



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**“EFECTO DEL RECUBRIMIENTO A BASE DE  
NANOCÁPSULAS DE VITAMINA E, SOBRE EL ÍNDICE  
DE OSCURECIMIENTO DE REBANADAS DE  
MANZANA VARIEDAD RED DELICIOUS”.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**VALENTIN SÁNCHEZ REYES**

**ASESORES:**

**M. en C. MARIA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA  
I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX.**

**2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS  
 SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE



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

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

Efecto del recubrimiento a base de nanocápsulas de Vitamina E, sobre el índice

de oscurecimiento de rebanadas de manzana variedad red delicious

Que presenta el pasante Valentin Sánchez Reyes

Con número de cuenta: 405051360 para obtener el título de:

Ingeniero 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 ESPIRITU"  
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 11 de abril de 2011

PRESIDENTE I.B.Q. Leticia Figueroa Villarreal

VOCAL Dr. David Quintanar Guerrero

SECRETARIO M.C. María de la Luz Zambrano Zaragoza

1er SUPLENTE I.A. María Guadalupe López Franco

2º SUPLENTE I.A. Patricia Muñoz Aguilar

*[Handwritten signatures of the board members]*

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, por haberme permitido vivir y cumplir una meta más en la vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y de manera más cercana a la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, mi segundo hogar. Espacios donde cada uno de los profesores que me han enseñado, han contribuido de manera muy importante en lo que ahora soy.

A la M en C. María de la Luz Zambrano Zaragoza, por ser un pilar muy importante en mi formación como profesional, por brindarme un gran apoyo académico, así como su amistad y confianza durante la realización de este proyecto. Muchas gracias

Muchas gracias al Dr. David Quintanar Guerrero por ser un apoyo constante en la realización de este proyecto posponiendo sus deberes y poniendo interés en mi objetivo ya que me enseñó a tener una visión completa

Al I.A Alfredo Alvares Cárdenas, por las horas de atención en la revisión de este trabajo, así como el conocimiento brindado.

Al Técnico Rodolfo Robles del laboratorio de microscopia electrónica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por todo el apoyo brindado.

**“POR MI RAZA, HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

## DEDICATORIAS

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

A mis hermanos Nancy y Alain, con quienes he compartido buenos y malos momentos: compañía, confianza, historias, esfuerzos, sueños, necesidades, montones de risas y mucho amor.

A mis primas Julia y Lulú, quien a pesar de la distancia que vivimos siempre están dispuesta ayudar de alguna forma.

A mis tías Irene, Berta que siempre han cuidado de mí y están ahí en las buenas y en las malas, a ustedes todo mi cariño y agradecimiento.

A mi tío Manuel, por siempre confiar en mí e impulsarme a conseguir todas mis metas, por tu cariño incondicional y ejemplo como una gran persona. Gracias

A los que quedaron en la memoria y no por eso dejaron de ser importantes en mi vida.

“Nunca desistas de un sueño. Sólo trata de ver las señales que te lleven a él.”

Paulo Coelho.

# ÍNDICE

		Páginas
	<b>Resumen</b>	
	<b>Introducción</b>	1
<b>CAPÍTULO I. Antecedentes</b>		3
1.0.	Características de la manzana	3
1.1.	Tipos de manzana	3
1.1.1.	Clasificación de acuerdo a su morfología y composición química	5
1.1.1.2.	Metabolismo	7
1.1.2.	Condiciones de almacenamiento	9
1.1.2.1.	Daños por frío	10
1.1.2.2.	Frutas mínimamente procesados	11
1.1.2.3.	Efectos del procesamiento mínimo	13
1.2.	Polifenoxidasas	14
1.3.	Antioxidantes	15
1.3.1.	Vitaminas	16
1.3.1.1.	$\alpha$ - tocoferol de acetato (vitamina E)	17
1.3.1.2.	$\alpha$ - tocoferol polietilen glicol succinato (TPGS)	17
1.4.	Recubrimientos comestibles	18
1.4.1.	Recubrimientos a base de polisacáridos	19
1.4.2.	Gomas	19
1.4.3.	Plastificantes	22
1.4.4.	Balance hidrófilico- lipófilico	22
1.4.5.	Potencial zeta	23
1.5.	Emulsión	24
1.5.1.	Estabilidad de emulsiones	25
1.5.2.	Emulsionantes	26
1.5.3.	Nanotecnología	27
1.5.4.	Nanotecnología en alimentos	29

1.5.5.	Nanoemulsión	29
1.5.6.	Nanocápsulas	30
1.5.7.	Métodos de obtención de nanocápsulas	31
1.5.8.	Caracterización nanocápsulas	32
1.6.	Envase	33
1.6.1.	Tipos de plásticos que se emplean en el envasado de alimentos	34
<b>CAPÍTULO II. Metodología de investigación experimental</b>		<b>36</b>
2.1.	Cuadro metodológica	36
2.1.2.	Problema	37
2.1.3.	Objetivo general	37
2.1.4.	Objetivos particulares	37
2.2.	Materiales	38
2.2.1.	Materia prima	38
2.3.	Determinación del balance hidrófilico-lipófilico de emulsión y nanoemulsión	39
2.4.	Preparación de emulsión y nanoemulsión	40
2.5.	Preparación de sistema con dl- $\alpha$ tocoferol	40
2.5.1.	Preparación de nanocápsulas de vitamina E	40
2.5.2.	Preparación de solución de $\alpha$ -tocoferol polietilen glicol succinato	41
2.5.3.	Formulación del recubrimiento	41
2.6.	Caracterización de las emulsiones, nanoemulsión y nanocápsulas	41
2.6.1.	Caracterización morfológica de los sistemas coloidales	42
2.7.	Determinación de la cantidad de recubrimiento absorbido por la fruta	42
2.8.	Diagrama de proceso para la obtención de un recubrimiento en manzana cortada en rebanadas	43

2.8.1.	Descripción diagrama de proceso	44
2.9.	Cambios fisicoquímicos	46
<b>CAPÍTULO III. Análisis de resultados y discusiones</b>		49
3.1.	Actividades preliminares	49
3.1.1.	Caracterización de tamaño de partícula con respecto a los ciclos de homogenización para la obtención de nanoemulsión	49
3.1.2.	Caracterización de los sistemas coloidales y estabilidad	50
3.1.3.	Caracterización morfológica de los sistemas coloidales	52
3.1.4.	Determinación cantidad de recubrimiento absorbido en manzana	56
3.2.	Actividades preliminares	57
3.2.1.	Caracterización cámara de refrigeración	57
3.2.2.	Comparación entre el efecto de ácido cítrico y cloruro de calcio	59
3.2.3.	Morfología de los sistemas coloidales aplicados a manzana	60
3.2.4.	Cambios fisicoquímicos	64
	<b>Conclusiones</b>	86
	<b>Bibliografía</b>	87

## ÍNDICE DE TABLAS

No. DE TABLA		PÁGINA
1	Composición química de manzana por 100g de materia	6
2	Definición de mínimamente procesados a través del tiempo	12
3	Propiedades del $\alpha$ -tocoferol polietilen glicol succinato	17
4	Recubrimientos aplicados en manzana	19
5	Clasificación de algunas gomas	20
6	Características de estabilidad con diferentes valores de potencial zeta	24
7	Emulsionantes empleados en la industria de alimentos	27
8	Formulación para emulsión y nanoemulsión.	39
9	Potencial Z para sistemas sin goma xantana	51
10	Potencial Z para sistemas con goma xantana	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

No. DE FIGURA		PÁGINA
1	Mecanismos que influyen en la inestabilidad de emulsiones	26
2	Escala comparativa en dimensiones de tamaño de partícula	28
3	Estructura vesicular de nanocápsulas de octilmetoxicinamato	31
4	Diagrama de proceso de emulsificación difusión	32
5	Comportamiento del tamaño de partícula con respecto a los diferentes ciclos de homogeneización (rotor/stator)	49
6	Comportamiento del tamaño de partícula por los sistemas coloidales empleados durante el almacenamiento	51
7	Micrografías nanocápsulas de vitamina E	54
8	Micrografías nanoemulsión de vitamina E	55
9	Micrografías emulsión de vitamina E	56
10	Curva patrón para determinar la cantidad de recubrimiento	57
11	Velocidad de aire en m/s	58
12	Comparación entre ácido cítrico y cloruro de calcio	59
13	Micrografías de manzana con cloruro de calcio	61
14	Micrografías de manzana con nanocápsulas de vitamina E	62
15	Micrografías de manzana con nanoemulsión de vitamina E	63
16	Pérdida de peso durante 14 días de almacenamiento	65

17	Cambios en °Bx durante almacenamiento refrigerado	67
18	Cambios de acidez durante el almacenamiento refrigerado	68
19	Comportamiento de pH en función al tiempo de almacenamiento	69
20	Desarrollo del índice de oscurecimiento durante el almacenamiento	81
21	Comportamiento de luminosidad de manzana tratada durante el almacenamiento	82
22	Firmeza después de 14 días de almacenamiento	84
23	Comportamiento de firmeza durante 14 días de almacenamiento	85

## RESUMEN

La nanotecnología está emergiendo como plataforma tecnológica para la próxima ola de desarrollo y transformación de los sistemas agroalimentarios como resultado, la nanotecnología se está moviendo rápidamente desde los laboratorios hasta los supermercados. La atracción del ser humano por crear alimentos inteligentes con técnicas de nano-encapsulación puede hacer que sea posible modificar la composición nutricional, el sabor y otros atributos.

Para la experimentación se utilizó un lote de 60 Kg de manzanas de la variedad “Red Delicious” que fue adquirido en la central de abastos de la Ciudad de México. La selección de los frutos se realizó en base a su estado de madurez, la similitud de su forma, tamaño y ausencia de lesiones externas. Los frutos seleccionados se dividieron de manera aleatoria en tres lotes de 20 Kg.

Las manzanas fueron clasificadas de acuerdo a su tamaño y calidad, posteriormente se recubrieron con goma xantana, nanocápsulas, nanoemulsión, emulsión y solución de vitamina E y almacenadas a una temperatura de 4°C durante 14 días. Las características evaluadas durante el almacenamiento fueron color, pérdida de peso, acidez, °Brix, pH y textura. Así como también se determinó la estabilidad de los recubrimientos a base de emulsión, nanoemulsión, nanocápsulas y solución de vitamina E.

# INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes en la industria de los alimentos es la conservación y tiempo de vida útil que éstos puedan tener, ya que las frutas entre las que se incluyen las manzanas, están sujetas a cambios en la velocidad de respiración después de la cosecha, lo que da como resultado un deterioro físico y microbiano con considerables pérdidas económicas (Chaim y Soffer, 1996). Para retardar o evitar el deterioro en los alimentos, existen diversas combinaciones de métodos de conservación dentro de los cuales se encuentran: la tecnología de barrera, el empleo de biopelículas y recubrimientos (Lee *et al.*, 2003). En las primeras se encuentran los envases en alimentos. Estos protegen al alimento del daño físico durante el almacenamiento, evitando el intercambio gaseoso: vapor de agua, dióxido de carbono y de algunos compuestos volátiles, que imparten aromas a los alimentos. Los envases presentan una problemática para el medio ambiente porque contaminan al mismo. En el segundo método, el llamado empleo de biopelículas y los recubrimientos antes citados, encontramos una nueva alternativa para contribuir a proteger el ambiente ya que no genera residuos. Estos son hidrocoloides con una base acuosa y una mezcla que puede ser de proteínas, lípidos o polisacáridos (Lin y Zhao, 2007).

El uso de nanopartículas, hace posible la introducción de múltiples funcionalidades para ayudar a mejorar el suministro de micronutrientes frágiles dentro de las cápsulas comestibles (Sozer y Kokini, 2008). Permitiendo de esta forma comparar su utilidad con las emulsiones, ya que una gran cantidad de productos que se utilizan a diario en el sector alimenticio, son a base de emulsiones; estos pueden servir de igual forma para encapsular nutrientes y después liberarlos (Aranberri *et al.*, 2006). Por ésta razón, las nanocápsulas tienen un importante papel dentro de este proyecto, ya que se pretende encapsular la vitamina E.

Se ha demostrado que agentes antioxidantes previenen el pardeamiento reduciendo químicamente las ortoquinonas a difenoles coloreados, inhibiendo la actividad de la enzima por disminución del pH, o quelando el  $\text{Cu}^{2+}$  en el alimento (Gasull y Becerra, 2006), previniendo de esta forma los cambios de coloración que sufre la manzana por efecto de las

reacciones enzimáticas debidas a la oxidación de compuestos fenólicos, que son liberados de las vacuolas de las células tras el corte y son oxidados por el O<sub>2</sub>, provocando cambios en los pigmentos llamados melaninas, que dan una coloración marrón inaceptable para el consumo; de esta forma se pretende reducir el índice de oscurecimiento a través de la utilización de nanocápsulas con tamaños de partícula de entre 250 nm 500 nm, ya que la disminución de la talla de partícula incrementa el área superficial (Quintanar-Guerrero *et al.*, 1998).

Actualmente, las tendencias del consumo de frutas frescas cortadas han comenzado cada día a ocupar mayor parte de los sistemas de refrigeración en los supermercados. Uno de los productos que no puede faltar es la manzana debido a que una gran proporción de las vitaminas y minerales en la dieta provienen del consumo de frutas y vegetales. Además de que existe evidencia de que son importantes en la prevención de muchas enfermedades degenerativas, entre las que se incluyen las enfermedades cardiovasculares, cáncer y envejecimiento. Es por esto, que el objetivo del trabajo fue estudiar el efecto de la utilización de un recubrimiento a base de nanocápsulas de vitamina E/ goma xantana sobre el índice de oscurecimiento de rebanadas de manzana fresca con la finalidad de prolongar su vida útil.

Para la obtención de las nanopartículas, se utilizó como método el de emulsificación – difusión, el cual se basa en generar una emulsión espontánea a base de agitación mecánica a velocidad variable para de esta forma obtener una mezcla homogénea para llevar a cabo el proceso de difusión.

## CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

La fruta es el producto del crecimiento de una flor, inflorescencia, angiosperma de las plantas (Wills *et al.*, 1977). La Manzana pertenece a la familia de las rosáceas, su nombre científico es *Malus domestica* del género llamado Malus. Este es un fruto ampliamente consumido a nivel mundial, y a ciencia cierta no se sabe desde cuando fue descubierto pero ha existido desde tiempos bíblicos. El manzano es resistente al frío, soporta temperaturas inferiores a los -10 °C, sin que por ellos se afecte su corteza (SAGARPA, 2010).

### ***1.1. Características de la Manzana***

Es un fruto de estructura firme, carnosa, derivada del receptáculo de la flor del árbol de manzano. Las características físicas del fruto son muy variables. El color de la piel va desde el verde hasta el rojo muy oscuro. El tamaño, oscila entre un poco mayor que el de una cereza y casi tan grande como el de una toronja o pomelo mediano.

La manzana es una de las frutas más ampliamente cultivadas. En el 2007, la producción mundial de manzana fresca fue de 47 millones de toneladas, de éstas existen más de 7500 variedades conocidas. Los consumidores de manzana tienen en cuenta: la frescura, jugosidad, el buen sabor y aroma.

Desde el punto de vista comercial, los criterios más importantes se basan en la evaluación de la coloración y tamaños de la manzana (Seipel *et al.*, 2009).

#### ***1.1.1. Tipos de manzana***

A continuación, se describen los diferentes tipos de manzanas consumidos con mayor frecuencia, estos se enlistan de la siguiente forma:

a) Gala

Es una variedad de origen neozelandés, resultante del cruce de Kidd's Orange con Golden delicious. Las manzanas tienen un tamaño bastante uniforme con calibres medios de 60-80 mm. La manzana es de color amarillo (Álvarez, 1988).

b) Golden delicious

Variedad de origen americano, con un área de adaptación muy amplia, la manzana es de color amarillo dorado, más largo que ancha, con la carne blanco amarilla firme, fina jugosa, perfumada y muy sabrosa. El pedúnculo es muy largo, y la piel delgada y resistente, cubierta con lenticelas agrietadas (Álvarez, 1988).

c) Granny Smith

Es una variedad de origen australiano que se está introduciendo con relativo éxito, en el mercado. La manzana es de buen tamaño, hermosa, esférica y simétrica. Tiene color verde intenso, que se vuelve más claro cuando madura con numerosas lenticelas de color blanquecino (Álvarez, 1988).

d) Jonathan

Es de origen americano, son manzanas pequeñas, que maduran en octubre-noviembre, su forma es redondeada regular, con costillas poco pronunciadas alrededor del cáliz, y de color rojo más o menos intenso (Álvarez, 1988).

e) McIntosh

Es una variedad obtenida en Ontario Canadá, la manzana. La manzana es de gran calidad y muy hermosa. Tiene forma redondeada de color rojo uniforme, más intenso, que la variedad red delicious. La carne es totalmente blanca, se comienza a cosechar a finales de septiembre (Álvarez, 1988).

#### f) Mingán

Es una variedad procedente de Asturias, las manzanas son de tamaño grande, forma más larga que ancha, ligeramente rosadas en la zona de insolación, de carne firme y extraordinaria calidad. Se cosecha en el mes de octubre y tiene larga conservación en cámaras de refrigeración (Álvarez, 1988).

#### g) Red delicious

Es originaria de Estados Unidos. Las manzanas son de buen tamaño, con el diámetro mayor en la parte inferior, tienen una costilla característica rodeando la fosa calicina. El color es rojo más o menos intenso factor principal de selección, según las distintas mutaciones con un punteado amarillo. La carne es azucarada, jugosa, ligeramente acidulada y muy aromática. Se cosecha en octubre y se conserva muy bien hasta abril o mayo en cámaras frigoríficas, pero en conservaciones prolongadas la carne se vuelve harinosa. La mutación más famosa de Red delicious ha sido la Starking, obtenida y difundida por los viveros de Stark, de Louisiana Missouri (Álvarez, 1988).

### ***1.1.1.1. Clasificación de acuerdo a su morfología y composición química***

La manzana, se clasifica dentro de los grupos pomo ya que son simples y se derivan de una sola flor epígena, cuyo ovario está fusionado al tejido de receptáculo, caracterizándose por tener 4 o 5 carpelos o con dos óvulos en cada uno. En ellos, la cáscara corresponde a la epidermis del tejido externo (tubo floral del receptáculo) que envuelve al ovario.

La pulpa, comestible es principalmente tejido de tubo floral que se separa del tejido del ovario por medio de haces vasculares que se aprecian como puntos. El epicarpio y mesocarpio aparecen como un solo tejido comestible en la parte más interna del fruto, mientras que el endocarpio es el tejido coriáceo que cubre las cavidades donde están las semillas. A la maduración el fruto aparece con remanentes no comestibles de estambres y pistilo en su parte terminal (Díaz, 2002).

En la tabla 1 se muestra de manera general, la composición química de manzana red delicious. Es la fruta más sana e higiénica por su abundancia en sodio, potasio, magnesio y fósforo resultando ser un magnífico alimento mineralizado, es buena para combatir la pobreza en la sangre, anemia cerebral y problemas relacionados con el hígado, estómago, así como también ayuda en la prevención del insomnio. Por sus altas propiedades nutritivas, es un fruto muy consumido debido al gran aporte nutrimental.

Tabla.1 Composición química de manzana por 100g de materia

<b>Nutrimento</b>	<b>Unidades</b>	<b>Porción por 100 g de materia</b>
<b>Energía</b>	Kcal	61.00
<b>Agua</b>	g	84.5
<b>proteína bruta</b>	g	0.40
<b>Lípidos</b>	g	0.20
<b>Glúcidos totales</b>	g	11.8
<b>Fibra total</b>	g	1.80
<b>Na</b>	mg	3.00
<b>K</b>	mg	146.00
<b>Ca</b>	mg	5.00
<b>Mg</b>	mg	7.00
<b>P</b>	mg	13.00
<b>Fe</b>	mg	0.10
<b>Zn</b>	mg	0.10
<b>Vitamina A</b>	µg	3.00
<b>Carotenoides</b>	µg	20.00
<b>Vitamina E</b>	mg	0.78
<b>Tiamina</b>	mg	0.04
<b>Riboflavina</b>	mg	0.03
<b>Niacina</b>	mg	0.13
<b>Vitamina B6</b>	mg	0.10
<b>Ácido fólico</b>	µg	1.00
<b>Vitamina C</b>	mg	5.00

Fuente: (Palma *et al.*, 2008).

### ***1.1.1.2. Metabolismo***

a) Respiración.- Esta produce una gran cantidad de calor, dióxido de carbono y consume mucho oxígeno, es posible prolongar la vida útil de los frutos en condiciones de conservación, que disminuyan la tasa respiratoria por ejemplo: la refrigeración, atmósferas controladas.

La respiración celular puede estar acoplada a distintas reacciones metabólicas relacionadas con lesiones y recolección. El descenso de la temperatura en una fruta climatérica produce un retraso en el tiempo de aparición del máximo climatérico y una disminución en la intensidad del mismo.

b) Degradación de la pared celular.- Es el elemento estructural básico de los tejidos vegetales y por lo tanto, es un factor determinante de las características texturales de los alimentos. En algunos casos, se desean productos crujientes y en otros alimentos con textura suave.

Aunque el ablandamiento puede deberse también a una falta de turgencia, en la mayoría de las frutas y hortalizas, éste se produce como consecuencia de las transformaciones de los polisacáridos de la pared celular, que sufren una despolimerización o la pérdida de calcio.

El principal problema, se debe a la degradación de la pared celular debido a la acción de la pectinesterasa la enzima responsable de la degradación de las pectinas, dentro de la manzana.

Algunas veces, también puede producirse un endurecimiento por la síntesis de lignina en la pared.

c) Conservación.- Las plantas tienen que responder a los cambios fisiológicos y químicos del medio ambiente. Las reacciones frente al estrés o frente a un cambio ambiental se producen como medidas de autoprotección, para evitar la pérdida de agua,

adaptarse a temperaturas extremas o desarrollar barreras físicas y químicas frente a microorganismos patógenos.

Cuando estas condiciones son tan extremas, el tejido es incapaz de adaptarse a ellas, lo que provoca una reacción de hipersensibilidad que se manifiesta con la muerte de un grupo específico de células, es importante señalar que las distintas especies vegetales reaccionan de manera muy diferente ante los cambios físicos, químicos y bioquímicos.

La conservación de las frutas tiene como fin común mantener las características físicas y químicas del producto.

d) Efectos de la temperatura en las frutas.- La exposición continua de algunas frutas climatéricas a temperaturas de 30°C provoca la maduración de su porción carnosa sin que la fruta adquiera su color característico. Cuando el producto se mantiene por arriba de estas temperaturas, la estructura de las membranas se desintegra y se produce un desacomodo de la organización celular, un rápido deterioro causa una despigmentación generalizada adquiriendo un aspecto acuoso o translucido.

Por esta razón, el límite inferior para el desarrollo de una actividad metabólica normal es el punto de congelación de los fluidos tisulares, que generalmente se encuentra entre los 0 y -2 °C. Toda reducción de la temperatura, se traduce en un descenso de la velocidad a que cambian cualquier parámetro, respiración y textura. Sin embargo, los efectos de la reducción de la temperatura no son uniformes pequeñas reducciones en el rango superior de temperatura consiguen incrementar la vida útil (el periodo de tiempo en el cual el producto puede conservarse en condiciones aceptables).

