



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**LIBERACIÓN DE  $\beta$ -CAROTENO NANOENCÁPSULADO EN MELÓN  
*CANTALOUPE* FRESCO CORTADO EN REFRIGERACIÓN.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**MARÍA ANTONIETA ROCHA VILLALPANDO**

**ASESORES: M. EN C. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**

**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



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

U. N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

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



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

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

Liberación de  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado en melón cantaloupe fresco cortado en refrigeración

Que presenta la pasante: María Antonieta Rocha Villalpando  
Con número de cuenta: 304806614 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"**  
Cuautitlán Izcallí, Méx. a 20 de junio de 2011.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE</b>	I.Q. José Oscar Germán Ibarra	
<b>VOCAL</b>	I.A. María Guadalupe López Franco	
<b>SECRETARIO</b>	M.C. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
<b>1er SUPLENTE</b>	I.A. Edgar F. Arechavaleta Vázquez	
<b>2do SUPLENTE</b>	I.A. María del Pilar Molina Rubio	

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

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

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres María de los Ángeles y Oscar por haberme dado la vida, por confiar en mí y por su apoyo incondicional en mi formación como persona y profesionalista. La culminación de este trabajo es un triunfo más suyo que mío que representa su esfuerzo, dedicación y sacrificios.

Gracias a mi hermano Oscar, por ser un ejemplo de lucha constante y a mis primos Fernando, Mary José, Ana Paula, Gala Inés, Raquel, Manolo, Alberto y Mona, sobre todo a David y Rosy por su tiempo, a mis Tíos: Alberto, Enrique y el apoyo de mi tío Ernesto, a mis Tías: Guadalupe, Cristy y Bety por sus consejos, y mi abue Angelita; quienes han sido y seguirán siendo una pieza importante en mi vida. ¡Gracias, los amo!

Gracias a la Profesora Luz Zambrano y el Dr. David Quintanar por su apoyo y dedicación en el desarrollo de este proyecto.

Gracias a la UNAM, por permitirme ser parte de ella y a todos los profesores de esta gran institución que fueron pieza importante en mi formación como profesionalista, gracias por compartir sus conocimientos, experiencias y principios. Gracias a los sinodales por dedicar parte de su tiempo a la revisión de este trabajo.

Gracias a Dios por otorgarme la fortaleza necesesaria y su guía en la culminación de esta etapa. Te agradezco haber puesto en mi camino personas maravillosas que me han brindado su apoyo, amistad, confianza, respeto y cariño.

*“Por mi raza hablará el espíritu.”  
José Vasconcelos (1882-1959)*

# ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I.....	14
1. ANTECEDENTES .....	14
1.1    Frescos cortados.....	14
1.2    Melón <i>cantaloupe</i> .....	19
1.3    Recubrimientos y películas comestibles .....	22
1.4    Importancia de los recubrimientos comestibles sobre la vida útil .....	23
Composición de los recubrimientos comestibles .....	23
Frutas y hortalizas enteras .....	28
Frutas y hortalizas frescas cortadas .....	30
1.5    Propiedades de los recubrimientos comestibles.....	32
Propiedades de barrera .....	32
Propiedades mecánicas.....	33
Propiedades de transporte.....	33
1.6    Nanotecnología en la Industria Alimentaria .....	33
Nanopartículas.....	35
Características de las nanopartículas .....	36
Preparación de Nanopartículas.....	37
1.7    Liberación controlada de activos .....	37
1.7.1 Clasificación de los sistemas de liberación modificada .....	37
Liberación controlada (controlled released).....	38
a)    Características de la liberación .....	40
b)    Características funcionales.....	41
c)    Características técnicas .....	41
1.7.2 Método <i>In Situ</i> .....	42

CAPÍTULO II.....	43
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL .....	43
2.1 Materiales.....	44
2.2 Caracterización de la cámara de almacenamiento .....	44
2.3 Preparación de Nanopartículas .....	44
2.4 Desarrollo de recubrimientos.....	45
2.5 Tamaño de partícula (Tp), índice de polidispersión (IPD) .....	45
2.6 Determinación del potencial zeta.....	45
2.7 Curva patrón del $\beta$ -caroteno .....	46
2.8 Morfología de nanopartículas .....	46
2.9 Preparación de las esferas de melón <i>cantaloupe</i> .....	46
2.10 Caracterización inicial de la materia prima. ....	47
2.11 Morfología del melón .....	47
2.12 Liberación de agentes activos .....	48
2.13 Velocidad de respiración .....	48
2.14 Determinación de color.....	49
CAPÍTULO III .....	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
3.1 Caracterización de las nanopartículas.....	51
3.2 Cambios en respiración durante el almacenamiento.....	52
3.3 Velocidad de respiración .....	55
3.4 Análisis de la morfología de las muestras por SEM.....	56
3.5 Liberación de nanocápsulas con $\beta$ -caroteno .....	57
3.6 Color .....	60
Conclusiones.....	63
Perspectivas .....	65
Bibliografía.....	66

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.- Diagrama de Bloques de las operaciones para obtener frescos cortados.....	16
Figura 2.- Melón <i>cantaloupe</i> .....	19
Figura 3.- Valor de Producción en miles de pesos (MDP) de melón <i>cantaloupe</i> (SAGARPA, 2010).....	19
Figura 4.- Producción del melón <i>cantaloupe</i> (SAGARPA, 2010). .....	20
Figura 5.- Representación de nanopartículas: a) Nanocapsula, b) Nanoesfera .....	35
Figura 6.- Representación de la bicapa eléctrica .....	36
Figura 7.- Diagrama que muestra los perfiles de liberación: A) Liberación simple, B) liberación prolongada, C) liberación múltiple y D) liberación controlada.....	38
Figura 8.- Etapas del procesado en fresco de esferas de melón <i>cantaloupe</i> : a) Selección, b) Formación de esferas de melón, C) Inmersión en sistemas nanoparticulados, d) Envasado y e) Almacenamiento en refrigeración 4°C. ....	47
Figura 9.- Liberación de $\beta$ -caroteno en ciclohexano. ....	48
Figura 10.- Oxygen Analyzer Modelo 905.....	48
Figura 11.- Representación de la adaptación del método de Briones y Aguilera, 2005. ....	50
Figura 12.- Intensidad de pico de la población del sistema nanoparticulado obtenido del Nanosizer N4 Coulter. ....	52
Figura 13.- Porcentaje de oxígeno consumido del melón <i>cantaloupe</i> fresco cortado. *Gx: goma xantana, NC's: nanocápsulas, Nesf: nanoesferas. ....	53
Figura 14.- Porcentaje de dióxido de carbono producido del melón <i>cantaloupe</i> fresco cortado. *Gx: goma xantana, NC's: nanocápsulas, Nesf: nanoesferas. ....	54
Figura 15.- Fotos tomadas por el microscopio SEM, a) melón sin recubrimiento, b) Nanocápsulas, c) Nanocápsulas con goma xantana, d) Nanoesferas y e) Nanoesferas con goma xantana. ....	56
Figura 16.- Perfiles de liberación de los sistemas nanoparticulados. ....	57
Figura 17.- Luminosidad "L" de las esferas de melón <i>cantaloupe</i> fresco cortado durante almacenamiento. ....	60
Figura 18.- Parámetro "a" representando el color rojo.....	60
Figura 19.- Parámetro "b" representa el color amarillo.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Tipos de Recubrimientos y películas comestibles. ....	25
Tabla 2.- Aditivos y ejemplos en recubrimientos y películas comestibles.....	30
Tabla 3.- Clasificación de sistemas de liberación .....	37
Tabla 4.- Promedios de tamaño de partícula e índice de polidispersión de Nanocápsulas y Nanoesferas. ....	51
Tabla 5.- Velocidad de respiración de los lotes (O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> ). ....	55
Tabla 6.- mg de β-caroteno encapsulados por área recubierta (cm <sup>2</sup> ). ....	57

## NOMENCLATURA

J: flujo de masa por unidad de área ( $\text{mol g} / \text{cm}^2 \text{ s}$ )

$(\delta\phi/\delta x)$ : gradiente de concentración ( $\text{mol}/\text{cm}$ )

D: Constante de proporcionalidad ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$r_{\text{CO}_2}$  y  $r_{\text{O}_2}$  representan la velocidad de respiración ( $\mu\text{l}/\text{Kg h}$ )

$(\text{O}_2)_{\text{in}}$  y  $(\text{CO}_2)_{\text{in}}$  son las concentraciones iniciales de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  (%)

$(\text{O}_2)_{\text{f}}$  y  $(\text{CO}_2)_{\text{f}}$  son las concentraciones finales de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  (%)

V es el volumen libre en el contenedor (ml)

M es la masa del producto (g)

$(t_{\text{f}} - t_{\text{in}})$  es la diferencia entre el tiempo final y el inicial (h)

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la liberación controlada de  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado, como recubrimiento comestible en melón cantaloupe fresco cortado en forma de esferas para contribuir a alargar la vida útil del melón. Se encapsuló el  $\beta$ -caroteno a través de la técnica de emulsificación-difusión, desarrollada por Quintanar-Guerrero, et al., 1998 y optimizado para activos alimenticios por Zambrano-Zaragoza et al., 2010. Se prepararon cuatro sistemas nanoparticulados: 1) nanocápsulas con  $\beta$ -caroteno, 2) nanocápsulas con  $\beta$ -caroteno dispersas en goma xantana (0.3%), 3) nanoesferas, y 4) nanoesferas en una dispersión de goma xantana (0.3%). Para los lotes control se utilizó una dispersión de goma sin sistema nanoparticulado y un control sin recubrimiento. Los lotes recubiertos, cuando el agente activo estaba nanoencapsulado, durante los primeros días de almacenamiento se observó una liberación constante, donde el antioxidante ayudó de manera significativa al mantenimiento de la calidad del fruto. El  $\beta$ -caroteno al final de la vida útil del melón se degradó por la exposición de luz, O<sub>2</sub> y su autoxidación; mientras que los demás lotes sin el antioxidante, no presentaron tal perfil, ya que solo se liberó el  $\beta$ -caroteno del melón. Cabe destacar que los recubrimientos con goma xantana formaron una doble capa semipermeable donde las nanocápsulas se encontraron dispersas y dentro de ésta, siendo una barrera protectora tanto para el melón como para la liberación del agente activo. De manera simultánea, se evaluó la respiración a través del método estático, donde se observó que los recubrimientos con sistemas nanoparticulados formaron una atmósfera modificada, disminuyendo la transpiración del melón fresco cortado y el intercambio gaseoso entre el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> dentro de los envases. Finalmente, se evaluó el color, por el método de Briones y Aguilera (2005), donde los parámetros, L, a y b, aumentaron durante los primeros días de almacenamiento refrigerado, debido a la absorción y el agua liberada de las células durante el procesado, posteriormente fue disminuyendo debido a las condiciones de almacenamiento y el comportamiento metabólico del melón bajo estos recubrimientos. En los últimos días de vida útil hubo un aumento de parámetros, por la formación de una costra a nivel superficial debido a la deshidratación por frío lo que provocó que los tejidos se compactaran. Con base en esto, la aplicación de recubrimientos comestibles con nanopartículas es un medio confiable para preservar el fruto fresco cortado, además de actuar como antioxidante da como resultado un alimento funcional benéfico para la salud.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la población mexicana busca consumir productos saludables, ya que debido a la falta de tiempo, sedentarismo o por la incorporación de la mujer en el mercado laboral; temas como obesidad, enfermedades cardiovasculares han aumentado. De acuerdo datos del ISSSTE, el 25% de los niños en el país han aumentado el índice de obesidad debido a las comidas chatarra y altamente industrializadas. La CONAPO destaca que entre las principales causas de muerte en México están:

- El 30% de la población, entre 20 y 69 años es hipertensa.
- 10% padece diabetes.
- 43% tiene el colesterol alto.
- 24.4% tiene problemas de sobrepeso (obesidad).

Una respuesta a la demanda de este tipo de productos son las frutas y hortalizas frescas cortadas, que abren un nuevo mercado a aquellas personas que buscan opciones de alimentos más saludables para sus familias. Ante ello, las áreas de innovación tecnológica y especialmente, en la producción de alimentos buscan conservar al máximo las características organolépticas del producto fresco.

Una opción para este grupo de consumidores se presenta con los frutos frescos cortados, que son aquellos que sufren alteración física de su forma original pero que mantienen las características del producto fresco. El proceso al que se les somete como pelado y cortado, destruye la barrera natural de protección del vegetal, favoreciendo la salida de nutrientes y la contaminación con microorganismos alterantes o patógenos. (Ancos et al., 2003). Los recubrimientos y películas comestibles son materiales que se utilizan para envolver o cubrir un alimento y que a su vez éste sea compatible con el mismo alimento con el objetivo de extender su vida útil y pueda ser consumido; constituyen una estrategia potencial para reducir los efectos perjudiciales que provoca el procesado mínimo en los tejidos vegetales, innovando un campo en el área de la conservación de frutas frescas cortadas.

Los recubrimientos y películas comestibles protegen de la pérdida de humedad, del intercambio de gases como oxígeno, dióxido de carbono y etileno, quienes se encuentran involucrados con el proceso de respiración (Embuscado y Huber, 2009). La importancia de los recubrimientos y películas comestibles recae en extender la vida útil postcosecha y la calidad del fruto, además de recubrirlo para retardar la pérdida de

humedad, es necesario que exista la permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono para evitar una respiración anaeróbica que podría inducir desordenes fisiológicos y una pérdida rápida de la calidad y vida útil en estos productos de corte fresco (Rojas-Graü, et al., 2006).

El principal objetivo de un recubrimiento es crear una barrera contra los gases y el vapor de agua, sin embargo otros de sus propósitos son: el transporte de aditivos para mejorar la textura, prevenir el crecimiento microbiano, antioxidantes, entre otros. Otra característica importante es el sinergismo que desarrolla cada recubrimiento de acuerdo a su formulación, otorgando propiedades únicas como por ejemplo de permeabilidad de gases, adhesión y cohesión entre el recubrimiento-fruto y liberación de activos al mismo tiempo, para cada caso particular.

Para complementar la conservación de productos frescos cortados se requiere el mantenimiento ininterrumpido de la cadena de refrigeración, desde la producción hasta el punto de venta. Un adecuado control a través de la cadena de frío reduce la proliferación microbiana aunque los microorganismos psicrótrofos podrían crecer e incluso producir la alteración y la consiguiente reducción de la vida útil del producto. Las propuestas más innovadoras para el envasado de estos productos en atmósfera modificada, van dirigidas al empleo de altas concentraciones de oxígeno, las cuales han demostrado tener un efecto beneficioso en la inhibición del pardeamiento enzimático y en el control de microorganismos en frutas frescas cortadas. Los efectos del envasado en atmósfera modificada o de los recubrimientos comestibles, se pueden mejorar mediante la incorporación de antioxidantes solos o en combinación con antimicrobianos y agentes estabilizadores de textura que permiten garantizar la seguridad y mejorar aspectos de calidad, tanto nutricional como sensorial del producto.

Hoy en día, la nanotecnología en el enfoque alimentario permitirá mejorar el valor nutricional de los productos y su absorción en el cuerpo, de forma que la biodisponibilidad y dispersión de los nutrientes de interés aumente.

Los sistemas nanoparticulados poseen matrices continuas que contienen disperso o disuelto el agente activo. Las nanocápsulas por ejemplo, están compuestas de un agente activo rodeadas por una capa actuando como recubrimiento o barrera de su difusión o dilución. Los sistemas nanoparticulados biodegradables son de gran interés porque no requieren de alguna intervención al liberar el activo. Nanocápsulas y nanoesferas

difieren en su perfil de liberación, nanoesferas encapsulan el agente activo con la matriz del polímero en una distribución uniforme, este tipo de matriz usualmente presenta el primer orden cinético. En las nanocápsulas, el agente activo está contenido en el núcleo y debe difundirse a través de la capa polimérica para ser liberado, esta morfología lleva al orden cero cinético de liberación (Villiers, 2009). La liberación controlada implica la regulación del repartimiento del agente activo a través de un dispositivo. El objetivo del control en la liberación es en una ruta específica por un periodo definido de tiempo independiente del medio en el que se encuentre. (Kewal, 2008). La liberación del activo se considera que es controlada y usualmente se describe por la primera y segunda Ley de Fick. La liberación depende de la difusión de los coeficientes de partición, solubilidad, el área de cobertura, espesor de la capa, formas geométricas del alimento, superficie de contacto y distribución; siendo estas últimas dos consideradas por Fick como las más importantes (Benita, 2006).

El presente trabajo se desglosó en tres capítulos, donde el primero contiene un compilado de investigación científica en el ámbito alimenticio abarcando desde los frescos cortados, recubrimientos comestibles sus funciones y propiedades, el melón *cantaloupe* y su producción en México durante los últimos años así como la nanotecnología, como está adquiriendo mayor importancia en el sector alimentario. El segundo capítulo fue la metodología que se desarrolló para llegar a los resultados descritos en el tercer capítulo donde el carácter comestible, la biodegradación y el aumento de la seguridad alimentaria son los tres principales beneficios de los recubrimientos comestibles altamente funcionales, sin costo ambiental y sin efectos adversos sobre la salud.

# CAPÍTULO I

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Frescos cortados

Los frutos frescos cortados son aquellos frutos que debido al pelado y el cortado al que son sometidos sufren alteración física de su forma original, manteniendo las características del producto fresco (Garret, 1999; Pilar et al, 2005). También se definen como frutas y hortalizas cortadas en fresco a aquellos productos que mantienen los atributos de calidad y frescura similar a los frutos enteros y que tan sólo han sufrido un procesado mínimo que incluye operaciones de lavado, selección, secado, pelado, cortado, envasado; resultando en un producto que es apto para consumo humano directo (Pérez-Gago, 2010).

En el mercado nacional se ha incrementado considerablemente el consumo de productos frescos cortados, ya que es una forma de incrementar el consumo de frutas y hortalizas de una forma atractiva conservando sus características sensoriales. Además en la actualidad el consumidor demanda alimentos saludables, convenientes y naturales que sean de preparación mínima, de tal manera que se ha incrementado la comercialización de estos productos.

Los cambios en los estilos de vida y el incremento en la necesidad por reducir el tiempo para preparar los alimentos, así como las nuevas costumbres de buena alimentación, han ocasionado un aumento en el consumo de alimentos listos para comer, en especial frutas y vegetales frescos. La forma tradicional actual de comercialización de los frutos y vegetales frescos, no es suficiente para satisfacer las necesidades de algunos grupos de consumidores en constante crecimiento que demandan productos de buena calidad y de rápido consumo. Dicha aceptación se da en gran medida por la conveniencia que presentan estos productos, seguida por los aspectos benéficos para la salud que provee el consumo de frutas y vegetales (González-Aguilar et al., 2004).

