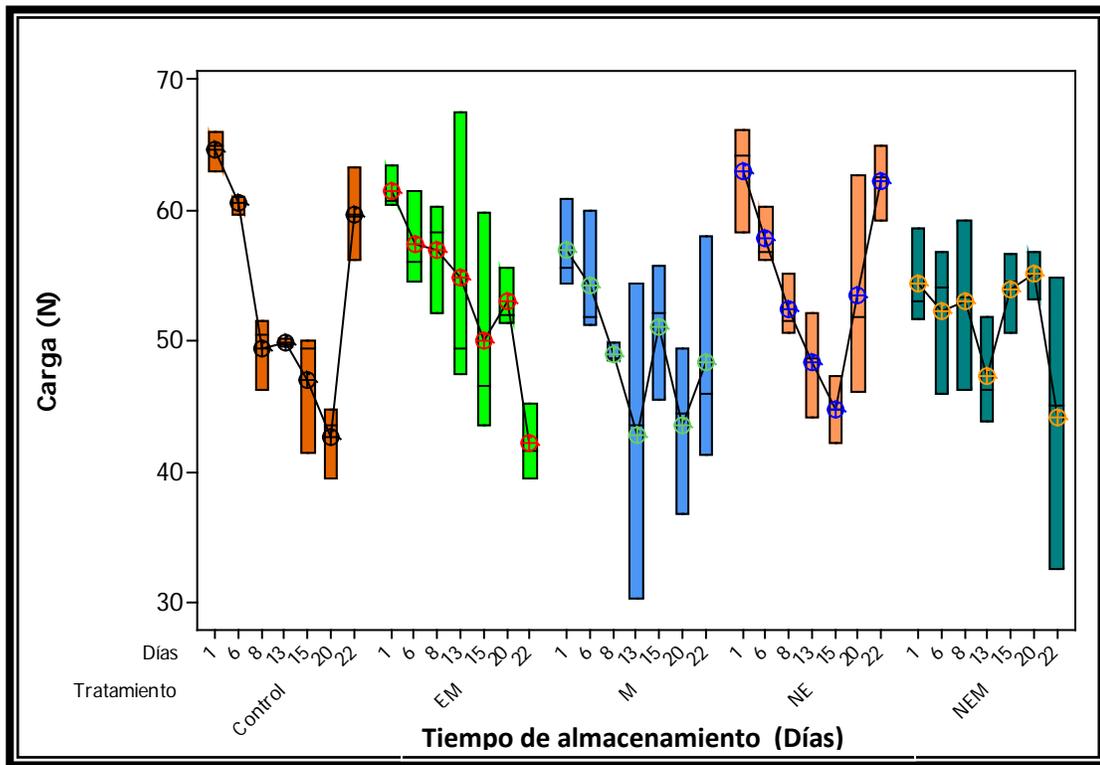


Figura 3.11. Gráfica de carga vs tiempo de almacenamiento

Para el caso de la emulsión mucílago se aprecia una velocidad de cambio de 1.36 N/día. En el caso del mucílago fue el que manifestó la mayor velocidad de cambio que fue de 5.48 N/día para los primeros trece días. Sin embargo, al paso de los trece días, no ocurrió una deshidratación del producto debido a que el mucílago mantuvo el agua en el fruto, esto se puede observar en el gráfico, por que permanece constante el valor de la carga. La nanoemulsión sin mucílago tiene una razón de cambio decreciente de 3.95 N/día y posteriormente a partir del día quince comenzó la deshidratación del producto. Esto se debió a que las partículas emigraron al centro del producto por su talla submicrónica. Para el caso de la nanoemulsión-mucílago se puede observar que el comportamiento es constante



en los primeros 20 días de almacenamiento, debido a que no tienen un cambio drástico, esto por la capa protectora que forma el mucílago en la superficie del producto.

### 3.4.5 Respiración

Cuando las frutas se cortan, sus tejidos quedan expuestos al contacto con el oxígeno del aire, se producen coloraciones pardas y un aumento de la respiración. La figura 3.12 muestra el comportamiento de la respiración en manzana fresca cortada por efecto del tipo de recubrimiento.