Las bajas temperaturas, ofrecen la ventaja de disminuir el ritmo de crecimiento microbiano y si son suficientemente bajas impiden además, la generación de las esporas fúngicas.

El enfriamiento en los productos climatéricos, retrasa el comienzo de la maduración, provocando que se frene la producción de etileno y la velocidad de respuesta de los tejidos (Wills *et al.*, 1977).

### ***1.1.2. Condiciones de almacenamiento***

Las frutas y los vegetales vivos, mantienen sus procesos de vida durante el almacenamiento en frío, deben de encontrarse en un estado de madurez apropiado para su mejor vida de almacén, estando libres de enfermedades y de daños.

El contenido de humedad en el aire, generalmente se reporta en términos de humedad relativa. La humedad relativa se expresa en porcentaje de saturación del aire con humedad a una temperatura dada.

El parámetro recomendado de almacenamiento para la manzana es de 90 a 95% de humedad relativa (Mitcham *et al.*, 2002).

Un factor muy importante, es la temperatura para la manzana fresca cortada en rodajas, se recomiendan los siguientes parámetros de temperatura: que van de 0 a 5°C (Gorny, 2001).

El propósito del almacenamiento en refrigeración, es el de restringir la velocidad de deterioro, sin acarrear una maduración anómala u otros cambios perjudiciales manteniendo así el producto durante periodos tan largos como sea posible. Existen diferentes métodos de refrigeración como son: aire frío (cámara de refrigeración; refrigeración por corriente de aire forzado), agua fría (hidrorefrigeración) por contacto directo con hielo, refrigeración evaporativa y enfriamiento a vacío.

La velocidad de refrigeración de un producto, depende fundamentalmente de cinco factores (Wills *et al.*, 1977).

- a) La velocidad de transferencia de calor desde el producto al medio de refrigeración, depende de la forma y del tamaño.
- b) La diferencia de temperaturas entre el producto y el medio refrigerante.
- c) La velocidad a la cual circule el refrigerante.
- d) La naturaleza del refrigerante.

### ***1.1.2.1. Daños por frío***

Las frutas son susceptibles a ser dañadas por el frío a temperaturas sobre el punto de congelación. Para la manzana se presentan los siguientes daños:

#### **a) Pudrición alternaria**

Se presenta un color café oscuro o negro firme. Esta pudrición, se puede concentrar en las llagas, que es la cavidad que queda en el cáliz o el área del corazón. Es una de las pudriciones de almacenamiento más negras.

#### **b) Pudrición por moho azul**

Áreas suaves, acuosas de color curtido a café ligero que puede extenderse fácilmente a la pulpa sana de los alrededores. Ramilletes blancos de micelios (hilos de hongos) se van tornando verdes azulados, así como las esporas son producidas en condiciones húmedas.

Los tejidos afectados tienen sabores y olores mohosos o añejados. Esta es la pudrición más importante de las manzanas en almacenamiento.

#### **c) Daño por congelación**

Grandes áreas en toda la manzana empapada con agua y con condiciones de goma elástica. Vasculares -canales conductores de agua- de color café. Áreas magulladas en las manzanas congeladas con superficies rugosas de color gris a café ligero. En las áreas afectadas la humedad se pierde rápidamente.

#### **d) Desarreglo interno**

Colapso farináceo de los tejidos internos en la fruta demasiado madura. A menudo, la superficie es más opaca y oscura que lo normal.

e) Pudrición por mohos rosa

Lesiones superficiales, húmedas y farináceas. Generalmente concentradas en los puntos costrosos de la manzana. También se desarrollan hongos visibles de color blanco a rosa en el centro del punto.

f) Costra

Los puntos costrosos antiguos, pueden aumentar de tamaño en el almacenamiento. También se desarrolla enfermedad en forma de pequeños puntos negros como el azabache en la piel, frecuentemente sin romper la cutícula de la fruta. Todas las infecciones ocurren en el huerto, y las manchas resultantes aparecen en el almacenamiento a pesar de mantener las condiciones apropiadas para él.

g) Agua en el corazón

Regiones duras, cristalinas y empapadas de agua en la pulpa de la manzana y en el contorno o bajo la piel. Disminuye grandemente en el almacenamiento, pero predispone a la fruta a sufrir descomposiciones internas (Desrosier N, 1997).

### ***1.1.2.2. Frutas mínimamente procesados***

Hoy en día, los consumidores están seleccionando los vegetales mínimamente procesados en respuesta al aparente beneficio para la salud. También por el reducido tiempo de preparación.

Los vegetales mínimamente procesados son definidos como cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco (Robles *et al.*, 2007).

En la tabla 2 se presentan las diferentes definiciones de frutas mínimamente procesadas, así como las modificaciones a través del tiempo.

Tabla.2 Definición de mínimamente procesados a través del tiempo

Autores	Año	Definición
Rolle y Chism	1987	Incluye todas las operaciones (lavado, selección, pelado, cortado, etc.) que deben realizarse antes de someterse al producto vegetal a un proceso convencional que lo mantenga vivo.
Shewfelt	1987	Incluye carne, así como cualquier proceso que añada valor al producto, respecto a los procesos convencionales de conservación cortado, desvainado, descorazonado, irradiación de baja densidad y envasado.
Huxsoll y Bolin	1989	Productos que mantienen sus atributos y calidad similar a los frescos. Puede ser un alimento crudo y las células de los tejidos estar vivas, aunque estas características no se requieren necesariamente si se conserva la frescura del alimento.
Wiley	1994	Productos que contienen tejidos vivos o que han sufrido modificaciones insignificantes respecto a su condición de alimento fresco, pero que conservan su calidad y carácter similar a los frescos.
Ohlsson	1994	Elaborados con procedimientos que causan los menores cambios posibles en la calidad del alimento (que mantiene la apariencia de fresco) y al mismo tiempo le provee de suficiente vida útil para su transporte desde la producción hasta el consumidor.
Cantwell	1996	Vegetales cortados frescos a baja temperatura, acondicionados para la venta mediante tratamiento suaves, que modifican la presentación del tejido fresco (partido, rallado, pelado, lavado, etc.), encaminados a mantener la calidad inicial y frescura.
Artés y Artés Hernández	2000	Elaborados bajo refrigeración con vegetales, aplicando tratamientos suaves que facilitan su consumo. Están constituidos por tejidos vivos, conservan sus atributos sensoriales y valor nutritivo similares al fresco, y se mantienen refrigerados en atmosfera modificada.

Fuente: (Lobo y González, 2003).

El procesamiento mínimo, incluye tratamientos que involucran lesiones, tales como el cortado, pelado y troceado. Ello conlleva a un significativo incremento en reacciones degradantes, mayor interacción enzima / sustrato en la superficie cortada del fruto, aumento en la respiración, mayor producción de etileno, deterioro microbiano y auto-oxidación de lípidos, viéndose afectadas sus propiedades antioxidantes (Soto y Yahia, 2002). Esto implica, como un cuidado aun más extensivo de la apariencia, debido a los fenómenos de oscurecimiento enzimático presente en productos tales como la manzana.

### ***1.1.2.3. Efectos del procesamiento mínimo***

Como se mencionó anteriormente, el procesamiento de algún fruto por mínimo que este sea implica una serie de cambios y modificaciones que afectan directamente su apariencia.

Los procesos de pelado y cortado agravan el problema ya que incrementan la actividad metabólica y descomposición de las enzimas y sustratos, causando oscurecimiento, ablandamiento, deterioro microbiológico y desarrollo de sabores y olores indeseables.

El procesamiento mínimo, da como resultado, el incremento en la tasa de respiración y producción de etileno del producto en minutos y puede reducir la vida media de 1-2 semanas a solo 1-3 días, aún cuando las temperaturas sean las óptimas (Robles *et al.*, 2007).

a) Pardeamiento superficial.- Está caracterizado por la polifenoloxidasas responsable del oscurecimiento, esta enzima es causa de las grandes pérdidas a la industria agropecuaria.

Los sustratos de estas reacciones, son las sustancias fenólicas y el oxígeno. Para conseguir inhibirlo pueden utilizarse distintas alternativas:

1.- Acidificar con sustancias naturales, que pretenden alejar la superficie del producto del pH óptimo de las actividades enzimáticas responsables del pardeamiento.

2.- Adición de compuestos reductores, que actúan a dos niveles: reduciendo el producto inicial de la reacción, y directamente sobre la enzima.

3.- Aplicación de recubrimientos o películas comestibles, que impidan el acceso de la polifenoloxidasas a uno de sus sustratos, el oxígeno. Estos recubrimientos consisten, en combinaciones de polisacáridos, lípidos y/o proteínas, a las que se añaden plastificantes para mejorar su flexibilidad.

4.- Envasado en atmósferas modificadas, que persiguen también la disminución del oxígeno y la reducción en la síntesis y la actividad del etileno (Lobo y González, 2003).

b) Ablandamiento.- Se debe principalmente a cambios en la pared celular, ya que está compuesta básicamente de celulosa, hemicelulosa y pectinas, éstas últimas responsables del soporte estructural y unión celular en la manzana. Con el fin de mantener la estructura de las pectinas, se añaden soluciones de  $\text{CaCl}_2$ , lactato de calcio, tartrato de calcio y propionato de calcio (Lobo y González, 2003).

La pared celular es el elemento estructural básico de los tejidos vegetales, y por lo tanto, es un factor determinante de las características texturales de este tipo de alimentos.

Aunque la principal pérdida de la textura se debe al calcio, algunas veces, también puede producirse un endurecimiento debido a la síntesis de lignina en la pared.

La enzima responsable de la pérdida de textura es la pectinmetilesterasa que cataliza la hidrólisis de ésteres metílicos de la pectina produciendo un corte en la unión con la hemicelulosa provocando cambios en la estructura celular.

c) Pérdidas de agua.- Es un problema muy recurrente que se presenta por fenómenos de evaporación o inclusive de difusión. Como las frutas cortadas y peladas presentan una gran superficie expuesta al estar sin piel, tienen una gran tendencia a la desecación, y pueden llegar a perder mucho peso. Las posibles soluciones ante la pérdida de agua son la aplicación de recubrimientos, películas comestibles o envases inteligentes (Lobo y González, 2003).

## ***1.2. Polifenoloxidasa***

El color es una de las características organolépticas que define la calidad y la aceptabilidad de los productos frutihortícolas, el desarrollo del color debido a reacciones de oscurecimiento enzimático, es uno de los mayores problemas asociados al procesamiento y almacenamiento de estos productos.

Las polifenoloxidasas (PFO) que se encuentran en los frutos, son las responsables de las reacciones de pardeamiento enzimático que ocurren durante el almacenamiento, manipulación y procesamiento de frutas y vegetales.

Las polifenoloxidasas, también conocidas como tirosinasas, fenoloxidasas, monofenoloxidasas o cresolasas, catalizan la hidroxilación de monofenoles a ortodifenoles, posteriormente oxidados a ortoquinonas, las cuales se polimerizan dando lugar a pigmentos de color marrón, rojo o negro, dependiendo de los componentes naturales en los tejidos vegetales, estas reacciones modifican las características organolépticas y nutricionales del alimento depreciando su calidad.

La actividad de las enzimas polifenoloxidasas presentes en frutas y vegetales, puede ser inhibida por calentamiento o por remoción de alguno de sus componentes necesarios: O<sub>2</sub>, enzima, Cu<sup>2+</sup> o sustrato. Agentes reductores, antioxidantes e inhibidores enzimáticos previenen el pardeamiento, reduciendo químicamente las ortoquinonas a difenoles coloreados, inhibiendo la actividad de la enzima por disminución del pH, o quelando el Cu<sup>2+</sup> en el alimento. (Becerra y Gasull, 2006)

Se ha demostrado, que el ácido ascórbico en combinación con otros ácidos orgánicos y sales de calcio, han ayudado a mantener la firmeza y han evitado el oscurecimiento enzimático además que al adicionar la refrigeración contribuye a incrementar la vida útil (Soliva *et al.*, 2001).

### ***1.3. Antioxidantes***

Un antioxidante es una sustancia capaz de neutralizar la acción oxidante de los radicales libres mediante la liberación de electrones en nuestra sangre, que son captados por los radicales libres.

Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un electrón desapareado o libre, por lo que son muy reactivos ya que tienden a captar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica.

Una vez que el radical libre ha conseguido, sustraer el electrón que necesita, la molécula estable que se lo cede se convierte a su vez en un radical libre por quedar con un electrón desapareado, iniciándose así una verdadera reacción en cadena que destruye nuestras células. La vida media de un radical libre es de microsegundos, pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando un gran daño a moléculas, membranas celulares y tejidos.

Los antioxidantes más comúnmente utilizados en los alimentos son: vitamina E, vitamina C, carotenoides y los compuestos fenólicos. La vitamina E se encuentra presente en aceites vegetales, aceites de semilla, germen de trigo, cacahuate, carnes, pollo, pescados y algunas verduras y frutas.

En tanto la vitamina C, se puede encontrar en frutas y verduras.

Los carotenoides son compuestos coloreados tales como los betacarotenos, presentes en verduras y frutas amarillas y anaranjadas, y en verduras verdes oscuras.

Los alfacarotenos en la zanahoria, los licopenos en el tomate, las luteínas y xantinas en verduras de hoja verde como el brócoli, y las beta criptoxantinas en frutas cítricas (Avello y Suwalsky, 2006).

### ***1.3.1. Vitaminas***

Las vitaminas son nutrimentos que facilitan el metabolismo y mantienen diversos procesos fisiológicos, vitales para todas las células activas tanto vegetales como animales. En alimentos se encuentran en cantidades muy pequeñas, que van de unos cuantos microgramos hasta 200 mg por kilogramo (Badui, 2006).

Cabe destacar, que existen dos grande grupos de vitaminas: la hidrosolubles y liposolubles. En este caso, solo nos basaremos en las liposolubles. En específico la vitamina E, que es soluble en diversos componentes orgánicos y en aceites; pero insoluble en agua. Sin embargo, existen preparaciones micro encapsuladas en gomas y en

otros polímeros hidrófilos, que los hacen estables en soluciones acuosas. Sus estructuras, contienen dobles enlaces sensibles a las reacciones de oxidación (Badui, 2006).

### 1.3.1.1. Vitamina E ( $\alpha$ - tocoferol de acetato)

La actividad biológica de la vitamina E, que pertenece al grupo de los antioxidantes liposolubles, se presenta en forma de tocoferoles y tocotrienoles. La forma de  $\alpha$ - tocoferol es la estructura que predomina en los alimentos de origen vegetal. La reacción predominante para que el  $\alpha$ -tocoferol tenga actividad antioxidante es la donación, de un átomo de hidrogeno donde se forma un radical tocoferoxilo.

La vitamina E, previene y controla reacciones de oxidación en los tejidos, lípidos, proteínas, ADN, etc. Protegiendo al organismo de enfermedades degenerativas particularmente en aquellas de tipo cardiovascular, por la inhibición de la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (Robles *et al.*, 2007).

### 1.3.1.2. TPGS ( $\alpha$ - tocoferol polietilenglicol succinato)

Es un derivado de la vitamina E, soluble en agua se prepara por la esterificación del grupo del succinato: ácido cristalino ácido  $\alpha$ - tocoferol, por polietilenglicol succinato. Además de ser capaz de mejorar la biodisponibilidad oral de la vitamina E, tiene una aplicación en la capacidad de aumentar la absorción a través de la pared intestinal.

En la tabla 3 se muestran algunas de las características fisicoquímicas de  $\alpha$ - tocoferol polietilenglicol succinato (TPGS).

Tabla.3 Propiedades del  $\alpha$ - tocoferol polietilenglicol succinato

Propiedad	Característica
Color	amarillo pálido
Temperatura de fusión	37-41°C
Solubilidad en agua	miscible con agua
Balance hidrofílico-lipofílico (HLB)	13.2
Estabilidad en soluciones acuosas	estable a pH 4.5-7.5
Contenido de vitamina E	260 mg/g de D- $\alpha$ -tocoferol

Fuente: (Hong y Hopkins, 1999).

Aplicaciones del D- $\alpha$ - tocoferol polietilenglicol succinato.

- Vehículo de emulsiones.
- Vehículo en una forma farmacéutica semisólida.
- Impide que las drogas se cristalicen.
- Protege a los fármacos durante el proceso de absorción.
- Mejora la biodisponibilidad de fármacos.
- Presenta mejor estabilidad al mezclarse con propilenglicol.
- Ayuda en el cuidado de heridas y el tratamiento (Hong y Hopkins, 1999).

#### ***1.4. Recubrimientos comestibles***

Es cualquier material utilizado para envolvimiento de alimentos diferentes, que se pueden comer junto con el alimento (Embuscado y Huber, 2009).

Los recubrimientos comestibles, proporcionan reemplazo y fortalecimiento de las capas naturales para evitar las pérdidas de humedad; mientras que permite el intercambio controlado de gases de efecto importante como el oxígeno, dióxido de carbono y etileno que están involucrados en los procesos de respiración.

El uso general de los recubrimientos comestibles, se realiza por inmersión o por aspersión. Con una gama de materiales comestibles para que la membrana semipermeable que se forma en la superficie sean capaces de suprimir el control de la pérdida de humedad y otras funciones.

Los principales usos de los recubrimientos comestibles son: Proporcionar una barrera contra la humedad para combatir los problemas de pérdida de peso, y cambios en textura y sabor ayudando de esta forma a presentar un buen aspecto.

Así, como también restringe la entrada y salida de compuestos volátiles responsables de los aromas en combinación con otros ingredientes, los recubrimientos pueden servir para el transporte de antimicrobianos, agentes antioxidantes y nutraceuticos mejorando aún más las características nutritivas (Lin y Zhao, 2007).

### **1.4.1. Recubrimientos a base de polisacáridos**

Se han evaluado y utilizado para la formación de películas y recubrimientos comestibles los cuales son derivados del almidón, celulosa, alginato, carragenano y de diversas plantas como la pectina y de algunos microorganismos como el quitosán, que debido a su naturaleza ofrecen ventajas para su uso ventajas del uso de estos materiales y los cuales son más evidentes como una barrera al oxígeno y a la pérdida de agua.

En la tabla 4 se muestran los recubrimientos más aplicados en manzana y manzana fresca cortada así como su principal función con respecto a los diferentes autores.

Tabla. 4 Recubrimientos aplicados en manzana.

Fruto	Material de Recubrimiento	Funciones primarias	Referencia
Manzana	Caseinato y suero de leche	O <sub>2</sub> barrera antioxidante	Le Tien et al. 2001
Manzana fresca cortada	HPMC	O <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O barrera	Cisneros- Zevallos and Krochta, 2003
	Alginato, Grenetina, CMC	O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> / H <sub>2</sub> O barrera	Moldao-Martins et al.2003
	Lipopolisacaridos	O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> barrera y brillo	Wong et al., (1994a - 1994b)
	Cera	O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> barrera	Bai et al. 2003 <sup>a</sup>
	Carragenina	O <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O barrera	Lee et al. 2003
	WPI-BW	O <sub>2</sub> barrera	Perez Gago et al. 2003

Fuente: (Lin y Zhao, 2007).

### **1.4.2. Gomas**

En sus orígenes, éste término se refería a los productos de la exudación de algunas plantas y de árboles. Sin embargo, en la actualidad su uso se ha extendido a un grupo muy amplio de polisacáridos de alto peso molecular, quien tiene la capacidad de actuar como espesante , gelificante, y que presentan además algunas propiedades funcionales como el de emulsificación, estabilización y crioprotección. Este último, es el más importante debido a la resistencia que se presenta ante temperaturas de conservación.

Las gomas semisintéticas, se elaboran a partir de un polímero natural que se somete alguna transformación física o química; en esta categoría están los almidones modificados, al igual que los distintos derivados celulósicos.

En la tabla 5 se muestran algunas de las gomas, más utilizadas en el área de los alimentos.

Tabla.5 Clasificación de algunas gomas

<b>Clasificación de algunas gomas</b>		
<b>Naturales</b>	<b>Semisintéticas</b>	<b>Sintéticas</b>
Exudado de plantas	Derivados de celulosa	Polímeros vínicos
Arábica	Carboximetilcelulosa	Polivinilpirrolidina
Tragacanto	Metilcelulosa	Alcohol polivinílico
Karaya	Hidroxipropilmetilcelulosa	Polímeros carboxivinílicos
Gatti	Hidroximetilcelulosa	
Alerce	Etilhidroxietilcelulosa	Polímeros acrílicos
Raíces	Celulosa microcristalina	Ácido poliacrílico
Konjac	Metilhidroxipropilcelulosa	
Semillas		Poliacrilamina
Algarrobo	Gomas microbianas	
Guar	Dextranas	Polímeros de óxido de etileno
Psilio	Xantanos	
Tara	Galana	
Mezquite		
Extractos de algas	Pululana	
Agar		
Carrageninas	Derivados de almidón	
Furcellerano	Almidón carboximetílico	
Cafés	Almidón hidroxietílico	
Alginato de sodio	Almidón hidroxipropílico	
Otros		
Pectina	Otros pectina baja en metóxilo	
Gelatina (extracto animal)	Alginato de propilenglicol	
Almidón	Alginato trietanolamínico	
Celulosa	Algarrobo carboximetílico	
	Guar carboximetílico	

Fuente: (Badui, 2006).

Las gomas, son de vital importancia en la industria de los alimentos, por conferir sus propiedades físicas especialmente su viscosidad y su estructura coloidal generalmente en un

intervalo de concentraciones entre 0.25 a 0.50% que muestra su gran habilidad para producir viscosidad y formar geles.

Las gomas también actúan como un estabilizante de manera tal que reducen la tasa en la cual pueda sufrir algún cambio dentro de un producto alimenticio; durante su almacenamiento, transporte y manipulación, los estabilizantes retardan y evitan cualquiera de los siguientes procesos:

- a) Cristalización, usualmente del azúcar.
- b) Sedimentación gravitacional de partículas en suspensión.
- c) Encuentro entre partículas.
- d) Gotitas o burbujas en un medio fluido.
- e) Floculación, coagulación o coalescencia de fracciones dispersas.
- f) Degradación de agregados.

g) Descremado, pérdida de pequeñas moléculas o iones debido al cambio en el potencial químico del ion o molécula disuelta, o a la formación de una película impermeable y sinéresis (Pasquel, 2001).

Dentro de la experimentación se utilizó la goma xantana la cual es producida por la fermentación de carbohidratos con la bacteria *Xantomonas campestri*, está constituida por una estructura básica celulósica con ramificaciones de trisacáridos, y aún cuando no sea una agente gelificante, en combinación con la goma, puede formar geles elásticos y termorreversibles.

Es completamente soluble en agua fría o caliente, y produce elevadas viscosidades en bajas concentraciones; además de poseer una excelente estabilidad al calor y pH, pues la viscosidad de sus soluciones no cambia entre 0 y 100 °C (Pasquel, 2001) tiene la capacidad de estabilizar suspensiones y emulsiones.