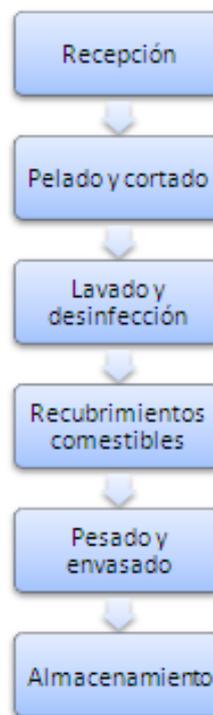
Uno de los factores importantes que ha influido en la demanda de dichos productos, es la incorporación de la mujer en el mercado laboral, lo que ha provocado un aumento de las comidas fuera del hogar y la búsqueda de alimentos listos para consumir, ahorrando tiempo y esfuerzo. El principal factor que promueve el desarrollo y el crecimiento de este tipo de mercados, es la necesidad continua del consumidor de adquirir productos que ofrezcan la conveniencia de platillos listos para consumir. El incremento en la demanda de estos productos ha movilizadado un sector muy importante de la industria de alimentos (Gonzales-Aguilar et al., 2004).

La alimentación variada, saludable y la actividad física son hábitos recomendables que contribuyen a disminuir el riesgo de contraer enfermedades como diabetes, algunos tipos de cáncer, afecciones cardiovasculares y obesidad en la población. Junto a estos cambios que implican modificar los hábitos de consumo, los productos frescos cortados que mantienen los atributos de calidad y las características organolépticas del producto original a lo largo de su vida útil, son seguros desde el punto de vista microbiológico, siendo una vía que satisface estas nuevas necesidades (Silveira et al., 2007).

Las frutas y hortalizas frescas cortadas se obtienen a través de diversas operaciones de preparación, tales como pelado, cortado, reducción de tamaño y envasado, incluyendo tratamientos químicos, cuya combinación puede ser sinérgica (Wiley, 1997). La elaboración de productos frescos cortados incluyen el envasado en atmósfera modificada así como el almacenamiento a temperaturas de entre 2 y 4°C, alcanzándose una vida útil de aproximadamente 7-10 días. Cada etapa del proceso de elaboración juega un papel importante en el control de los mecanismos de alteración de las frutas y hortalizas frescas, tales como la pérdida de agua, el oscurecimiento enzimático, el ablandamiento por ruptura de tejidos, un aumento en la tasa respiratoria con la consecuente producción de etileno, la aparición de olores y sabores desagradables y alteraciones microbianas. Esto asociado principalmente a que estos productos poseen pH ácidos ( $< 4.6$ ) y alta actividad de agua ( $> 0.85$ ), con lo que se favorece el crecimiento de microorganismos, principalmente mohos y levaduras propiciando la descomposición del producto con la consecuente disminución de la vida útil (Hodges and Toivonen, 2008). El crecimiento microbiano y el ablandamiento son los principales problemas que reducen la vida útil del melón fresco cortado, aunque otros factores como el estado de madurez y tipo de corte influyen de forma decisiva en la calidad final del producto (Aguayo et al., 2001). Estos fenómenos fisiológicos son responsables de

cambios bioquímicos que conllevan la degradación de las propiedades sensoriales de la fruta recién cortada. Encontrar métodos que ayuden a frenar el deterioro de estos productos constituye uno de los principales objetivos del sector. En este sentido, deben aplicarse técnicas de conservación que puedan prolongar la vida útil del producto, minimizando la modificación de sus características sensoriales y nutricionales. Actualmente, entre las principales técnicas en estudio se puede destacar el empleo de atmósferas modificadas, la aplicación de tratamientos con luz ultravioleta, la adición de agentes estabilizantes de color y textura, la aplicación de antimicrobianos o el uso de recubrimientos comestibles (Martín-Belloso et al., 2007).

Las operaciones de preparación para frescos cortados se resumen en la Figura 1:



**Figura 1.- Diagrama de Bloques de las operaciones para obtener frescos cortados.**

Recepción: Uno de los parámetros importantes a controlar para la conservación de fruta fresca cortada es la selección del estado de madurez, daños mecánicos y microbianos que pudiesen influir en la calidad del producto a obtener.

Pelado y cortado: Son operaciones exclusivamente de tipo mecánico. En algunos productos es necesario realizar un lavado y desinfección con agua clorada con concentraciones de 50 a 200 ppm. Éstas deben hacerse minimizando el impacto

mecánico sobre el producto, lo que depende directamente del tipo y precisión de los cortes realizados. Esto se consigue manteniendo los filos de corte tanto si las operaciones se realizan manualmente como de forma mecánica. El corte mecanizado es menos preciso que el manual y provoca mayor pérdida de fluidos de los tejidos, lo que favorece el crecimiento microbiano y desencadenamiento de reacciones de pérdida de calidad; pero su rendimiento y productividad son mucho mayores.

Lavado y desinfección: La desinfección del producto se consigue mediante el uso de agua clorada (50-150 ppm) con un pH inferior a 6.5, esta operación facilita el control de la carga microbiana durante el procesado y dilución de fluidos celulares liberados durante las etapas de corte.

Recubrimientos comestibles: Frenan las pérdidas de humedad, pero no deben de afectar el aroma y sabor ni cambiar significativamente las propiedades de un producto fresco cortado.

Pesado y envasado: El envasado suele realizarse en atmósferas modificadas activas o pasivas, según la actividad respiratoria del producto y la permeabilidad a los gases del material de envasado. Generalmente se requieren envases de plástico con baja permeabilidad al vapor de agua para mantener una alta humedad dentro del envase y evitar la pérdida de agua del producto, así como alta permeabilidad al oxígeno ( $O_2$ ) para reducir la posibilidad de crear condiciones anaerobias dentro del envase. Las bajas concentraciones de  $O_2$  junto con niveles altos de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) pueden favorecer la acumulación de compuestos indeseables como etanol o acetaldehído, que merman las características organolépticas de la fruta cortada.

Almacenamiento: Las condiciones de almacenamiento deben alcanzar una atmósfera estable en el interior de los envases con concentraciones bajas de  $O_2$  y moderadas de  $CO_2$ . Las bajas temperaturas de almacenamiento deben permitir la inhibición del desarrollo microbiano, en un rango de 1 y 5°C. Los cambios de temperatura ocasionan condensaciones en el interior del envase que favorecen la proliferación de microorganismos. En condiciones adecuadas alcanza una vida útil de 5 a 12 días. (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2005).

Una de las características importantes a resaltar en relación a las frutas frescas cortadas es que éstas deben de ser adquiridas con la seguridad de que son inocuas y se encuentran listas para el consumo.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que existen riesgos de contaminación con microorganismos en frutas frescas cortadas, por ejemplo, en el proceso al que se les somete como pelado, cortado (trozos, rodajas, tiras, cubos, entre otros), destruye la barrera natural de protección del vegetal, favoreciendo la salida de nutrientes y la contaminación con microorganismos alterantes o patógenos.

El perfeccionamiento en el diseño inteligente de combinaciones de distintas tecnologías de conservación o barreras adecuadas a cada tipo de alimento, como la selección del envase (permeabilidad, películas impregnadas con antimicrobianos) temperaturas y atmósferas modificadas óptimas, ha permitido prolongar la vida útil de las frutas frescas cortadas el tiempo suficiente para que no tenga lugar el crecimiento de algunos patógenos humanos que, en otras circunstancias, no hubieran podido alcanzar niveles infecciosos en tiempos de almacenamiento más cortos.

Durante el procesamiento de las frutas, la calidad del agua de lavado, la higiene (incluyendo la higiene de operarios, equipos y áreas) y el mantenimiento del producto a temperaturas de refrigeración, juegan un papel muy importante. La contaminación de las frutas frescas cortadas puede ocurrir en diferentes puntos de la cadena de procesamiento, considerándose como operaciones muy importantes, el lavado de las frutas (que reduce la carga microbiana que acompaña a la materia prima), el pelado y el cortado, que son procesos en los que el riesgo de contaminación por operarios o por equipos sucios, es mayor que cualquier otro (Tapia et al., 2005).

La elaboración, distribución y comercio de productos frescos cortados requiere el mantenimiento ininterrumpido de la cadena de refrigeración, desde la producción hasta el punto de venta. Un adecuado control a través de la cadena de frío reduce la proliferación microbiana, aunque los microorganismos psicrótrofos podrían crecer e incluso producir la alteración y la consiguiente reducción de la vida útil del producto. De este modo, para prevenir el crecimiento de microorganismos y el desarrollo de alteraciones microbiológicas en el producto final, se debe llevar a cabo un control de la microflora mediante una higiene muy estricta durante la manipulación de la fruta y el almacenamiento bajo atmósfera modificada en refrigeración (Rojas-Graü, 2006).

## 1.2 Melón *cantaloupe*

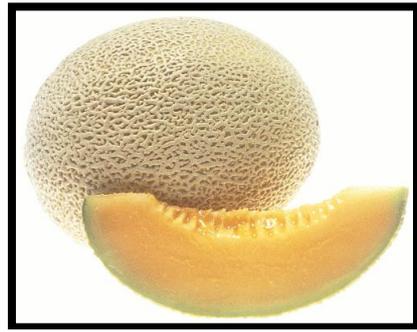


Figura 2.- Melón *cantaloupe*

El melón es una fruta originaria de África y Asia. En México se cultivan 13 variedades de melón, entre las que destacan se encuentran las de tipo *cantaloupe* (Figura 2) (chino, rugoso o reticulado) y Honey Dew (melón amarillo o gota de miel).

El melón ha sido un producto muy importante, tanto por ser generador de divisas para el país, como por ser una gran fuente de empleo y de ingresos para los productores mexicanos. Los estados productores de melón son: Baja California Norte, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas.

La Figura 3 muestra el valor en miles de pesos (MDP) de las producciones de melón *cantaloupe* durante los años 2003 al 2009.

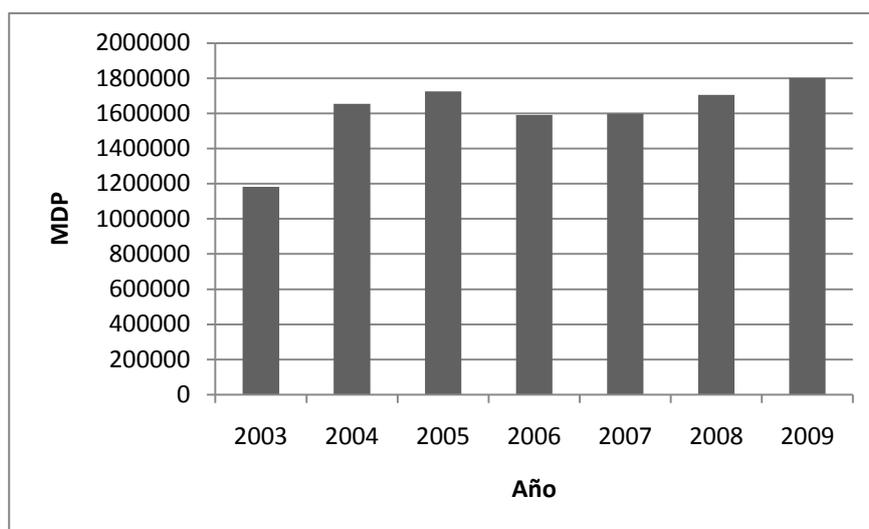


Figura 3.- Valor de Producción en miles de pesos (MDP) de melón *cantaloupe* (SAGARPA, 2010).

La siembra de melón en México se realiza durante todo el año. La duración del cultivo desde la siembra hasta la cosecha puede ser hasta de 90 días, la cosecha se estaría realizando en 60 días máximo. En Sonora, el período de siembra es del 25 de enero al 15 de marzo, algunos productores inician desde la primera semana de enero; las siembras que se dan entre el 5 y 10 de septiembre son más recomendables pero corren el riesgo de que se afecten con las heladas. Mientras que en la Región Lagunera la siembra se inicia en febrero y continua hasta el mes de mayo. Sin embargo, en Michoacán, la siembra, para el ciclo primavera-verano ocurre en dos fases: en octubre y en enero. En Sonora y Jalisco la cosecha inicia en octubre y termina en mayo; en la Región Lagunera inicia en mayo y termina en octubre (ASERCA, 2000).

La Figura 4 muestra la producción de melón del 2003 al 2009, como se puede observar la producción de melón se ha mantenido durante los últimos años.

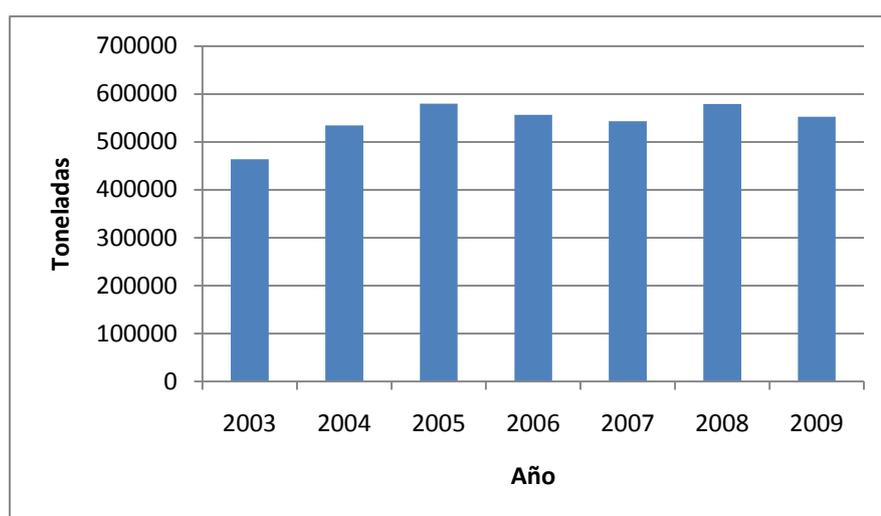


Figura 4.- Producción del melón *cantaloupe* (SAGARPA, 2010).

Los melones *cantaloupe* como fruta entera se cosechan por madurez y no por tamaño, existen tres índices de madurez: maduro fisiológicamente (inmaduro para consumo), maduro fisiológicamente (en proceso de maduración para consumo) y el maduro (con madurez de consumo). La calidad se distingue por no tener defectos en su superficie, firme, sin mallugaduras, cavidad interna firme, sin semillas desprendidas o acumulación de líquido, con un rango de grados Brix entre 9 y 11%. Su temperatura óptima de almacenamiento va de 2 a 5 °C conservando una vida útil de hasta 21 días. De 90-95%

de humedad relativa es esencial para la calidad y prevenir desecación. Son moderadamente sensibles al etileno (Suslow et al., 2000).

La cosecha en momentos inadecuados al proceso de maduración, exposición excesiva a lluvia, sequía o temperaturas extremas, la contaminación por microorganismos y daños físicos, causan pérdidas postcosecha que van desde el 15 hasta 50% de la producción destaca la FAO.

El melón fresco cortado comienza a ser un producto muy demandado en el mercado de las frutas y ensaladas preparadas. La elaboración de estos productos conlleva una serie de procesos que lesionan los tejidos, reduciendo la calidad y vida comercial. Factores como cultivar, variedad, estado de madurez y tipo de corte influyen de forma decisiva en la calidad final del producto. Actualmente, el mercado dispone de variedades de melón de corta (convencional), media y larga vida útil, pero se desconoce el comportamiento y aptitud de estas variedades frente al procesado en fresco.

En el melón *cantaloupe* fresco cortado sus contenidos de glucosa, fructuosa y sacarosa disminuyen durante el almacenamiento a 20°C, mientras que no se observan cambios significativos a 4°C, estudios en pera (Senesi et al., 1999) y manzanas frescas cortadas demuestran que el almacenamiento refrigerado del producto no afecta al contenido de azúcares (Bett et al., 2001). El contenido en ácido málico de melón *cantaloupe* fresco cortado se mantuvo durante 5 días de conservación a 4°C. En cambio, el ácido málico disminuyó considerablemente a 20°C, siendo el ácido láctico el predominante después de 2 días, debido a la fermentación malo-láctica llevada a cabo por bacterias lácticas (Lamikanra et al., 2000).

La modificación de la atmósfera interior de los envases es una tecnología de envasado en plena expansión, que permite alargar la vida útil de productos frescos cortados el período durante el cual el alimento mantiene las propiedades organolépticas. La modificación pasiva de la atmósfera consiste en la utilización de películas plásticas de diferente permeabilidad a los gases, para crear de forma pasiva una atmósfera modificada por efecto de la permeabilidad del envase, y la otra forma de mantener los atributos del producto se consigue mediante la sustitución mecánica del aire que rodea el producto por una mezcla de gases adecuada, de forma que esta vaya variando con el paso del tiempo en función de las necesidades y respuesta del producto (Day, 1996). Por ejemplo para el melón *cantaloupe* se requiere de 4kPa de O<sub>2</sub> y 10kPa de CO<sub>2</sub> (Bai et al.,

2001), para mantener sus propiedades organolépticas durante el almacenamiento refrigerado.

### **1.3 Recubrimientos y películas comestibles**

Un recubrimiento comestible es definido como una capa delgada de material comestible formado como un revestimiento sobre el alimento. Su uso sobre el tejido vegetal cortado produce una atmósfera modificada en el fruto que retrasa su deterioro y maduración, reduce la pérdida de agua, retarda los cambios de color, mejora la apariencia, disminuye la pérdida de aromas y puede servir como transporte de sustancias tales como antioxidante y estabilizantes de textura (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005).

Cualquier material utilizado para envolver o cubrir un alimento y que a su vez sea compatible con el mismo alimento para extender su vida útil y que se pueda consumir junto con él, se considera como un recubrimiento o película comestible (Embuscado y Huber, 2009).

Otra definición es una fina delgada aplicada a la superficie de un alimento. Su propósito es proveer una barrera contra la migración de humedad, aromas, lípidos, entre otros, aptos para transporte de ingredientes activos y para mantener la integridad del producto durante su manejo mecánico (Krochta, 1997).

La vida útil de los frescos cortados se define como el período donde el alimento no sólo es seguro para su consumo, sino que además posee la textura, sabor y apariencia después de haber sido removido de su ambiente natural; su respiración se encuentra bajo la influencia de la temperatura de almacenamiento y tipo de proceso al que fue sometido el producto.

#### **1.4 Importancia de los recubrimientos comestibles sobre la vida útil**

La importancia de los recubrimientos y películas comestibles recae en extender la vida útil postcosecha y la calidad del fruto; además de recubrir, es necesario que exista la permeabilidad al O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> para evitar una respiración anaeróbica que podría inducir desórdenes fisiológicos y una pérdida rápida de la calidad y vida útil en estos productos de corte fresco (Rojas-Graü, 2006).

Los recubrimientos se han estado utilizando para diferentes propósitos como por ejemplo: tenemos a las manzanas de los supermercados, su brillo no es de forma natural; algunos dulces donde su cobertura ayuda a extender su vida útil; existen medicamentos que están recubiertos para evitar el sabor desagradable al momento de tomarlos y sobre todo a su liberación controlada en el organismo.

