



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE VITAMINA E SOBRE  
LA VIDA ÚTIL DE MANZANA FRESCA CORTADA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**NANCY SANDRA CONTRERAS SALMERON**

**ASESORES: I.A. ALFREDO ALVAREZ CARDENAS  
M. EN C. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

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

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

Efecto de la aplicación de vitamina E sobre la vida útil de  
manzana fresca cortada.

que presenta la pasante: Nancy Sandra Contreras Salmerón  
con número de cuenta: 405066674 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 ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de febrero de 2010.

PRESIDENTE I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas

VOCAL Dra. María Elena Vargas Ugalde

SECRETARIO I.B.Q. Leticia Figueroa Villarreal

PRIMER SUPLENTE I.A. Araceli Ulloa Saavedra

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Zaira B. Guadarrama Álvarez

## AGRADECIMIENTOS



Al primero que quiero agradecer es a aquel que merece toda la gloria y honra, a aquel por el cual todo es posible, gracias Señor Jesús por darme una victoria más en mi vida, que servirá para testimonio a futuras generaciones.

Gracias Papis, Martín y Lety, por todo el esfuerzo que hicieron para que tuviera una buena educación, en especial en esta última etapa; no lo hubiera logrado sin ustedes, los amo mucho.

Gracias Hermanos, Yessi y Martín, por apresurarse a sus tareas para que yo pudiera usar la computadora, por guardar silencio para que yo pudiera concentrarme y gracias les doy por las horas que tuvieron que estar esperando en el carro hasta que yo saliera, en fin, gracias por apoyarme cuando más lo necesité.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis asesores: Profesor Alfredo Álvarez, gracias por todo su apoyo incondicional y su confianza para conmigo. Profesora Luz Zambrano, mil gracias por su paciencia, he aprendido mucho de usted. No voy a olvidar sus consejos, enseñanzas y ayuda durante el lapso de mi tesis.

Dr. David Quintanar muchas gracias por su infinito apoyo, le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de mi tesis.

Y a todas las personas que de una u otra manera estuvieron involucradas para que este proyecto se lograra...



# ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCION

i

## **CAPÍTULO 1. Marco Teórico**

<b>1.1</b>	Especificaciones de la manzana	1
<b>1.1.1</b>	Descripción física y estructural de la manzana	2
<b>1.1.2</b>	Evaluación de la calidad física y sensorial	3
<b>1.1.2.1</b>	Color	3
<b>1.1.2.2</b>	Textura	4
<b>1.1.2.3</b>	Sólidos Solubles	5
<b>1.1.2.4</b>	Cambios en el contenido de ácidos en la fruta	5
<b>1.1.3</b>	Condiciones de almacenamiento de la manzana fresca cortada	6
<b>1.2</b>	Alimentos frescos cortados	7
<b>1.2.1</b>	Operaciones de proceso	8
<b>1.2.1.1</b>	Almacenamiento de materia prima	11
<b>1.2.1.2</b>	Selección de materia prima	11
<b>1.2.1.3</b>	Limpieza de lavado y desinfección	13
<b>1.2.1.4</b>	Pelado, descorazonado y cortado	14
<b>1.2.1.5</b>	Alternativas para la conservación de alimentos frescos cortados	15
	a) Conservación por calor	15
	b) Conservación química	16
	c) Conservación utilizando radiación	16
	d) Reducción de actividad de agua ( $a_w$ )	16
	e) Recubrimientos comestibles	16
	f) Métodos combinados	21
<b>1.2.1.6</b>	Envasado	21
<b>1.2.2</b>	Cambios biológicos y bioquímicos	22
	a) Desarrollo de aromas indeseables	23
	b) Oscurecimiento enzimático	23

c)	Pérdida de firmeza	25
<b>1.2.3</b>	Aspectos de calidad de los alimentos frescos cortados	25
<b>1.2.3.1</b>	Control del oscurecimiento	26
<b>1.2.3.2</b>	Crecimiento microbiano	26
<b>1.2.3.3</b>	Prevención de pérdida de textura	26
<b>1.2.3.4</b>	Apariencia y calidad sensorial	28
<b>1.2.3.5</b>	Control de temperatura	28
<b>1.2.4</b>	Importancia de la estimación del tiempo de vida útil	29
<b>1.2.5</b>	Legislación	30
<b>1.3</b>	Especificaciones de los antioxidantes	31
<b>1.3.1</b>	Definición y clasificación	32
<b>1.3.2</b>	Propiedades de los antioxidantes	33
<b>1.3.3</b>	Vitamina E	33
<b>1.3.3.1</b>	Tipos de vitamina E	33
<b>1.3.3.2</b>	Propiedades de la vitamina E	34
<b>1.3.3.3</b>	Acción de la vitamina E	35
<b>1.3.3.4</b>	Requerimientos mínimos de la vitamina E	36
<b>1.3.3.5</b>	Beneficios	36
<b>1.3.3.6</b>	Legislación	36