### ***1.4.3. Plastificantes***

Un plastificante, es definido como una sustancia estable, no volátil y con alto punto de ebullición. Cuando es adicionado a otro material, cambia las propiedades físicas y/o mecánica de ese material.

La incorporación de estos compuestos, conlleva a disminuir las fuerzas intermoleculares a lo largo de las cadenas poliméricas, lo cual mejora la movilidad molecular de los componentes. Se cree que los grupos polares (-OH), a lo largo de las cadenas de plastificante, desarrollan puentes de hidrógeno entre el polímero y el plastificante, reemplazando así las interacciones polímero-polímero. Los plástificantes más usuales son: los polioles y mono- di y oligosacaridos. Entre los polioles más utilizados están: el glicerol, propilenglicol, sorbitol, polietileglicol 200 y polietilenglicol 400 (Aguilar, 2005).

### ***1.4.4. Balance hidrofílico- lipofílico (HLB)***

En 1949, Griffin notó que existía una relación entre la naturaleza de un surfactante y sus propiedades como agente- tensoactivo y- emulsionante.

Introdujo el concepto de HLB (Balance Hidrofílico-Lipofílico) que, en esta época, revolucionó los métodos de formulación de las emulsiones y el manejo de los surfactantes.

El concepto de balance hidrofílico-lipofílico (HLB), se basa en un método experimental que consiste en atribuir un cierto número HLB a los agentes emulsionantes a partir de datos relativos a la estabilidad de una emulsión. Este número representa implícitamente varios parámetros y da cuenta del balance hidrofílico y lipofílico del sistema.

Griffin, utilizó el procedimiento para emulsionar un aceite en agua escogiendo como surfactante el ácido oleico y el oleato de potasio, fijó valores de 1 a 20 arbitrariamente.

Para calcular el HLB de la mezcla en una emulsión Griffin propuso la siguiente ecuación:

$$HLBM = X_1HLB_1 + X_2HLB_2$$

De donde:

HLB1 Y HLB2= los números de HLB de los surfactantes 1 y 2.

X1 y X 2= fracciones en peso en la mezcla.

HLBM = es el HLB de la mezcla de los surfactantes.

Variando las fracciones “X”, se puede obtener una serie continua de HLB entre los límites 1-20 que corresponde a los dos surfactantes de referencia (Salager y Antón, 1998).

#### ***1.4.5. Potencial zeta***

La estabilidad a menudo es relacionada con el potencial zeta de los sistemas coloidales. El potencial zeta es una propiedad física que se exhibe por cualquier partícula en suspensión.

El conocimiento del potencial zeta, puede reducir el tiempo necesario para producir formulaciones. Es también una ayuda en la predicción de la estabilidad a largo plazo.

El potencial zeta da una indicación de la estabilidad de los sistemas coloidales. “Si todas las partículas en suspensión tienen un gran potencial zeta negativo o positivo entonces tenderá a repelerse entre sí y no habrá tendencia a flocular”.

En la tabla 6 se aprecian diferentes valores de estabilidad, que nos dan una descripción más general del comportamiento que puede seguir nuestro sistema coloidal en función a la medición obtenida en mV, así como también se aprecia que el valor que nos representa una buena estabilidad sin presencia de aglomerados es de -21 a -31 mV.

Tabla.6 Características de estabilidad con diferentes valores de potencial zeta

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

Fuente: (Schramm, 2005).

### 1.5. Emulsión

Una emulsión, es una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles.

Los diámetros de las gotas líquidas que se encuentran dispersas, están en un rango de 0.1 y 20  $\mu$  m. Aunque se traten de dispersiones termodinámicamente inestables, las emulsiones pueden convertirse en estables gracias a la presencia de agentes tensoactivos- que presentan la capacidad de absorción en las superficies de las gotas.

Las emulsiones con el aceite como fase dispersa se conocen como: emulsiones de aceite en agua (o/w); y las emulsiones con agua como fase dispersa, se conocen como emulsiones de agua en aceite (w/o).

El tipo de emulsión que se tiende a formar depende del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del agente emulsificante (Aranberri *et al.*, 2006).

### 1.5.1. Estabilidad de emulsiones

Es el proceso de ruptura de las emulsiones, que puede ocurrir como se muestra en la figura 1 mediante cuatro mecanismos de inestabilidad diferentes, en los cuales el sistema tiende a la formación de agregados.

#### a) Sedimentación (Creaming)

Se trata de un proceso causado por la acción de la gravedad y produce un gradiente vertical de concentración de las gotas, sin variar la distribución del tamaño de la misma.

Para las emulsiones o/w, las gotas de aceite son menos densas que la fase continua y acuosa. Y por lo tanto ocurre principalmente este fenómeno (Aranberri *et al.*, 2006). En otras palabras la sedimentación es la formación de una capa delgada en la superficie del sistema muy parecido a una nata.

#### b) Floculación

Es la adhesión de las gotas sin fusionarse, y una vez más no existe una variación de la distribución del tamaño de gotas (Aranberri *et al.*, 2006).

#### c) Coalescencia

Es la fusión de gotas para crear unas gotas más grandes, con la eliminación de parte de la interface líquido-líquido (Aranberri *et al.*, 2006). Este fenómeno, requiere de un aporte de energía extra para restablecer la distribución del tamaño de la partícula original.

#### d) Engrosamiento de gotas (Oswald ripening)

Se debe al crecimiento a costa de las más pequeñas, hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen. Este proceso ocurre a una velocidad que es función de la solubilidad de la fase dispersa en la fase continua y se debe a que la presión interna de las gotas es mayor en las gotas más pequeñas.

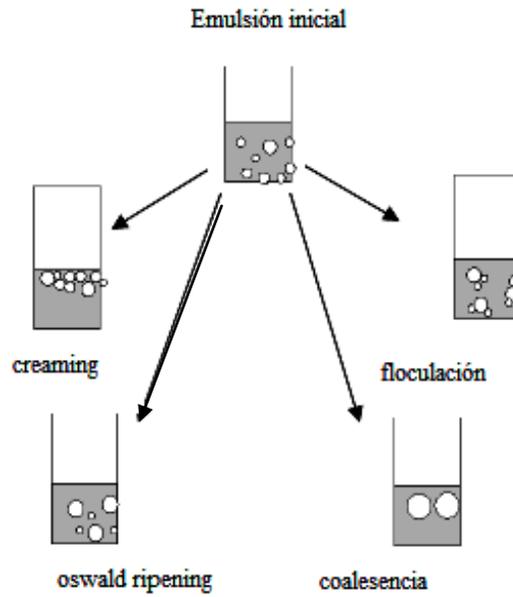


Fig. 1 Mecanismos que influyen en la inestabilidad de emulsiones (Aranberri *et al.*, 2006).

### 1.5.2. Emulsionantes

Son agentes anfifílicos (del griego *amphi*, de ambos lados) constituidos, por dos fracciones diferentes: una parte hidrófila con tendencia a la fase acuosa, y otra hidrófoba o lipófila, que lo hace mejor en los lípidos. Su eficiencia está ligada a su solubilidad en cada fase, y para ejercer una mejor acción debe ser más soluble en la fase continua.

En la tabla 7, se observan algunos de los emulsionantes sintéticos más empleados en la industria de alimentos (Badui, 2006).

Tabla.7 Emulsionantes empleados en la industria de alimentos

Nombre	Surfactante	HLB
Span 85	Trioleato de sorbitol	1,8
Span 65	Triestearato de sorbitol	2,1
Span 80	Monoleato de sorbitol	4,3
Span 60	Monoesterato de sorbitol	4,7
Span 40	Monopalmitato de sorbitol	6,7
Span 20	Monolaurato de sorbitol	8,6
Tween 81	igual a Span 80 con poli-EO	10,0
Tween 65	igual a Span 65 con poli-EO	10,5
Tween 21	igual a Span 20 con poli-EO	13,3
Tween 60	igual a Span 60 con poli-EO	14,9
Tween 80	igual a Span 80 con poli-EO	15,0
Tween 40	igual a Span 40 con poli-EO	15,6
Tween 20	igual a Span 20 con poli-EO	16,7
Triton x-15	Octil-fenol-1,5 EO	3,6
Triton x-35	Octil-fenol-3,5 EO	7,8
Triton x-45	Octil-fenol-4,5 EO	10,4
Triton x-114	Octil-fenol-7,5 EO	12,4
Sipex SB	Dodecil sulfato de sodio	40,0
Sipon L-22	Dodecil sulfato de amonio	31,0
Sipon LT6	Dodecil sulfato de trietanolamina	34,0
Neodol 25-7	Alcohol primario (C12-15)poli-EO	12,0

Fuente: (Salager y Antón, 1998).

### 1.5.3. Nanotecnología

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

En otras palabras debe de entenderse a la nanotecnología como: la manipulación de la materia a escala tan minúscula de átomos y moléculas, también demuestra fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Por lo tanto, científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales, aparatos, sistemas novedosos y poco costosos con propiedades únicas. A la vez el prefijo “nano” se entiende: “como la milésima parte de un millón, es decir un

nanómetro representa la milmillonésima parte de un metro es decir la millonésima parte de un milímetro”.

En la figura 2 se muestra una escala referida al tamaño de partícula, para darnos una idea de las dimensiones de los sistemas empleados. Como podemos apreciar, las dimensiones que se manejan son del tamaño de virus.

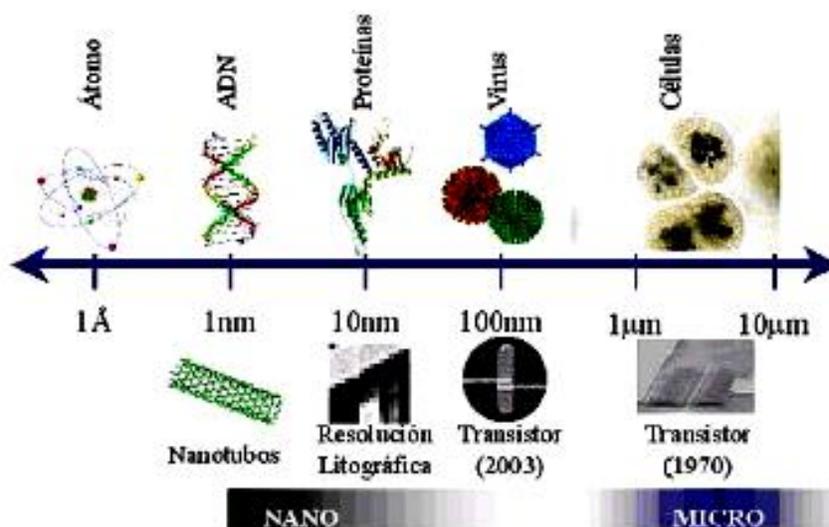


Fig.2 Escala comparativa en dimensiones de tamaño de partícula (Urzua, 2009).

En las nanopartículas, (sólidos coloidales entre  $10^{-8}$  y  $10^{-7}$  m) de los cuales se pueden diferenciar dos grandes grupos: las nanoesferas (NE) y las nanocápsulas (NC).

La principal diferencia, está basada en su constitución, ya que mientras que las NE están formadas de una densa matriz polimérica, las NC se componen de una membrana polimérica que recubre un centro líquido oleoso (Chávez *et al.*, 2002). En otras palabras, las nanocápsulas, son sistemas que se utilizan en la encapsulación de compuestos activos.

#### ***1.5.4. Nanotecnología en alimentos***

La nanotecnología también se está aplicando a la producción de alimentos procesados y bebidas, y a una serie de alimentos que contienen nanopartículas y nanocápsulas. Éstas están disponibles actualmente y están siendo investigadas por compañías de alimentos como es el caso de HJ Heinz, Nestlé, Hershey foods y Unilever.

Una gama de técnicas y materiales nano, se están desarrollando en un intento de ejercer un mayor control sobre las características de los alimentos, y aumentar, tales como: sabor, textura, velocidad de procesamiento, la tolerancia al calor, y la más importante de todas la prolongación de la vida útil.

Las compañías de alimentos están produciendo actualmente en las emulsiones, nanopartículas para tratar de controlar las propiedades del material como en la fabricación de helados para incrementar la uniformidad de la textura.

La nanotecnología ofrece la promesa de alimentos interactivos capaces de cambiar su perfil nutricional en respuesta a las alergias de un individuo.

La industria alimentaria argumenta: que la adición de micro y nanocápsulas a los alimentos procesados, mejorará la disponibilidad y el suministro de nutrientes, mejorando así el estado nutricional del alimento (Scrinis y Lyons, 2007).

#### ***1.5.5. Nanoemulsión***

Son dispersiones finas de aceite en agua, las gotas que cubren todo el rango de tamaño de 100 a 600 nm.

Debido a su tamaño de partícula, es adecuada para la presentación eficiente de ingredientes activos, a través de la piel, con esto aumenta la penetración de los activos. La nanoemulsión constituye el primer paso en la preparación de nanocápsulas y nanoesferas.

La emulsificación espontánea, es un efecto que se produce cuando una fase orgánica y una fase acuosa se mezclan. La fase orgánica es una solución homogénea de aceite y

surfactante lipófilico y en la fase acuosa el disolvente y surfactante lipohidrófilico. La distribución de tamaños de partícula depende de la espontaneidad de la emulsión (Bouchemal *et al.*, 2004).

Debido a su tamaño de gota tan pequeño que posee presenta, mayor estabilidad frente a los diferentes mecanismos de desestabilización; como son: sedimentación, floculación, coalescencia y engrosamiento de gotas (Solans *et al.*, 2005).

### ***1.5.6. Nanocápsulas***

Son sistemas vesiculares en el que un activo es confinado en una cavidad, que puede contener la sustancia de forma líquida o sólida o como una dispersión molecular (núcleo) rodeado por una membrana polimérica. Asimismo, este depósito puede ser lipófilico o hidrófilico de acuerdo al método de preparación y a las materias primas utilizadas (Mora *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista farmacéutico, las nanocápsulas son atractivas porque su cavidad central basada en aceite, permite un alto nivel de encapsulación para sustancias lipófilicas.

Cabe mencionar, que no sólo en la industria farmacéutica, se pueden utilizar este tipo de sistemas, también se puede emplear en la industria alimentaria, ya que se ha podido encapsular bacterias como el *Lactobacillus lactis*, para producir yogurt de manera continua. Así también se puede utilizar en la encapsulación de sabores, esencias, vitaminas etc. Con el fin de protegerlos de las reacciones, con otros compuestos como la oxidación o presencia de luz, una de las ventajas y la más importante es que se obtiene una liberación gradualmente mejorando las características nutricionales.

En la figura 3, se observa la estructura vesicular de nanocápsulas que ayuda a contener el principio activo dentro de la misma, obtenida por el método de emulsificación-difusión.

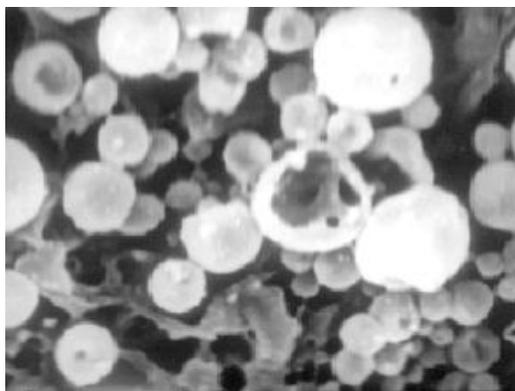


Fig. 3 Estructura vesicular de nanocápsulas de octil metoxicinamato (Chávez *et al.*, 2002).

Cabe mencionar, que la diferencia principal entre las nanocápsulas y las nanoesferas radica en que las nanoesferas no son huecas y que éstas no contienen una estructura vesicular que resguarde el centro activo como en el caso de las nanocápsulas.

#### ***1.5.7. Métodos de obtención de nanocápsulas***

En cuanto a los métodos de preparación de nanocápsulas se distinguen los siguientes:

a) Polimerización interfacial: Que involucra una reacción de polimerización que ocurre en la interfase entre los nanoglóbulos de aceite que contienen la sustancia activa y una fase acuosa (Chávez *et al.*, 2002).

b) Desplazamiento de solvente: Que consiste en disolver una fase oleosa y el polímero de recubrimiento en un solvente polar. Esta fase, se vierte a una fase acuosa bajo agitación magnética, formándose las nanocápsulas debido a la rápida difusión de la fase orgánica en la acuosa, lo que provoca una emulsificación espontánea. La subsecuente agregación del polímero sobre las nanogotas de aceite, provocará la formación del sistema vesicular (Chávez *et al.*, 2002).

c) Emulsificación difusión: Es un proceso en el que se forma una emulsión aceite/agua, entre un solvente parcialmente soluble en agua (que ha sido previamente saturado y contiene disuelto al polímero y sustancia activa), y una fase acuosa saturada del solvente

generalmente con uno o varios estabilizantes. La adición de agua a la emulsión, provoca el rompimiento del equilibrio y la salida del solvente a la fase continua con la subsecuente agregación del polímero sobre el aceite en forma de nanocápsulas como se observa en la figura 4 (Chávez *et al.* 2002).

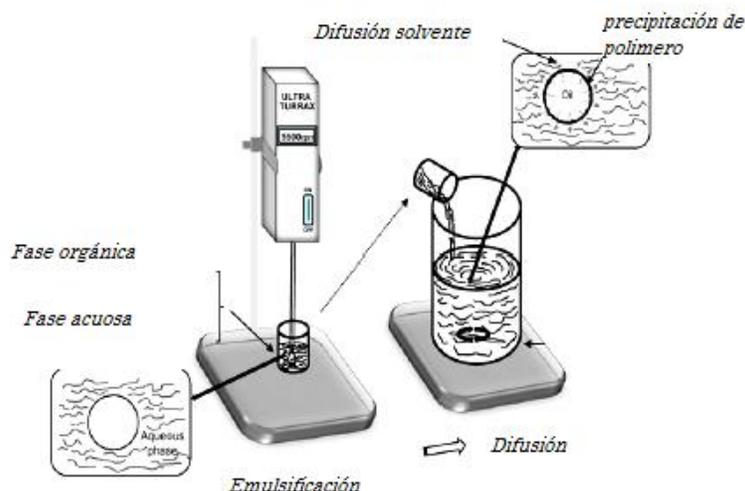


Fig. 4 Diagrama de proceso de Emulsificación difusión fuente (Mora *et al.*, 2010).

### 1.5.8. Caracterización de las nanocápsulas

Los métodos para caracterización de nanocápsulas, están basados en la determinación del tamaño de partícula, índice de polidispersión, potencial zeta, y evaluaciones de liberación del compuesto activo. Se han utilizado varios métodos para evaluar la liberación in vitro de la entidad contenida en los sistemas nano particulados, pudiéndose mencionar:

- I) Difusión en celdas con membranas artificiales o biológicas.
- II) Técnica de difusión en bolsas de diálisis.
- III) Técnica de saco de diálisis inversa.
- IV) Ultra-centrifugación.
- V) Ultrafiltración.
- VI) Técnica de centrifugación-ultrafiltración (Chávez *et al.*, 2002).

Así como otra parte crucial, es la caracterización morfológica que da cuenta de la estructura obtenida y de las características físicas del sistema.

## ***1.6. Envase***

Los envases, son objetos destinados a brindar servicios específicos como son: contener, proteger y transportar un producto. Por tanto, su función dependerá de la manera en que habrán de satisfacer las distintas necesidades para las que han sido creados, de aquí, que las cuatro funciones del envase sean las siguientes:

### a) Contener

- Delimitar y separar el producto del medio ambiente.
- Reduce al producto a un espacio determinado y a un volumen específico.
- Los productos en cualquier estado de la materia a granel, pueden ser manipulados y cualificados sin ser tocados en forma directa.

### b) Proteger

El envase aísla al producto de los factores: químicos, ambientales y de transportación entre otros, que pudieran alterar su estado natural y su composición, así como su calidad.

### c) Conservar

Está orientada, a detener o inhibir los cambios químicos o biológicos que pudiera sufrir un producto, la buena conservación, permite que éste pueda permanecer en el anaquel o almacén por largo tiempo sin sufrir alteraciones en su composición química o en su estructura física. La conservación es vital para muchos productos de uso delicado como son alimentos y los medicamentos, en los que a cualquier alteración en sus compuestos puede implicar un grave riesgo para la salud.

### d) Transporte

Enfatiza el movimiento de los bienes, desde que han sido producidos hasta su consumo final, cualquiera que sea el estado de la materia y características físicas del producto, éste puede ser transportado fácilmente mediante el envase.

### 1.6.1. Tipos de plásticos empleados en envases de alimentos

- Polietileno (PE)
- Poliésteres (PET, PEN, PC)
- Ionómeros
- Etilen vinil acetato (EVA)
- Poliamidas (PA)
- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Poliestireno (PS)
- Estiren buta dieno (EB)
- Acrilonitril butadieno (ABE)
- Etilen vinil alcohol (EVOH)
- Polimetil penteno (TPX)
- Materiales celulósicos
- Acetato de polivinilo (PVA)

#### a) Polietileno

Estructuralmente el polietileno, es el plástico más simple y se hace por polimerización por adición del gas etileno en un reactor a presión a altas temperaturas.

Es un buen aislante, ya que no conduce la electricidad. Es el plástico más empleado ya que resulta muy económico para muchas aplicaciones (Kirwan y Strawbridge, 2004).

#### b) Polipropileno

Se obtiene por adición, aplicando calor y presión, y utilizando un catalizador tipo Ziegler-Natta. Es un plástico muy versátil, que se puede procesar de muchas formas y que tiene muchas aplicaciones en el campo de la alimentación. Tiene propiedades de barrera respecto al vapor de agua y presenta resistencia a los aceites y grasas (Kirwan y Strawbridge, 2004).