Existen diversas maneras de recubrir el alimento: inmersión o creando una película conforme se va formando el producto final cubriendo totalmente la superficie de contacto. La manera más sencilla es directamente a través de una solución, el producto absorberá una considerable cantidad que cuando haya secado, se tendrá una capa protectora en la superficie del producto final. En algunos casos se le adiciona plastificante para evitar un recubrimiento quebradizo, como el glicerol, manitol, sorbitol y sucrosa.

#### **Composición de los recubrimientos comestibles**

Los componentes básicos de los alimentos son las proteínas, carbohidratos y lípidos. Como regla general, para la preparación de un recubrimiento se tiene que tomar en cuenta las propiedades que aportan los siguientes elementos: en el caso de un recubrimiento con base en lípidos, se utilizan para reducir la pérdida de agua; en el caso del recubrimiento con base en polisacáridos (alginato, carragenina, celulosa) son utilizados para el control del intercambio gaseoso mientras que los recubrimientos a base de proteínas (maíz, leche, soya) proveen de estabilidad mecánica.

Existen dos grandes grupos de materiales usualmente empleados en la elaboración de recubrimientos comestibles para frutas frescas cortadas: los polisacáridos y las proteínas. Entre los polisacáridos más empleados se encuentran: maltodextrina,

metilcelulosa, carboximetilcelulosa, quitosano, pectina, alginato y gelano (Díaz-Sobac et al., 2001; Turhan et al., 2001; Wong et al., 1994; Krochta y Mulder-Jonhson, 1997; Yang y Paulson, 2000; Pavlath et al., 1993; LeTien et al., 2001).

Para la formación de un recubrimiento comestible se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión. Con el fin de mejorar el intercambio de gases, la adherencia, y las propiedades de permeabilidad a la humedad; generalmente se combinan dos o más materiales, suelen realizarse mediante emulsión de uno de los componentes, generalmente un lípido, en el resto de los componentes.

Además del componente de naturaleza polimérica y de alto peso molecular (matriz), otro componente importante de los recubrimientos comestibles son los plastificantes (por ejemplo, el propilenglicol), que son moléculas pequeñas de bajo peso molecular, de baja volatilidad y con una naturaleza química similar a la del polímero formador de recubrimiento. Se usan para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos. También afectan la capacidad de atracción de agua del sistema y generalmente suelen aumentar la permeabilidad al O<sub>2</sub> de los recubrimientos comestibles.

La adición de surfactantes y emulsificantes reduce la actividad de agua superficial y la velocidad de pérdida de humedad de los alimentos recubiertos. Se pueden agregar también agentes de liberación controlada y lubricantes para prevenir que los alimentos recubiertos se hagan pegajosos; entre éstos se incluyen grasas y aceites (Rojas-Graü, 2006).

La gran demanda de incrementar la vida útil y el crecimiento microbiano de los frescos cortados ha llevado a desarrollar recubrimientos a base de polisacáridos, lípidos y/o proteínas. Estos materiales funcionan como barreras al vapor de agua, gases y otros solutos, y también pueden ser transportadores de ingredientes, incluyendo antioxidantes. Las frutas y hortalizas son tejidos vivos hasta el momento de ser cocinados o consumidos. Controlando la respiración de los tejidos y un ambiente adecuado se puede lograr alargar la vida útil del producto fresco cortado.

Varios polisacáridos han sido evaluados para su uso como películas y recubrimientos (Matuska et al., 2006; Olivas et al., 2007; Oms-Oliu, Soliva-Fortuny, y Martín-Belloso, 2008), incluyendo el almidón, dextrinas, celulosa y derivados, alginato, carragenina, xantana, quitosano, pectina y otros. La gran variedad de estos materiales promueve la

elaboración de recubrimientos únicos para cada necesidad del fresco cortado, incluye la adhesión, la permeabilidad al O<sub>2</sub>, flexibilidad, entre otras propiedades. Las gomas como la xantana proveen de un recubrimiento homogéneo y buena adhesión aún en superficies húmedas.

Estudios de Oms-Oliu, Soliva-Fortuny y Martín-Belloso (2007), sobre el efecto del alginato, pectina y gelana como recubrimiento sobre la vida útil del melón “piel de sapo” fresco cortado, incrementaron la resistencia al vapor de agua previniendo la deshidratación e inhibieron la producción de etileno a pesar que existió difusión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a través del recubrimiento. Los lotes con pectina fueron los que mostraron mantener mejor los atributos sensoriales. Otro ejemplo de la habilidad de recubrimientos a base de polisacáridos (almidón, carragenina y chitosano) para extender la vida útil de la fresa variedad “Fragaria ananassa” fue estudiar la combinación de éstos y sus efectos, donde el resultado fue el nulo cambio de color de manera significativa, mínima pérdida de firmeza con los recubrimientos de carragenina y cloruro de calcio, la pérdida de peso mínima que se registró fue con chitosano y carragenina, ambos con cloruro de calcio (Ribiero et al., 2007). También se han recubierto rebanadas de mango con chitosano retardando la pérdida de agua, inhibe el crecimiento microbiano y por lo tanto alarga la vida útil y su calidad (Chien et al., 2007).

Además de poseer propiedades de barrera, las gomas ayudan como transporte de aditivos: antioxidante y nutriente (Ponce et al., 2008, Geraldine et al., 2008; Pérez-Gago et al., 2006; Uquiche et al., 2002).

**Tabla 1.- Tipos de Recubrimientos y películas comestibles.**

<b>POLISACÁRIDOS</b>		
Quitosano	Proveniente de los invertebrados marinos derivado del quitina, no es soluble en agua, para ser utilizado como recubrimiento	Ribiero et al., 2007. Chien et al., 2007.

	debe ser utilizado con un ácido orgánico débil (ácido acético); como recubrimiento o película comestible ha mostrado buenos resultados incrementando la vida útil, preservando la calidad a través de la disminución de la respiración, también inhibiendo el crecimiento microbiano	
Almidón Base de almidón: dextrina y maltodextrina	Abundante polisacárido compuesto por dos macromoléculas, amilosa (lineal) y amilopectina (ramificada), obtenido de cereales, legumbres y tubérculos. Los recubrimientos formados son quebradizos y tienen propiedades mecánicas deficientes. Para productos cárnicos, actúa como barrera para dulces o cacahuates con cubiertas, además de extender la vida útil, es la barrera entre el O <sub>2</sub> en la atmósfera y el producto.	Bierhals et al., 2011.
Celulosa	El polímero insoluble en agua y está asociado con la formación de cristales. Sin embargo, sus derivados como carboximetilcelulosa (CMC), hidroxipropilcelulosa (HPC) e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) han demostrado tener las características apropiadas para recubrir uniformemente.	Uquiche et al., 2002. Mya et al., 2006.
Alginato	Es la sal sódica del ácido alginico, éste forma películas fuertes, traslúcidas y brillantes.	Oms-Oliu, Soliva-Fortuny, y Martín-Belloso, 2008. Olivas et al., 2007.

<b>PROTEÍNAS</b>		
Zeína	Compuesto de prolaminas que se encuentran en el endospermo, posee color amarillo, ayuda a evitar la pérdida de peso durante el almacenamiento.	Ahmed et al., 2011.
Proteínas de soya, gluten y suero	Posee propiedades de barrera para O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> , gluten de trigo ayuda a preservar la calidad de frutas y hortalizas. Las proteínas de soya, sus propiedades son muy similares a las de los recubrimientos de trigo.	Nortjé et al., 2006.
Suero	Las proteínas de leche contienen 20% de proteína de suero, siendo $\beta$ -lactoglobulina el principal componente, es soluble en agua, otras de sus propiedades es que es traslucido y flexible el recubrimiento además de ser un excelente barrera de O <sub>2</sub> y aroma a baja humedad relativa.	Pérez-Gago et al., 2006.
<b>LÍPIDOS</b>		
Cera de carnauba	Cera vegetal, relativamente permeable a los gases, y en microemulsión es brillante, pierde brillo durante el almacenamiento, barrera contra el vapor de agua, y en combinación con shellac da una apariencia brillante.	Bravin et al., 2006.
Cera de abeja	En combinación con almidón ayuda a disminuir la permeabilidad al vapor de agua e incrementar la transferencia de O <sub>2</sub> en concentraciones mayores del 30%.	Pérez-Gago et al., 2006.

### **Frutas y hortalizas enteras**

Los recubrimientos comestibles para frutas frescas cortadas, han demostrado ser una barrera semipermeable a gases y vapor de agua, manteniendo la calidad del producto y como transportadores de aditivos para ayudar a preservar la calidad. La aplicación de los recubrimientos se basa en envolver la superficie del alimento, mientras que las películas comestibles lo envuelven. El propósito de los recubrimientos y películas comestibles para frutas y hortalizas es retardar la senescencia, transferencia de gas, vapores volátiles, que por el resultado de una nueva atmósfera modificada la respiración disminuye.

**El etileno:** es una hormona producida por las frutas y hortalizas cuando están bajo stress. El etileno se desencadena cuando las frutas y hortalizas son procesadas, y es parcialmente el responsable de los cambios de sabor, color y textura. Las atmósferas controladas o modificadas pueden disminuir la producción de etileno durante el almacenamiento para preservar la calidad por más tiempo.

**Pérdida de agua:** la humedad se pierde durante la transpiración cuando el agua se convierte de líquido a gas. Antes de la cosecha la pérdida de agua se recupera a través de las raíces, una vez cosechada y después de haber sido procesadas rehidratarla es imposible. Cuando se pierde agua, se altera la firmeza, iniciando actividades enzimáticas, reduciendo sabor y aroma, el valor nutricional también se ve afectado, incrementa el daño por frío, todo esto como resultado de la senescencia, como ejemplo tenemos que las manzanas y naranjas toleran una pérdida de agua del 5%, mientras que la calabaza y apio el 10% (Kays y Paull, 2004).

**Respiración:** las reacciones enzimáticas ocurren durante la respiración donde el O<sub>2</sub> es consumido y el CO<sub>2</sub> es producido, el calor y energía son liberados. La respiración misma está influenciada por la temperatura, humedad y composición del gas. Cuando la concentración de O<sub>2</sub> decae, comienza la respiración anaerobia en la cual trae consigo la producción de etanol, produciendo un sabor a fermentación.

Las películas y recubrimientos comestibles, al ser biodegradables representan una alternativa de empaque sin costos ambientales y sin efectos adversos sobre la salud. El carácter comestible, la degradación y el aumento de la seguridad alimentaria son los tres principales beneficios de las películas comestibles altamente funcionales. Un

polisacárido que presenta propiedades atractivas para su utilización como base para los recubrimientos comestibles, es el quitosano. Este biopolímero presenta actividad antibacteriana y antifúngica, es biocompatible, biodegradable y no tóxico (Shahidi et al., 1999). Las cubiertas de quitosano han sido utilizadas como alternativa de control contra el *penicillium italicum* en manzanas. Asimismo, se ha comprobado la eficacia de recubrimientos a base de quitosano en el aumento de la vida útil postcosecha de diferentes frutas, como las uvas (Romanazzi et al., 2007), papaya (Bautista-Baños et al., 2003) y fresas (Hernández-Muñoz et al., 2006).

En general, los recubrimientos con ceras o materiales sintéticos comestibles se utilizan para crear un microempaque de la fruta y evitar pérdidas de peso y de humedad por transpiración, durante el almacenamiento. En otros casos, los recubrimientos pueden ser acarreadores de colorantes, como en el caso de las naranjas, agentes fungicidas y retardadores de la senescencia. Estos materiales deben reunir los requerimientos de la legislación sanitaria vigente, especialmente la de aditivos, en el país de origen o destino, en donde se vaya a consumir el alimento. Los recubrimientos se aplican por inmersión, aspersión o rociado, nebulización y por aplicación con cepillos impregnados en las soluciones, normalmente seguido en aire caliente y cepillado rotatorio para su acabado más atractivo (Barreiro, 2006).

Se han usado recubrimientos a base de polisacáridos en manzanas, debido a sus propiedades de barrera contra los gases y vapor de agua y su habilidad para servir como medio de transporte de agentes antioxidantes y antimicrobianos, se encontró que las manzanas frescas cortadas se pueden conservar de forma adecuada mediante el uso combinado de sustancias de origen natural y recubrimientos comestibles de base polisacárido, los cuales permiten retrasar de manera efectiva la pérdida de calidad inducidos por las operaciones de procesado (Rojas-Graü, 2006).

Se han aplicado ceras comerciales (cera de abeja, candelilla, carnauba y shellac) en frutos de mango de los cultivares palmer y keitt, mangifera india L., para prolongar su vida en almacenamiento (Zambrano et al., 1995).

### **Frutas y hortalizas frescas cortadas**

Para el caso de los frescos cortados el epicarpio es quien protege al fruto contra la pérdida de agua y la invasión patógena, además de ser una barrera contra gases. No sólo durante el procesado se lastiman las células expuestas sino que también las internas del tejido, incrementando el daño.

**Producción de etileno:** Existe un incremento en la producción de etileno cuando se ha generado algún daño tisular, en los frescos cortados depende en gran medida del grado de madurez en el cual fue cortado. Durante las operaciones de procesado, la pérdida de agua incrementa con la transpiración por la exposición del tejido sin el epicarpio, con la pérdida de agua igualmente se va perdiendo la firmeza y la turgencia. Una vez que es procesado el fresco cortado es más propenso a la senescencia, reduciendo el sabor, aroma, valor nutricional, sensible a daños por frío y a la invasión patógena. (Sams, 1999). Por otro lado, el oscurecimiento enzimático, es un problema que se da principalmente en frutas como manzana, plátanos, duraznos y también en hortalizas como papas y lechuga (Sapers, 1993). Cuando el epicarpio es removido, los frutos son susceptibles al daño microbiológico, debido a su superficie con azúcares, proteínas y humedad principalmente, siendo condiciones ideales para el crecimiento microbiano.

El principal objetivo de un recubrimiento es crear una barrera contra los gases y el vapor de agua; sin embargo, otro de sus propósitos es ser el transporte de aditivos para mejorar la textura, prevenir el crecimiento microbiano, antioxidantes entre otros; ejemplos de éstos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.- Aditivos y ejemplos en recubrimientos y películas comestibles.**

<b>Aditivos</b>	<b>Ejemplos</b>
Componentes antioscurecimiento	Ácido ascórbico
Agentes antimicrobios	Sorbato de potasio
Textura	Cloruro de calcio
Nutrientes	Vitaminas (E)
Precursores de aroma	Ácido linoléico
Probióticos	<i>B. lactis</i>
Sabores y colorantes	Puré de manzana

Además de las mismas propiedades que proporcionan los recubrimientos y películas comestibles, éstas dependen de condiciones externas como: temperatura de almacenamiento, humedad relativa, características del producto, variedad, madurez y actividad de agua. Cuando es aplicado un recubrimiento o película comestible comienza a formarse una atmósfera modificada, se reduce el O<sub>2</sub> interno e incrementa el CO<sub>2</sub>. La respiración involucra el intercambio gaseoso de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, vapor de agua y otros compuestos metabólicos como etileno y compuestos volátiles, todos éstos se involucran durante el almacenamiento.

Las frutas y hortalizas intercambian gases con su ambiente a través de un fenómeno llamado difusión de gas. La difusión de gas es un transporte pasivo, donde la energía de libre de Gibbs es minimizada a través de la transferencia de masa de una región con alta concentración a otra de baja concentración con el mismo componente o agente activo. Durante este proceso la interface entre estas dos regiones (epicarpio y el recubrimiento) puede presentar cierta resistencia a la transferencia de masa, afectando la ruta misma. A menos que dicha interface en el sistema completamente cerrado a la transferencia, la difusión actúe hasta llegar a un equilibrio, es decir, que conduzca a una concentración uniforme anulando el gradiente de concentración. La transferencia de masa en una dirección, puede ser descrita matemáticamente por la primera ley de Fick, donde el flujo difusivo que atraviesa una superficie (J), es directamente proporcional al gradiente de concentración ( $\delta\phi/\delta x$ ), multiplicado por el coeficiente de difusión (D) (que representa la constante de proporcionalidad entre el flujo de masa y el gradiente de concentración).

$$J = D \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (1)$$

Las películas y recubrimientos comestibles están compuestos por hidrocoloides, que consisten en polisacáridos o proteínas, o compuestos hidrofóbicos (lípidos o ceras). Y también pueden estar compuestos por mezclas de estos componentes.

## **1.5 Propiedades de los recubrimientos comestibles**

Para una mejor comprensión de las propiedades de los recubrimientos comestibles, éstas se dividen en tres: de barrera, las mecánicas y de transporte; su importancia radica en el sinergismo que desarrolla cada recubrimiento de acuerdo a su formulación, otorgando propiedades únicas, como por ejemplo de permeabilidad de gases, adhesión y cohesión entre el recubrimiento-fruto y liberación de activos al mismo tiempo, para cada caso de fresco cortado en cuestión.

### **Propiedades de barrera**

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de los recubrimientos comestibles es la resistencia a la migración de humedad (Kester y Fennema, 1986). La deshidratación superficial, la pérdida de agua de los frescos cortados se traduce en una pérdida de peso y de firmeza del producto con la consecuente disminución de la calidad durante su comercialización (Embuscado y Huber, 2009). Los recubrimientos a base de polisacáridos y proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica, como permeabilidad al vapor de agua, de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) y compuestos volátiles. Los recubrimientos a base de proteínas no son los más aptos para actuar como barrera contra la humedad como en el caso de lípidos.

Las condiciones de almacenamiento pueden afectar significativamente la permeabilidad del vapor de agua, en general, una alta humedad relativa (90% HR) y bajas temperaturas de almacenamiento ( $-30^\circ C$ ) promueven el vapor de agua. Por ejemplo, aumentar el gradiente de humedad relativa a una temperatura constante, incrementa la transferencia de humedad a través de los recubrimientos basados en hidroxipropil metilcelulosa, ácido esteárico y palmítico. Los lípidos tienen baja afinidad por el agua, lo que reduce la permeabilidad del vapor de agua en recubrimientos.

Para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de este tipo de recubrimientos se pueden incorporar lípidos en su formulación, que emulsificados en la solución formará una doble capa sobre el fresco cortado. De esta manera se pueden formular recubrimientos comestibles combinando las ventajas de los componentes hidrocóloides y de los componentes lipídicos (Kester y Fennema, 1986) (Raybaudi-Massilia, Mosqueda-Melgar, y Martín-Belloso, 2008; Rojas-Graü et al., 2007).

### **Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles dependen en gran medida del tipo de material empleado en su elaboración y especialmente de su grado de cohesión, es decir, la habilidad del polímero para formar puentes moleculares numerosos y estables entre cadenas poliméricas, los cuales impiden su separación. El recubrimiento comestible empleado en la superficie del fruto fresco cortado desarrolla dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y el fruto. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie del fruto (Martínez-Romero et al., 2006; Fisk et al., 2008).