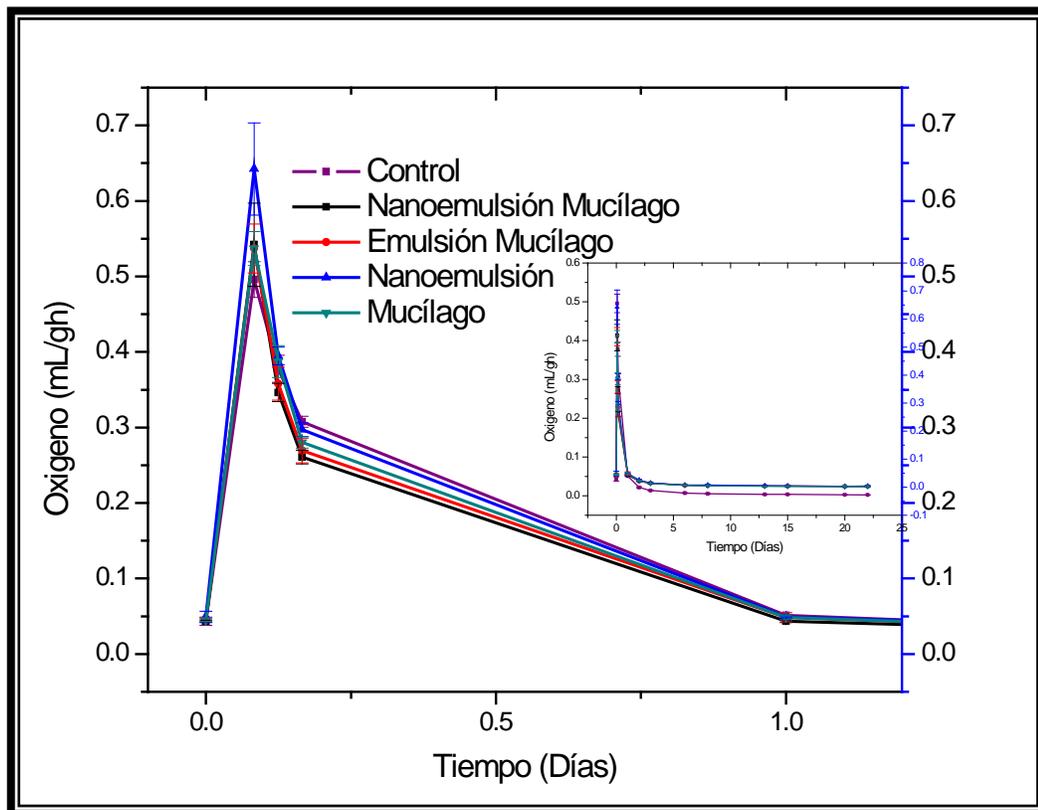


Figura 3.12 Gráfica de concentración de oxígeno vs tiempo de almacenamiento

La respiración es un proceso metabólico asociado a la presencia de oxígeno. Se puede observar en la figura 3.12 que en las primeras 4 horas, las muestras que presentaron una respiración más acelerada fueron las manzanas con