#### c) Polietileno tereftalato (PET o PETE)

Son polímeros de condensación, formados a partir de ésteres monómeros, resultantes de la reacción de un ácido carboxílico con un alcohol. Dependiendo de los monómeros utilizados hay muchos tipos de poliésteres. Cuando el ácido tereftálico reacciona con el etilenglicol y se polimeriza, resulta el PET (Kirwan y Strawbridge, 2004).

d) Polietileno naftaleno dicarboxilato (PEN)

Es un polímero de condensación del dimetil naftaleno dicarboxilato y del etilenglicol. Se utiliza por sus propiedades de barrera (gases y vapor de agua) y su resistencia en comparación con el PET, se puede emplear para la fabricación de botellas sin retorno, botellas retornables etc. Siendo este más caro por las aplicaciones en alimentos (Kirwan y Strawbridge, 2004).

e) Policarbonato (PC)

Es un polímero que contiene grupos de carbonato en su estructura. Se forma por polimerización de sal sódica con ácido bisfenólico con fosgeno. Se utiliza en botellas esterilizables en alimentos infantiles, botellas retornables de leche, bandejas resistentes al calor y para congelación.

f) Ionómeros

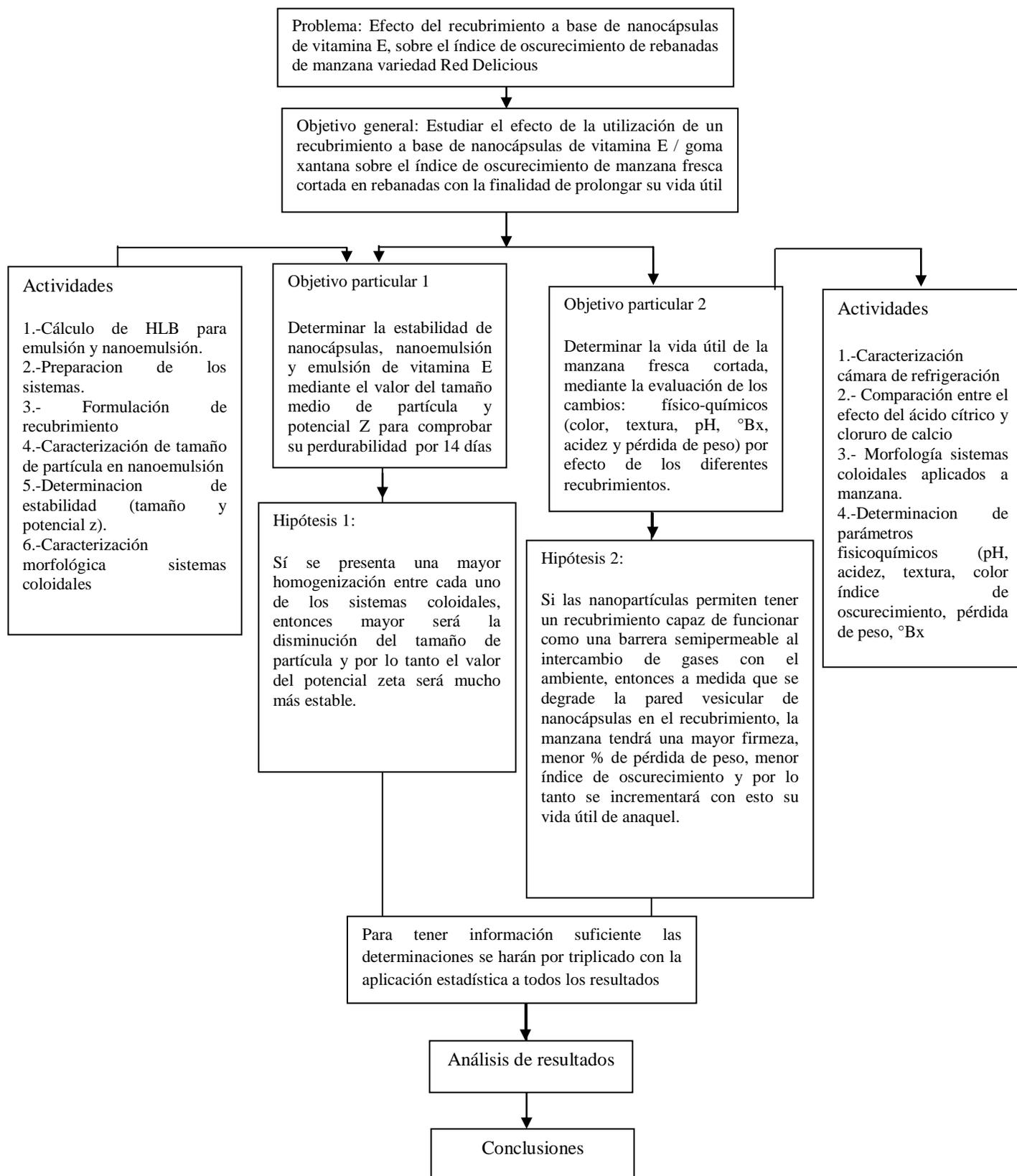
Son polímeros formados a partir de sales metálicas de copolímeros ácidos, son resistentes a la punción y a los aceites esenciales. Se utiliza en envases para carnes, pollo y quesos (Kirwan y Strawbridge, 2004).

g) Poliestireno (PS)

Es un polímero por adición de estireno, que es un compuesto de vinilo donde un átomo de hidrógeno se reemplaza con un anillo de benceno.

Tiene muchos usos en el envasado de alimentos: En películas plásticas de una sola capa, coextrusionado, inyección, en espuma, etc. Se puede copolimerizar para mejorar sus propiedades. Tiene una transparencia alta y es duro. Por su transparencia, se utiliza en envases de cartón con ventana, presenta propiedades de barrera baja para los gases y el vapor de agua, por lo que es adecuado para envasar productos que necesitan respirar (frutas y verduras). Se puede espumar, dando un material rígido y ligero de peso, que se puede emplear y aislar para proteger al producto (Kirwan y Strawbridge, 2004).

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL



## **2.1. Problema**

Efecto del recubrimiento a base de nanocápsulas de vitamina E, sobre el índice de oscurecimiento de rebanadas de manzana variedad Red Delicious.

### **2.1.3. Objetivo general**

Estudiar el efecto de la utilización de un recubrimiento a base de nanocápsulas de vitamina E / goma xantana sobre el índice de oscurecimiento de manzana fresca cortada en rebanadas con la finalidad de prolongar su vida útil.

### **2.1.4. Objetivos particulares**

#### Objetivo Particular 1

Determinar la estabilidad de nanocápsulas, nanoemulsión y emulsión de vitamina E mediante el valor del tamaño medio de partícula y potencial z.

#### Hipótesis 1

Sí se presenta una mayor homogenización entre cada uno de los sistemas coloidales, entonces mayor será la disminución del tamaño de partícula y por lo tanto el valor del potencial zeta será mucho más estable.

#### Objetivo particular 2

Determinar la vida útil de la manzana fresca cortada, mediante la evaluación de los cambios: físico-químicos (color, textura, pH, °Bx, acidez y pérdida de peso) por efecto de los diferentes recubrimientos.

#### Hipótesis 2

Si las nanopartículas permiten tener un recubrimiento capaz de funcionar como una barrera semipermeable al intercambio de gases con el ambiente, entonces a medida que se degrade la pared vesicular de nanocápsulas en el recubrimiento, la manzana tendrá una

mayor firmeza, menor % de pérdida de peso, menor índice de oscurecimiento y por lo tanto se incrementará con esto su vida útil de anaquel.

## **2.2. Materiales**

Poly- $\epsilon$ -caprolactona (PCL) de peso molecular de  $\approx 80,000$  ( $\rho=1.147$  g/cm<sup>3</sup> a 25°C) de Sigma-Aldrich®. Los estabilizantes no iónicos: polivinil alcohol, poloxamero-407 (F-127) BASF (México) utilizados en la formulación de las NC's, Span 80 y Tween 80 grado alimenticio, marca ICI Surfactants con la finalidad de obtener un balance hidrófilico lipofílico  $> 13$  en la preparación de la emulsión y nanoemulsión, acetato de DL- $\alpha$ -tocoferol (98%) marca Sigma, D- $\alpha$ -tocoferol polietilenglicol succinato 1000 (TPGS) grado alimenticio, marca Eastman.

El disolvente parcialmente miscible en agua fue acetato de etilo (grado analítico) de Fermont (México), seleccionado debido a su baja toxicidad para la preparación de las NC's.

El agua destilada fue calidad Milli-Q (Millipore®, USA-Bedford, MD), goma xantana (sigma aldrich) fue utilizada como matriz continua del recubrimiento y propilenglicol (99 %) marca sigma como plastificante, Cloruro de Calcio y azul FD and C 1 marca J. T. Baker.

### **2.2.1. Materia Prima**

Se adquirió un lote de 60 Kg de manzanas de la variedad "Red Delicious" en la Central de Abastos de Iztapalapa Ciudad de México.

La selección de los frutos se realizó en base a la similitud de su forma, tamaño y ausencia de lesiones externas. Los frutos seleccionados se dividieron de manera aleatoria en tres lotes de 20 Kg, Previo a su preparación se mantuvieron refrigerados a 4°C.

## Objetivo particular 1

### *Actividad preliminar 2.3. Determinación del balance hidrófilico- lipófilico (HLB) de emulsión, nanoemulsión*

Se determinó para cada uno de los sistemas a estudiar mediante la siguiente fórmula (Salager y Antón, 1998):

$$HLBM = HL BX1 + HL BX2$$

Obteniéndose los siguientes valores, que se muestran en la tabla 8, para el caso de emulsión y nanoemulsión el valor obtenido de HLB es el mismo, puesto que la formulación es exactamente la misma.

Tabla.8 Formulación para emulsión y nanoemulsión

Formulación	%	Valor de balance hidrófilico- lipófilico
$\alpha$ - tocoferol de acetato	0.2	6.0
Span 80	0.42	4.3
Tween 80	0.8	15.0
Agua	98.58	

$$HLBM = (0.42)4.3 + 15.0(0.8) + 6(0.2) = 15.006$$

Con la cual se puede ver la naturaleza de la emulsión y nanoemulsión, al presentar un valor mayor a 15 que indica que se trata de una emulsión o/w.

### **2.4. Preparación de la Emulsión y Nanoemulsión (o/w)**

Emulsión: Se empleará el método de emulsificación convencional (Bouchemal *et al.*, 2004). El cual consiste en llevar a cabo una dispersión por homogenización, utilizando como estabilizantes Tween 80 y Span 80 que se encontrarán en la fase acuosa y en la fase oleosa se disolverán 0.2% de vitamina E (dl-  $\alpha$ - tocoferol de acetato).

Para la formación de la nanoemulsión se realizaron los pasos de la emulsión. Una vez que se ha obtenido la emulsión, se somete a 5 ciclos de homogeneización de 5 minutos, con descansos entre arranque y paro de ciclo (10000 rpm) por medio de la ayuda de un dispersor (rotor/stator) Ultra turrax modelo T50 de IKA USA; con un útil de dispersión **S 50**. Es un aparato de dispersión y emulsión de alta velocidad para procesar sustancias fluídas o líquidas trabajando por lotes; el margen óptimo de la velocidad periférica del conjunto rotor/estator se sitúa entre 10 y 24 m/s (Buchmann, 2003).

## ***2.5. Preparación de sistemas con DL- $\alpha$ -tocoferol***

Los sistemas que se emplearon para el tratamiento de manzana mínimamente procesada, se basan en la creación de un recubrimiento que tiene la finalidad de reducir la respiración del producto, así como comparar la efectividad de la utilización de un recubrimiento como tal en la elaboración de un producto mínimamente procesado almacenado en refrigeración durante 14 días de almacenamiento.

### ***2.5.1. Preparación de Nanocápsulas de vitamina E***

Las nanocápsulas, se prepararon por el método de emulsificación-difusión (Quintanar et al., 1998). En la fase orgánica saturada con agua se solubilizaron la poly- $\epsilon$ -caprolactona y la vitamina E. En la fase acuosa saturada con disolvente, se colocó el estabilizante (5 %).

La solución orgánica preparada se emulsificó con la fase acuosa. Para la formación de la emulsión, se utilizó un agitador de propela de velocidad variable, el proceso se llevó a cabo por 10 min, para después llevar a cabo el proceso de difusión adicionando 180 ml de agua con lo que se induce la salida del disolvente a la fase continua, logrando con ello la formación de las nanocápsulas. Una vez formadas, el disolvente se eliminó mediante evaporación a 30°C y vacío de 70 cm de Hg.

Con la obtención de las nanocápsulas se mezcló una preparación de goma xantana. La cual se dispersó en frío y se adicionó 0.3% de goma xantana con 0.5% de plastificante (propilenglicol), para posteriormente almacenarse en refrigeración.

### **2.5.2. Preparación de solución de $\alpha$ -tocoferol polietilen glicol succinato**

Para la preparación de solución de TPGS se disolvió 0.2% de la vitamina en agua destilada. Se utilizó un agitador de propela a una velocidad baja de agitación sólo para poder disolver la vitamina e incorporar la goma adicionando 0.3% de esta y 0.5% de plastificante.

Una vez terminado esto, se etiquetó la muestra y se almacenó en refrigeración hasta su utilización.

### **2.5.3. Formulación de recubrimientos**

La cantidad de recubrimiento adicionado en manzana, se basó en ensayos de prueba y error a partir de las condiciones propuestas por Rojas *et al.*, en 2007, quienes utilizaron una concentración de 0.2 % de goma alginato para la aplicación de un recubrimiento comestible. Cabe mencionar, que se adicionó propilenglicol como plastificante al 0.5% en proporciones de 1.5%, 1% hasta 0.5%. Se aplicó a cubos de manzana de 1 cm<sup>3</sup>, y se determinó la cantidad de recubrimiento adherido en la superficie de manzana. Se observó que al 0.5% se presentan una mayor fijación. Es por esto que se decide utilizar la formulación de 0.3% de goma xantana con 0.5% de plastificante en todos los sistemas: emulsión, nanoemulsión, nanocápsulas, solución de vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol polietilen glicol succinato) y goma xantana.

### **2.6. Caracterización de las emulsiones, nanoemulsión y nanocápsulas**

El tamaño de partícula y potencial zeta, se evaluaron durante 14 días de almacenamiento con la finalidad de tener referencia de las características de los sistemas formados; las mediciones para tamaño de partícula, fueron realizadas por triplicado a un ángulo de 90° durante 180 segundos, a una temperatura de 25°C en una celda de cuarzo. Las dispersiones fueron diluidas con agua desionizada, para asegurar que el número de partículas contadas por segundo están dentro del rango de sensibilidad del instrumento.

Para el caso de potencial zeta se utilizó una celda con capilar. Todas las medidas se realizaron por triplicado. Para ello, se utilizó un sistema de dispersión láser nano sizer marca Malvern instruments versión del software 5.02 (Chávez F, 2002).

### ***2.6.1 Caracterización morfológica de los sistemas coloidales***

Las medidas de morfología, se realizaron para comprobar y establecer la conformación de nanocápsulas, nanoemulsión y emulsión. Se llevó a cabo, la caracterización morfológica superficial por microscopía electrónica de barrido.

También se tomaron micrografías de la superficie de las manzanas impregnadas con los diferentes sistemas. Se realizaron por medio de un microscopio electrónico de barrido JMS -25SII marca JEOL Tokio Japón (Quintanar *et al.*, 1996; Mendoza Muñoz *et al.*, 2007).

Para el caso de nanoemulsión y emulsión, fueron colocadas en un papel filtro de 0.2  $\mu\text{m}$  y tratadas con tetraóxido de osmio. Las muestras se recubrieron en un baño con oro utilizando un evaporador catódico Sputter Coater JFC-1100 (JEOL, Tokyo Japan).

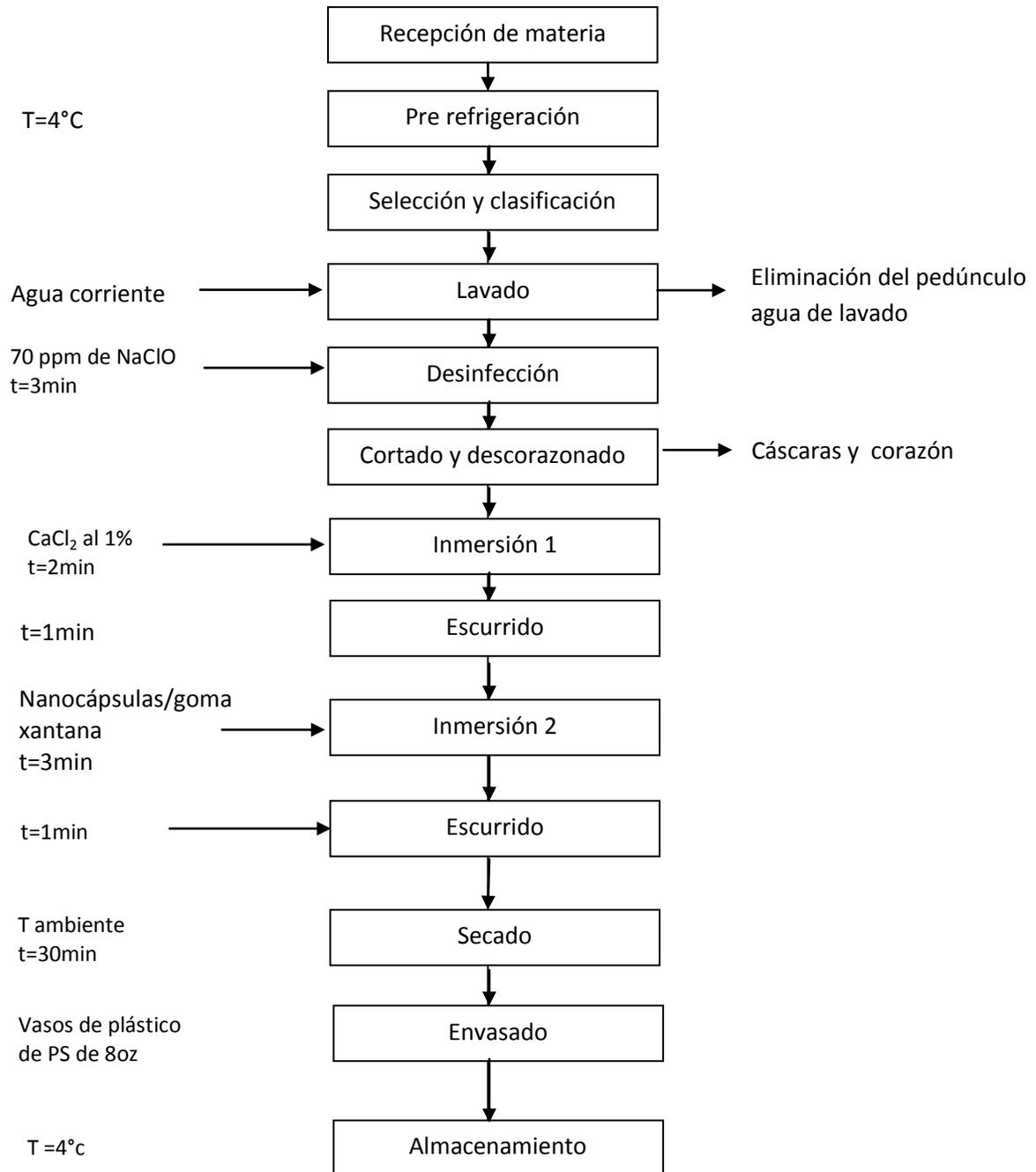
### ***2.7. Determinación de la cantidad de recubrimiento absorbido por la fruta***

Uno de los parámetros importantes, es establecer la cantidad de recubrimiento empleado en la superficie de la fruta, por lo que se determinó esta cantidad por colorimetría utilizando azul No.1 y obteniendo la curva patrón correspondiente entre 0.1 a 6 ml/100 ml determinándose la absorbancia a 630 nm en un espectrofotómetro contra una curva de calibración (Spectronic 20 Baush&lomb).

La determinación de la cantidad de recubrimiento en manzanas, se llevó a cabo sumergiendo cubos de manzana de 1  $\text{cm}^3$  en 50 ml de agua destilada, agitando con una mosca a velocidad 2 por 20 minutos, con la finalidad de solubilizar el material junto con el colorante, midiendo la absorbancia. Obteniendo así, la concentración de colorante y determinándose de esta forma la cantidad absorbida por las muestras a lo largo de la experimentación.

### 2.8.1. Diagrama de proceso para la aplicación de un recubrimiento en manzana cortada en rebanadas

En el siguiente diagrama se esquematiza la aplicación del recubrimiento a base de nanocápsulas en rebanadas de manzana.



## ***2.8. Descripción diagrama de proceso para la obtención de un recubrimiento en manzana cortada en rebanadas***

### Recepción de materia prima

Consiste en la cuantificación de la fruta que llega a proceso.

### Pre-enfriamiento

Esta operación se realizó para eliminar el calor de campo, o el calor producido por el transporte. De esta manera, se logra controlar y reducir la respiración del fruto que ha sido sometido a un estrés.

### Selección y clasificación

Las manzanas fueron seleccionadas de acuerdo a la similitud de su forma, tamaño y ausencia de lesiones externas. Se eliminaron, aquellas que presentaron lesiones mecánicas y se aceptaron las de apariencia firme, exentas de hongos y de color rojo; así como un olor agradable característico de la manzana.

### Lavado

Las manzanas fueron lavadas con agua corriente, para eliminar el exceso de tierra o materia extraña que pudo adherirse a lo largo de la recolección. Asimismo, se utilizó jabón y una esponja para poder retirar mejor la suciedad, eliminándose también el pedúnculo de la manzana.

### Desinfección

Con la finalidad de minimizar la población microbiana en la superficie del fruto y evitar que ésta contamine, se procedió a la inmersión del fruto durante 3 minutos en una solución desinfectante, en hipoclorito de sodio (70 ppm).

Asimismo, para el caso de los utensilios empleados para el cortado y almacenado de la fruta se utilizó una solución desinfectante de cloruro de Benzalconio a 350 ppm.

#### Cortado y descorazonado

En esta operación, se eliminaron las extremidades superior e inferior de la manzana, con la ayuda de un cuchillo. Una vez realizado esto, se utilizó un descorazonador de acero inoxidable, capaz de eliminar el corazón de la manzana y a la vez cortar está en 8 rebanadas.

#### Inmersión 1

Se utilizó una solución anti-ablandamiento de cloruro de calcio al 1 %, en donde las rebanadas de manzana fueron sumergidas por 2 minutos.

#### Escurrido

Se utilizó un escurridor de trastes, para eliminar el exceso de solución de cloruro de calcio, dejando reposar las muestras por 1 minuto

#### Inmersión 2

Una vez escurridas las manzanas, se sumergieron en el recubrimiento de Nanocápsulas de vitamina E con goma xantana durante 3 minutos.

#### Escurrido

Se utilizó un escurridor para eliminar el exceso del recubrimiento en la superficie de la manzana. Se dejaron reposando sobre el escurridor por 1 minuto.

#### Secado

Una vez escurridas las rebanadas se colocaron en palanganas -previamente sanitizadas- con cloruro de benzalconio en donde se colocaron las rebanadas de manzana con el recubrimiento, para secarse a temperatura ambiente por un periodo de tiempo de 30 minutos.

## Envasado

Se envasaron las rebanadas de manzana, una vez recubiertas por las nanocápsulas en envases de plástico de PS con tapa de PETE con un peso mayor a 90 gr de muestra esto debido a las pruebas a realizar.

## Almacenamiento

Se almacenaron en una cámara de refrigeración a 4°C por 14 días.

## **2.9. Cambios fisicoquímicos**

Durante los 14 días de almacenamiento se determinaron los siguientes parámetros: pérdida de peso, índice de oscurecimiento, textura, pH, °Brix, acidez. Que establecerán la calidad de las rebanadas de manzana durante su almacenamiento en refrigeración y demarcarán si existe una diferencia entre los tratamientos propuestos.

### a) Pérdida de peso

Se llevó a cabo con el uso de una balanza digital marca Ohaus Voyager modelo VP613C (New Jersey, USA), con una capacidad de 610 g y una sensibilidad de 0.1 mg.

Las pruebas se realizaron por triplicado, registrando el peso inicial del envase con la muestra menos el peso final del envase a los 14 días de almacenamiento. Obteniendo de esta forma, el porcentaje de pérdida de peso con la siguiente ecuación.