### **Propiedades de transporte**

Las películas y recubrimientos comestibles pueden mantener y liberar ciertas concentraciones de color, sabor, aroma además de las propiedades que poseen y promover el valor nutricional. En la adición de aditivos el recubrimiento, se debe de tener en cuenta las propiedades básicas de transporte (barreras y mecánicas). Los antioxidantes son usados para proteger contra la oxidación, rancidez, degradación y oscurecimiento enzimático en frutas y hortalizas. Además de las propiedades físicas y químicas realizadas por la calidad, los recubrimientos y las películas comestibles contribuyen a una mejor calidad visual, superficie suave, color y en adición para transportar varios agentes activos como emulsificantes, antioxidantes, antimicrobianos, nutracéuticos, sabores y colorantes. Recubrimientos y películas multifuncionales pueden ser utilizados con un valor agregado, para medicina, productos farmacéuticos, nutracéuticos y productos perecederos (Ponce et al., 2008; Oms-Oliu, Soliva-Fortuny, y Martín-Belloso, 2008).

## **1.6 Nanotecnología en la Industria Alimentaria**

La nanotecnología es un área multidisciplinaria que consiste en la creación y utilización de materiales, dispositivos o sistemas de escala nanométrica (Mendoza, 2006; Pray and Yanktine, 2009). Los principales componentes de los alimentos son las proteínas, carbohidratos y lípidos, además todos son considerados como nano-sustancias (Chaudhry et al., 2010).

La nanotecnología en el mundo alimentario, tiene su aplicación en áreas como la calidad y la seguridad alimentaria, el desarrollo de nuevos productos y el envasado. Ésta aporta

propiedades funcionales mejoradas, por ejemplo, qué alimentos con bajo contenido en sodio den un sabor salado. También puede contribuir a la mejora en el control de calidad de espumas y emulsiones. La formación de nanopartículas, nanoemulsiones y nanocápsulas, permitirá mejorar el valor nutricional de los productos, beneficiando su absorción en el cuerpo, de forma que la biodisponibilidad y dispersión de los nutrientes de interés aumente.

Esta ciencia tiene la capacidad de medir, modelar y controlar materiales pequeños a niveles atómicos y moleculares. También se apunta a cuatro áreas en las que la nanotecnología tendrá una implementación comercial en los próximos seis años: a) envases inteligentes que reaccionan con el ambiente, b) nanodispositivos para la seguridad alimentaria que detectarán contaminantes, c) ingredientes y d) aditivos. Otra área de la nanotecnología en la industria alimentaria es en la nanoencapsulación de aditivos, este tipo de aplicación va dirigido a productos “sanos”, preservando color, sabores, conservadores y suplementos. La ventaja es una mejor dispersión de los insolubles en agua de sus aditivos sin el uso de un lípido o surfactante, mejorando el sabor y percepción. En el sector de algunos consumidores de productos con nanopartículas en forma de aditivos se encuentran en suplementos, minerales, vitaminas, antioxidantes y nutraceuticos (Chaudhry et al., 2010).

La aplicación de la nanotecnología en el campo de la alimentación permite la elaboración de alimentos más saludables, más resistentes y de mayor durabilidad. La nanotecnología está adquiriendo cada vez más importancia y debido a sus numerosas y diversas aplicaciones en esta área seguirá avanzando. Esto ocurrirá mejorando la calidad y seguridad alimentaria, control de procesos como la determinación de azúcares, alcoholes, aminoácidos, ácidos orgánicos, entre otros. También propicia el aseguramiento de alimentos más saludables, nutritivos y/o con mejores características organolépticas. Otras aplicaciones de la nanotecnología se refieren a la fabricación de pan de caja con omega-3 procedente de pescado, a la mejora de textura de productos lácteos, como el queso, y al control de los olores de los alimentos. (Almengor, 2009).

Nanopartículas pueden ser utilizadas como componentes bioactivos en alimentos funcionales, los componentes bioactivos que pueden ser encontrados de manera natural en alimentos poseen beneficios fisiológicos y ayudan a reducir el riesgo de diversas enfermedades, incluyendo el cáncer. Reduciendo el tamaño de partícula, la nanotecnología contribuye a mejorar las propiedades de los componentes bioactivos,

como liberación de los componentes, solubilidad, prolongar el tiempo de residencia en el tracto digestivo y la efectiva absorción a través de las células. Omega 3 y omega 6, probióticos, vitaminas y minerales han encontrado su aplicación en el sector alimenticio como componentes bioactivos. Algunos ejemplos del uso de la nanotecnología en productos alimenticios se encuentra en los aceites de cocina que contienen nutraceuticos en nanocapsulas, nanoencapsulando sabores y nanopartículas que poseen la habilidad de seleccionar y remover ciertos químicos del alimento (Sozer y Kokini, 2009).

### **Nanopartículas**

El término nanopartículas es comúnmente usado para definir partículas coloidales sólidas, que tienen un tamaño de entre 10 a 1000 nm; las cuales dependiendo del método de preparación, pueden ser nanocapsulas (NC's) o nanoesferas (Nesf's) (ver Figura 5). Las NC's son sistemas vesiculares en los cuales el material a encapsular es confinado en la cavidad rodeada por una membrana polimérica, son atractivas por su cavidad central, basada en aceite, la cual permite un alto nivel de encapsulación para sustancias lipofílicas, por otra parte las Nesf's están formadas por una matriz polimérica densa en la cual el material atrapado se encuentra disperso (Quintanar-Guerrero, et al., 1998).



**Figura 5.- Representación de nanopartículas: a) Nanocapsula, b) Nanoesfera**

### Características de las nanopartículas

El tamaño y su distribución son características importantes de los sistemas nanoparticulados, debido a que determinan sus características y su interacción con los sistemas biológicos, incluyendo su capacidad de transporte y toxicidad; además de influenciar en la carga del agente activo y la estabilidad de las nanopartículas formadas. La liberación del agente activo es afectada por el tamaño, esto se debe a que las partículas pequeñas tienen gran área superficial, lo que facilita una rápida liberación a diferencia de partículas grandes que poseen un mayor núcleo por lo que la difusión del activo será lenta. Las cargas superficiales influyen en la distribución de las cargas (iones) alrededor de la partícula, desarrollando un campo eléctrico conformado por una carga circundante formado por una región interior, donde los iones se encuentran fuertemente enlazados (capa de Stern)(ver Figura 6) y una región donde los iones están menos enlazados (capa difusa) (Mendoza, 2006).

Las cargas eléctricas tienen un papel importante en la determinación de la interacción de las partículas, resultando en la estabilidad física de la dispersión coloidal.

El potencial zeta de una partícula es utilizado para caracterizar la carga de la superficie; éste refleja el potencial de las partículas y es influenciado por la composición de la matriz y por el medio en el que son dispersadas. Las nanopartículas con potencial zeta entre (+/-) 30mV son estables en suspensión y la carga en la superficie previene la agregación de las partículas, y puede ser usado para determinar si un material con carga activa se encuentra encapsulado en el centro de una nanopartícula o absorbido en la superficie (Dzioba, 1999).

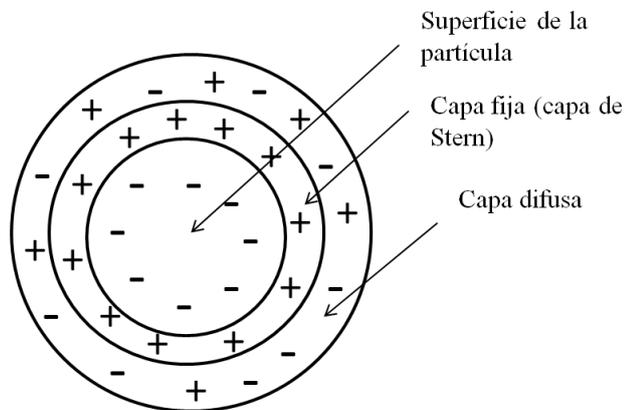


Figura 6.- Representación de la bicapa eléctrica

## Preparación de Nanopartículas

Los métodos de preparación de nanopartículas pueden ser clasificados en dos grandes categorías: polimerización y emulsificación de monómeros y dispersión de un polímero preformado. Este último involucra una solución orgánica que contiene los componentes de las nanopartículas, que funciona como una fase interna durante la preparación y una solución acuosa que contiene un estabilizante y que contiene el medio de dispersión de las nanopartículas. Este método involucra el uso de solventes parcialmente miscibles en agua (como son alcohol bencílico y acetato de etilo), los cuales son previamente saturados con agua para asegurar un equilibrio termodinámico de ambos líquidos. El polímero es disuelto en el solvente saturado con agua el cual se emulsifica por agitación con el agua saturada con el solvente que ya contiene un estabilizante. Después de este paso se agrega agua sin saturar en el sistema, con lo que el solvente difunde hacia la fase externa formando se forman las nanopartículas del polímero (Quintanar-Guerrero et al., 1998).

### 1.7 Liberación controlada de activos

#### 1.7.1 Clasificación de los sistemas de liberación modificada

Estos sistemas denominados como liberación modificada se asocian con la idea de que son sistemas de liberación lenta, retardada, prolongada, entre otros; como muestra la Tabla 3.

**Tabla 3.- Clasificación de sistemas de liberación**

<b>Liberación retardada</b>	
<b>Liberación prolongada</b>	Liberación controlada
<b>Otros tipos de liberación</b>	Liberación repetida Liberación lenta Liberación específica en un sitio

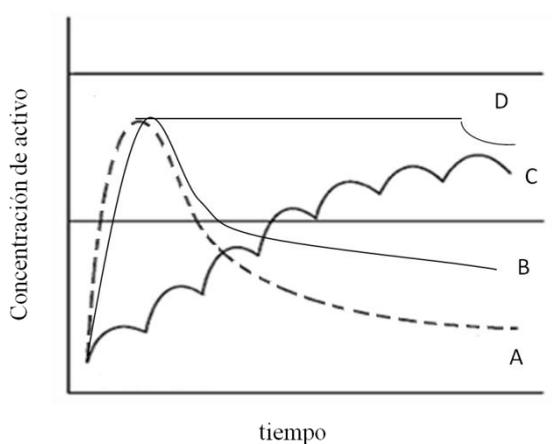
La liberación prolongada, es cualquier sistema o dispositivo de activos que logre una liberación del activo a lo largo de un periodo prolongado, dependiendo de ciertas características que se mencionaran más adelante.

Prolongada o extendida puede presentarse en dos modalidades: a) más lenta que en los casos de liberación inmediata y b) la liberación se modula de tal forma que se mantienen constantes en el tiempo los niveles. El objetivo es prolongar el tiempo de duración de la acción, pudiendo ocurrir desde unos cuantos minutos hasta varios días.

### **Liberación controlada (controlled released)**

Se refiere a la terminología adoptada por la FDA (Food Drug Administration), para definir aquellos sistemas de liberación de activos en los que se modifica su velocidad de la liberación y/o el lugar donde se liberan.

Un recubrimiento de acción controlada contiene mayor cantidad de activo que uno convencional, pero que lo libera mucho más lentamente (en periodos de horas, días y semanas), además este sistema denota la posibilidad de predicción y mayor reproducibilidad de la cinética de su liberación en un periodo específico, de tal manera que se obtienen niveles más uniformes, perfiles de liberación se muestran en la Figura 7. En esencia, lo que se pretende es que la duración del efecto del activo se determine por el tiempo que tarda en liberarse de la matriz polimérica.



**Figura 7.- Diagrama que muestra los perfiles de liberación: A) Liberación simple, B) liberación prolongada, C) liberación múltiple y D) liberación controlada**

La liberación controlada es definida como una formulación o dispositivo que permite la introducción de una sustancia en el medio donde será liberada y promueve la eficiencia y seguridad controlando la ruta, tiempo y el lugar de liberación del agente activo. Otra definición es “la liberación controlada implica la regulación del repartimiento del agente activo a través de un dispositivo”. El objetivo del control en la liberación en una ruta específica por un periodo definido de tiempo independiente del medio en el que se encuentre” (Kewal, 2008).

En el caso de las nanopartículas de talla submicrónica con pared polimérica con el agente activo en el centro, es posible liberar el activo en función a las propiedades de la pared polimérica y su interacción con el sistema biológico, lo que influye considerablemente en su liberación. También puede existir liberación de activos en nanopartículas embebidas con el activo en una esfera a nivel superficial.

Los sistemas nanopartículados biodegradables son de gran interés, porque no requieren de alguna intervención al liberar al activo.

Nanocápsulas y nanoesferas difieren en su perfil de liberación. Las nanoesferas encapsulan el agente activo con la matriz del polímero en una distribución uniforme, la liberación del agente activo desde la matriz ocurre a través de la difusión. Si la difusión ocurre más rápido de la degradación entonces el proceso es una difusión dependiente, de otro modo el proceso de degradación es altamente influenciado. Al iniciar la liberación es observada la presencia del activo absorbido o cerca de una larga superficie de la nanopartícula, después del efecto de explosión, la difusión largamente controla la liberación dirigiendo a una ruta de liberación exponencial retardada. Este tipo de matriz usualmente presenta el primer orden cinético. Por el otro lado, en las nanocápsulas, el agente activo está contenido en el núcleo y debe difundirse a través de la capa polimérica en orden para ser liberado. Esta morfología lleva al orden cero cinético de liberación (Villiers, 2009).

Para evitar el problema de una liberación instantánea existen diferentes tipos de liberación de activos (Figura 7), por ejemplo liberación retardada, prolongada y controlada. La liberación retardada permite múltiples dosis del activo liberándose al medio donde será difundido. La liberación prolongada extiende la liberación del agente activo, disminuyendo el índice de disolución de liberación en comparación con la liberación instantánea. La liberación controlada de activos permite mantenerla en un índice de manera constante.

El dispositivo que permita una liberación no inmediata se puede dividir en dos categorías. La primera es un dispositivo donde conserva el agente activo, la liberación ocurre por difusión a través de la membrana semipermeable o por orificios pequeños. El láser es comúnmente usado para proveer de estos orificios para la dispersión del agente activo. El segundo dispositivo es una matriz donde el agente activo es disperso a pesar de que en ocasiones la matriz sea sólida. Los polímeros son utilizados para la formación de la matriz, donde se lleva a cabo la liberación o difusión del agente activo desde la matriz insoluble (Wang, 2005).

La creciente preocupación por promover la salud y prevención de enfermedades a través del mejoramiento de la nutrición ha llevado a desarrollar en grado alimenticio, liberar sistemas de encapsulado, proteger y liberar componentes bioactivos. Estos sistemas deben ser diseñados de tal manera que no afecten las propiedades mismas del producto alimenticio. Algunas clasificaciones de los sistemas de liberación van acuerdo al mayor componente nutricional como por ejemplo: a base de proteína, carbohidratos, lípidos o mezclados los sistemas.

#### **a) Características de la liberación**

En alimentos se liberan componentes activos en sitios determinados, como puede ser en la boca, estómago o tracto digestivo. Lesmes y McClements en el 2009, estudiaron el mecanismo de liberación del activo dependiendo del rol que vaya a desempeñar, se describen a continuación:

***Difusión:*** El componente activo simplemente se difunde en el medio a través de la matriz, que permanece intacta.

***Erosión:*** El componente activo es liberado en el medio debido a la erosión de la matriz, la erosión puede ser debida degradación física, química o enzimática.

***Fragmentación:*** El componente activo es liberado en el medio debido a la interrupción porque fue fracturado o fragmentado, siendo liberado por la parte fragmentada.

***Hinchazón o dilatación:*** El corazón de la liberación puede ser inducida por la aceptación de los solventes de las partículas, que también causan las partículas esta hinchazón, por ejemplo, el componente activo puede ser encapsulado y una vez que éste absorba moléculas de algún solvente del medio, se hinchará y el componente activo se podrá difundir.

## **b) Características funcionales**

Idealmente, un sistema de liberación debe tener un número de atributos funcionales y características técnicas en orden para su aplicación y éstos son algunos de los criterios más importantes (McClements y Li, 2010):

**Capacidad de retención:** Es la medida de masa encapsulada y el sistema debe de tener alta capacidad de retención.

**Eficiencia:** Es la medida de la habilidad del sistema de liberación para retener el material encapsulado durante cierto tiempo.

**Eficiencia de liberación:** Es la medida de la habilidad para liberar el material encapsulado que requiere en cierto sitio de acción.

**Mecanismo de liberación:** Éste debe ser diseñado para llevar el componente activo al sitio de acción en particular y después liberarlo.

**Protección contra la degradación química:** El sistema debe ser diseñado para proteger el material encapsulado de algunos químicos o el medio que se encuentre como el almacenamiento, oxidación, entre otros. La ruta de las reacciones de degradación química puede ser activada por diversos factores como calor, luz, O<sub>2</sub> o sustancias químicas en específico.

**Biodisponibilidad:** Un sistema de liberación debe también mejorar y no afectar la biodisponibilidad de cualquier componente bioactivo encapsulado.

## **c) Características técnicas**

**Grado alimenticio:** Si el sistema de liberación va a ser incorporado en productos alimenticios, después debería ser fabricado enteramente con ingredientes grado alimenticio (GRAS).

**Matriz compatible con el alimento:** El sistema de liberación deber ser compatible con la matriz del alimento que va a ser utilizada, para que no afecte la apariencia, textura, sabor o estabilidad del producto final.

### 1.7.2 Método *In Situ*

Los métodos *in situ* dependen del uso de técnicas analíticas, que son sensibles al agente activo en la solución y no en las partículas sólidas o por lo que está rodeada la superficie, así el ensayo de la liberación puede llevarse a cabo sin ningún paso de separación. El uso del método de *espectroscopia* para estudiar la liberación, se utiliza si el agente activo es muy colorido; las partículas usualmente absorben luz muy fuertemente por las medidas del *espectro de luz* (UV). Una alternativa atractiva es a través del *pH* como indicador de liberación de agentes activos. Muchos activos son ácidos débiles o bases, y su liberación puede monitorearse por la neutralización a través de un medio donde el activo se difunda.

En los sistemas microencapsulados de matriz, el agente activo es incorporado dentro de la matriz de un polímero por dispersión molecular. La liberación por difusión del agente activo se considera controlada y es usualmente descrita por la primera y segunda ley de Fick. La liberación es influenciada por un rango de factores como los coeficientes de difusión, solubilidad, espesor de capa, forma geométrica, área superficial y la distribución que son relevantes para el perfil de liberación. Entre más pequeña sea la partícula más rápida será la liberación del componente activo. Las micropartículas largas se vuelven más porosas durante la liberación del agente activo en comparación con las de menor tamaño, demostrando aparentemente una alta difusividad e índices de transporte del agente activo.