## **CAPÍTULO 2. Metodología de Investigación Experimental**

<b>2.1</b>	Problema y Objetivo General	37
<b>2.2</b>	Objetivos particulares	38
<b>2.3</b>	Hipótesis	38
<b>2.4</b>	Selección y justificación de variables	39
<b>2.5</b>	Diseño Experimental	40
<b>2.5.1</b>	Control de materia prima	40
<b>2.5.2</b>	Ingredientes	40
<b>2.5.3</b>	Preparación de las soluciones	41
<b>2.5.4</b>	Acondicionamiento de la manzana fresca cortada	41
<b>2.5.5</b>	Determinación del límite de concentración de vitamina E	41

2.5.6	Tratamiento antioxidante en las manzanas frescas cortadas	42
2.5.7	Almacenamiento	43
2.5.7.1	Caracterización de la cámara de refrigeración	43
2.5.7.2	Preparación de las muestras de manzana fresca cortada	44
2.5.8	Determinación del porcentaje de impregnación	44
2.5.9	Determinación de sólidos solubles	45
2.5.10	Determinación de acidez	45
2.5.11	Determinación de firmeza	47
2.5.12	Determinación de color	47
2.5.13	Tratamiento estadístico	48
<b>CAPÍTULO 3. Análisis de Resultados</b>		
3.1	Actividades Previas	49
3.1.1	Fórmula para la solución y emulsión de vitamina E	49
3.1.2	Porcentaje de impregnación	49
3.1.3	Caracterización de la cámara de refrigeración	50
3.2	Determinación de pérdida de peso	52
3.3	Determinación de sólidos solubles y acidez	53
3.4	Determinación del color	55
3.4.1	Parámetros de color CIE L*, a* y b*	55
3.4.2	Índices de color	59
3.5	Determinación de firmeza	61
CONCLUSIONES		64
BIBLIOGRAFÍA		66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Esquema general de preparación de fruta fresca cortada	12
<b>Figura 2.</b>	Principales funciones de los recubrimientos comestibles aplicados a frutas frescas cortadas	17
<b>Figura 3.</b>	Modelo de “caja de huevo” formado por $\text{CaCl}_2$	19
<b>Figura 4.</b>	Daño a nivel celular originado por el cortado	24
<b>Figura 5.</b>	Estructuras de tocoferoles y tocotrienoles	34
<b>Figura 6.</b>	Acción de la vitamina E	36
<b>Figura 7.</b>	Representación de los 6 puntos en la cámara de refrigeración	50
<b>Figura 8.</b>	Vista lateral del flujo de aire en la cámara de refrigeración	51
<b>Figura 9.</b>	Diferencia de peso de la manzana fresca cortada	52
<b>Figura 10.</b>	Cambio en el contenido de ácido málico y sólidos solubles en la manzana fresca cortada	54
<b>Figura 11.</b>	Luminosidad de la manzana fresca cortada durante el almacenamiento	56
<b>Figura 12.</b>	Evolución del parámetro $a^*$ en manzana fresca cortada durante 14 días de almacenamiento.	57
<b>Figura 13.</b>	Parámetro $b^*$ durante el almacenamiento de manzana fresca cortada	58
<b>Figura 14.</b>	Ángulo hue durante el almacenamiento de manzana fresca cortada	59
<b>Figura 15.</b>	Índice de blancura durante el almacenamiento de manzana fresca cortada	60
<b>Figura 16.</b>	Fuerza máxima obtenida en el ensayo de compresión y punción	62
<b>Figura 17.</b>	Manzana fresca cortada con diferentes tratamientos a los 15 días de almacenamiento	65

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Composición de diversas frutas	2
<b>Cuadro 2.</b>	Contenido de vitaminas en diversas frutas	3
<b>Cuadro 3.</b>	Presentaciones de fruta fresca cortada comúnmente comercializada	15
<b>Cuadro 4.</b>	Recubrimientos comestibles utilizados en las frutas frescas cortadas	20
<b>Cuadro 5.</b>	Enzimas y m.o. involucrados en el deterioro de fruta fresca cortada	27
<b>Cuadro 6.</b>	Selección de variables	39
<b>Cuadro 7.</b>	Tiempo de oxidación para diferentes concentraciones de vitamina E	49
<b>Cuadro 8.</b>	Porcentaje de impregnación de vit. E en manzana fresca cortada	49
<b>Cuadro 9.</b>	Temperatura del medio de enfriamiento	51