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{peso de la muestra} - \text{peso final}}{\text{peso de la muestra}} * 100$$

### b) Color

La medición, se realizó mediante el empleo de un colorímetro marca Konica Minolta (Osaka, Japón) con un sensor modelo CR-300 triestímulo con apertura, de 8 mm de diámetro y calibrado con plato blanco ( $Y = 94.3$ ;  $x = 0.3142$ ;  $y = 0.3211$ , standard CIE illuminant, 2° observer) y una consola DP-301. De acuerdo a la técnica AOAC 983.17 del

2000 y como lo reporta Maskan, en 2001 se determinaron los parámetros L a y b por triplicado para calcular lo siguiente:

$$IO = \frac{100(X * 0.31)}{0.172}$$

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

De donde:

IO= índice de oscurecimiento

X=factor

a= Coordenada cromática en el eje de las abscisas (roja-verde), a (+) = roja, a (-) = verde

b=Coordenada cromática en el eje de las ordenadas (amarillo-azul), b (+)=amarillo, b (-)=azul.

L=Valor de luminosidad en el sistema Lab

#### c) Textura

Se empleó un texturómetro marca Instron modelo 4411 (Massachusetts, USA), con celda de carga de 5 kN y el empleo de una sonda parcialmente semiesférica de 3 mm de diámetro. Las pruebas se realizaron a una velocidad de 150 mm/s con un muestreo de 6.66 puntos por segundo esta prueba se realizo de igual forma por triplicado.

#### d) pH

Se determinó con un potenciómetro marca Philip Harris modelo E3039018G/K (Shenstone, England) con el uso de un electrodo marca Philip Harris modelo P43-120 que contiene una solución de KCl al 0.1 molar. Las pruebas se realizaron por triplicado de acuerdo a la técnica del AOAC 32.010.

e) °Brix

La determinación se realizó por triplicado con el uso de un refractómetro de mesa ABBE de 120 volts y 50/60 AMPS marca Spectronic Instruments fabricado en USA, con rangos de medición del índice de refracción de 1.300 a 1.700 nD y una precisión de  $\pm 0.0002$  nD y con rangos de medición del contenido de azúcar de 0 al 95% con una precisión de  $\pm 0.25\%$  de acuerdo a la técnica del AOAC 22.024.

f) Acidez

Las determinaciones se efectuaron por triplicado de acuerdo a la técnica del AOAC 22.058 y a la norma NMX-FF-011-1982 Productos alimenticios no industrializados, para uso humano- fruta fresca. El cual se basa en la neutralización de los iones  $H^+$  con solución valorada de hidróxido de sodio (NaOH), en presencia de una sustancia indicadora (Fenolftaleína).

$$\% ACIDEZ = \frac{100N V_1 * F}{m}$$

De donde:

m= masa en gramos de la muestra

$V_1$ =volumen en centímetros cúbicos de la solución de NaOH gastada en la determinación.

F=Factor para este caso se trata de ácido málico el valor es de 0.067

N=Normalidad (concentración) de la solución de NaOH.

## CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1 Actividades preliminares

#### 3.1.1. Caracterización de tamaño de partícula con respecto a los ciclos de homogenización para la obtención de nanoemulsión

En la figura 5, se muestra el comportamiento del tamaño de partícula en relación a los ciclos de agitación en el sistema rotor-stator, mostrando que existió diferencia estadísticamente significativa entre los primeros tres ciclos, con una tendencia a disminuir conforme se incrementa el número de ciclos.

A partir del tercer ciclo de homogenización, no se mostró diferencia estadísticamente significativa con respecto los ciclos, de acuerdo a la comparación de medias (Tuckey,  $\alpha = 0.05$ ). El tamaño de partícula permaneció sin variación con un promedio de 200 nm, con la finalidad de garantizar una distribución homogénea del tamaño de partícula.

La nanoemulsión, se preparó con 5 ciclos de agitación mecánica. Yuan et al., (2008), reportaron que: existe una reducción en el tamaño de partícula por efecto de la velocidad y turbulencia, en emulsiones y nanoemulsiones, en cuanto a los ciclos de homogenización.

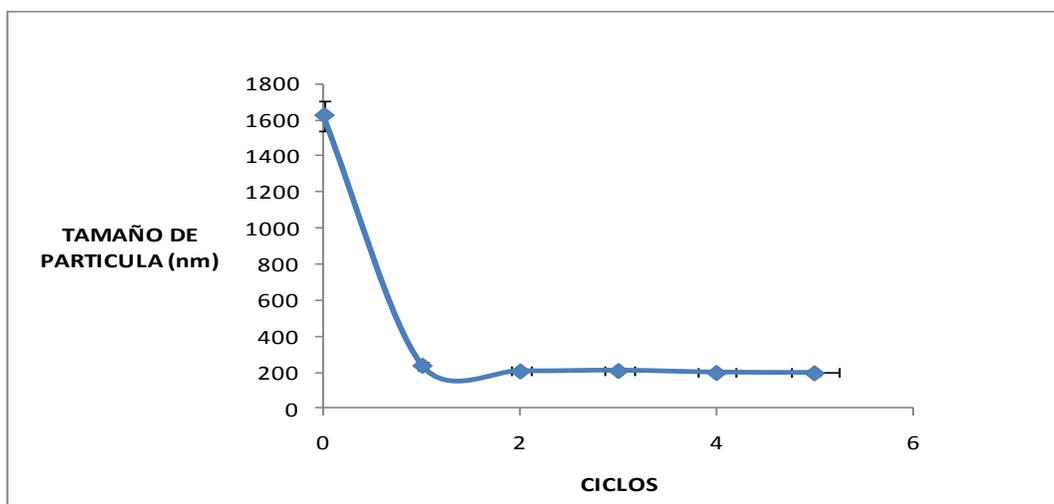


Fig.5 — Comportamiento del tamaño de partícula en nanoemulsión con respecto a los diferentes ciclos de homogenización (rotor/estator).

### ***3.1.2. Caracterización de los sistemas coloidales y estabilidad***

En la figura 6, se muestra el comportamiento de emulsión, nanoemulsión y nanocápsulas tras 10 días de almacenamiento.

Como puede observarse, las nanoemulsiones, presentan un tamaño que va desde los 180 a 200 nm manteniéndose estables durante los 10 días de almacenamiento, sin presentarse ningún fenómeno de floculación o coalescencia.

El tamaño de las gotas de nanoemulsión, según Bouchemal *et al.*, (2004) quienes han reportado que va desde los 100 hasta 600 nm; depende de la espontaneidad de la nanoemulsión y de los métodos mecánicos.

Para el caso de las emulsiones, se observa que el tamaño de partícula obtenido durante los 10 días de almacenamiento va desde los 700 nm hasta los 1200 nm durante los primeros 5 días de almacenamiento. Para posteriormente disminuir su tamaño hasta los 700 nm a los 10 días. Esto nos indica, que la distribución de tamaños no es homogénea. Sin embargo ésta se encuentra con una distribución menor a lo propuesto por Aranberri *et al.*, (2006), quienes mencionan que el tamaño de las gotas va de 0.1 a 0.2  $\mu\text{m}$ .

El caso del sistema formado por nanocápsulas sin goma, su tamaño va desde los 400 nm hasta los 450 nm, quedando dentro de lo reportado por Quintanar *et al.*, (1998) estos autores mencionan que en sistemas a base de nanocápsulas los tamaños van de 100 nm a 500 nm.

Para los sistemas que emplean goma xantana como recubrimiento, se aprecia que las tallas de partícula son mucho menores, como es el caso de emulsión ya que su tamaño va desde 200 nm hasta los 400 nm, para el caso de las nanocápsulas su tamaño va desde 200 a 250 nm lo que nos indica que la goma xantana ayuda aun más en la disminución del tamaño de partícula así como también, ayuda a mantenerlos estables sin presentarse ningún fenómeno de sedimentación.

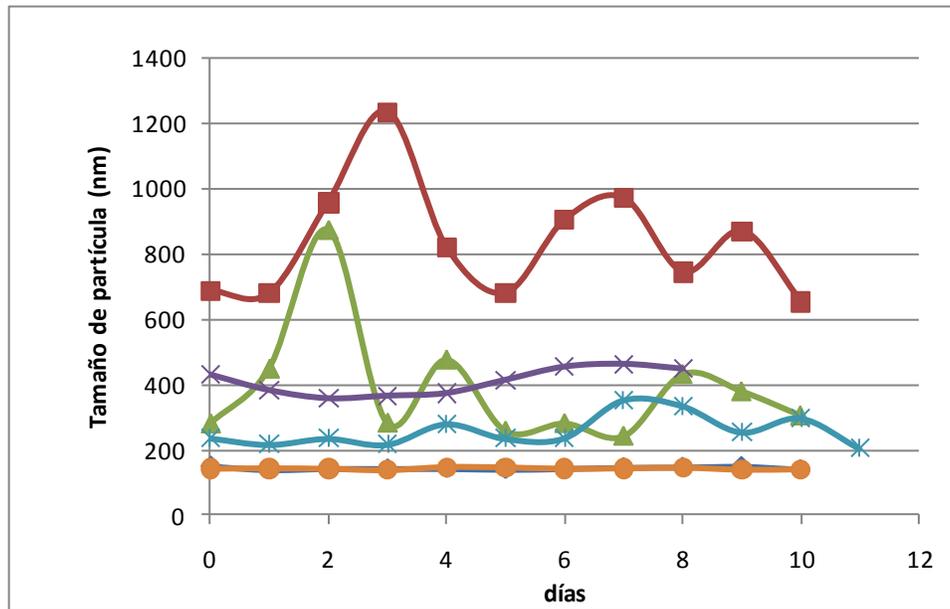


Fig. 6 Comportamiento del tamaño de partícula para los sistemas coloidales empleados durante el almacenamiento de donde  $\blacktriangleleft$  nanoemulsión con goma,  $\blacktriangleright$  emulsión con goma,  $\ast$  nanocápsulas con goma,  $\blacksquare$  emulsión,  $\times$  nanocápsulas,  $\bullet$  nanoemulsión.

a) Potencial zeta

Tabla.9 Potencial Z para sistemas sin goma xantana

	<b>nanocápsulas</b>	<b>nanoemulsión</b>	<b>emulsión</b>
<b>tiempo (días)</b>	Potencial (mV)	Potencial (mV)	Potencial (mV)
<b>0</b>	$-40.66 \pm 0.808$	$-29.93 \pm 1.021$	$-65.27 \pm 1.484$
<b>2</b>	$-38.60 \pm 2.563$	$-61.93 \pm 4.398$	$-55,53 \pm 1.607$
<b>4</b>	$-41.50 \pm 0.624$	$-56.13 \pm 2.043$	$-65.53 \pm 0.208$
<b>6</b>	$-44.30 \pm 0.656$	$-38.50 \pm 1.015$	$-66.56 \pm 1.528$
<b>8</b>	$-47.16 \pm 0.416$	$-54.90 \pm 0.600$	$-63.13 \pm 1.818$
<b>10</b>	$-53.70 \pm 3.188$	$-58.23 \pm 1.079$	$-70.93 \pm 2.550$
<b>12</b>	$-45.00 \pm 0.500$	$-56.56 \pm 1.955$	$-64.36 \pm 0.907$
<b>14</b>	$-35.93 \pm 0.153$	$-51.20 \pm 1.800$	$-75.93 \pm 2.136$

Nivel de significancia (Tuckey,  $\alpha = 0.05$ )

Como se aprecia en la tabla anterior los valores obtenidos de potencial zeta durante los días de almacenamiento muestran que la estabilidad de los diferentes sistemas se mantiene por encima de la estabilidad moderada, según Schramm (2005). Con valores por encima de -30mv.

Tabla 10. Potencial z para sistemas con goma xantana.

	nanocápsulas + goma xantana	nanoemulsión + goma xantana	emulsión + goma xantana.
tiempo (semanas)	Potencial (mV)	Potencial (mV)	Potencial (mV)
0	-56.66 ± 0.723	-52.60 ± 1.473	-71.06 ± 3.156
2	-50.23 ± 3.925	-54.76 ± 2.108	-66.73 ± 1.608
4	-40.06 ± 1.060	-55.96 ± 1.498	-81.26 ± 3.630
6	-40.70 ± 2.951	-62.13 ± 1.305	-68.93 ± 1.305
8	-33.93 ± 2.155	-55.66 ± 1.050	-70.70 ± 1.852
10	-41.66 ± 1.457	-58.33 ± 0.451	-62.46 ± 3.011
12	-38.10 ± 0.781	-59.23 ± 1.801	-68.83 ± 2.499
14	-41.06 ± 1.002	-55.96 ± 1.518	-71.76 ± 1.589

Nivel de significancia (Tuckey,  $\alpha= 0.05$ ).

Los valores obtenidos por Kang *et al.*, (2002), demuestran que los fosfolípidos formados en la interface, transfieren cargas negativas de estabilidad, en la nanoemulsión.

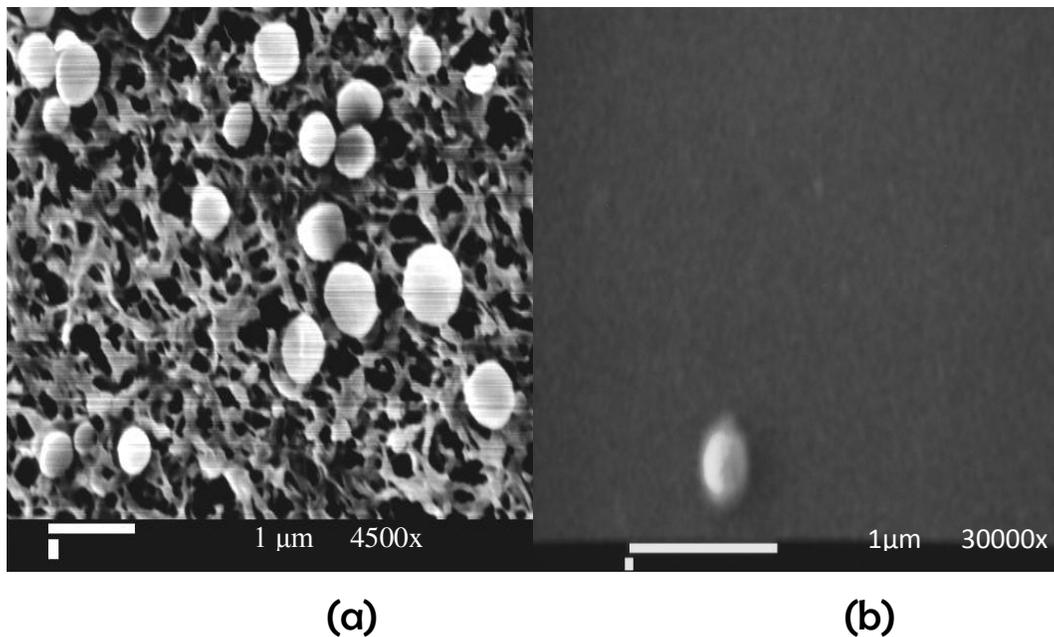
### 3.1.3. Caracterización morfológica de los sistemas coloidales

Todas las micrografías a lo largo de la experimentación fueron tomadas por el técnico Rodolfo Robles en el laboratorio de microscopía electrónica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

En la figura 7, se muestran las micrografías obtenidas para nanocápsulas.

- Tomada a 4500 X aumentos evidenciándose a las nanocápsulas de vitamina E.
- Micrografía tomada 30000 X en un porta objetos en donde por medio de la barra se aprecia el tamaño de partícula el cual es inferior a 1  $\mu\text{m}$ .
- Se observa la amplia distribución de las nanocápsulas sobre el porta objeto a 2000 X.

d) A 10000 X tomada al filtrar una muestra en papel Millipore®, Chávez F *et al.*, (2002) demostraron en evidencia la estructura vesicular de nanocápsulas a 7000 X y 1000 X aumentos de acuerdo con el mecanismo propuesto por el método de emulsificación difusión, la formación de nanocápsulas se debe a que durante el paso de difusión del solvente (parcialmente miscible en agua), forma regiones locales de super saturación en la interfase glóbulos / medio de disolución de la emulsión o/w previamente obtenida, de donde se desprenden nuevos glóbulos (“protopartículas”) que son estabilizadas por el pluronic F-127 produciéndose el acomodo del polímero (poli-ε caprolactona) en torno al aceite, lo que da como resultado la estructura vesículas del sistema al término de la difusión.



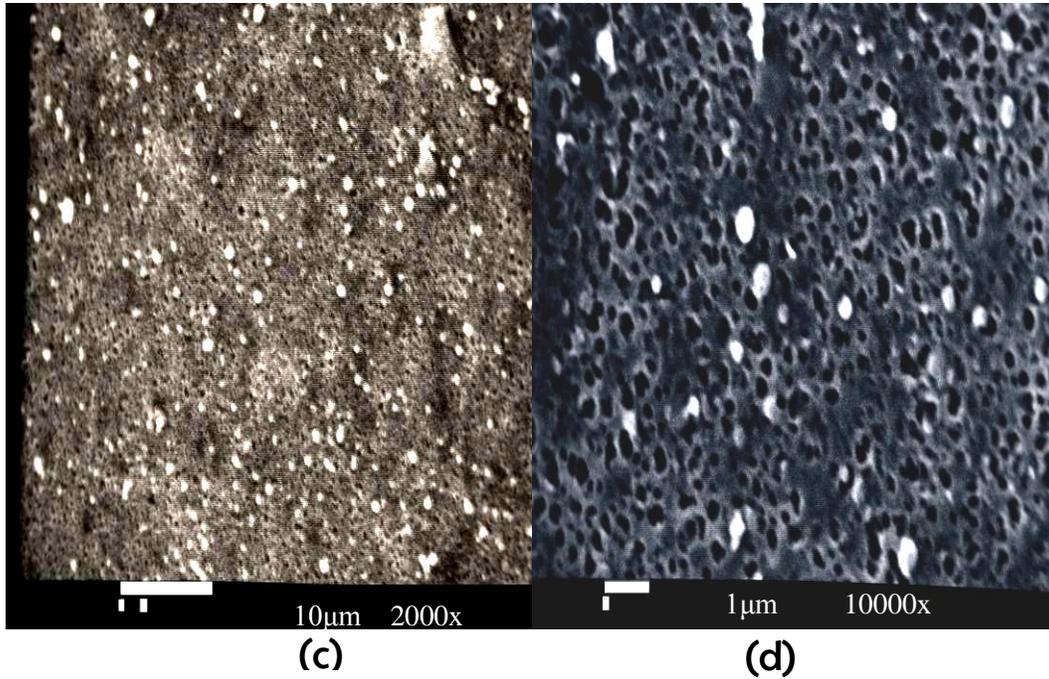


Fig.7 Micrografías Nanocápsulas vitamina E

En la figura 8 se observan las micrografías obtenidas para nanoemulsión de vitamina E, filtradas con ayuda de papel filtro Millipore® de 1µm.

a) Se aprecia la distribución de los tamaños de partícula poniendo en evidencia la formación de las nanoemulsión de vitamina E tomada a 7000 X

b) Tomada a 4500 X en la barra se observa que la distribución de tamaños de partícula es mayor a 1 µm. Como lo mencionan Bouchemal *et al.*, (2004), la distribución de tamaños de partícula para nanoemulsiones, se encuentra entre los 100 nm y 600 nm.

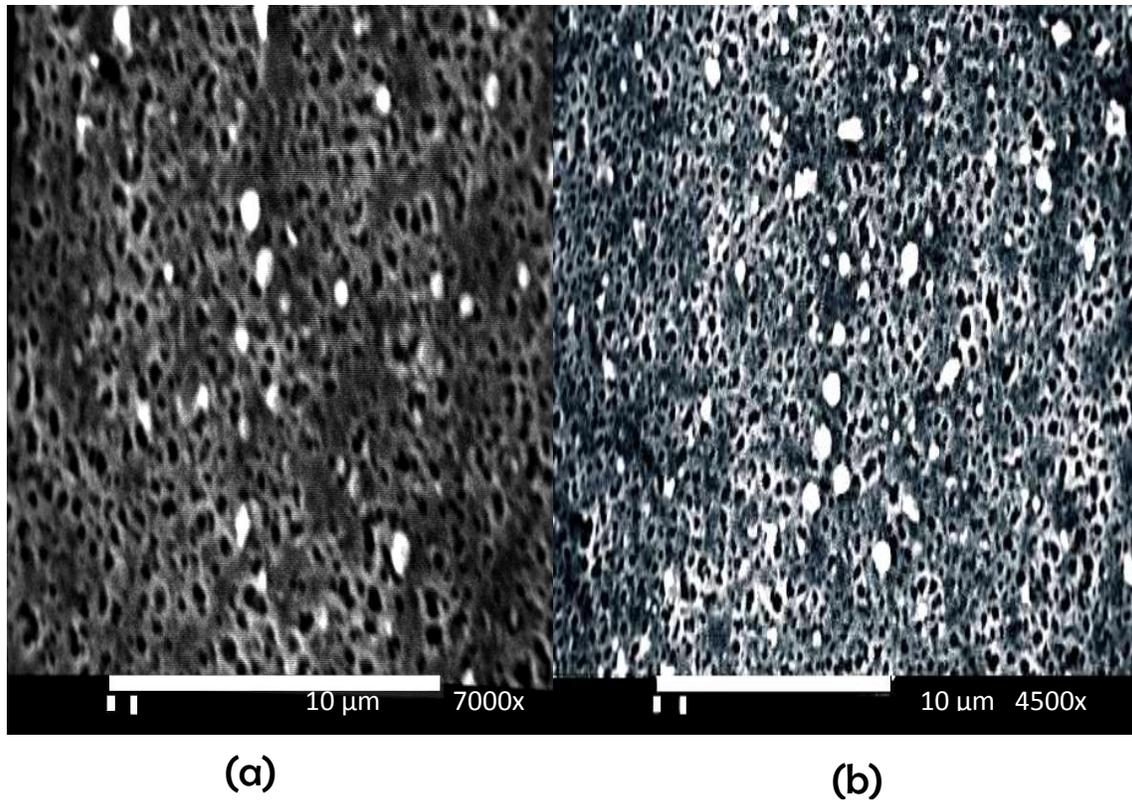


Fig.8 Micrografías Nanoemulsión vitamina E.

En las micrografías que se muestran en la figura 9, se aprecian los glóbulos de emulsión formados por vitamina E.

a) Tomada a 45 X donde se alcanzan a distinguir los glóbulos de grasa originados por la vitamina E.

b) Micrografía tomada a 20000 X en donde se aprecia un glóbulo de emulsión. Esta micrografía se tomó por medio de la fijación de tetróxido de osmio en la superficie de papel filtro Millipore®.