En sistemas macroporos, donde el polímero es hidrofílico, la liberación puede llevarse a cabo en dos fases: primero por la desorción del polímero a poros, después por la difusión del agente activo hacia el medio. El coeficiente de difusión del agente activo es más lento a través de la capa polimérica con matriz porosa causando la modificación del poro y el mecanismo de liberación del activo (Benita, 2006).

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

#### **Problema**

El melón *cantaloupe* al igual que otras frutas, cuando es cortado para su comercialización se ve reducida considerablemente su vida útil, además de que las pérdidas postcosecha llegan a ser superiores al 50 %, razón por la que continuamente es necesario buscar alternativas para su conservación y comercialización, siendo importante en la actualidad contar con productos de fácil consumo que sean accesibles y nutritivos. En este sentido el  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado, al ser aplicado como recubrimiento comestible y siendo un agente antioxidante puede contribuir a disminuir la velocidad de deterioro de melón fresco cortado.

#### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de la utilización de recubrimientos con nanocápsulas de  $\beta$ -caroteno en melón *cantaloupe* fresco cortado sobre la velocidad de respiración y la liberación del activo durante el almacenamiento refrigerado, favoreciendo con ello su vida útil.

#### **Objetivos particulares**

1. Evaluar la liberación de nanocápsulas con  $\beta$ -caroteno en esferas de melón *cantaloupe* como sistema homogéneo, a través de la cinética de difusión para que la liberación del agente activo en refrigeración ocurra en función al tiempo de almacenamiento.
2. Determinar los cambios en la velocidad de respiración en melón *cantaloupe* por efecto del recubrimiento de nanocápsulas con  $\beta$ -caroteno para contribuir a alargar su vida útil.

## **2.1 Materiales**

Para la elaboración de los sistemas nanoparticulados con el agente activo a liberar, se utilizó una dispersión de  $\beta$ -caroteno al 30% (en aceite de maíz) adquirido por Vitamins and Chemicals Fine Division (Mumbai Maharashtra, India). En el método de preparación emulsificación-difusión, para la fase acuosa se usó Agua destilada Milli-Q.® y para la fase orgánica acetato de etilo, solvente grado alimenticio adquirido en Reactivos Analíticos Alyt (Tultitlan, Edo. De México), goma xantana (0.3%) grado alimenticio adquirido en la Droguería Cosmopolita (México, D.F.), el polímero biodegradable que recubrió el agente activo, fue poly- $\epsilon$ -caprolactona, grado alimenticio adquirido en Aldrich (Toluca de Lerdo, México), el surfactante grado alimenticio utilizado fue Pluronic F-127 de peso molecular 12 600, proveedor Sigma-Aldrich (Toluca de Lerdo, México). Para las liberaciones se utilizó ciclohexano como solvente adquirido en J.T. Baker ® ACS (Tultitlan, Edo. De México).

## **2.2 Caracterización de la cámara de almacenamiento**

Para llevar a cabo el almacenamiento refrigerado del melón se utilizó un refrigerador marca FRIOCIMA (FRIOCIMA S.A. de C.V. Celaya Gto.). Previo a su utilización se llevó a cabo la caracterización y ajuste de temperatura con la finalidad de garantizar una distribución de temperatura uniforme durante el almacenamiento. El monitoreo de la temperatura se llevó a cabo mediante un termopar, Checktemp 1 (Hanna Logistics B.V., México D.F.), registrándose los cambios de temperatura en diferentes posiciones del equipo. Experimentación que se llevó a cabo en el Laboratorio 16 de la Unidad Multidisciplinaria, Campo 4.

## **2.3 Preparación de Nanopartículas**

Las nanocápsulas utilizadas en este proyecto fueron preparadas por el método de emulsificación-difusión propuesto por Quintanar-Guerrero et al., 1998 y optimizado para activos alimenticios por Zambrano-Zaragoza et al., 2010. En forma general el método utilizó como fase orgánica acetato de etilo saturado con agua en el que se disolvió la poly- $\epsilon$ -caprolactona y en el caso de nanocápsulas el  $\beta$ -caroteno, en la fase acuosa saturada con acetato de etilo se disolvió el surfactante (pluronic-127), formándose una emulsión utilizando un dispersor de alta velocidad ULTRATURRAX T50 BASIC a 4000 rpm, para posteriormente llevar a cabo el proceso de difusión

utilizando un exceso de agua destilada por agitación a alta velocidad durante 5 min. El disolvente fue eliminado utilizando un rotovapor a 35°C con una presión de vacío de 70 mmHg.

#### **2.4 Desarrollo de recubrimientos.**

Con la finalidad de llevar a cabo la comparación de la efectividad del  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado se prepararon cuatro sistemas nanoparticulados: 1) nanocápsulas con  $\beta$ -caroteno, 2) nanocápsulas con  $\beta$ -caroteno en una dispersión de goma xantana, 3) nanoesferas, 4) nanoesferas dispersas en goma xantana y una dispersión de goma xantana; tomando como referencia el modelo propuesto para el empleo de  $\alpha$ -tocoferol en la inhibición de oscurecimiento enzimático en manzana (Zambrano-Zaragoza et al., 2010; Zambrano-Zaragoza, et al., 2010).

#### **2.5 Tamaño de partícula (Tp), índice de polidispersión (IPD)**

Con la finalidad de caracterizar los sistemas nanoparticulados formados se determinó el tamaño de partícula e índice de polidispersión, utilizando para ello un sistema de dispersión láser Nanosizer N4 plus (Beckman, Coulter). A 90° las muestras fueron diluidas utilizando agua Milli-Q®, obteniéndose la distribución de frecuencias en función al % en volumen. Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

#### **2.6 Determinación del potencial zeta.**

Se determinó utilizando un equipo Z-sizer 4 (Zetasizer Nano Series Malvern Ltd, France). Con sistema de dispersión láser a 273° y temperatura de 25°C, después de una apropiada dilución en agua destilada Milli-Q. Los valores de z, fueron normalizados con una dispersión estándar de poliestireno ( $z = -55\text{mV}$ ). Las muestras fueron realizadas por triplicado, reportándose los resultados en mV.

## **2.7 Curva patrón del $\beta$ -caroteno**

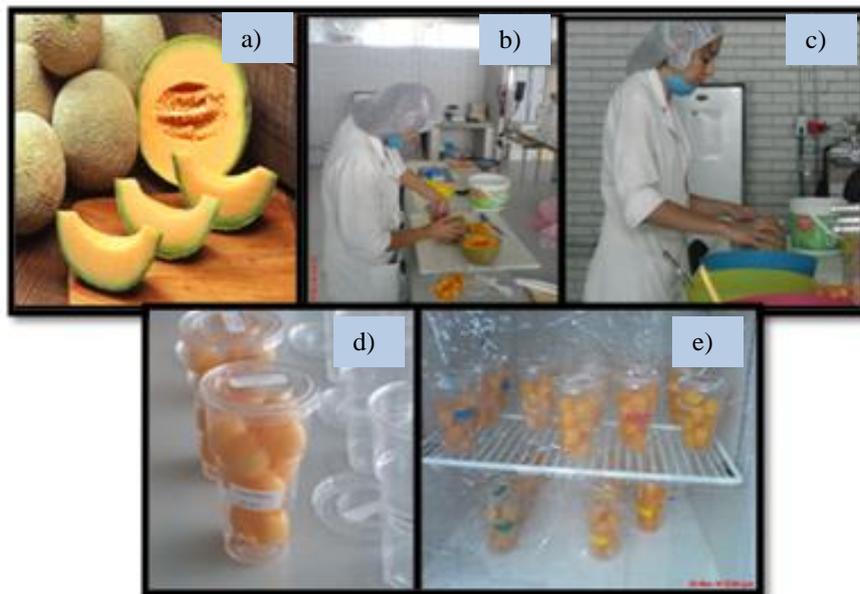
Se realizó una curva patrón para la cuantificación de  $\beta$ -caroteno por el método colorimétrico utilizando para ello un Espectrofotómetro Beckman Coulter, DU 530, Life Science UV/Vis Spectrophotometer a 452 nm. Para la realización de la curva se prepararon diluciones en ciclohexano de 80 a 20  $\mu\text{g/mL}$  con  $\beta$ -caroteno al 30 % (en aceite de maíz), obteniéndose la ecuación de regresión correspondiente.

## **2.8 Morfología de nanopartículas**

Las muestras de nanopartículas fueron separadas de la fase externa por tres ultracentrifugaciones (45 000g por 30 min) para eliminar el exceso de estabilizante. Una gota de la suspensión concentrada fue esparcida en la superficie de un recipiente de vidrio y secada. Finalmente, las muestras secas fueron montadas en portaobjetos y adheridas con cinta al carbón electroconductiva en un evaporador catódico con una capa de oro (~20 nm) utilizando el microscopio JFC-1100 Sputter Coater (LV-SEM, JSM 5600 LV) con una resolución de 5 nm. Las nanocápsulas y nanoesferas fueron obtenidas con el equipo ajustado a 20kV la aceleración del voltaje del electrón y una presión de 12 a 20 Pa en la cámara de muestreo.

## **2.9 Preparación de las esferas de melón *cantaloupe***

El melón fue seleccionado con base a su tamaño, forma, reticulación y sólidos solubles totales, previo al pelado se lavaron y desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio (70 ppm) (Gil et al., 2009). Posteriormente se obtuvieron esferas de melón con la ayuda de un sacabocados. Se sumergieron en solución del cloruro de calcio al 1 % durante 1 minuto para posteriormente sumergirlos en el recubrimiento correspondiente. En la Figura 8 se muestran las operaciones del procesado en fresco de las esferas de melón.



**Figura 8.- Etapas del procesado en fresco de esferas de melón *cantaloupe*: a) Selección, b) Formación de esferas de melón, C) Inmersión en sistemas nanoparticulados, d) Envasado y e) Almacenamiento en refrigeración 4°C.**

## **2.10 Caracterización inicial de la materia prima.**

Con la finalidad de tener un control de las condiciones iniciales del producto se determinaron los sólidos solubles utilizando un refractómetro, Hand-held refractometer (ATAGO 01020, el Crisol, S.A. de C.V., México, D.F.); (%) humedad utilizando una termobalanza OHAUS MB200 (Seedburo, equipment company, México,D.F.), y firmeza (kgf) por medio un penetrómetro Wagner fruit-tester (Wagner instruments, Greenwich).

## **2.11 Morfología del melón**

Con el fin de establecer la distribución de las nanopartículas en la superficie del melón se llevaron a cabo análisis morfológicos. Utilizando para ello fruta recubierta y montada sobre un portamuestras, deshidratadas y sometidas a baño de oro (~20 nm) en el equipo FC-1100 Sputter Coater. Las muestras se observaron en un microscopio electrónico de barrido (LV-SEM, JSM 5600 LV) con una resolución de 5 nm. Obteniéndose las micrografías a12kV la aceleración del voltaje del electrón y una presión de 12 a 20 Pa en la cámara de muestreo.

## 2.12 Liberación de agentes activos

La liberación del activo,  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado, se evaluó los días 1,4,6,8,11,13 y 15 de almacenamiento, colocando cada esfera de melón *cantaloupe*; correspondiente al recubrimiento en cuestión en 40 ml de ciclohexano (Figura 9) en agitación por 60 minutos (Agitadores, Thermolyne Cimarez, USA), filtrándose después a vacío con un equipo Millipore. Después de los 60 min se llevó a cabo la cuantificación de  $\beta$ -caroteno liberado por método colorimétrico en el espectrofotómetro; esta prueba se realizó por triplicado.



Figura 9.- Liberación de  $\beta$ -caroteno en ciclohexano.

## 2.13 Velocidad de respiración

La velocidad de respiración se midió por el método estático, se utilizó un equipo Oxygen Analyzer Modelo 905 (Figura 10) (Quantek Instruments oxygen and carbon dioxide analyzers, USA). Llevándose a cabo la determinación de los cambios en la concentración de oxígeno en función al tiempo de almacenamiento, en esferas de melón recubiertas y control (Alia-Tejacal et al., 2002).



Figura 10.- Oxygen Analyzer Modelo 905.

Para determinar experimentalmente la velocidad de respiración del sistema estático o cerrado el cual consiste en un contenedor de sello hermético de volumen conocido que es llenado con el producto y cerrado, quedando con una composición gaseosa interna igual a la atmosférica. Se miden entonces los cambios en concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> durante un cierto tiempo y éstos se usan para estimar la velocidad de respiración usando las siguientes ecuaciones:

$$rO_2 = \frac{(O_2)_{in} - (O_2)_f \cdot V}{(100 \cdot M \cdot (t_f - t_{in}))} \quad (2)$$

$$rCO_2 = \frac{(CO_2)_{in} - (CO_2)_f \cdot V}{(100 \cdot M \cdot (t_f - t_{in}))} \quad (3)$$

Donde (O<sub>2</sub>)<sub>in</sub> y (CO<sub>2</sub>)<sub>in</sub> son las concentraciones iniciales de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>; (O<sub>2</sub>)<sub>f</sub> y (CO<sub>2</sub>)<sub>f</sub> son las concentraciones finales de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>; V es el volumen libre en el contenedor; M es la masa del producto; (t<sub>f</sub> - t<sub>in</sub>) es la diferencia entre el tiempo final y el inicial; y se divide entre 100 porque las concentraciones están en % (Fonseca et al., 2002).

#### 2.14 Determinación de color

Se determinó el cambio de color de las esferas de melón *cantaloupe* utilizando el método desarrollado por Briones y Aguilera, 2005 adaptado para frutas, que consiste en establecer una cámara digital (Fujifilm, 12 Megapíxeles, no zoom, no flash, temporizador de dos segundos) en un tripie dentro de una caja con interiores y superficies negras, el sistema de iluminación interior formado por dos focos de 10 watts inclinados con un ángulo de 45°, para disminuir la difusividad de la reflexión del color, uno en una esquina superior y el otro esquina contraria inferior, y el ángulo entre la cámara y la muestra fue de 90° para reducir brillo (ver Figura 11), previamente se estandarizó con el colorímetro MINOLTA para determinar los valores de L (luminosidad), a (rojo-verde) y b (azul-amarillo), una vez tomadas las fotos, utilizando el Software Photoshop, programa que nos permitió obtener los valores de L, a y b que se encuentran en los cuadrantes de color del producto fresco cortado.



**Figura 11.- Representación de la adaptación del método de Briones y Aguilera, 2005.**

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevó a cabo la evaluación de la distribución de temperaturas en el refrigerador obteniéndose en promedio una temperatura de 2 a 4 °C una vez colocada una mampara para modificar la distribución de aire, con lo que se garantizó homogeneidad en temperatura y humedad relativa para llevar a cabo la experimentación estableciéndose en 4°C y humedad relativa de 85 %.

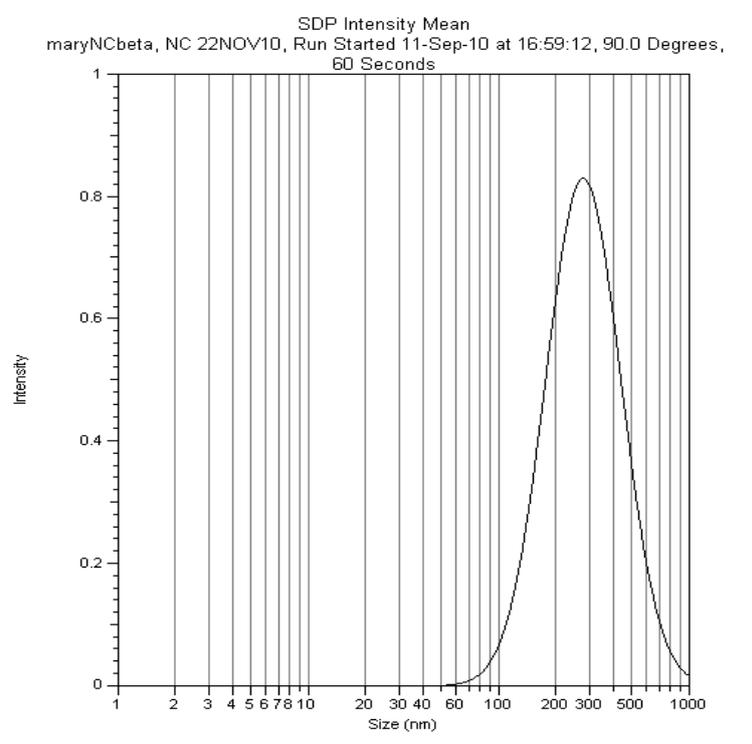
#### 3.1 Caracterización de las nanopartículas

En la Tabla 4 se muestran los resultados correspondientes al tamaño de partícula ( $T_p$ ), índice de polidispersión (IPD) y potencial zeta ( $\zeta$ ) de los diferentes sistemas nanoparticulados utilizados. Donde se resalta que el tamaño promedio de partícula para las nanocápsulas fue de 448 nm sin que existiera variación respecto al tamaño debido a la utilización de goma xantana como polisacárido de soporte. El potencial zeta, estimó las interacciones de las nanopartículas en el medio acuoso (Chesworth, 2008), además que esto indica que la formación de nanopartículas depende de la concentración de los grupos metilo del  $\beta$ -caroteno dando como resultado la carga de la partícula ayudando a mantener la forma esférica de la nanopartícula (Alishahi et al., 2011). El índice de polidispersión, por las largas cadenas del  $\beta$ -caroteno tienden a disminuir el área molecular debido a la fuerza intramolecular de Van der Waals (Memisouglu, et al., 2001; Rocha, et al., 2009).