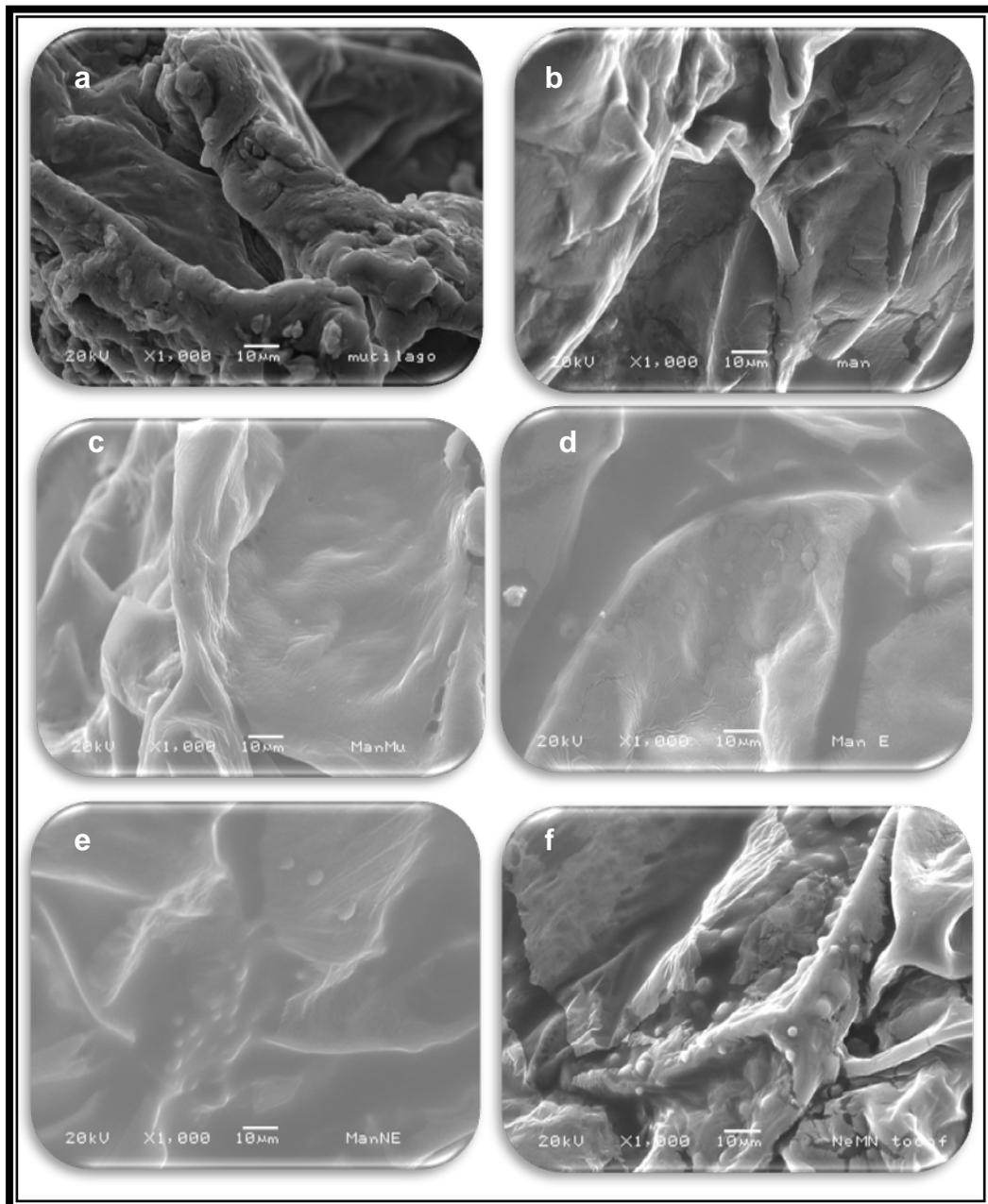
nanoemulsión sin mucílago con una pendiente de 0.050, el mucílago con 0.044 y la que obtuvo la menor pérdida de oxígeno durante las primeras hora fue la muestra control con un pendiente de 0.042. Las muestras recubiertas con la nanoemulsión mucílago presentaron una velocidad del 0.043. Después del primer día todas las unidades experimentales permanecen constantes. De acuerdo al inserto en la figura 3.12 y la muestra control permaneció por debajo de los recubrimientos. En el caso de los recubrimientos, entre ellos no se percibe una influencia significativa de los valores de oxígeno presente, a partir del día uno.

### **3.5 Resultados del objetivo particular 4**

#### **3.5.1 Determinación de morfologías de la manzana**

La muestra de manzana fresca cortada control y las muestras con recubrimientos comestibles de emulsión-mucílago, nanoemulsión-mucílago, nanoemulsión y mucílago-plastificante, se observaron en un microscopio electrónico de barrido al alto vacío. Estas muestras se fijaron en un portamuestras de bronce, previamente limpiado. Y fueron adheridas con cinta de carbón electro conductiva. Posteriormente, se evaporaron con baño de oro. Se observaron las muestras a diferentes aumentos y se seleccionaron las micrografías tomadas a 1000x aumentos, debido a la claridad y a las particularidades de los componentes en estudio presentes en las imágenes. Esto permitió conocer y caracterizar visualmente las morfologías de los recubrimientos aplicados sobre la superficie de las manzanas frescas cortadas.

En la figura 3.13 se muestran las imágenes obtenidas en el microscopio electrónico, para el mucílago, los tejidos de las manzanas control y los recubrimientos de mucílago-plastificante, emulsión-mucílago, nanoemulsión-mucílago y nanoemulsión.