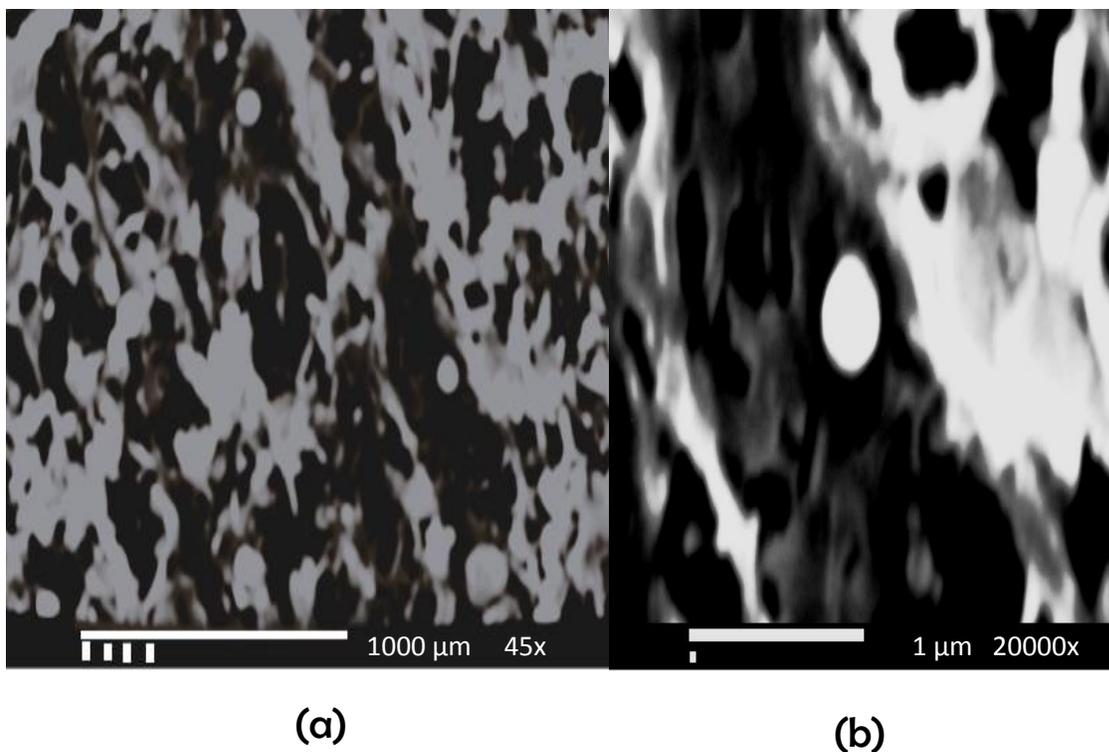


Fig.9 Micrografías de emulsión de vitamina E.

### 3.1.4. Determinación cantidad de recubrimiento absorbido en manzana

En la figura 10, se muestra la curva de calibración obtenida mediante la evaluación de colorante. Una vez preparadas las muestras se leyó la absorbancia a 630 nm en un espectrofotómetro.

En la curva de calibración obtenida se determinó la ecuación de la recta, de donde se despejó el valor de x para poder calcular la cantidad de recubrimiento en mg que se está reteniendo en la superficie de la fruta.

$$y = 0.0699x$$

De esta forma se obtuvo, que por cada  $1\text{cm}^2$  de manzana, se necesitan  $0.886 \pm 0.043$   $\mu\text{g}$  de recubrimiento.

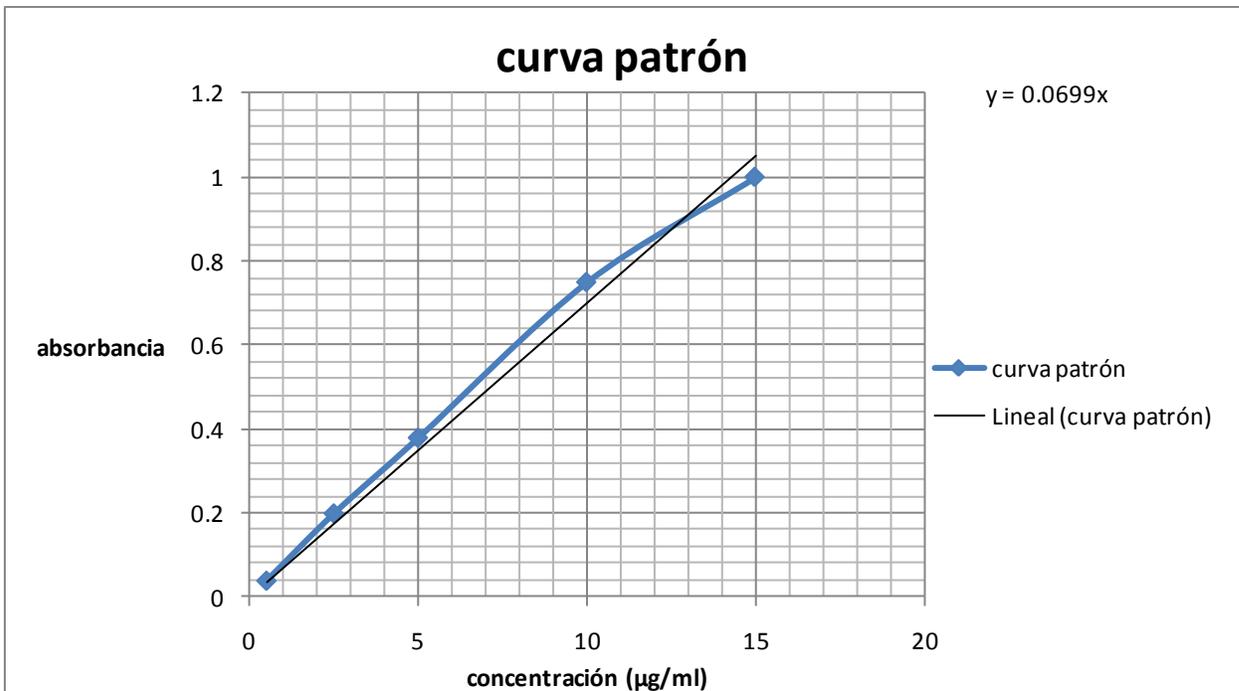


Fig.10 Curva patrón para determinar la cantidad de recubrimiento

### 3.2. Actividades preliminares

#### 3.2.1. Caracterización cámara de refrigeración.

Con la finalidad de mantener las condiciones durante el almacenamiento, se delimitó el espacio dentro de la cámara en 9 cuadrantes, para determinar en qué cuadrante se presentaban las apropiadas condiciones de almacenamiento.

Dimensiones cámara de refrigeración:

Ancho: 3.25m

Largo: 3.30m

Se delimita un espacio entre pared y pared de 20 cm y en pasillos con la finalidad de obtener una propagación homogénea de frío en el almacenamiento. Así como también, se

delimitaron diferentes espacios dentro de los cuadrantes, éstas se realizaron a nivel de piso, 0.75 cm de suelo y a 1.50 m.

Dado que el aire es el vehículo para eliminar calor, su circulación debe establecerse de forma que no tenga dificultades para pasar a través de la carga. No obstante, que si una circulación de aire continua y a un flujo importante uniformiza la temperatura de conservación, cuanto más elevado es el flujo mayor será la pérdida de agua y por lo tanto de peso. Por ello, se recomienda como término medio un coeficiente de recirculación del aire del orden de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  por  $\text{m}^3$  de cámara vacía (Muños, 1985).

Es por esto, que las manzanas se almacenaron en el cuadrante 5 que presenta una velocidad de  $0.2 \text{ m/s}$  que es constante y no se presentaban tantas variaciones, como en los otros 8 cuadrantes restantes como se aprecia en la figura 11.

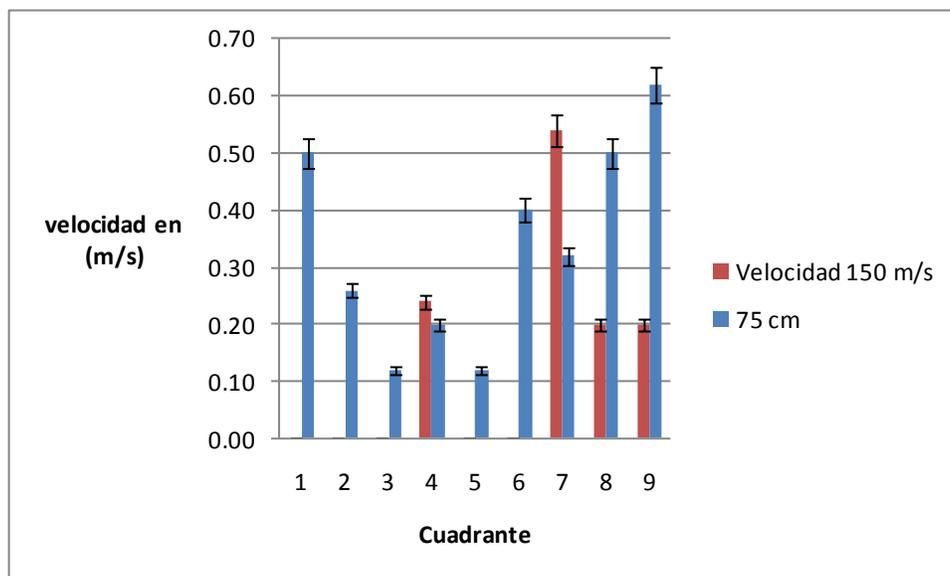


Fig.11 Velocidad de aire. Velocidad a 150 m/s sobre el nivel del piso, velocidad a 75 cm sobre el nivel del piso

#### b) Temperatura de almacenamiento

El manejo de la temperatura, es la herramienta más importante para extender la vida de anaquel y mantener la calidad de frutas y hortalizas frescas.

Retrasos entre la cosecha y el enfriamiento o procesamiento pueden resultar en pérdidas directas, debido a la presencia de agua y pudriciones, pérdidas indirectas, tales como el sabor y calidad nutricional (Soto y Yahia, 2002).

El comportamiento adquirido por la cámara de refrigeración, tras los arranques y paros del compresor durante el ciclo de refrigeración,  $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  se mantuvo estable. Gorny (2001), reporta este valor como la condición óptima de temperatura para el almacenamiento de manzana cortada en rodajas.

### 3.2.2. Comparación entre el efecto del ácido cítrico y cloruro de calcio

Al observar los resultados en este ensayo, se decide tomar la mezcla de ácido cítrico al 1% y cloruro de calcio 1% como lo mencionan Lee et al., (2002).

Como puede verse en la figura 12. El tratamiento con ácido cítrico y cloruro de calcio muestran un mayor efecto en el control de los cambios de oscurecimiento en manzana fresca cortada. El cloruro de calcio es usado generalmente para el blanqueo de vegetales, también es conocido por ayudar contra el reblandecimiento.

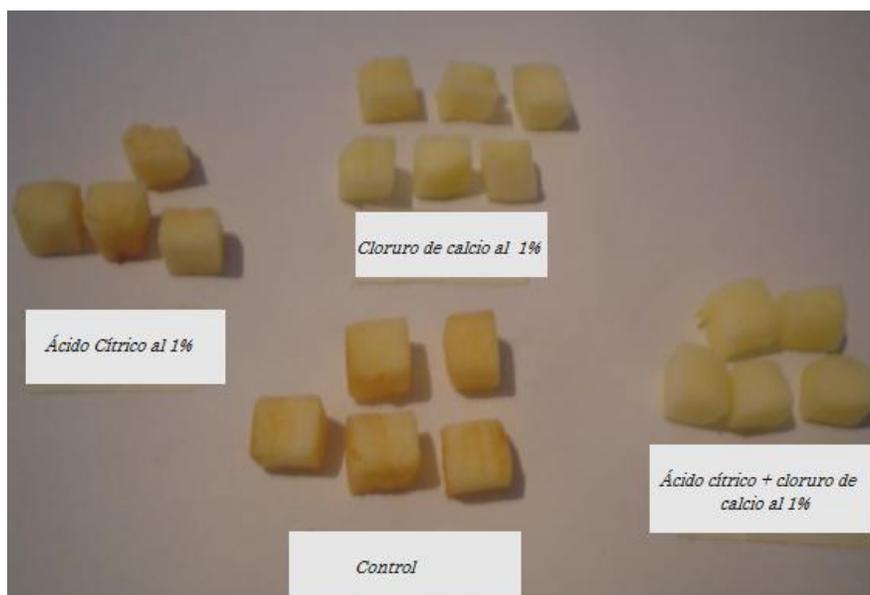


Fig.12 Comparación entre ácido cítrico y cloruro de calcio.

### 3.2.3. Morfología de sistemas coloidales aplicados en manzanas

Se ha reportado la estructura de manzana por Albanes et al. (2007) quienes mencionan que la porosidad natural de las manzanas disminuye durante el almacenamiento en refrigeración, como puede observarse en la figura 13.

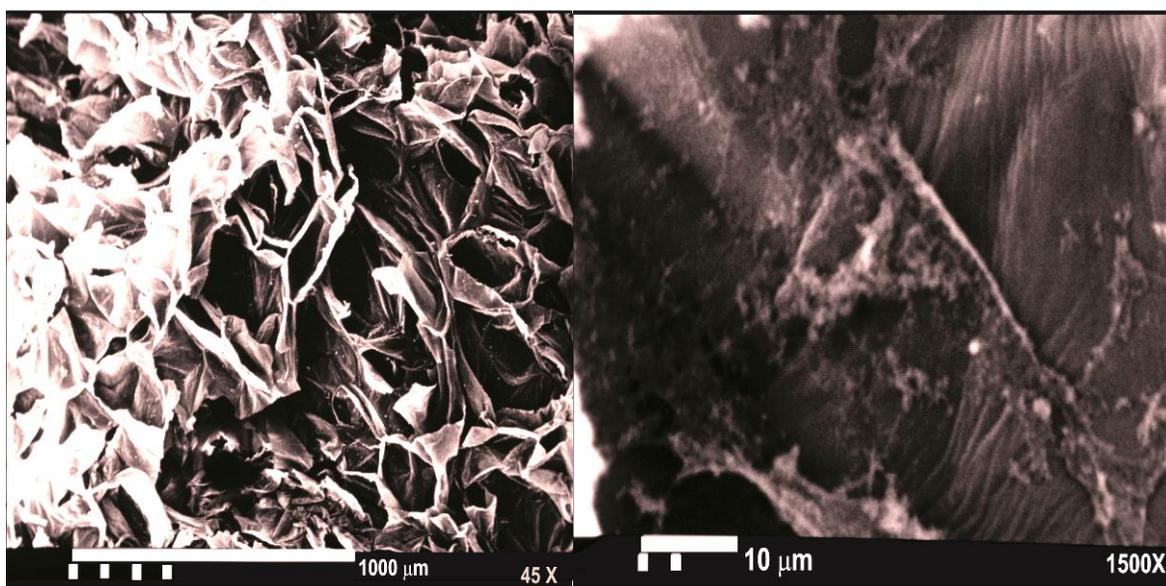
Micrografías de manzana con cloruro de calcio

a) Estructura interior de manzana después de realizarse el corte transversal, en donde se pueden ver los espacios intracelulares tomada a 45 X.

b) Micrografía a 1500 X, se observan los agregados de cloruro de calcio dentro de la pared de la célula de los poros de manzana.

c) Aquí puede apreciarse la aglomeración de los cristales de cloruro de calcio en la pared celular del poro de manzana a 200 X.

d) Acercamiento a 450x se ve parte de la fijación del cloruro de calcio en la pared del poro de manzana.



(a)

(b)

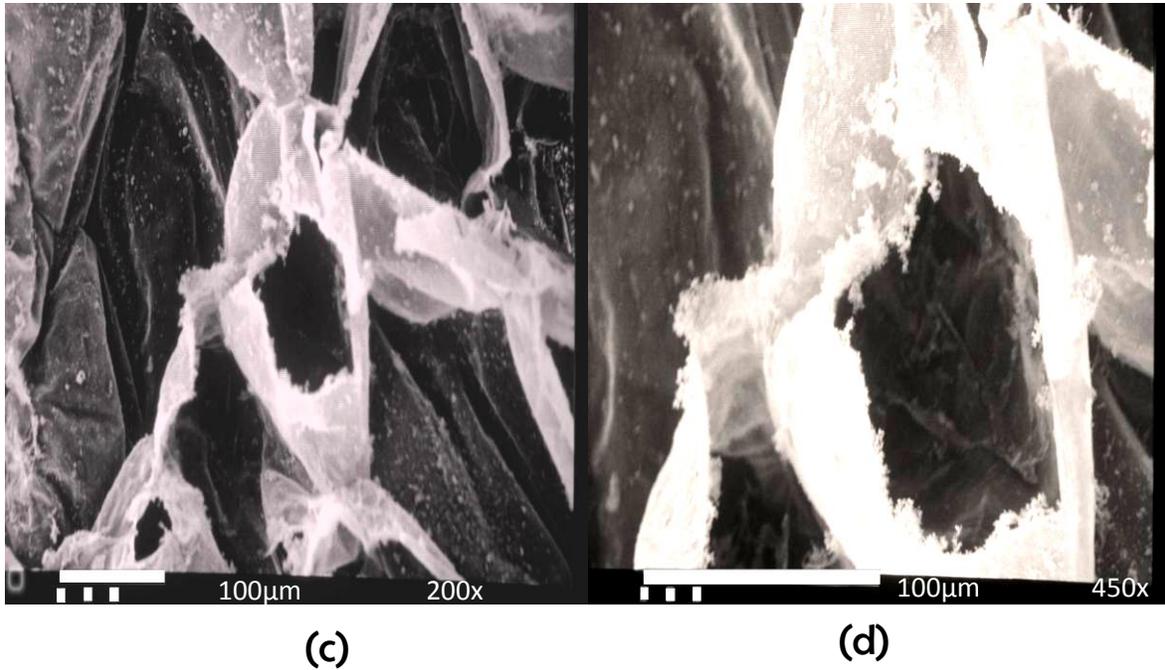


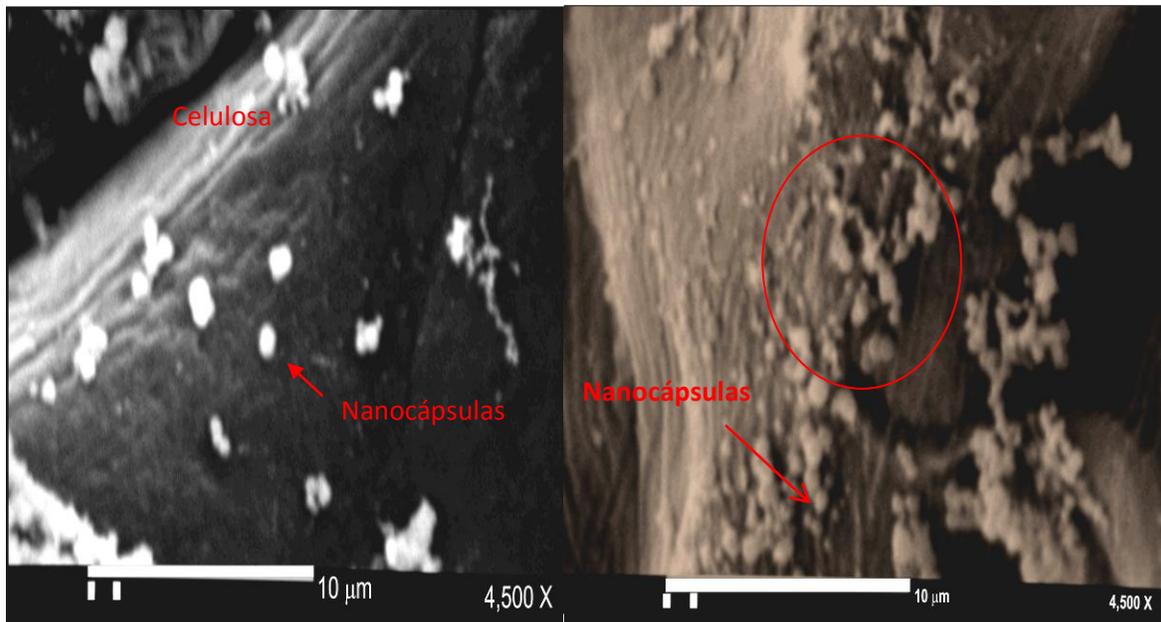
Fig.13 Micrografías de manzana con cloruro de calcio.

#### Micrografías de manzana con nanocápsulas

En la figura 14, se pone en evidencia parte de la estructura interna de manzana tratada con nanocápsulas de vitamina E como se muestra en lo siguiente:

a) En esta micrografía se aprecia la fijación en la pared por parte de las nanocápsulas de vitamina E, tomada a 4500 X.

b) Pared de manzana recubierta con nanocápsulas de vitamina E en donde se ve una aglomeración de las nanocápsulas, esto se debe a que la goma además de servir como medio de transporte sirve también para fijarlas dentro de la pared.



(a) (b)  
 Fig.14 Micrografías de manzana con nanocápsulas de vitamina E.

#### Micrografías de nanoemulsión

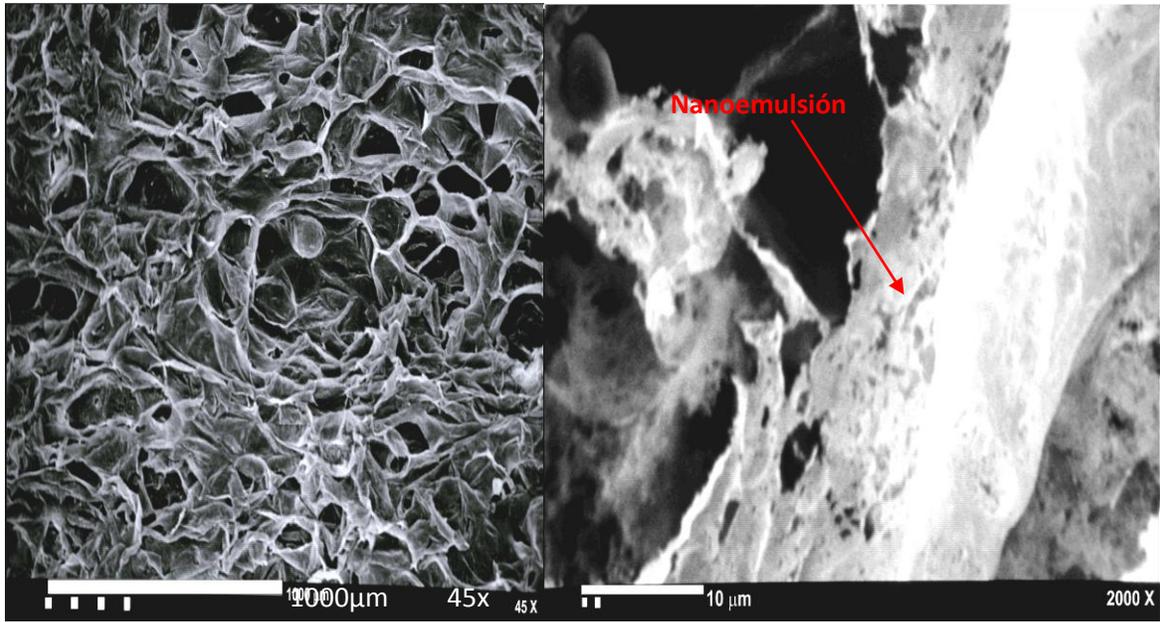
En la figura 15, se muestran micrografías de recubrimientos en manzana con nanoemulsión.

a) Micrografía tomada a 45 X, en donde se puede observar la estructura de la manzana recubierta con nanoemulsión y goma xantana.

b) Se observa el recubrimiento adherido a parte de la pared tomada a 2000 X.