**Tabla 4.- Promedios de tamaño de partícula e índice de polidispersión de Nanocápsulas y Nanoesferas.**

Sistema	Tamaño de partícula (nm)	Índice de polidispersión	Potencial zeta (mV)
Nanocápsulas	448 $\pm$ 155	0.35 $\pm$ 0.04	-39.5 $\pm$ 2.1
Nanoesferas	305 $\pm$ 10	0.19 $\pm$ 0.03	41.3 $\pm$ 4.5
Nanocápsulas + goma xantana	586 $\pm$ 45	0.33 $\pm$ 0.02	-36.2 $\pm$ 1.3
Nanoesferas + goma xantana	343 $\pm$ 56	0.21 $\pm$ 0.07	-38.5 $\pm$ 6.7

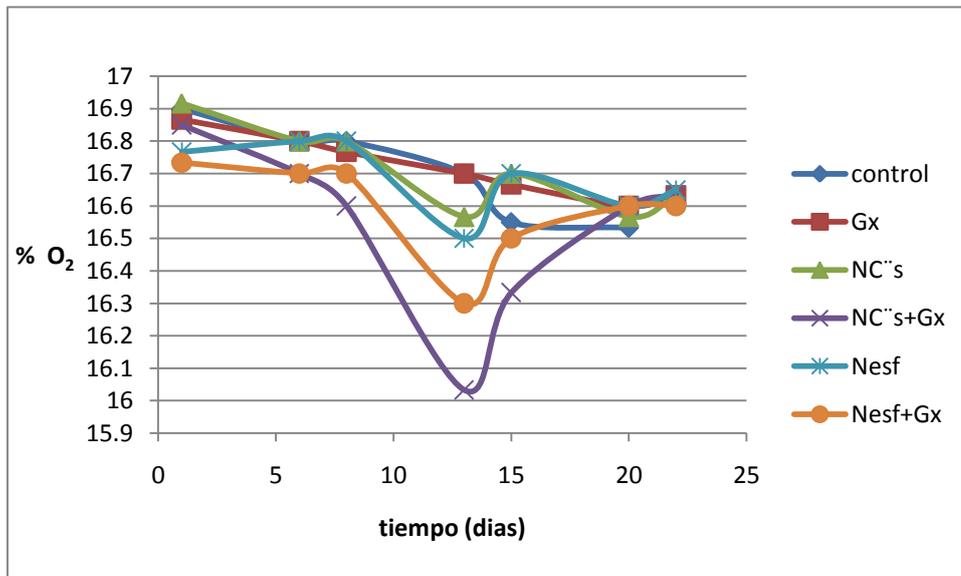
La Figura 12 muestra el diagrama de frecuencia en función a la intensidad que muestra un comportamiento monomodal para la distribución de tamaños de partículas en las nanocápsulas de  $\beta$ -caroteno, comportamiento similar fue el que presentaron el resto de los sistemas utilizados.



**Figura 12.- Intensidad de pico de la población del sistema nanoparticulado obtenido del Nanosizer N4 Coulter.**

### **3.2 Cambios en respiración durante el almacenamiento.**

Con la finalidad de establecer las condiciones iniciales de la materia prima se trabajó con melones que contenían en promedio  $87.5 \pm 4.8$  % de humedad,  $10.2 \pm 0.9$  °Brix y una penetrabilidad de  $3.8 \pm 0.7$  Kgf. En las figuras 13 y 14 muestran los resultados obtenidos para el consumo de  $O_2$  y producción de  $CO_2$  respectivamente en función a los diferentes sistemas evaluados durante su almacenamiento.



**Figura 13.- Porcentaje de oxígeno consumido del melón cantaloupe fresco cortado.**  
*\*Gx: goma xantana, NC's: nanocápsulas, Nesf: nanoesferas.*

Los lotes de esferas de melón se mantuvieron en refrigeración a 4°C, con una humedad relativa de 85%. El melón fresco cortado, por ser un fruto climatérico, su pico varía de 24 a 48 horas, es visible en la Figura 13 y después vuelve a mantenerse estable el consumo de O<sub>2</sub> durante los primeros cinco días, al haberse creado una atmósfera modificada, el equilibrio dinámico del sistema que consiguió mediante la interacción de los siguientes fenómenos: la respiración del melón e intercambio gaseoso, la transpiración es función a la temperatura superficial del melón y a la humedad relativa de su alrededor (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005). Dentro de los envases sellados (tipo cristal con tapa), para los siguientes siete días el consumo de O<sub>2</sub> descendió mientras que la producción de CO<sub>2</sub> (Figura 14), aumentó simultáneamente (Bai et al., 2001). Este mismo comportamiento de la Figura 14 lo reportó Martín-Belloso y Oms-Oliu en el 2005 con manzana y pera frescas cortadas.

Los recubrimientos con el agente activo y la alta humedad relativa ayudaron a extender la vida útil, (Watada et al., 1996) y al llegar a los 15 días de almacenamiento, las esferas recubiertas, no presentaron fermentación, caso contrario de los lotes control y goma xantana. La respiración del melón disminuye por los procesos oxidativos que implican un consumo de O<sub>2</sub> además del estrés tisular por el procesado que acelera este fenómeno; se sugiere el empleo de atmósferas modificadas con concentraciones mínimas de 1kPa de O<sub>2</sub> y máximas de 15 kPa de CO<sub>2</sub> en melón fresco cortado para evitar condiciones de

anaerobiosis en el envase y así mantener la calidad del producto (Oms-Oliu et al., 2007).

En el caso de los lotes control y goma xantana el consumo de  $O_2$  fue mayor que los demás lotes recubiertos con sistemas nanoparticulados, éstos crearon una atmósfera modificada dentro del envase llegando a un equilibrio dinámico, el cual mantuvo una vida útil aceptable que con el paso del tiempo de almacenamiento refrigerado alcanzaron óptimas condiciones; presentaron exudación debido a la senescencia del fruto (Ulloa, 2007). En los sistemas que contenían goma xantana, ésta formó aglomeraciones, ya que absorbió el agua libre del melón fresco cortado, para los sistemas nanoparticulados adicionados con goma su consumo de  $O_2$  fue menor, debido a la doble barrera del recubrimiento y a las aglomeraciones de la goma.

Durante los 15 días de almacenamiento, la acumulación de  $CO_2$  no se vio influenciada por el estado de madurez del melón, la mayor acumulación podría ser debida al crecimiento microbiano y un deterioro general del producto (Oms-Oliu et al., 2007). Un ejemplo de la conservación con modificación de la atmósfera inicial conllevó una disminución gradual de las concentraciones de  $O_2$  durante el almacenamiento refrigerado, de acuerdo con Oms-Oliu et al., 2007; donde envasó pera y melón frescos cortados. El estudio de Oms-Oliu establece que puede ser aplicado en otros frescos cortados, tomando en cuenta las características de cada uno y sus variantes.

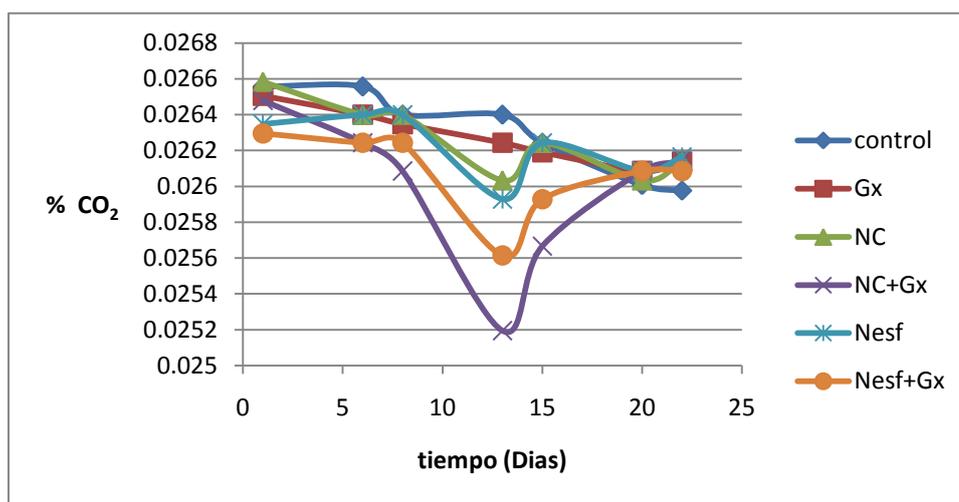


Figura 14.- Porcentaje de dióxido de carbono producido del melón *cantaloupe* fresco cortado. \*Gx: goma xantana, NC's: nanocápsulas, Nesf: nanoesferas.

### 3.3 Velocidad de respiración

De acuerdo con las ecuaciones 2 y 3 la velocidad de respiración para cada uno de los lotes está representada en la Tabla 5.

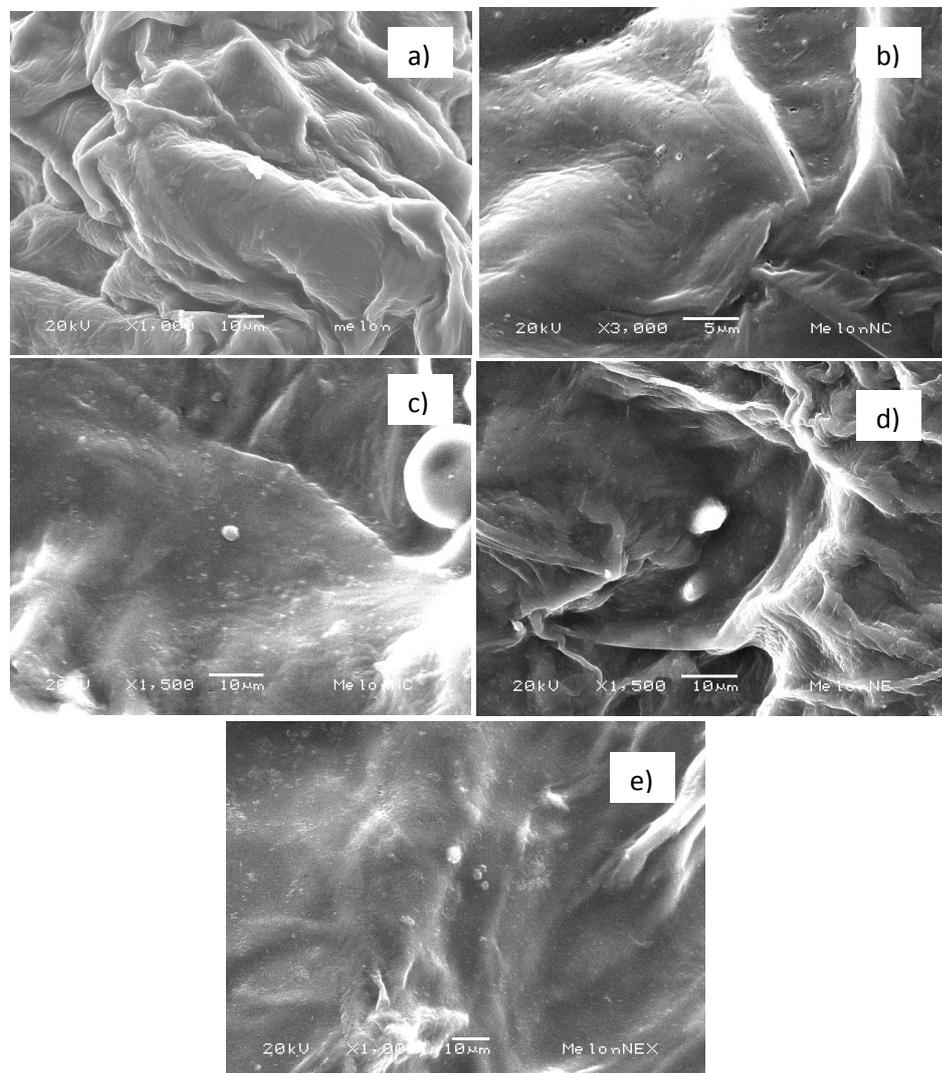
**Tabla 5.- Velocidad de respiración de los lotes (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>).**

Lote	Velocidad de respiración O <sub>2</sub> ( $\mu\text{l/kg h}$ )	Velocidad de respiración CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{l/kg h}$ )
Control	20.1	0.0315
Goma xantana	7.8	0.0123
Nanocápsulas	6.5	0.0102
Nanocápsulas con goma xantana	6.1	0.0095
Nanoesferas	3.2	0.0050
Nanoesferas con goma xantana	3.7	0.0058

En la tabla anterior (5) describe la velocidad de respiración de O<sub>2</sub> así como de CO<sub>2</sub>, donde la velocidad de respiración es mayor en el lote control, lo que significa que la velocidad es menor en los lotes con recubrimientos, la razón es por el deterioro de tejido del melón provocado por la senescencia y posible crecimiento microbiano (Boynton et al., 2006), es notorio el consumo de O<sub>2</sub> y la evolución del CO<sub>2</sub> en el lote control, ya que los demás lotes al tener el recubrimiento y siendo envasados se creó una atmósfera modificada en equilibrio dentro de los envases, además de formarse una barrera semipermeable debido a estos recubrimientos y con la liberación de  $\beta$ -caroteno como antioxidante durante los días de la vida útil evitándose la fermentación y crecimiento microbiano, en comparación con los lotes de control y goma xantana. Estudios de Báez-Sañudo et al., (2002), detallan que la respiración de los cantaloupes se encuentran en un rango de 0.005 a 0.020  $\mu\text{l/Kg h}$  de CO<sub>2</sub> siendo posible establecer controles, además se recalca que los recubrimientos crean una atmósfera que disminuye el consumo de O<sub>2</sub>. El fruto de melón muestra sensibilidad a los daños mecánicos, además la velocidad de CO<sub>2</sub> se ve incrementada por el estrés del procesado acelerando la senescencia del fruto (Villaseñor et al., 2006). García et al., (2005), evaluó el daño por frío en diferentes estados de madurez del melón *cantaloupe*, y el rango de velocidad de respiración en CO<sub>2</sub> fue de 0.015 a 0.020  $\mu\text{l/kg h}$ . Cabe destacar que estos estudios no fueron en frescos cortados, por lo cual los resultados de la tabla 5 son menores, pero aun así los resultados de la velocidad de respiración en CO<sub>2</sub>, de los estudios mencionados, se encuentran dentro del rango de velocidades obtenidas en la Tabla 5, por lo que se concluye que los resultados obtenidos son aceptables.

### 3.4 Análisis de la morfología de las muestras por SEM

En la Figura 15, se muestran las micrografías de la superficie del melón *cantaloupe*, recubierto con los diferentes sistemas probados, se observó cómo se encuentran las nanopartículas distribuidas en la microestructura del melón, las nanopartículas se dispersaron homogéneamente en los recubrimientos con goma xantana, mostrando ligeras agregaciones, sin que por ello dejen de cumplir su función, además el hinchamiento observado en las muestras con goma xantana se asocia a la capacidad de absorber agua superficial que tiene la goma xantana y que se observan como esferas de mayor tamaño en la superficie.



**Figura 15.- Fotos tomadas por el microscopio SEM, a) melón sin recubrimiento, b) Nanocápsulas, c) Nanocápsulas con goma xantana, d) Nanoesferas y e) Nanoesferas con goma xantana.**

En la Tabla 6, se muestra el  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado por área recubierta con el agente activo de cada esfera de melón en función al tiempo de almacenamiento, se determinaron los mg de  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado a través del cálculo del área de una esfera a partir de la correlación de la curva patrón.

Tabla 6.- mg de  $\beta$ -caroteno encapsulados por área recubierta (cm<sup>2</sup>).

Días	Nanocápsulas	Nanocápsulas con goma xantana
1	1.47±0.03	1.29±0.02
4	4.69±0.05	1.68±0.10
6	4.51±0.02	1.67±0.03
8	4.33±0.04	1.66±0.06
11	1.45±0.10	1.29±0.05
13	0.76±0.05	1.11±0.04
15	0.72±0.02	1.16±0.03

### 3.5 Liberación de nanocápsulas con $\beta$ -caroteno

En la Figura 16 se muestran los resultados obtenidos para la liberación de  $\beta$ -caroteno en melón *cantaloupe* en función a los distintos sistemas evaluados.

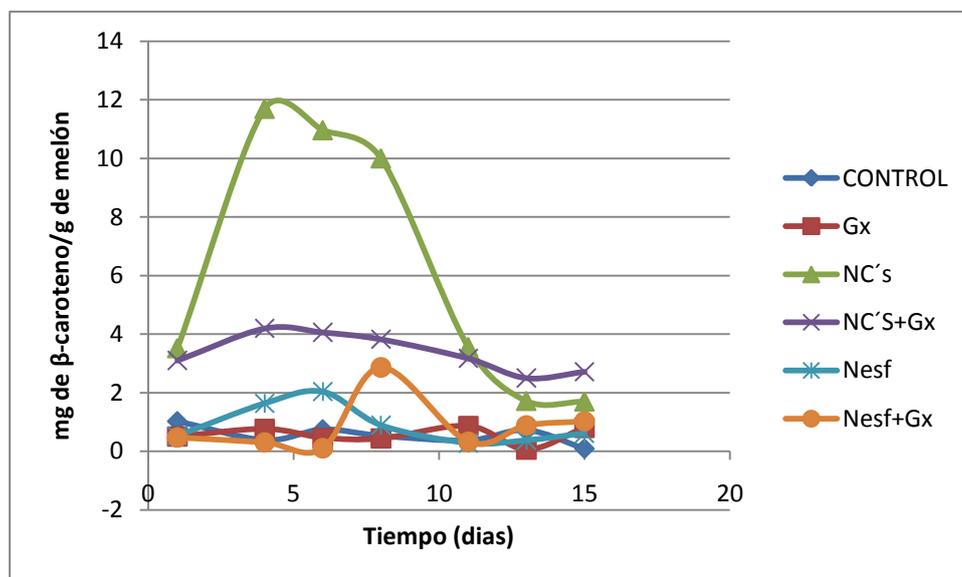


Figura 16.- Perfiles de liberación de los sistemas nanoparticulados.  
\*Gx: goma xantana, NC's: nanocápsulas, Nesf: nanoesferas.

Las liberaciones que no poseen  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado, no mostraron el perfil de liberación, se mantienen constantes, ya que solo se estuvo liberando el  $\beta$ -caroteno del melón. En el caso de nanoesferas con goma xantana, se creó una doble barrera semipermeable, que atravesó el  $\beta$ -caroteno del melón, cabe destacar que la goma formó aglomeraciones, ya que absorbió el agua libre y los azúcares del melón (Barreiro, 2006), al formarse este fenómeno dio paso a una liberación mayor durante los días siete y ocho de almacenamiento, el perfil de liberación de  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado con y sin goma, fue bastante evidente, ya que durante los primeros días, la liberación se fue incrementando hasta llegar a ser relativamente constante donde la nanocápsula sufrió una explosión o erosión (Villiers, 2009), durante estos días, manteniéndose la liberación controlada y el polímero al ser biodegradable en función al tiempo fue permitiendo la liberación, estudios de Huang et al., 2010. hacen énfasis en compuestos benéficos para la salud como polifenoles (curcumin, resveratrol) y carotenoides (licopeno,  $\beta$ -caroteno, luteína entre otros), han recibido mucha atención de la comunidad científica, consumidores y la industria alimentaria porque pueden ser usados para reducir la presión sanguínea, cáncer, regular la digestión, ayuda al sistema inmune, crecimiento, nivel de glucosa en la sangre, bajos niveles de colesterol y como antioxidantes, cabe resaltar que el  $\beta$ -caroteno como aditivo, es relativamente inestable en un sistema alimenticio porque son susceptibles a la luz,  $O_2$  y a la autooxidación; como consecuencia la introducción de los carotenoides en sistemas alimenticios sufren una rápida degradación, por lo tanto en los últimos días de liberación controlada se degradó (McClements et al., 2007). Estudios con perfiles de liberación semejantes al de la figura 16 los obtuvieron Heunis et al., 2010 encapsularon en nanofibras probióticos, Fang y Cathala en el 2011 encapsularon micropartículas, Finotelli et al., 2010 encapsuló insulina, Chin et al., 2009, Fang et al., (2010) y Maltais et al., (2009 y 2010) en nutracéuticos como vitaminas y fármacos.