**Figura 3.13a) Morfología del mucílago 3.13b) Morfología de la manzana 3.13c) Morfología de la manzana con recubrimiento de mucílago con plastificante 3.13d) Morfología de la manzana con recubrimiento de emulsión-mucílago 3.13e) Morfología de la manzana con recubrimiento de nanoemulsión 3.13f) Morfología de la manzana con recubrimiento de nanoemulsión-mucílago.**



En la figura 3.13a se observa la micrografía del mucílago hidratado obtenido del nopal. Este hidrocoloide ha sido reportado como un compuesto con buenas propiedades en los recubrimientos comestibles (Del-Valle et al., 2005; Abrájan, 2008). En la figura 3.13b se muestra un corte longitudinal de la manzana, la morfología muestra las fibras insolubles del fruto. La microestructura de la manzana consiste en células organizadas en un tejido parenquimoso (Soliva-Fortuny et al., 2003). La morfología de la manzana recubierta con mucílago-plastificante se muestra en la figura 3.13c donde se aprecia una capa plastificada en la superficie del fruto, la cual le sirvió como barrera protectora para mantener su textura según lo reportado en la figura 3.10 y 3.11. La micrografía de la manzana recubierta con emulsión-mucílago (ver figura 3.13d), se aprecian exudados, que pueden ser identificados como bolitas, bajo el recubrimiento de mucílago, esto se debe a que el mucílago es una capa que evita que emigre el agua a la superficie. En cambio en la figura 3.13e que corresponde a nanoemulsión sin mucílago, se aprecian hendiduras que probablemente sean infiltraciones de las partículas de la nanoemulsión dl- $\alpha$ -tocoferol ya que este recubrimiento emigra por los espacios celulares hacia el interior del fruto, por tratarse de componentes con talla submicrónica. Sin embargo, en la nanoemulsión-mucílago (ver figura 3.13f) se puede apreciar que el mucílago le confiere al recubrimiento una capa que no le permite infiltrar hacia la parte interna de la manzana, por eso se pueden percibir sobre el recubrimiento, glóbulos de dl- $\alpha$ -tocoferol, y bajo el recubrimiento se pueden apreciar los exudados, que son las vacuolas que contiene agua. Esto comprueba que de todos los recubrimientos la nanoemulsión-mucílago, no permite la deshidratación del fruto, la pérdida de los componentes y por tanto la conservación de la textura del producto.



## CONCLUSIONES

- 🍎 Las mejores condiciones para la elaboración de nanoemulsión-mucílago fueron 3 ciclos a 10,000 rpm lo que se corroboró con el tamaño de partícula y el potencial zeta, además de no observarse cambios significativos para la utilización de mucílago fresco o mucilago deshidratado.
- 🍎 La nanoemulsión-mucílago presentó un aumento del 40 % en el índice de oscurecimiento, mientras que los demás recubrimientos mostraron un aumento superior al 60 %, lo que demuestra que el hidrocoloide empleado contribuye a disminuir el índice de oscurecimiento y tiene un efecto sinérgico al formar una emulsión o nanoemulsión con mucílago y dl- $\alpha$ -tocoferol. Además de que la disminución de la talla de partícula también tuvo un efecto importante.
- 🍎 Para los cambios físicos la nanoemulsión-mucílago presentó la menor pérdida de peso, lo que se corroboró con la mayor jugosidad, además de mantener una firmeza en la prueba de compresión, constante hasta el día 22 donde empezó el ablandamiento del tejido.
- 🍎 La morfología de la nanoemulsión-mucílago fue la que presentó una mejor distribución sobre la superficie de los frutos frescos cortados, esto es un beneficio porque impide el intercambio de gases y vapor de agua con el medio ambiente. Además mostró que los glóbulos de aceite se aglomeran en una forma esférica y uniforme.
- 🍎 Los resultados obtenidos mostraron que la nanoemulsión con mucílago y el dl- $\alpha$ -tocoferol además de otorgar un aporte nutracéutico al consumidor, le otorga una mayor vida útil al producto, como se demostró en las pruebas de



---

índice de oscurecimiento, además le da mayor protección al fruto respecto a la pérdida de humedad y firmeza, durante 22 días de almacenamiento.