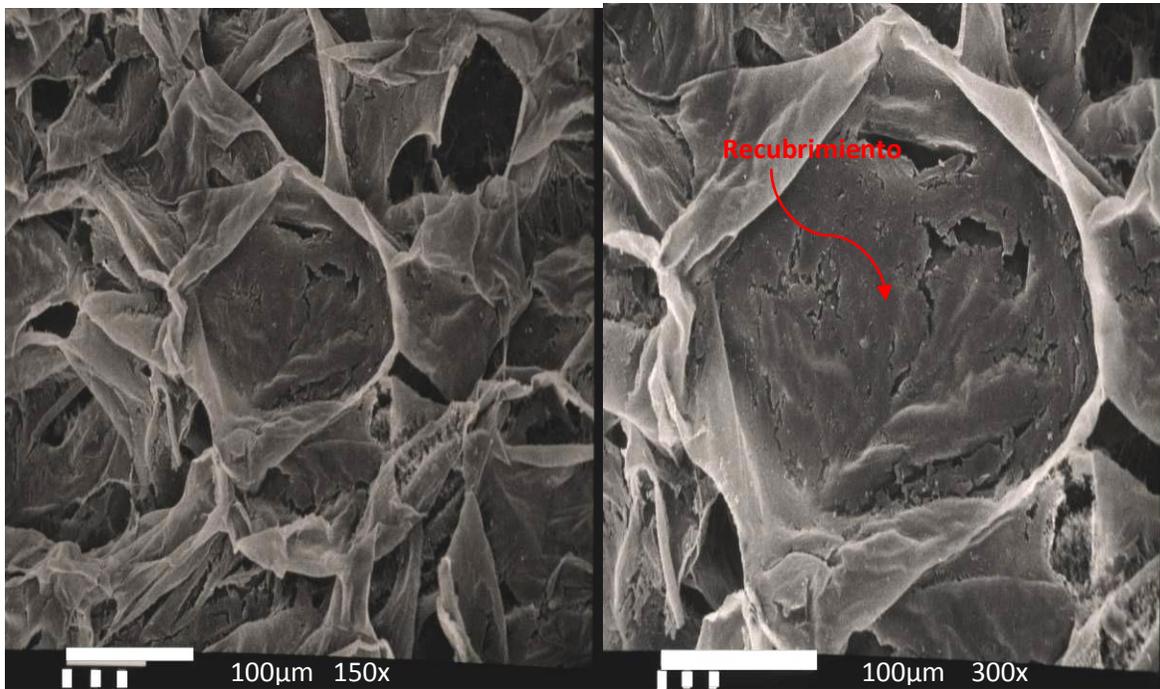
c) Micrografía tomada a 150 X, en donde se aprecia el poro de manzana. Formando una barrera a la permeabilidad del oxígeno.

d) Se aprecia el recubrimiento formado en la superficie de manzana cubriendo parte de un poro Micrografía tomada a 300 X.



(a)

(b)



(c)

(d)

Fig.15 Micrografías de Manzana con nanoemulsión de vitamina E.

### 3.2.4. Cambios fisicoquímicos

#### a) Pérdida de peso

En la figura 16, se muestra la pérdida de peso obtenida por los tratamientos en conjunto, éstas son menores al 0.5%, lo que indica que la manzana con los diferentes tratamiento pierden poco peso.

Esto involucra una disminución en la tasa de respiración del fruto después de haber sido cortado. El corte en rodajas de manzana, expone al tejido sin piel a un medio ambiente con menor humedad relativa, provocando con ello la pérdida del 20% de su peso; como lo describe Olivas *et al.*, (2007), la susceptibilidad de un producto vegetal a la deshidratación es función de la humedad relativa del ambiente y de las modificaciones estructurales y químicas con las que responde el producto para reducir la transpiración que provoca el marchitamiento y pérdida de peso Fenema, (2000).

De esta forma también se observa que el control sin tratamiento, pierde menor peso con un valor de 0.20 %, seguido del tratamiento hecho a base de nanocápsulas y a su vez de solución con ácido cítrico, cabe mencionar, que los tratamientos hechos con solución sin ácido cítrico y el control con ácido cítrico, presentan el mismo comportamiento hasta los 14 días de almacenamiento.

Para el caso de los tratamientos de emulsión sin ácido cítrico y nanoemulsión sin ácido cítrico, se muestra el mismo comportamiento durante el almacenamiento. Este, no es el caso del tratamiento hecho de emulsión con ácido cítrico, ya que este tratamiento aumenta 0.1 % gradualmente durante los 14 días de almacenamiento hasta alcanzar un máximo de 0.5%.

Por otro lado el tratamiento con goma xantana, mostro un aumento de 0.05% cada tercer día, similar al tratamiento de emulsión con ácido cítrico; observándose a partir de los 10 días de almacenamiento se incrementa el valor de pérdida de peso desde 0.2% hasta cerca de 0.51%. Esto se ve en el envase físicamente, ya que estos mostraban condensación interna a pesar que se almacenaron a una humedad relativa de 85%.

Según Pérez Gago *et al.*, (2003) quienes mencionan que las pérdidas de peso, se deben a la incapacidad de formar una capa uniforme del recubrimiento en la superficie húmeda de la fruta, provocando con ello la transpiración del producto. De esta forma se explican las diferentes pérdidas de peso en los tratamientos aplicados a manzana cortada en rebanadas. En el gráfico no se muestran los tratamientos de nanocápsulas con ácido cítrico y nanoemulsión con ácido cítrico ya que estos presentaron un efecto sinérgico con el ácido cítrico.

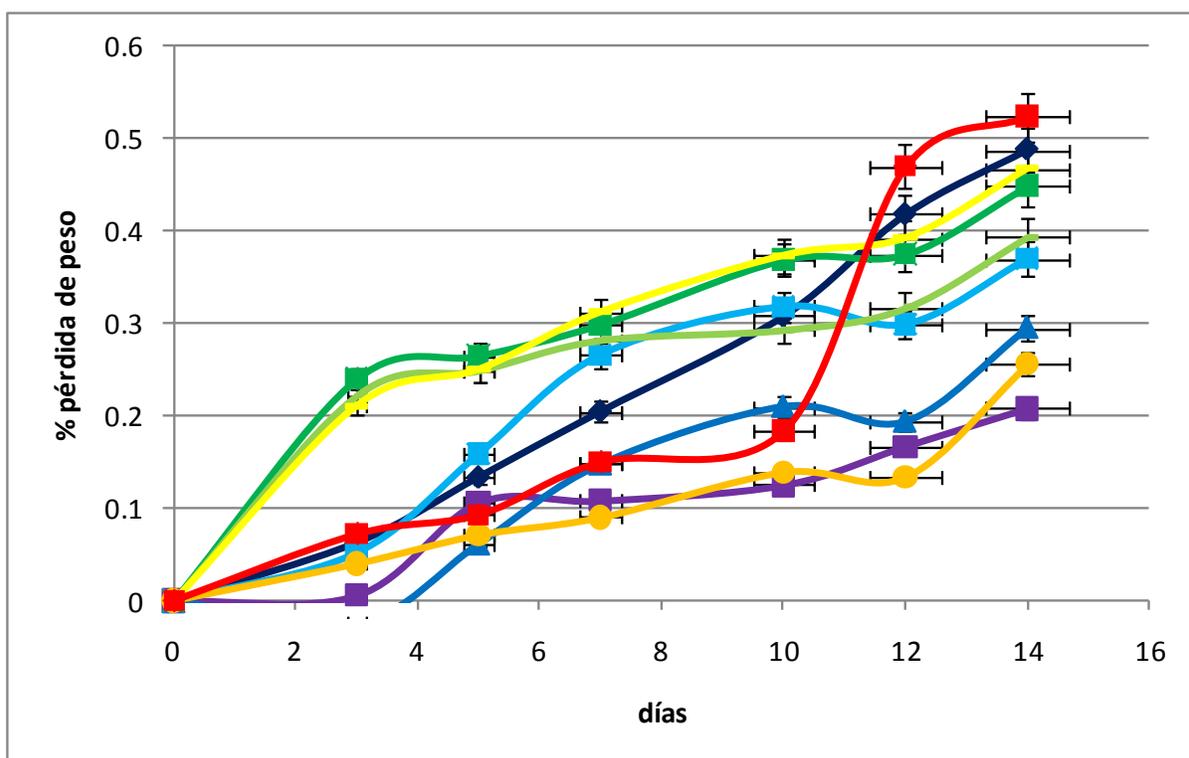


Fig. 16 Pérdida de peso durante los 14 días de almacenamiento. De donde; ■ control, ■ control con ácido cítrico, ■ emulsión sin ácido cítrico, ■ emulsión con ácido cítrico, ■ nanoemulsión sin ácido cítrico, ■ nanocápsulas sin ácido cítrico, ■ solución con ácido cítrico, ■ solución sin ácido cítrico, ■ goma xantana

## b) °Brix

En la figura 17, se muestra el comportamiento de los sólidos solubles durante el almacenamiento. Estos conservan valores que van desde 14 hasta 10%; Según los límites establecidos para manzana destinados a consumo en fresco, éstas deben tener como mínimo un valor de 11°brix en variedades rojas y de 12 °brix en variedades amarillas (NMX-FF-061-SCFI-2003).

En el caso del control, el contenido de °brix disminuye conforme pasan los días de almacenamiento; con un contenido de 14 hasta 10 a los 14 días, estos valores hacen referencia que se da comienzo a la retransformación de los carbohidratos, maduración del producto y al comienzo de la etapa de senescencia. Asimismo la nanoemulsión, aumenta su contenido de °brix, lo que indica que se está retardando la maduración con este tratamiento. Olivas *et al.*, (2007) reportaron que conforme aumenta la maduración el contenido de azúcares aumenta.

En el caso del sistema hecho a base de nanocápsulas. Este se mantiene durante los 14 días de almacenamiento. Conforti & Totty, (2007), reportaron que existen variaciones en función a la composición de los recubrimientos, ya que la forma en la que interactúan con la superficie del producto depende de las propiedades del mismo.

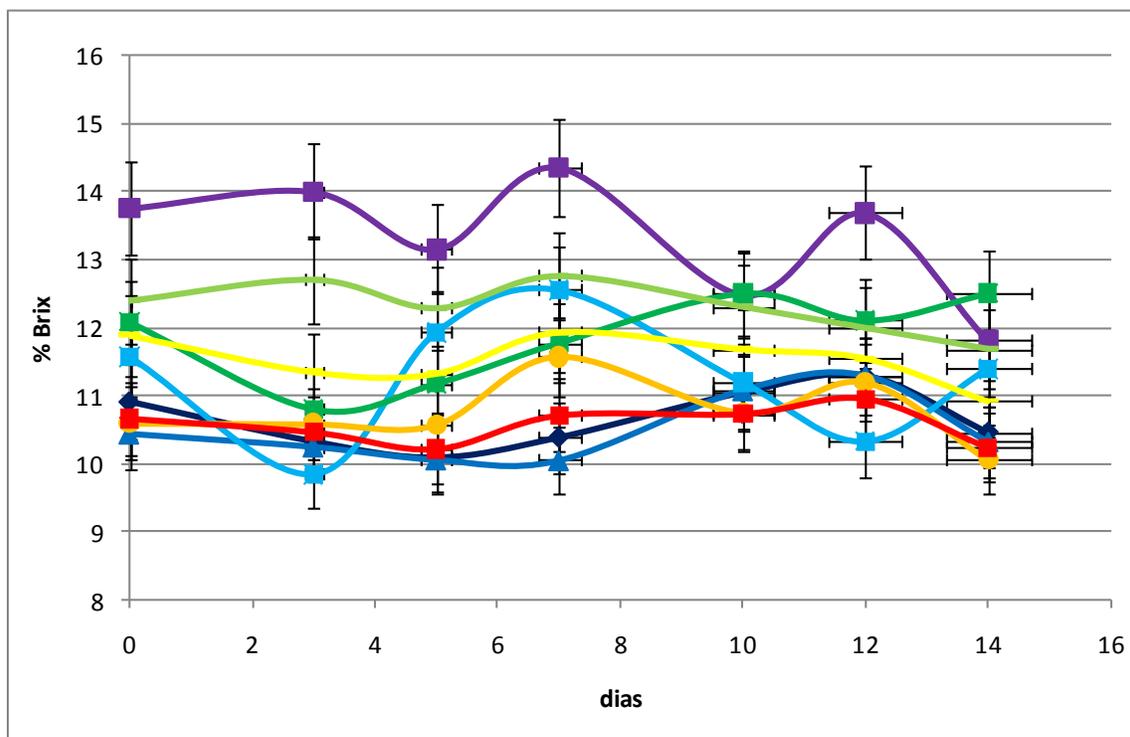


Fig.17 Cambios en ° Brix durante el almacenamiento refrigerado. —■— Control, —■— control con ácido cítrico, —■— nanoemulsión sin ácido cítrico, —■— solución con ácido cítrico, —■— solución sin ácido cítrico, —■— nanocápsulas sin ácido cítrico, —■— emulsión con ácido cítrico, —■— emulsión sin ácido cítrico, —■— goma xantana

### c) Acidez titulable

En la figura 18, se observa que en el tratamiento control existen diferencias significativas con respecto al tiempo, con una disminución de acidez de 240 a 190 mg de ácido málico /100 ml de jugo durante los primeros 3 días de almacenamiento. Esto se asocia al aumento en el índice de oscurecimiento, de acuerdo con lo reportado por Olivas *et al.*, (2007).

Se sabe que los ácidos orgánicos, se ven reducidos también con procesos de conservación, como es el caso de la refrigeración. Por esa razón el control disminuye a los 12 días de almacenamiento, seguido de emulsión con ácido cítrico, quien desde el día 5 incrementa su valor hasta casi 228 mg / 100 ml de jugo hasta llegar a los 188 mg / 100 ml,

la acidez tiende a disminuir durante el almacenamiento de manzanas “Golden Delicious” y es asociada a los cambios metabólicos y de maduración de los frutos.

En el caso de los tratamiento hechos a base de solución con ácido cítrico y manzana con ácido cítrico, se reducen su valor a los 7 días de almacenamiento justo como lo muestra también el de goma xantana, esto hace referencia a que los tratamientos no controlan la madurez del producto en su totalidad.

Por otro lado, los que mejor mantuvieron la acidez a lo largo de los 14 días de almacenamiento son aquellos tratamientos a base de solución con ácido cítrico, emulsión sin ácido cítrico y el de nanocápsulas ya que se observa que se mantienen con valores de acidez de 230mg de ácido málico por 100 ml durante los 14 días de almacenamiento.

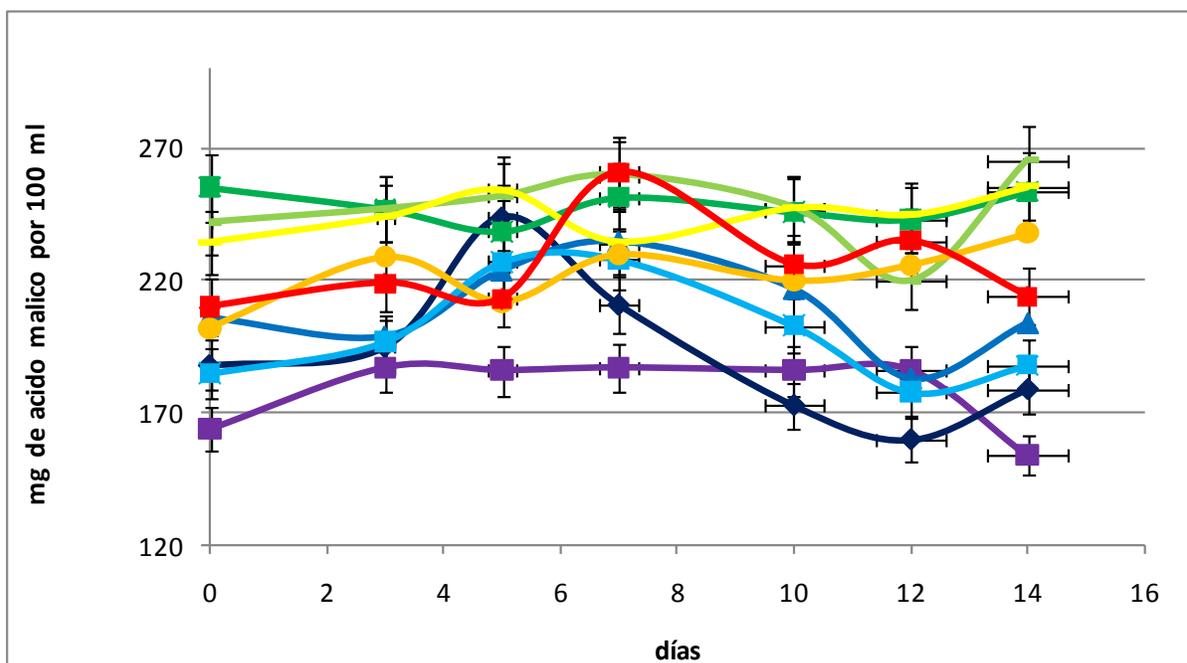


Fig.18 Cambios de acidez durante el almacenamiento refrigerado. — control, — control con ácido cítrico, — nanoemulsión sin ácido cítrico, — solución con ácido cítrico, — solución sin ácido cítrico, — nanocápsulas sin ácido cítrico, — emulsión con ácido cítrico, — emulsión sin ácido cítrico, — goma xantana.

#### d) pH

En la figura 19, se representan los valores de pH durante los 14 días de almacenamiento, como se aprecia estos valores van desde 3.5 hasta 4.4, los cuales nos indica que no existieron variaciones en los tratamientos ya que la cantidad de iones hidronio se mantuvieron durante los 14 días de almacenamiento. Como lo de muestran Seipel *et al.*, (2009) quienes no encontraron diferencia significativa entre los tratamientos de manzana Eva y Princesa.

De acuerdo con lo que menciona Gasull y Becerra, (2006) el pH es un factor que afecta la activación de polifenoloxidasas. Ésta se activa con un pH de 5 a 7 mostrando ser el óptimo para su desarrollo.

Esto explica porqué el control presentó un cambio en la coloración a los 5 días de almacenamiento ya que además de la coloración incrementó su valor desde pH 4 hasta llegar a 4.4.

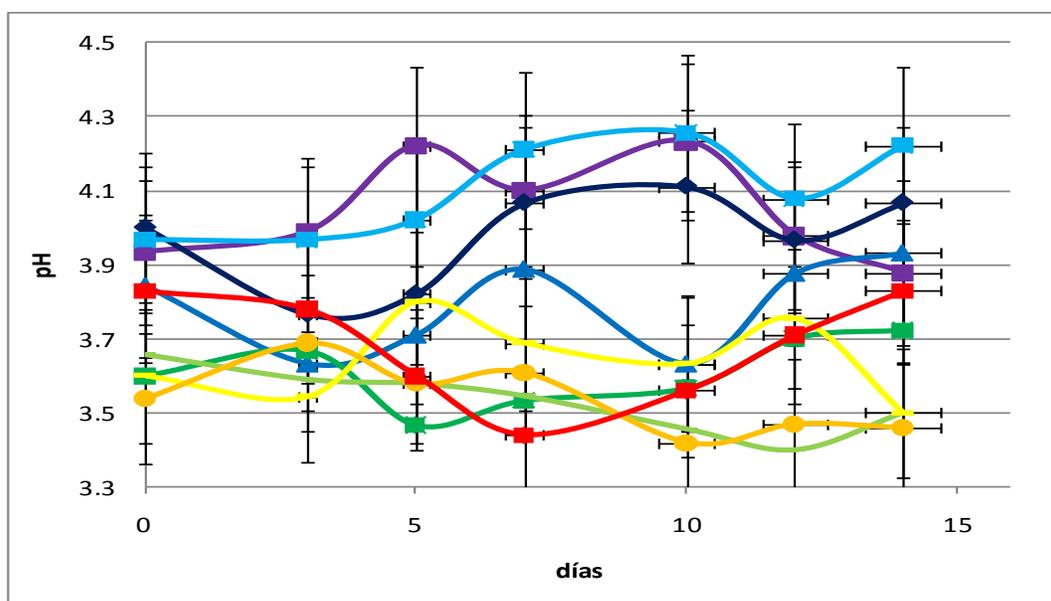


Fig.19 Comportamiento de pH en función al tiempo de almacenamiento. — control, — control con ácido cítrico, — nanoemulsión sin ácido cítrico, — solución con ácido cítrico, — solución sin ácido cítrico, — nanocápsulas sin ácido cítrico, — emulsión con ácido cítrico, — emulsión sin ácido cítrico, — goma xantana.

#### e) Índice de oscurecimiento

En la figura 20, se aprecia el índice de oscurecimiento para los diferentes tratamientos, mostrándose un mayor índice de oscurecimiento en el blanco, con valores de 34 hasta 36, Pérez-Gago *et al.*, (2006) llevó a cabo un estudio para evaluar la efectividad de recubrimientos a base de cera de abeja y proteína de suero de leche con agentes antioscurecimiento como: ácido ascórbico y cisteína, concluyendo que la utilización de un recubrimiento disminuye el oscurecimiento en manzana “Golden Delicious”, reportando un índice de oscurecimiento de entre 25 y 35 durante 14 días

Cuando se cortan las manzanas, las células del tejido se rompen y las enzimas como polifenoloxidasas son liberadas al contacto con el sustrato, causan el pardeamiento como lo demostró Olivas *et al.*, (2007).

Para el caso del tratamiento hecho a base de solución de vitamina E con ácido cítrico, este se mantiene constante durante los 14 días de almacenamiento con un valor de 20, para el caso de emulsión sin ácido cítrico, nanoemulsión, emulsión con ácido cítrico y control con ácido cítrico; estos permanecen constantes durante los 14 días de almacenamiento dando como resultados valores que van desde los 15 hasta los 17.

Gasull y Becerra,(2006) demostraron el efecto inhibitor del ácido ascórbico en manzana red delicious, actuando más como un antioxidante que como un inhibidor enzimático ya que, él mismo reduce la quinona formada inicialmente por la enzima difenol original, antes que se produzcan las reacciones secundarias las cuales dan lugar a la formación de los pigmentos.

La manzana con solución sin ácido cítrico demostró un incremento en el índice de oscurecimiento a los 7 días de almacenamiento con un valor de hasta 19 para conservarse constantes durante el almacenamiento.

En el caso de la goma xantana ésta presentó una reducción en el índice de oscurecimiento partiendo de 15 permanecer constantes a partir del tercer día con un valor de 10, junto con el tratamiento hecho a base de nanocápsulas resultaron ser de gran utilidad

para el control de la inhibición del oscurecimiento en rebanadas de manzana, ya que el tratamiento mostró un valor de 10.7 durante los 14 días de almacenamiento en refrigeración.

Pérez Gago *et al.*, (2006), demostraron que los recubrimientos hechos a base de antioxidantes son más efectivos en la reducción del índice de oscurecimiento, esto se debe en parte a la presencia de la vitamina E contenida en las nanocápsulas.