El recubrimiento de nanocápsulas más goma presenta menos liberación dado que se encuentran distribuidas y recubiertas dentro de la goma xantana (ver figura 15), por lo tanto la proporción es menor que en el recubrimiento de nanocápsulas sin goma. En el estudio de Han et al., 2008 microencapsularon DNR y como soporte utilizaron alginato y quitosan; en este caso la goma xantana esta siendo una doble barrera semipermeable, ya que no permite que la liberación del  $\beta$ -caroteno sea expuesto a la atmósfera modificada del melón, creada dentro del envase por los recubrimientos (Watada et al., 1996). Los lotes de control y goma xantana presentaron fermentación, esto sucede

cuando no existe suficiente  $O_2$  disponible, se forman otros subproductos, como alcoholes, aldehídos y cetonas que pueden impartir mal sabor al alimento y hasta matar la célula si la concentración es excesiva, de aquí se infiere que a las frutas debe suministrársele suficiente  $O_2$  durante su almacenamiento; por consiguiente, los productos que respiran no deben empacarse o almacenarse en envases herméticos, ya que se requiere, por una parte, proporcionar suficiente  $O_2$  y, por otra, remover el  $CO_2$  y el calor producidos en la respiración, así como otros gases metabólicos (Barreiro, 2006).

En los últimos días de almacenamiento, mientras que las esferas recubiertas con los sistemas nanoparticulados presentaron una leve deshidratación formándose una costra superficial y levemente blaquescina, el  $\beta$ -caroteno se concentró en el interior de la esfera y el del recubrimiento se degradó. Estudios de Fang y Bhandari en el 2010, muestran que los agentes activos se absorben en la superficie de la esfera o encapsulada dentro de la nanopartícula, donde las sustancias activas se disuelven desde el centro o en la superficie de la capsula. El principal objetivo de la encapsulación es proteger el agente activo del medio que lo rodea como la luz, humedad y  $O_2$ , además de contribuir al incremento de la vida útil del producto y promocionar la liberación controlada; en la industria alimentaria reduce el vapor de agua, liberando gradualmente el activo enmascarando sabores u olores. Acosta en el 2009, estudió la absorción de nutrientes a través del intestino que se lleva a cabo por dos mecanismos, el transporte activo y el pasivo, donde este último ocurre por la simple difusión del agente activo a través del tejido epitelial, esto resulta como breve descripción de lo que fue la difusión molecular del  $\beta$ -caroteno nanoencapsulado de manera que la cápsula erosiona y comienza a liberar el activo difundiendo sobre la superficie de la esfera de melón actuando como antioxidante y alargando su vida útil, por lo que, la difusividad es una característica de un componente y su entorno (temperatura, presión, concentración, ya sea la solución en sólido, líquido o gaseoso) (Treybal, 1980).

### 3.6 Color

En las figuras 17, 18 y 19 muestran los resultados obtenidos de los cambios de color en función a los diferentes sistemas evaluados durante su almacenamiento en refrigeración.

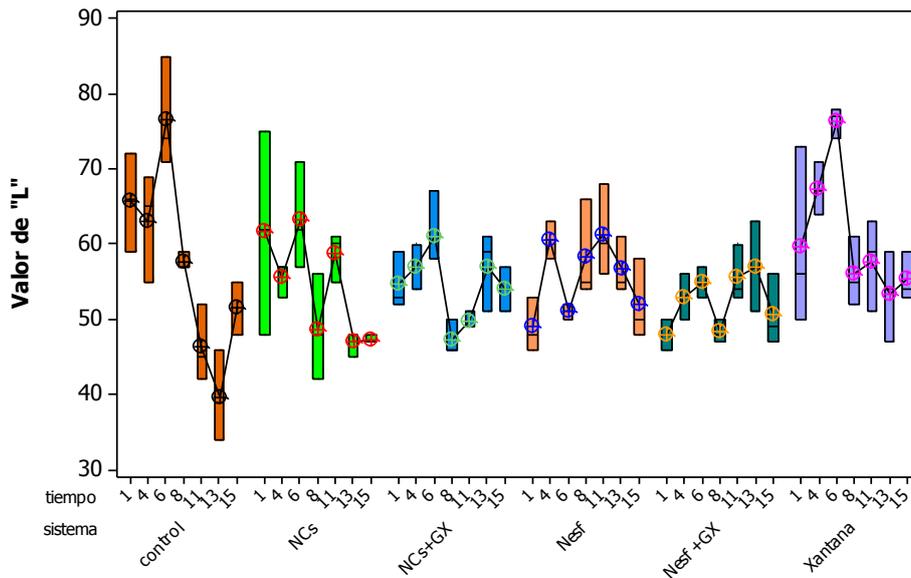


Figura 17.- Luminosidad "L" de las esferas de melón *cantaloupe* fresco cortado durante almacenamiento.

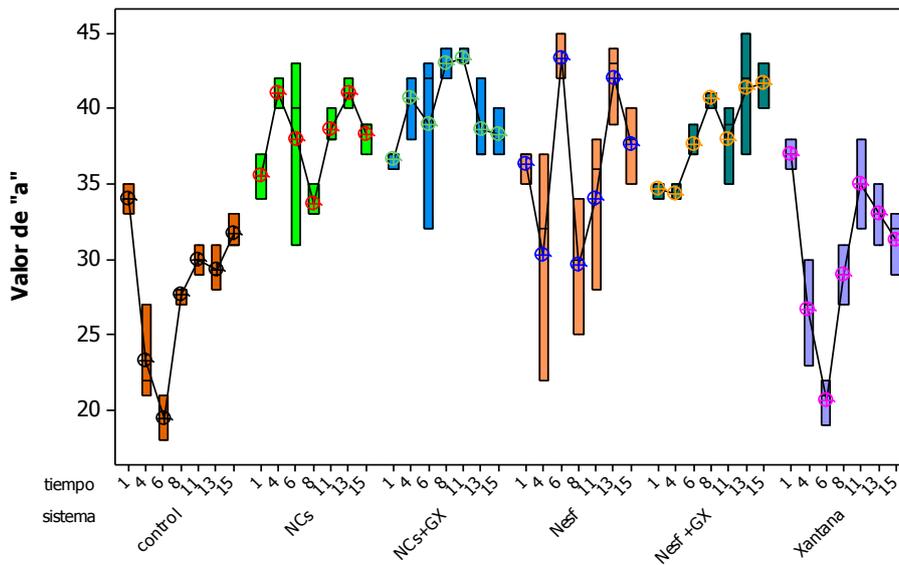
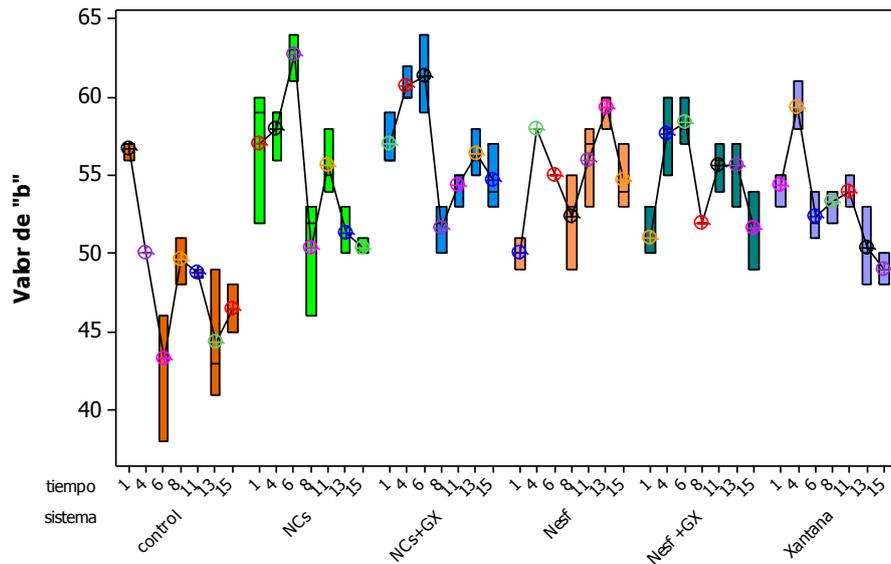


Figura 18.- Parámetro "a" representando el color rojo



**Figura 19.- Parámetro “b” representa el color amarillo**

Las figuras anteriores fueron obtenidas a través del análisis estadístico ANOVA, se observa que el color naranja, característico del melón *cantaloupe*, es el resultado de los mismos  $\beta$ -carotenos contenidos en el fruto y adicionados en los recubrimientos de nanocápsulas con y sin goma.

Durante los primeros días de almacenamiento hubo un aumento de los parámetros de color en todos los lotes (L: luminosidad, a: rojo y b: amarillo), esto debido a que el melón estaba recién cortado y absorbió los recubrimientos, sobre todo los que contenían el  $\beta$ -caroteno, durante los siguientes días las esferas de melón *cantaloupe*, exudaron permitiendo el paso de la absorción de los recubrimientos a través de la pérdida de agua libre y así adquiriendo color. En el quinto día de almacenamiento los lotes control y goma xantana, descendieron sus parámetros a y b ganando luminosidad.

En los últimos días de almacenamiento de los lotes de goma xantana y control, ya habían fermentado sus azúcares por el metabolismo del fruto (Beaulieu, 2005), en el caso de los demás recubrimientos, el tejido del melón se volvió rígido y no presentó la fermentación de azúcares, mantuvieron una apariencia fresca pero al mismo tiempo se formó una costra de deshidratación por la pérdida de agua libre, donde las nanocápsulas tomaron el lugar de los espacios vacíos del agua libre causando que los parámetros “a” y “b” aumentaran al final de su almacenamiento refrigerado (Barreiro, 2006).

Los cambios de color durante el almacenamiento de melón fresco cortado se deben en gran medida al desarrollo de translucidez, que se manifiesta a través de una disminución de la luminosidad. El desarrollo de translucidez también es la causa principal de deterioro de melón fresco cortado de las variedades “Honeydew” y “cantaloupe” envasados en atmósferas modificadas. La translucidez podría ser un síntoma de senescencia atribuido a estados de madurez y a la modificación de la atmosfera inicial de envasado. También la inmersión de la fruta en una disolución de  $\text{CaCl}_2$  fue efectiva en la estabilidad del color del melón fresco cortado. La inmersión durante 1-5 min ha demostrado ser eficaces en el mantenimiento de la firmeza de melón fresco cortado almacenado a  $5^\circ\text{C}$ , reportado por Oms-Oliu et al., en el 2007.

## Conclusiones

Durante el desarrollo y evaluación de la liberación de  $\beta$ -caroteno almacenado en refrigeración, se observó que los sistemas nanoparticulados con el agente activo, contribuyeron a incrementar la vida útil de melón *cantaloupe* fresco cortado hasta 15 días, la liberación se realizó por la difusión del activo a través de la pared polimérica de la nanocápsula, llevándose a cabo una difusión simple de mayor a menor concentración entre el melón y el recubrimiento, y manteniéndolo constante en los primeros días de almacenamiento refrigerado por causa del equilibrio entre gradientes, posteriormente sufriendo la degradación por la susceptibilidad de luz,  $O_2$  y a la autooxidación del  $\beta$ -caroteno presente; además los recubrimientos crearon una atmósfera modificada dentro del envase, llegando a un equilibrio dinámico, contribuyendo a la disminución de la respiración del fruto, sobre todo en los lotes recubiertos que por acción del antioxidante influyó de manera significativa, como se observó en la Figura 16, en la calidad final del producto.

El  $\beta$ -caroteno es un pigmento presente en el melón que, junto con otros carotenos responsables del color del melón, en su evaluación se correlacionó con los cambios asociados a la pérdida de calidad del melón, mostrándose que las nanocápsulas con y sin goma xantana contribuyeron efectivamente al mantenimiento del color respecto a los valores de “a” y “b” durante el periodo de almacenamiento por lo que la liberación de  $\beta$ -caroteno de este tipo de sistemas es efectivo en la conservación de las características de calidad, mostrando además que la utilización de goma xantana en los últimos días de almacenamiento refrigerado mostraron cambios en color a consecuencia de la transferencia de humedad provocando compactación en el centro de la esfera de melón debido a la formación de una costra a nivel superficial causada por la deshidratación del fruto dando como resultado un aumento en los parámetros “a” y “b” para los lotes con el agente activo.

Los fenómenos de transporte tienen lugar en aquellos procesos, conocidos como procesos de transferencia, en los que se establece el movimiento de una propiedad (masa, momentum o energía). Donde en este proyecto, la transferencia de masa se llevó a cabo a través de la difusión simple o molecular por el movimiento fortuito del agente activo a nivel superficial del fresco cortado, debido a una diferencia de concentración, preservando sus características que lo hacen único y atractivo al consumidor.

Así tanto en la industria alimentaria como en la farmacéutica también ocurren procesos de transferencia de masa tal como la disolución de un fármaco, la transferencia de nutrientes y medicamento a la sangre entre otros.

## **Perspectivas**

La conservación de las frutas frescas cortadas almacenadas en refrigeración, se basa en la utilización de atmósferas modificadas y el empleo de recubrimientos comestibles, siendo un área en plena expansión que tiene un futuro prometedor en el transporte de aditivos de talla nanométrica, donde cada recubrimiento liberará el agente activo ayudando a mejorar la calidad y valor nutricional para cada fruto fresco cortado en cuestión, además de incrementar su comercialización. Otro aspecto importante, es abrir el campo de investigación enfocado en pruebas sensoriales para determinar su aceptación por parte del consumidor.

Por lo que, con el desarrollo de este proyecto se favorece la vida útil de un alimento funcional, el melón *cantaloupe* fresco cortado, ya que a su valor nutricional se le adiciona provitamina-A, benéfica para el consumo humano y que a su vez sirve como antioxidante y conservador natural del fresco cortado.

## **Bibliografía**

- Acosta, E. (2009). *Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery*. Current opinion in colloid & interface science. 14: 3-15.
- Aguayo, E.; Escalona, V. and Artés, F. (2001). *Metabolic behavior and quality changes of whole and fresh processed melon*. Journal of Food Science. 69: 148-155.
- Ahmed, L.; Martin-Diana, A.; Rico, D. and Barry-Ryan, C. (2011). *The antioxidant properties of whey permeate treated fresh-cut tomatoes*. Food Chemistry. 124: 1451-1457.
- Alia-Tejacal, I.; Colinas-León, M.; Martínez-Damian, M. and Soto-Hernández, M. (2002). *Factores Fisiológicos, Bioquímicos y calidad en frutos de zapote de mamey (pouteria sapota Jacq .H.E. Moore &Stearn) durante poscosecha*. Revista Chapingo serie Horticultura. 8(2): 263-281.
- Alishahi, A.; Mirvaghefi, A.; Tehrani, M.; Farahmand, H.; Shojaosadati, S.; Dorkoosh, F. and Elsabee, M. (2011). *Shelf life and delivery enhancement of vitamin C using chitosan nanoparticles*. Food Chemistry. 126: 935-940.
- Almengor, L. (2009). *Nanotecnología en la industria alimentaria*. Revista electronica. (13): 35-52.
- Ancos, B.; Muñoz, M. and Cano, M. (2003). *Hygienic-sanitary quality of the minimally procesed products*. Institución del Frío. ICIA, La Laguna, Tenerife (España).
- Andreetta, H. (2003) *Fármacos de acción prolongada: mecanismos de liberacion. Usos de distintos modelos*. Universidad nacional de la plata 22 (4): 355-364.
- ASERCA (2000). Apoyos y Servicios a la Comercialización. “*El melón mexicano ejemplo de tecnología*”. Claridades Agropecuarias. 84.
- Bá ez-Sañudo, R.; Saucedo, C.; Pérez, B.; Bringas, E. and Mendoza, A. (2002). *Efecto de la aplicación de cera comestible y agua caliente en la conservación de melón reticulado*. Revista Fitotecnica Mexicana. 25 (4): 375-379.
- Bai, J-H.; Saftner; R.; Watada, A. and Lee, Y. (2001). *Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantalopue (cucumis melo L.)*. Journal of food science , 66 (8): 1207-1211.
- Barreiro, J. and Sandoval, J. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*, ed. Equinoccio.
- Bautista-Baños, S.; Hernández-López, M.; Bosquez-Molina, E. and Wilson, C. (2003). *Effects of chitosan and plant extratc on growth of Colletotrichum gloeosporioides, anthracnose levels and quality of papaya fruit*. Journal of Food Science. 22: 1087-1092.
- Beaulieu, J. C. (2005). *Within-season volatile and quality differences in stored fresh-cut cantaloupe cultivars*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53: 8679-8687.

- Benita, S. (2006). *Microencapsulation methods and industrial applications*. 2<sup>da</sup> ed. USA: Taylor and Francis.
- Bett, K.; Ingram, D.; Grimm, C.; Lloyd, S.; Spainer, A.; Miller, J.; Gross, K.; Baldwin, E. and Vinyard, B. (2001). *Flavor of fresh-cut gala apples in barrier films packing as affected by storage time*. Journal of Food Quality. 24: 141-156.
- Bierhals, V.; Chiumarelli, M. and Hubinger, M. (2011). *Effect of Cassava starch coating on quality and shel life of fresh-cut Pineapple (Ananas comosus L. Merril cv "Pérola")*. Journal of Food Science. 76: 62-72.
- Bourtoom, T. (2008). *Edible films and coatings: characteristics and properties*. International Food Research Journal. 15 (3): 237-248.
- Boynton, B.; Welt, B.; Sims, C.; Balaban, M.; Brecht, J. and Marshall, M. (2006). *Effects of low-dose electron beam irradiation on respiration, microbiology, texture, color, and sensory characteristics of fresh-cut cantaloupe stored in modified-atmosphere packages*. Sensory and Nutritive Qualities of Food. 71 (2):149-155.
- Bravin, B.; Peressini, D. and Sensidoni, A. (2006). *Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products*. Journal of Food Engineering. 76: 280-290.
- Briones, V. and Aguilera J. (2005). *Image analysis of changes in surface color of chocolate*. Food Research International. 38: 87-94.
- Chaudhry, Q.; Castle, L. and Watkins, R. (2010). *Nanotechnologies in food*. RSC Publishing.
- Chesworth, W. (2008). *Encyclopedia of soil science*. Springer.
- Chin, S.; Iyer, S.; Saunders, M.; Pierre, T.; Buckley, C.; Paskevicius, M. and Raston, C. (2009). *Encapsulation and sustained release of curcumin using superparamagnetic silica reservoirs*. Wiley Interscience. 15, 5661-5665.
- Chien, P.; Sheu, F. and Yang, F. (2007) *Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit*. Journal of Food Engineering. 78: 225-229.
- Choi, M-J, Soottitantawat, A., Nuchuchua, O.; Min, S-G and Ruktanonchai, U. (2009) *Physical and light oxidative properties of eugenol encapsulated by molecular inclusion and emulsion-diffusion method*; Food Research International. 42: 148-156.
- Choi, M-J; Ruktanonchai U.; Soottitantawat A. and Min S-G. (2009). *Morphological characterization of encapsulated fish oil with  $\beta$ -cyclodextrin and polycaprolactone* Food Research International 42, 989-997.
- Clares-Naveros, B. Tesis doctoral (2003). *Sistemas de transporte y liberacion de fármacos de aplicación tópica: liposomas multilaminares portadores de acetono de triamcinolona*. Universidad de granada.