- 🍏 Con todo esto se demuestra que aplicando mucílago de nopal se preservó la manzana fresca cortada, retardando la pérdida de sus propiedades fisicoquímicas y el oscurecimiento enzimático, además de ser un recubrimiento de bajo costo y esto repercute en un beneficio económico para el país.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abraján Villaseñor, M.A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. *Tesis doctoral*, p.p. 244. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

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

Andrés, S., Giannuzzi, L., y Zaritzk, N. (2002). Quality parameters of packaged refrigerated apple cubes in orange juice. *LWT- Food Science and Technology*, **35**, 670-679.

Araújo, A., Kelmann, G., Araújo, V., Finatto, B., Teixeira, F. y Koester, S. (2011). Development and characterization of parenteral nanoemulsions containing thalidomide. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, **42**, 238-245.

Avena-Bustillos, R. d., Krochta, J. M., y Saltveit, M. E. (1997). Water vapor resistance of *Red delicious* apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. *Journal of Food Science*, **62**, 351-354.

Castillo Valle, Elisa. (2010). Recubrimiento de envases de poliestireno expandido con nanopartículas lipídicas sólidas para generar envases activos. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, Cuautitlan Izcalli: UNAM.



- Celis Herrera, Tania. (2007). *Efecto de altas presiones dinámicas sobre la actividad de la polifenoloxidasa en jugo de manzana*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, Universidad de las Américas Puebla, p.p 78.
- Chien, P., Shew, F., y Yang, F. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, **78**, 225-229.
- Choi, A.J., Kim, C.J., Cho, Y.J., Hwang, J.K. y Kim, C.T. (2011). Characterization of Capsaicin-Loaded Nanoemulsions Stabilized with Alginate and Chitosan by Self-assembly. *Food Bioprocess Technology*, **4**, 1119-1126.
- Chung, H.-S., y Moon, K.-D. (2009). Browning characteristics of fresh-cut "Tsugaru" apples as affected by pre-slicing storage atmospheres. *Food Chemistry*, **114**, 1433-1437.
- Comité, Gubernamental (4 de Mayo de 2005). Plan rectoral sistema nacional manzana. Chihuahua, Chihuahua, México.
- Contreras Salmeron, Nancy Sandra. (2010). *Efecto de la aplicación de Vitamina E sobre la vida útil de la manzana fresca cortada*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, Cuautitlan Izcalli: UNAM, p.p. 40-69.
- Cortez-Vega, W. R., Becerra-Pardo, A. M., Marques-Soares, J., y 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 Research*, **3**, 196-201.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., y Galotto, M. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, **91**, 751-756.



Do Nascimento Nunes, M. C. (2008). *Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables*. USA: Blackwell Publishing.

Embuscado, M. E., y Huber, K. C. (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer.

EROSKI, C. (Enero de 1998). <http://frutas.consumer.es>. Consultado el 16 de Junio de 2011

Fiberg, S.E., Larsson, K. y Sjöblom, J. (2004). *Food Emulsions*, 4ed. Marcel Decker. USA.

Fu, Z., Liu, M., Xu, J., Wang, Q., y Fan, Z. (2010). Stabilization of water-in-octane nano-emulsion. Part I: Stabilized by mixed surfactant systems. *Fuel*, **89**, 2838-2843.

Gao, F., Zhang, Z., Bu, H., Huang, Y., Gao, Z., Shen, J., Chunjie, Z. y Yaping L. (2011). Nanoemulsion improves the oral absorption of candesartan cilexetil in rats: Performance and mechanism. *Journal of Controlled Release*, **149**, 168-174.

García, E. y Barrett, D.M. (2002). Preservative Treatments for Fresh-Cut Fruits and Vegetables. *University of California, Davis*, 1-32.

García, M., Martino, M., y Zaritzky, N. (2000). Lipid Addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *Food Chemistry and Toxicology*, **65**, 941-947.

González-Aguilar, G. A., Álvarez Parrilla, E., de la Rosa, L., Olivas, I. G., y Ayala Zavala, J. F. (2009). *Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados*. México: Trillas.