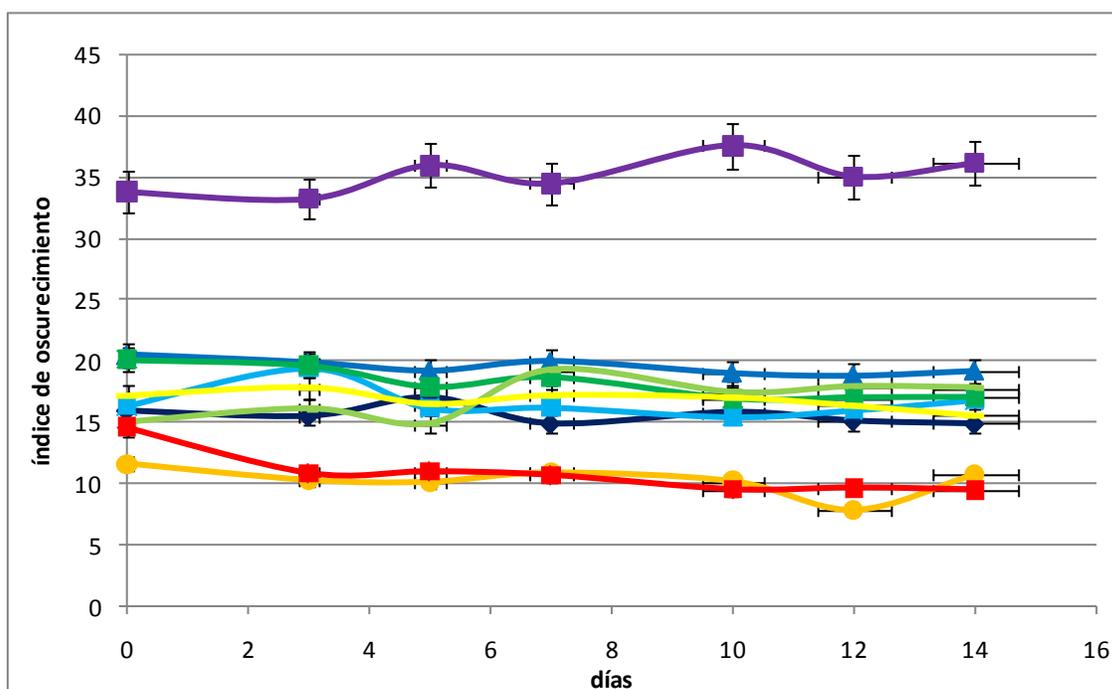


Fig.20 Desarrollo del índice de oscurecimiento durante almacenamiento. — control con ácido cítrico, — nanocápsulas sin ácido cítrico, — nanoemulsión sin ácido cítrico, — solución con ácido cítrico, — goma xantana, — solución sin ácido cítrico, — emulsión con ácido cítrico, — control, — emulsión sin ácido cítrico.

#### f) Luminosidad

En la figura 21, se observan las variaciones en la luminosidad con respecto a los 14 días de almacenamiento.

Como se puede ver el tratamiento que mayor pérdida de luminosidad mostro es aquel hecho a base de nanoemulsión con ácido cítrico con una disminución a partir del 7 día de almacenamiento.

En el caso del tratamiento hecho a base de goma xantana, se observa un efecto de conservación durante los 14 días de almacenamiento, asimismo, el tratamiento hecho con nanocápsulas de vitamina E presenta un ligero decremento a los 7 días.

Quevedo *et al.*, (2009) demostraron en rebanadas de manzana que a menor valor de luminosidad mayor es la rapidez con la cual el índice de oscurecimiento se está propagando a través del alimento y que a mayor valor de luminosidad menor es el valor de índice de oscurecimiento.

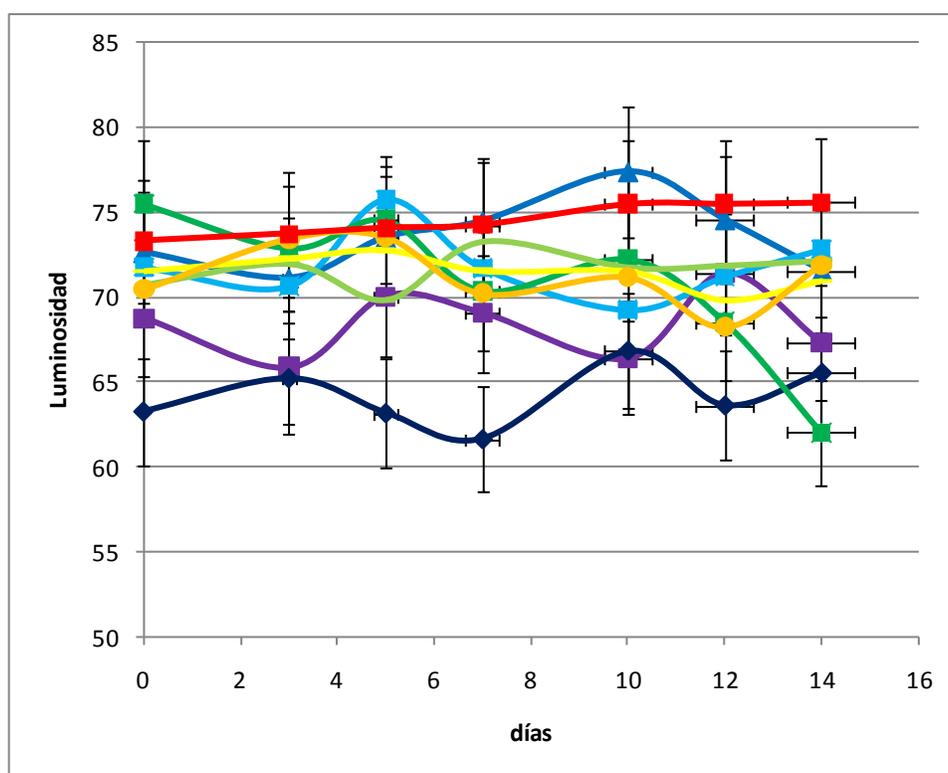


Fig.21 Comportamiento de Luminosidad de manzana tratada durante el almacenamiento.  
 —▲— solución con ácido cítrico, —●— emulsión sin ácido cítrico, —■— nanocápsulas sin ácido cítrico, —◆— emulsión con ácido cítrico, —▲— solución sin ácido cítrico, —■— goma xantana, —▲— control con ácido cítrico, —■— nanoemulsión sin ácido cítrico, —■— control.

### g) Textura

En la figura 22, se muestra la firmeza, ésta en la mayoría de los tratamientos se mantiene, salvo en el caso del control, ya que a partir del día 7 comienza a tener una menor oposición a la penetración, lo que indica que se ha perdido firmeza en el transcurso del almacenamiento.

Como lo mencionan Olivas *et al.*, (2007), el ablandamiento de las manzanas se atribuye más a la degradación de la pared celular, que se produce con la despolimerización de las sustancias pécticas que a una reducción en la turgencia de la fruta.

También se observa que la emulsión con ácido cítrico perdió textura a los 10 días, en ésta el reblandecimiento de la pared es más marcado en comparación con el blanco; Esto se explica debido a la acción de carbohidrasas producidas durante la maduración y la ausencia de calcio que provoca el ablandamiento, por el contrario la lignificación y la incorporación de calcio aumenta la dureza (Fenema, 2000).

Los tratamientos que mejor conservaron las características de la manzana recién cortada son aquellos hechos a base de nanocápsulas, emulsión con ácido cítrico, nanoemulsión, ya que en los tratamientos se mantuvieron sin variaciones en la firmeza por los 14 días de almacenamiento lo que es un parámetro indicativo que se conservaron las características deseadas en el producto.

Por otra parte en el caso de los tratamientos hechos de solución con ácido cítrico, y goma xantana se mantienen constantes los valores de la dureza después de los 10 días de almacenamiento.

Para manzanas sin recubrimiento, Rojas Graü *et al.*, (2007) obtuvieron un valor de 7.60 N pero para el caso de manzanas recubiertas con alginato y aceite de orégano se obtuvieron valores de 5.22N.

La firmeza o crujencia son generalmente deseados en las frutas frescas y mínimamente procesadas. La textura es un importante indicador de calidad para el calentamiento y cocción como lo menciona Lin y Zhao, (2007).

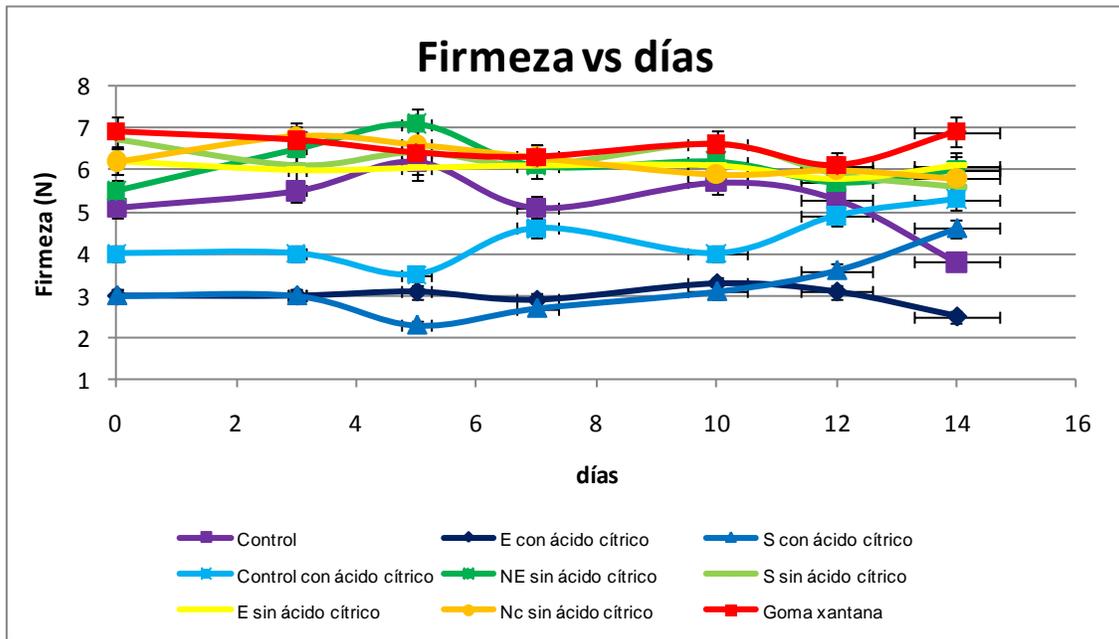


Fig.22 Firmeza después de 14 días de almacenamiento. ■ Control, ◆ emulsión con ácido cítrico, ■ nanoemulsión sin ácido cítrico, ■ control con ácido cítrico, ▲ solución con ácido cítrico, ■ nanocápsulas sin ácido cítrico, ▲ solución con ácido cítrico, ■ emulsión sin ácido cítrico, ■ goma xantana.

En la figura 23, se observan los cambios en firmeza de las muestras tratadas por inmersión en los diferentes sistemas, existiendo diferencia estadísticamente significativa en función al tratamiento y al tiempo de almacenamiento. Las manzanas control, mostraron los mayores cambios en la firmeza, disminuyendo de 6.2 a 2.8 N durante el almacenamiento refrigerado a 4 °C, seguidas por la solución y emulsión, no mostrando diferencia significativa entre sí, con una disminución de firmeza del 25 % con respecto a la condición inicial. Las muestras tratadas con solución que disminuyeron considerablemente su textura después de 3 días de almacenamiento y permaneciendo sin cambios hasta el día 9, para disminuir drásticamente a los 12 días.

En la nanoemulsión/goma con xantana los cambios en firmeza fueron paulatinos, teniendo un cambio de 0.13 N/día; también se resalta la firmeza de la manzana con goma xantana que disminuye su firmeza considerablemente (6.3 a 5 N) durante los primeros 3

días de almacenamiento y permaniendo prácticamente constantes y sin diferencia estadísticamente significativa a partir de 5 día de almacenamiento refrigerado.

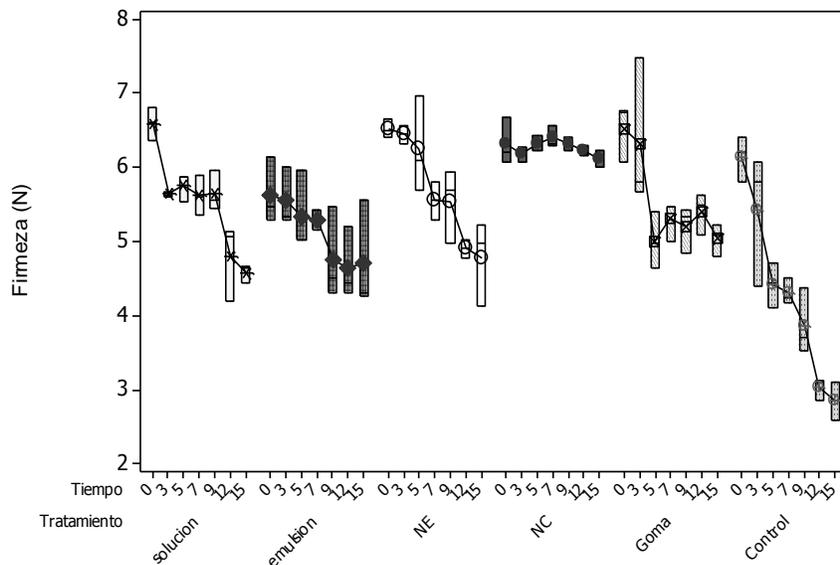


Fig.23 Comportamiento de la firmeza de manzana durante 14 días de almacenamiento

La hidrólisis enzimática de la pectina reduce las uniones intracelulares favoreciendo el ablandamiento tisular, por otra parte las células de la manzana está formada por cristales con una pequeña cantidad de celulosa en forma amorfa que aumenta la dureza (Fenema, 2000).

## CONCLUSIONES

El recubrimiento que mejor controló las características fisicoquímicas es el que está hecho a base de nanocápsulas de vitamina E, presentando un mayor beneficio en la conservación de manzana fresca cortada.

Las pérdidas de peso obtenidas con este tratamiento son menores al 1%, lo que indica que el producto presenta características apropiadas para su consumo ya que la bibliografía menciona que se acepta hasta un máximo de 5%.

Por otra parte también controla los cambios provocados por la acción de la polifenoloxidasas evidenciándose en el índice de oscurecimiento que permanecer en 10.7 durante todo el almacenamiento.

Es importante profundizar en el empleo de antioxidantes como recubrimientos, debido a los grandes beneficios que estos implican en la conservación de las características físicas y químicas de los productos alimenticios. Aunque a lo largo de la experimentación se presentó un efecto sinérgico entre los tratamientos con nanocápsulas con ácido cítrico y nanoemulsión con ácido cítrico, estos mostraban cambios inmediatos en la coloración del fruto provocando un aspecto poco agradable para su consumo.

Asimismo las micrografías obtenidas muestran que la infiltración de nanocápsulas en la pared celular de la manzana, es tal, que se observa la acumulación en los poros, ayudando en el control y retraso de los cambios ocurridos por la maduración.

De igual forma al realizar el método de emulsificación difusión se logra obtener tamaños de partícula de 300 nm con un valor de potencial zeta de 33 mV, esto hace mención a que la estabilidad del sistema está por encima de lo moderado (no aglomerados) sin ninguna tendencia a la separación de fases.

## BIBLIOGRAFIA

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist  
EUA.

Aguilar, Méndez. M.A. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate Tesis de Maestría en tecnología avanzada, IPN, Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada México.

Alvarez, Requejón. Sergio. (1988) El manzano. AEDOS Barcelona España, pp. 431.

Aranberri, B.P., Binks, J.H., Clint, P.D.I. Fletcher. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabiliza por polímeros y agentes tensioactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7: 211-231.

Avello, M., Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 494: 161-172.

Badui, Dergal. Salvador. (2006) Química de los alimentos. Pearson México, pp. 716.

Bouchemal, K. S., Briancon, E., Perrier, H. Fessi. (2004). Nano-emulsion formulation using spontaneous emulsification: solvent, oil and surfactant optimization. *International Journal of Pharmaceutics*, 280: 241-251.

Buchmann, W. (2003). Manual IKA ultra-turrax T 50 Basic. EQNET Staufen Suiza.  
Disponible en: <http://www.ikaprocess.hk>

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

Chaim, H. M., Soffer, T. (1996). Permeability of different wax coatings and their effect on citrus fruit quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44: 919-923.

Coles, R. (2004). El envasado de alimentos y bebidas: Estrategia, diseño y desarrollo. En Manual del envasado de alimentos y bebidas. Coles R. McDowell D. Kirwan.M. (eds.) Mundi prensa, pp. 17-43.

Desrosier, N. (1997). Conservación de alimentos. Continental México, pp. 468.

Díaz, Montenegro. D. (2002). Fisiología de árboles frutales. AGT editor México, pp. 389.

Embuscado, Milda E., Huber, Kerry. C. (2009). Edible films and coatings for food and applications. En: Edible films and coatings: Why, What, and How?. Pavlath Attila E., Orts William, (eds.). Springer, pp. 1-23.

Fenema, O. (2000). Química de los alimentos. Acribia España, pp. 1258.

Foladori, G., Invernizzi, N. (2008). *Nanotecnologías en la alimentación y agricultura*. Universidad de la republica Montevideo. Disponible en: <http://www.scribd.com>

Gasull, E., Becerra, D. (2006). Caracterización de polifenoloxidasas extraídas de pera (cv.Packam's Triumph) y manzana (cv.Red Delicious). *Información Tecnológica*, 17: 69-74.

Garmendia, G., Silvana, V. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura*, 197: 18-27.

Gorny, J.R. (2001). A summary of CA and MA requirements and recommendations for selected fresh-cut and vegetables. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/CARfreshcut>.

Hong, Wei. Wu., Hopkins, Warren. K. (1999). Characteristics of D- $\alpha$ - Tocopheryl PEG 1000 succinate for applications as an absorption enhancer in drug delivery systems. Disponible en: <http://www.eastman.com>

Kang, Hyung. S., Kwon, Sun. S., Kim, Bae. Hwan., Lee, Byung. Reul., Kang, Kye. Hong., Hong, Jong. Eoun., Han, Sang Hoon., Chang Ih. Seop. (2002). Nanoemulsion as a vitamin E acetate carrier to enhance infiltration into oral mucous membrane. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 8: 348-353.

Kirwan, M.J., Strawbridge, J.W. (2004). Los plásticos en el envasado de alimentos y bebidas. En: Manual del envasado de alimentos y bebidas. Coles R. McDowell D. Kirwan.M. (eds.) Mundi prensa, pp.175-218.

Lalatta, Filippo. (1999). Guía completa del cultivo de las manzanas. De Vecchi Barcelona España, pp. 123.

Leveas, J.Y., Bovix, M. (2002). Manual técnico de higiene, limpieza y desinfección Mundi prensa Madrid España, pp. 623.

Lin, D., Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6: 60-69.

Lobo, Gloria. M., González, Mónica. (2003). Productos hortícolas mínimamente procesados. Instituto canario de investigaciones agrarias Santa cruz Tenerife España, pp. 220.

Lee, Y.J., Park, J.H., Lee. Y.C., Choi, Y.W. (2003) Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensmittel- Wissenschaft und- Technologie*, 36: 323-329.

Manresa, G.A., Vicente, I. (2007). El color en la industria de los alimentos. Universitaria La Habana Cuba, pp. 65.

Mitcham, E., Crisosto, C., Kader, A. (2002). Postharvest Technology Research and Information Center. En línea. 1<sup>a</sup> ver. Universidad de California. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/favicon.ico>

Medeni, Maskan. (2001). Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 169-175.

Mendoza, Muños. N., Piñón, Segundo. E., Ganem, Quintanar. A., Quintanar, Guerrero. D. (2007). Preparación y evaluación in vitro de nanopartículas poliméricas biodegradables como agente de contraste para ultrasonido. *Revista especializada en ciencias Químico Biológicas*, 10:14-20.

Mora-Huertas, C.E., Fessi, H., Elaissari A. (2010). Polymer- based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 385: 113-142.

Muños, Delgado, José. (1985). Refrigeración y congelación de alimentos vegetales. Disponible en: <http://www.fen.org.es/imgPublicaciones/>

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

Pasquel, Antonio. (2001). Gomas: una aproximación a la industrial de los alimentos. *Revista amazónica de investigación alimentaria*, 1: 1-8.

Palma, Imma., Cantos, David., Farran, Andreu. (2008). Tablas de composición química de los alimentos por medidas caseras de consumo habitual en España. Mc Graw Hill España, pp. 297.

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

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

Quevedo, R., Jaramillo, M. Diaz, O., Pedreschi, F., Aguilera, Jose. M. (2009). Quantification of enzymatic browning in Apple slices applying the fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering*, 95: 285-290.

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

Quintanar-Guerrero, D., Allémann, E., Doelker, E., Fessi, H. (1998). Preparation and characterization of nanocapsules from preformed polymers by a new process based on emulsification-diffusion technique. *Pharmaceutical Research*, 15: 1056-1062.

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

Rojas, Graü. M., Raybaudi, Massilia. R., Soliva, Fortuny. R., Avena, Bustillos. R., McHugh, T., Belloso, Martín. 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.

Salager, L.J., Antón, R. (1998). Formulaci3n HLB, PIT, R de Winsor. Laboratorio FIRP. Escuela de ingeniería quí mica Universidad de los Andes, 2: 1-15.

Seipel, M., Pirovani, M.E., Güemes, Gariglio. N.F., Piagentini, A.M. (2009). Características fisicoquímicas de los frutos de tres variedades de manzanas cultivadas en la regi3n centro-este de la provincia de santa fe. *Revista de ciencias Agrarias y ciencias veterinarias*, 8: 27-36.

Solans, C., Izquierdo P., Nolla, J., Azemar, N., Garcia, Celma. M.J. (2005) Nano-emulsions. *Colloid and Interface Science*, 10: 102-110.

Soto, G., Yahia, E. (2002). Compuestos antioxidantes y tratamientos poscosecha. *Horticultura*, 160: 48-54.

Sozer, N., Kokini, J. (2008). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*, 27: 82-89.

Soliva, Fortuny. Robert., Grigelmo, M.N., Odrizalo, S.I., Gorinstein, S., Belloso, M.O. (2001). Browning evaluation of ready – to- eat apples as affected by modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 3685-3690.

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

Schramm, Laurier. L. (2005). Emulsions, foams, and suspensions fundamentals and Applications. Wiley-VCH Alemania, pp. 448.

Urzua Arellano Luis Armando (2009).La Nanotecnología. Disponible en : <http://es.scribd.com/doc/22864258/Nanotecnologia>

Wills, R.H., Lee, H.T., Mc Glasson, B.W., Hall G.E., Graham, D. (1977). Fisiología y manipulación de frutas y Hortalizas post-recolección. Acribia Zaragoza España, pp. 195.

Yuan, Y., Gao, Y., Mao, L., Zhao, J. (2008). Optimisation of conditions for the preparation of  $\beta$ - carotene nanoemulsions using response surface methodology. *Food Chemistry*, 107: 1300-1306.