Day, B. (1996). *High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce*. Postharvest News and Information. 7(3):31-34.

Díaz-Sobac, R.; Beristain, C.; Vernon-Carter, E. (2001). *Water vapor permeability of an emulsion coating of maltodextrin and surfactants*. Journal of Food Processing and Preservation. 25: 25-34.

Duarte, A.; Sousa, M.; Simplício, A.; Cardoso, M. and Duarte, C. (2006). *Preparation of controlled release microspheres using supercritical fluid technology for delivery of anti-inflammatory drugs*. International Journal of Pharmaceutics. 308: 168-174.

Dzioba, R. (1999). *Selección de un medio apropiado para la separación electroforética de minerales insolubles y ligeramente solubles*. Información Tecnológica. 10: 273-275.

Embuscado, M. and Huber, K. (2009). *Edible films and coatings for food applications*. USA: Springer.

Fang, A. and Cathala, B. (2011). *Smart swelling biopolymer microparticles by a microfluidic approach: synthesis, in situ encapsulation and controlled release*. Colloids and Surfaces B: biointerfaces. (82): 81-86.

Fang, J.; Wu, P.; Fang, C. and Chen, C. (2010). *Intravesical delivery of 5-aminolevulinic acid from water-in-oil nano/submicron-emulsion systems*. Journal of Pharmaceutical Science. 99 (5): 2375-2385.

Fang, Z. and Bhandari, B. (2010). *Encapsulation of polyphenols- a review*. Trends in Food Science & Technology. 21: 510-523.

Factoría virtual de proyectos, S. (2004-2010). *Dietas.net*. Recuperado el 30 de octubre de 2010, de <http://www.dietas.net/tablas-y-calculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-los-alimentos/frutas/frutas-frescas/melon.html>.

Finotelli, P.; Da Silva, D.; Sola-Penna, M.; Malta, A.; Farina, M.; Rodrigues, L.; Yoshihaki, A. and Rocha-Leao, M. (2010). *Microcapsules of alginate/chitosan containing magnetic nanoparticles for controlled release of insulin*. Colloids and Surfaces B: biointerfaces. 81: 206-211.

Fisk, C.; Silver, A.; Strik, B. and Zhao, Y. (2008) *Postharvest quality of hardy kiwifruit (Actinidia arguta "Ananasnaya") associated with packaging and storage conditions*. Postharvest Biology and Technology. 47: 338-345.

Fonseca, S.; Oliveira, F. and Brecht, J. (2002). *Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages*. Journal of Food Engineering. (52) 99-119.

García Sahagún, M.; Vargas, I.; Gardea, A.; Tiznado, M. and Martínez, M. (2005). *Daño por frío en melón cantaloupe en dos estados de madurez*. Revista Fitotecnia Mexicana. 28: 161-170.

- Garret, E. (1999). *Fresh-cut produce. Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods*. Aspen Publishers, Maryland. 264.
- Geraldine, R.; Ferreira, N.; Alvarenga, D. and De Almeida, L. (2008) *Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality*. ScienceDirect Carbohydrate Polymers. 72: 403-409.
- Gil, M.; Selma, M.; López-Gávez, F. and Allende, A. (2009). *Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: Problems and solutions*. International Journal of Food Microbiology. 134: 37-45.
- González-Aguilar, G.; Ayala, F.; Ruiz, S.; Cruz, R. and Cuamea-Navarro, F. (2004). *Estado actual del mercado de frutas y vegetales frescos cortados*. Desarrollo de Tecnologías para la Conservación de Vegetales Frescos Cortados. 7-16.
- Gordon L., and Ping, L. (2000). *Transport processes in pharmaceutical systems*. Michigan: Marcel Dekker, Inc.
- Graham, H. (1977). *Food Colloids*. Westport Connecticut: The AWT Publishing Company.
- Han, B.; Shen, B; Wang, Z.; Shi, M.; Li, H.; Peng,C.; Zhao,Q. and Gao,C. (2008). *Layered microcapsules for daunorubicin loading and release as well as in vitro and in vivo studies*. Polymers for Advanced Technologies. 19: 36-46.
- Hernández-Muñoz, P.; Almenar, E.; Ocio, M. and Gavara, R. (2006). *Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (Fragaria ananassa)*. Postharvest Biology and Technology. 39: 247-253.
- Heunis, T.D.J.; Botes, M. and Dicks, L.M.T. (2010). *Encapsulation of lactobacillus plantarum 423 and its bacteriocin in nanofibers*. Probiotics & Antimicro. 2: 46-51.
- Hodges, D. and Toivonen, P. (2008) *Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress*. Postharvest Biology and Technology. 48: 155-162.
- Huang, Q.; Yu, H. and Ru, Q.(2010) *Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. Concise Reviews and Hypotheses in Food Science*. Journal of Food Science. 75 (1): 50-57.
- Karbowiak, T.; Gougeon, R.; Rigdet, S.; Delmotte, L.; Debeaufort, F. and Voilley, A. (2008). *Diffusion of small molecules in edible films: Effect of water and interactions between diffusant and biopolymer*. Food Chemistry. 106: 1340-1349.
- Kays S. and Paull R. (2004). *Stress in harvested products*. In: Postharvest Biology. Exon Press, Athens, GA. 355-414.
- Kester, J. and Fennema, O. (1986). *Edible films and coatings: a review*. Food Technology. 40: 47-59.

- Kewal K., J. (2008). *Drug Delivery Systems*. Human press.
- Krochta, J. (1997). *Edible protein films and coatings. Food proteins and their applications in foods*. New York, NY. 529-549.
- Krochta, J. and Mulder-Johnston, C. (1997). *Edible and biodegradable polymer films. Challenges and Opportunities*. Food Technology. 51: 61-74.
- Lakkis, J.(2007). *Encapsulation and controlled release: technologies in food systems*. Blackwell Publishing.
- Laminkarna, O.; Chen, J.; Banks, D. and Hunter, P. (2000). *Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed cantaloupe*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48(12): 5955-5961.
- Lesmes, U. and McClements, D. (2009). *Structure-function relationships to guide rational design and fabrication of particulate food delivery systems*. Trends in Food Science & Technology. 20: 448-457.
- LeTien, C.; Vachon, C.; Mateescu, M.; Lacroix, M. (2001). *Milk protein coatings prevent oxidative browning of apples and potatoes*. Journal of Food Science. 66: 512-516.
- Maltais, A.; Remondetto, G. and Subirade, M. (2009). *Soy protein cold-set hydrogels as controlled delivery devices for nutraceuticals*. Food Hydrocolloids. 23: 1647-1653.
- Maltais, A.; Remondetto, G. and Subirade, M. (2010). *Tableted soy protein cold-set hydrogels as carriers of nutraceutical substances*. Food hydrocolloids. 24: 518-524.
- Martín-Belloso, O. and Oms-Oliu, G. (2005). *Efecto de la atmosfera modificada en las caracterisíticas físico-químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada*. Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados. 47-58.
- Martín-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. and Oms-Oliu, G. (2007). *Avances en la mejora de la calidad comercial de los frutos frescos cortados: aspectos físico-químicos y microbiológicos*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. 862-868.
- Martínez-Romero, D.; Alburquerque, N.; Valverde, J.; Guillén, F.; Castillo, S.; Valero, D. and Serrano, M. (2006) *Postharvest sweet cherry quality and safety maintance by Aloe vera treatment: A new edible coating*. Postharvest Biology and Technology. 39: 93-100.
- Matuska, M.; Lenart, A. and Lazarides, H. (2006) *On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake*. Journal of Food Engineering. 72: 85-91.

- McClements, D.; Decker E. and Weiss, J. (2007). *Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components*. Journal of Food Science. 72 (8): 109-124.
- McClements, D. and Li, Y. (2010). *Structured emulsion-based delivery systems: controlling the digestion and release of lipophilic food components*. Advances in Colloid and Interface Science. 159: 213-228.
- Memisoglu, E.; Bochot, A.; Sen, M.; Charon, D. and Duchene, D. (2001) *Amphiphilic  $\beta$ -cyclodextrins modified on the primary face: synthesis, characterization, and evaluation of their potential as novel excipients in the preparation of nanocapsules*. Journal of Pharmaceutical Science. 91 (5): 1214-1224.
- Mendoza M.N.(2006). *Elaboración y caracterización de nanopartículas huecas para su potencial uso como agente de contraste*. Tesis de carrera. Cuautitlán Izcalli: UNAM.
- Mya, M.; Zhou,W. and Perera, C. (2006). *A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes*. Journal of Food Engineering. 77: 84-95.
- Nardo, T.; Shiroma-Kian, C.; Halim, Y.; Francis, D. and Rodriguez-Saona, L. (2009). *Rapid and Simultaneous Determination of Lycopene and  $\beta$ -Carotene Contents in Tomato Juice by Infrared Spectroscopy*. Journal of Agricultural and food chemistry. 57 (4): 1105-1112.
- Negrete, E. (2009).Tesis de carrera: *Características mecánicas y fisicoquímicas de una película biodegradable a base de gretina y su aplicación como cubierta para prolongar vida de almacenamiento en zarzamoras*. Cuautitlán Izcalli: UNAM.
- Nortjé, K.; Buys, E. and Minnaar, A. (2006). *Use of  $\gamma$ -irradiation to reduce high levels of Staphylococcus aureus casein-whey protein coated moist beef biltong*. Food Microbiology. 23: 729-737.
- Oms-Oliu; G. (2007). *Alternativas de envasado de pera y melón frescos cortados en atmósfera modificada*. Universidad de Lleida, Departamento de Tecnología. 312-313.
- Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. (2007). *Evolución de la calidad de melón "piel de sapo" fresco cortado bajo diferentes atmósferas modificadas*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. 795-802.
- Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. (2008) *Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon*. Food Science and Technology 41: 1862-1870.
- Oms-Oliu,G.; Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. (2008) *Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears*. Postharvest Biology and Technology. 50: 87-94.
- Olivas, G.and Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Edible coatings for fresh-cut fruits*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 45: 657-670.

- Olivas, G.; Mattinson, D. and Barbosa-Cánovas, G. (2007) *Alginate coatings for preservation of minimally processed "Gala" apples*. *Postharvest Biology and Technology*. 45: 89-96.
- Pavlath, A.; Wong, D. and Kumosinski, T. (1993). *New coatings for cut fruits and vegetables*. *Chemical Technology*. 23: 36-40.
- Pérez, B.; Bringas, E.; Saucedo, C.; Núñez de Villavicencio, M. and Báez S. (2003). *Efecto del uso de cera comestible en las características físico-químicas de melón cantaloupe*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 5 (2): 140-147.
- Pérez-Gago, M.; Serra, M. and Del Río, M. (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. (2010). Investigadora del Centro de Tecnología Postcosecha. *Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias*. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Pilar, M.; De Ancos, B. and Sánchez-Moreno, C. (2005). *Altas presiones. Nueva estrategia para la mejora de la calidad y seguridad en vegetales frescos cortados*. Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas, vegetales frescos cortados. La Habana, Cuba. 1-9.
- Ponce, A.; Roura, S.; del Valle C. and Moreira, M. (2008) *Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural extracts: in vitro and in vivo studies*. *Postharvest Biology and Technology*. 49: 294-300.
- Pray, L. and Yanktine, A. (2009). *Nanotechnology in food products*. Institute of Medicine.
- Quintanar-Guerrero, D., Allémann, E., Doelker, E. and Fessi H. (1998). *Preparation and Characterization of Nanocapsules from preformed polymers by a new process based on Emulsification-Difusion Technique*. Cuautitlan Izcalli. (15).
- Raybaudi-Massilia, R.; Mosqueda-Melgar, J. and Martín-Belloso O. (2008) *Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melón*. *International Journal of Food Microbiology*. 121: 313-327.
- Reyes, M.; Gaytán, L.; Meza, J. and Esparza, J. (2005). *Efecto de la aplicación de una película comestible sobre propiedades físicas y químicas de melón almacenado en frío*. Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Ribeiro, C.; Vicente, A.; Teixeira, J. and Miranda, C. (2007) *Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence*. *Postharvest Biology and Technology*. 44: 63-70.
- Rocha, F.; Ansorena, E.; Estella-Hermoso de Mendoza, A.; Imbuluzqueta, E.; González, D. and Blanco, M. (2009) *Nanosistemas a base de poliésteres*. Universidad de

Navarra, Facultad de Farmacia, Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica. 41-101.

Rojas-Graü, M. (2006). *Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: una nueva estrategia de conservación*. Tesis Doctoral Universidad de Lleida. 42-45.

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

Rojas-Graü, M.; Tapia, M. and Martín-Belloso, O. (2008) *Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples*. *ScienceDirect LWT*. 41: 139-147.

Romanazzi, G.; Karabulut, O. and Smilanick, J. (2007). *Combination of chitosan and ethanol to control postharvest gray mold of table grapes*. *Postharvest Biology and Technology*. 45: 134-140.

SAGARPA. (2010). *Cultivo Cucumis melo*.

Sahagún, M.; Vargas, I.; Gardea, A.; Tiznado, M. and Martínez, M. (2005). *Daño por frío en melón cantaloupe en dos estados de madurez*. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 28 (2): 161-170.

Sams, C. (1999) *Preharvest factors affecting postharvest texture*. *Postharvest Biology and Technology*. 15 (3): 249-254.

Sapers, G. (1993). *Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means*. *Food Technology*. 47 (10):75-84.

Senesi, E.; Galvis, A. and Fumagalli, G. (1999). *Quality indexes and internal atmosphere of packaged fresh-cut pears (Abate fetel and Kaiser varieties) Italian*. *Journal of Food Science*. 2: 111-120.

Shahidi, F.; Arachchi, J. and Jeon, Y. (1999). *Food applications of chitin and chitosans*. *Trends in Food Science & Technology*, 10: 37-51.

Siepmann, J. and Siepmann, F. (2008). *Mathematical modeling of drug delivery*. *International Journal of Pharmaceutics*. (364): 328-343.

Silveira, A.; Conesa, A.; Aguayo, E. and Artes, F. (2008). *Alternative sanitizers to chlorine for use on fresh-cut "galia" (cucumis melo var. catalupensis) melon*. *Food Microbiology and Safety*. 73 (9): 405-411.

Silveira, A.; Aguayo, E.; Leglise, A. and Artés, F. (2007). *Melón galia pelado y cortado en zumo de fruta sin azúcar añadido*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena. 707-714.

- Silveira, A.; Aguayo, E.; Leglise, A. and Artés F. (2007). *Aptitud de tres cultivares de melón tipo "galia" para su procesado en fresco*. V Congreso Iberoamericano Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena. 1182-1192.
- Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. (2005). *Procesado y comercialización de frutas frescas cortadas*. Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola. 36-40.
- Sozer, N. and Kokini, J. (2009). *Nanotechnology and its applications in the food sector*. Trends in Biotechnology. 27 (2): 82-89.
- Suslow, T.; Cantwell, M. and Mitchell, J. (9 de junio 2000). *Indicadores básicos del manejo postcosecha del melón cantaloupe (chino o de red)*. Recuperado el 24 de septiembre de 2010, de Postharvest Technology: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/MelonCantaloupe.shtml>
- Surassmo, S.; Min, S-G; Bejrappa, P. and Choi, M-J(2010). *Effects of surfactants on the physical properties of capsicum oleoresin-loaded nanocapsules formulated through the emulsion-diffusion method*. Food Research International. 43: 8-17.
- Tapia, M.; Raybaudi-Massilia, R. and Martín-Belloso, O. (2005). *Patógenos asociados a frutas frescas cortadas. Incidencia, supervivencia y crecimiento, brotes y control*. Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados. 111-119.
- Treybal, R. (1980). *Operaciones de transferencia de masa*. 2<sup>da</sup> ed., Mc Graw Hill.
- Turhan, K.; Sahbaz, A. and Güner, A. (2001). *A spectrophotometric study of hydrogen bonding in methylcellulose-based edible films plasticized by polyethylene glycol*. Journal of Food Science, 66: 59-62.
- Uquiche, E.; Villaroel, M. and Cisneros-Zevallos, L. (2002) *Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad sensorial de pimentones verdes (Capsicum annuum L.) durante el almacenamiento*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 52: 84-89.
- Ulloa, J. (2007). *Frutas autoestabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos*. 1<sup>er</sup> ed., Universidad Autónoma de Nayarit.
- Villaseñor, C.; Chávez, S.; Saucedo, C.; Landois, L. and Hernández, L. (2006). *Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (cucumis melo l.) bajo compresión axial*. Revista Fitotécnica Mexicana. 29 (2): 157-162.
- Villiers, M. (2009). *Nanotechnology in Drug Delivery*. USA: Springer.
- Wang, B.; Siahhan, T. and Soltero, R. (2005). *Drug delivery principles and applications*. Georgia, USA: Wiley-Interscience.
- Watada, A.; Ko, N. and Minott, D. (1996). *Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products*. Postharvest Biology and Technology. (9):115-125.

Wiley, R. (1997). *Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesadas y Refrigeradas*. Acribia España. 15-60.

Wong, D.; Tillin, S.; Hudson, J. and Pavlah, A. (1994). *Gas exchange in cut apples with bilayer coatings*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42: 2278-2285.

Yang, L. and Paulson, A. (2000). *Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films*. Food Research International. 33: 563-570.

Yin, L.; Chu, B.; Kobayashi, I. and Nakajima, M. (2009). *Performance of selected emulsifiers and their combinations in the preparation of  $\beta$ -carotene nanodispersions*. Food Hydrocolloids. 23: 1617-1622.

Zambrano-Zaragoza; M.L.; Mercado, E.; Gutiérrez-Cortez, E.; Castaño-Tostado, E. and Quintanar-Guerrero, D. (2010). *Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion-diffusion method for food applications*. LWT-Food Science and Technology. 1-7.

Zambrano-Zaragoza, M.L.; Mercado Silva E.; Sánchez Reyes, V.; Alvarez-Cárdenas A. and Quintanar-Guerrero, D. (2010). *Effect of  $\alpha$ -tocopherol emulsion-coatings on browning index and firmness in fresh cut apples "red delicious" at refrigerate conditions*. NA-7 894-898- ISBN: 978-607-00-3785-6.

Zambrano, J.; Briceño, S.; Méndez, C.; Manzano, J. and Castellanos E. (1995). *Cambios en la maduración de frutos de mango cubiertos con ceras, durante el almacenamiento*. Agronomía Tropical. 47(1): 5-15.