- González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J., Olivas, G., de la Rosa, L., y Álvarez-Parrilla, E. (2010). Preserving quality of fresh-cut products using safe technologies. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, **5**, 65-72.
- Guzey, D. y McClements, J.D. (2006). Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry. *Advances in Colloid and Interface Science*, **128-130**, 227-248.
- Hiperbotanica. (2001). [www.hiperbotanica.net/](http://www.hiperbotanica.net/). Consultado el 16 de Junio de 2011
- Kester, J., y Fennema, O. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food Technology*, **40**, 47-59.
- Kulmyrzaev, A., Cancelliere, C., y McClements, D.J. (2000). Characterization of aerated foods using ultrasonic reflectance spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, **46**, 235-241.
- Lee, J., Park, H., Lee, C., y Choi, W. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT- Food Science and Technology*, **36**, 323-329.
- León-Martínez, F.M., Méndez-Lagunas, L.L., y Rodríguez-Ramírez, J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*, **81**, 864-870.
- Majdoub, H., Roudesli, S., Picton, L., Cerf, L., Muller, G., y Grisel, M. (2001). Prickly pear nopals pectin from *Opuntia ficus-indica* physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions. *Carbohydrate Polymers*, **46**, 69-79.
- Manson, T.G., Wilking, J.N., Meleson, k., Chang, C.B. y Graves, S.M. (2006). Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties. *Journal of Physics*, **18**, R635-R666.



- Matsuhiro, B., Lillo, L. E., Sáenz, C., Urzúa, C. C., y Zárata, O. (2006). Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Polymers*, **63**, 263-267.
- McClements, J.D. y Rao, J. (2011). Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **51**, 285-330.
- McGravie, D., y Parolis, H. (1981a). Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*, **88**, 305-314.
- McGravie, D., y Parolis, H. (1981b). The acid-labile peripheral chains of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*, **94**, 57-65.
- McHugh, T., y Senesi, E. (2000). Apple Wraps: A Novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*, **65**, 480-485.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B. y Alonso, S. (2003). Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, **52**, 143-150.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., y Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, **14**, 417-424.
- Mei, Y., y Zhao, Y. (2003). Barrier and mechanical properties of milk protein-based edible films containing nutraceuticas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 1914-1918.



- Mestrallet, M.G., Nepote, V., Quiroga, P. R. y Grosso, N.R. (2009). Effect of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) and algarrobo (*Prosopis spp.*) pod syrup coatings on the sensory and chemical stability in roasted peanut products. *Journal of Food Quality*, **32**, 334-351.
- Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L. y Cuadrado, C. (2006). Tablas de composición de alimentos. Editorial: Piramide, 10ed, España.
- Mustafa, G., Khan, Z. I., Bansal, T., y Talegaonkar, S. (2009). Preparation and characterization of oil in water nano-reservoir systems for improved oral delivery of atorvastatin. *Current Nanoscience*, **5**, 428-440.
- Olivas, G., y Barbosa-Cánovas. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **45**, 657-670.
- Olivas, G., Mattinson, D., y Barbosa-Cánovas, G. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed "Gala" apples. *Postharvest Biology and Technology*, **45**, 89-96.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties on fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*, **50**, 87-94.
- Paredes Martínez, Ericka. (2011). Establecimiento de las condiciones de centrifugación para la obtención de mucilago de nopal deshidratado. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, Cuautitlan Izcalli: UNAM, p.p. 52.
- Perez-Gago, M., Serra, M., y Del Rio, M. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, **39**, 84-92.
- Ponce, A.G., Roura, S.I., Del Valle, C.E., Moreira, M.R. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant



- extracts: In vitro and in vivo studies. *Postharvest Biology and Technology*, **49**, 294-300.
- Qian, C., y McClements, D. J. (2010). Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. *Food Hydrocolloids*, **25**, 983-990.
- Rao, J., y McClements, D. J. (2010). Stabilization of Phase Inversion Temperature Nanoemulsions by Surfactant Displacement. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **58**, 7059-7066.
- Rao, J. y McClements J. (2011). Food-grade microemulsions, nanoemulsions and emulsions: Fabrication from sucrose monopalmitate and lemon oil. *Food Hydrocolloids*, **25**, 1413-1423.
- Rico, D., Martín-Diana, A., Barat, J., y Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology*, **18**, 373-386.
- Rocha, A., Brochado, C., y Morais, A. (1998). Influence of chemical treatment on quality of cut apple. *Journal of Food Quality*, **21**, 13-28.
- Rocha, A. M., y Morais, A. M. (2001). Poyphenoloxidase activity and total phenolic content as related to browning of minimally processed "Jonagred" apple. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **82**, 120-126.
- Rojas-Graü, M. A., Raybaudi-Massilia, R. M., Soliva-Fortuny, R. C., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., y Martín-Belloso, O. (2007). 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., y Martín-Belloso, O. (2008a). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT- Food Science and Technology*, **41**, 139-147.

Rojas-Graü, M., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2008b). Effect of natural antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut fuji apples as an alternative to the use of ascorbic acid. *Journal of Food Science*, **73**, 267-272.

Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2009a). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh cut fruit: a review. *Food Science and Technology*, **20**, 438-447.

Rojas-Graü, M. A., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2009b). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, **44**, 875-889.

Ruiz-Hernández, F. (2009). Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucilago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, Universidad de las Américas Puebla.

Sáenz, C., Sepúlveda, E., y Matsuhira, B. (2004). *Opuntia spp* mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, **57**, 275-290.

SAGARPA. (2010). [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). Consultado el 15 de Mayo de 2011

Salager, J.L. (1998). Formulación HLB, PIT, R de Winsor. *Universidad de los andes*, 1-18.



- Seipel, M., Pirovani, M.E., Guemes, D.R., Gariglio, N.F. y Piagentini, A.M. (2009). Características fisicoquímicas de los frutos de tres variedades de manzanas cultivadas en la región centro-este de la provincia de Santa Fe. *Fave*, **8**, 27-36.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., y Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, **68**, 534-545.
- Shah, P., Bhalodia, D., y Shelat, P. (2010). Nanoemulsion: A pharmaceutical review. *Systems Review Pharmaceutical*, **1**, 24-32.
- Shafiq-un-Nabi, S., Shakeel, F., Talegaonkar, S., Ali, J., Baboota, S., Ahuja, A., Roop, K. Khar, y Mushir Ali (2007). Formulation Development and Optimization Using Nanoemulsion Technique: A Technical Note. *Pharmaceutics Science Technology*, **8**, E1-E6.
- Shon, J. y Haque, Z.U. (2007). Efficacy of sour whey as a shelf-life enhancer: use in antioxidative edible coating of cut vegetables and fruit. *Journal of Food Quality*, **30**, 581-593.
- Silva, H. D., Cerqueira, M. A., Souza, B. W., Ribeiro, C., Avides, M. C., Quintas, M. A., Coimbra, J.S.R., Carneiro-da-Cunha, M.G. y Vicente A.A. (2011). Nanoemulsions of B-carotene using a high-energy emulsification-evaporation technique. *Journal of Food Engineering*, **102**, 130-135.
- Solé, I., Pey, C. M., Maestro, A., González, C., Porrás, M., Solans, C., y Gutiérrez J.M. (2010). Nano-emulsions prepared by the phase inversion composition method: Preparation variables and scale up. *Journal of Colloid and Interface Science*, **344**, 417-423.
- Soliva-Fortuny, R. C., Grigelmo-Miguel, N., Odriozola-Serrano, I., Gorinstein, S., y Martín-Belloso, O. (2001). Browning evaluation of ready-to-eat apples



as affected modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, **49**, 3685-3690.

Soliva-Fortuny, R., Lluch, M., Quiles, A., Grigelmo-Miguel, N., y Martín-Belloso, O. (2003). Evaluation of textural properties and microstructure during storage of minimally processed apples. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, **68**, 312-317.

Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J., y Solans, C. (2004). Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, **108-109**, 303-318.

Torrieri, E., Di Monaco, R., Cavella, S., y Masi, P. (2008). Fresh-cut annarca apples: acceptability study and shelf-life determination. *Journal of Sensory Studies*, **23**, 377-397.

Trachtenberg, S., y Mayer, A. M. (1981). Composition and properties of opuntia ficus indica mucilage. *Phytochemistry*, **20**, 2665-2668.

Tsujiyama, S., y Miyamori, A. (2000). Assignment of DSC thermograms of wood and its components. *Thermochim Acta*, **351**, 177-181.

Valero González, S. P. (2008). Estudio sobre el comportamiento de compra de ensaladas frescas preparadas (Cuarta Gama) en comunas de Santiago. Tesis de Licenciatura en Administración, p.p. 106. Santiago, Chile: Facultad de ciencias económicas y administrativas.

Vargas, M., Centurión-Yah, A., Sauri-Duch, E., y Tamayo-Cortés, S. (2005), Industrialización de la pitahaya: Una nueva forma de comercialización, *Revista Mexicana de Agronegocios*, México, enero/junio, **9**, 498-509.



- Varela, P., Salvador, A. y Fiszman, S. (2007). Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, **78**, 622-629.
- Viña, S.Z., Mugridge, A., García, M.A., Ferreyra, R.M., Martino, M.N., Chaves, A.R., y Zaritzky, N.E. (2007) Effects of polyvinylchloride films and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated Brussels sprouts. *Food Chemistry*, **103**, 701-709.
- Washington, a. (2007). <http://www.bestapples.com>. Consultado el 16 de Junio de 2011.
- Weiss, J., Takhistov, P. y McClements, J. (2006). Functional materials in food nanotechnology, *Journal of Food Science*, **71**, R107-R116.
- Willey, R. C. (1997). Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. (J. Fernández-Salguero Carretero, Trad.) Zaragoza, España: Acribia
- Yang, L., y Paulson, A. (2000). Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Research International*, **33**, 571-578.
- Yang, L., Paulson, A.T., y Nickerson, M.T. (2010). Mechanical and physical properties of calcium-treated gellan films. *Food Research International*, **43**, 1439-1443.
- Yoon Sung, N., Jin-Woong, K., Jongwon, S., Sang Hoon, H., y Han Kon, K. (2010). Nanosized emulsions stabilized by semisolid polymer interphase. *Langmuir*, **26**, 13038-13043.
- Zambrano-Zaragoza, M.L., Mercado-Silva, E. Gutiérrez-Cortez, E., Castaño-Tostado, E., y Quintanar-Guerrero, D. (2011). Optimization of nanocapsules



preparation by the emulsion-diffusion method for food applications. *LWT-Food Science and Technology*, **44**, 1362-1368.

Zhisheng, F., Min, L., Junting, X., Qi, W., y Zhiqiang, F. (2010). Stabilization of water-in-octane nano-emulsion. Part I: Stabilized by mixed surfactant system. *Fuel*, **89**, 2838-2843.



---

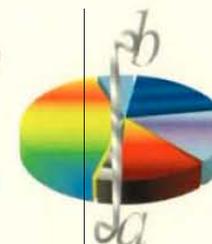
🍏 Este trabajo fue presentado en el Tercer Congreso Internacional sobre la Enseñanza de las Matemáticas, donde se obtuvo el segundo lugar en cartel.

---



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

El Departamento de Matemáticas a través del Programa de  
Actualización, Formación Docente y Académica



Matemáticas

Otorga la presente

# Constancia

**A: Victoria Mendoza Aguilar**

Por la Presentación del Cartel:

**RECUBRIMIENTOS DE NANOEMULSIÓN CON MUCILAGO DE  
NOPAL Y A-TOCOPHEROL, PARA ALARGAR LA VIDA ÚTIL DE LA  
MANZANA FRESCA CORTADA**

Tercer Congreso Internacional sobre la Enseñanza de las Matemáticas

“Por mi Raza Hablará el Espíritu”  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, Mayo del 4 al 6 del 2011.

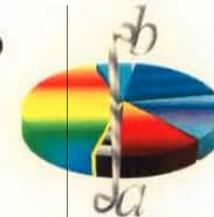
Dra. Suemi Rodríguez Romo  
Directora de la Facultad





Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

El Departamento de Matemáticas a través del Programa de  
Actualización, Formación Docente y Académica



Matemáticas

Otorga el presente

## Reconocimiento

**A:** Victoria Mendoza Aguilar, Elsa Gutiérrez Cortez, María de  
la Luz Zambrano Zaragoza y David Quintanar Guerrero

Por haber obtenido el SEGUNDO LUGAR del cartel:

*RECUBRIMIENTOS DE NANOEMULSIÓN CON MUCÍLAGO DE NOPAL Y  $\alpha$ -  
TOCOPHEROL, PARA ALARGAR LA VIDA ÚTIL DE LA MANZANA FRESCA CORTADA*  
Tercer Congreso Internacional sobre la Enseñanza de las Matemáticas

“Por mi Raza Hablará el Espíritu”  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, Mayo del 4 al 6 del 2011.

Dra. Suemi Rodríguez Romo  
Directora de la Facultad