## RESUMEN

En la actualidad el estilo de vida de los consumidores unido a la necesidad de adquirir productos naturales y beneficiosos para la salud ha hecho que la producción de frutas frescas cortadas, haya sufrido un incremento en los últimos años. Sin embargo, el desarrollo comercial de estos productos está limitado por la elevada intensidad respiratoria que presentan la mayoría de los frutos como respuesta a los daños mecánicos ocurridos durante el procesamiento. En tal sentido, determinar el tratamiento antioxidante que disminuya los cambios en las propiedades físicas, químicas y texturales de la manzana fresca cortada para extender el tiempo de vida útil, constituyó el objetivo principal de esta investigación. En primer lugar, se establecieron las condiciones más adecuadas para el procesamiento de manzana Red Delicious, evaluando el efecto de la concentración de vitamina E en la conservación del color, así como las condiciones óptimas de refrigeración para su almacenamiento. Seguidamente, se procedió al estudio del efecto de la vitamina E en solución o emulsión aplicado a manzana fresca cortada y del empleo de recubrimientos comestibles de base polisacárida como método alternativo para transportar agentes antioxidantes. El estudio concluyó con una valoración del tiempo de vida útil de la manzana fresca cortada con diferentes tratamientos, basado en los cambios físicos, químicos y texturales experimentados por la fruta. El empleo de solución de vitamina E (2000 ppm) como antioxidante combinada con recubrimiento de alginato, mostró tener una notable eficacia en la conservación del color en manzanas frescas cortadas. Dicho recubrimiento permitió mantener la firmeza alrededor de 4.5 N por la presencia de iones de calcio, alargando la vida útil de las rebanadas de manzana hasta por 14 días. Para las características de frescura, tanto los sólidos solubles como la acidez total no presentaron un cambio significativo ( $p < 0.05$ ) por lo que se concluyó que la vida útil de la manzana fresca cortada tratada con vitamina E como agente antioxidante se ve limitada, más que por la degradación de los compuestos, por los cambios de color y textura.

## INTRODUCCIÓN

El concepto de alimentos frescos cortados surgió en Estados Unidos a finales de la década de los 70; en Europa, particularmente en Francia y Gran Bretaña, este mercado creció impresionantemente al inicio de la década de los 90 (*Torrieri et al., 2008*). Dicho concepto ha incrementando su presencia en el mercado internacional (*Zarazúa-Escobar et al, 2005*), cada día es mayor la tendencia de los consumidores, a adquirir alimentos con características sensoriales que reflejen una mínima intervención de procesos industriales, especialmente si se trata de una fruta o un vegetal, ya que estos proveen de una sustancial porción de vitaminas y minerales en la dieta (*Millán et al, 2001*).

Un caso ideal de procesamiento mínimo puede ser visto como procesamiento invisible (*Torrieri et al., 2008*). La IFPA (The Internacional Fresh-cut Produce Association) define los productos frescos cortados como frutas y vegetales que han sido lavados y/o pelados y/o cortados y envasados para ofrecer al consumidor alta nutrición, conveniencia y sabor, mientras aún mantiene su frescura (*Rico, 2007*). El procesamiento mínimo puede aprovechar frutas que serían descartadas del proceso de selección, contribuyendo a aumentar su vida útil e incrementar su valor agregado hasta tres veces más que el de una fruta al natural. Otros términos para tales productos son: ligeramente procesado, mínimamente procesado, procesado en fresco, precortado y listo para consumirse (*Zarazúa-Escobar et al, 2005*).

Los tipos y cantidades de productos frescos cortados se han incrementado desde la década pasada y en la actualidad su uso se ha expandido a restaurantes, supermercados y tiendas teniendo amplia aceptación (*Chung y Moon, 2009*). Dichos productos ofrecen varios beneficios al consumidor: elimina el tiempo de preparación del producto, proporciona una calidad uniforme, requiere menos espacio para el almacenamiento y manejo, reduce pérdidas postcosecha por deshidratación y manipulación y conserva las características nutricionales,

funcionales y de sabor, propias de los productos frescos (*Zarazúa-Escobar et al, 2005*).

La manzana es una fruta muy popular, consumida alrededor de todo el mundo. Hoy en día, la manzana Fuji es una variedad extensamente cultivada en el mundo (*Rojas-Graü et al, 2008*), la cual es un híbrido entre la Red Delicious y la Ralls Janet. Esta variedad tiene excelentes características sensoriales como jugosidad, firmeza, dulzor, sabor pungente con alto contenido de azúcar y bajo contenido de ácido.

La presentación más aceptada por consumidores son las rodajas de manzana como aperitivo. Su calidad y su vida útil se estiman de 2 a 3 semanas, y depende de muchos factores (*Saftner, 2005*) como el pardeamiento, operaciones de cosecha, o condiciones de proceso y almacenamiento (*Soliva-Fortuny et al, 2002*).

Sin embargo, estos productos son altamente perecederos y requieren de un almacenamiento a baja temperatura para asegurar una vida útil razonable (*Rico, 2007*). Dicha perecibilidad ocasiona grandes volúmenes de pérdidas durante el proceso de comercialización.

El cortado es el principal factor responsable del deterioro de estos productos durante su almacenamiento. Usualmente, la lesión de los tejidos induce a la elevación de la respiración y producción de etileno, oscurecimiento enzimático, degradación de la membrana lipídica, producción de metabolitos secundarios y pérdida de agua. Siendo el oscurecimiento enzimático la principal limitante sobre la vida útil, el cual se produce por la reacción de la polifenoloxidasa (PPO) con compuestos fenólicos y lo facilita la difusión de O<sub>2</sub> a través del tejido cortado (*Chung y Moon, 2009*). Durante el cortado, la superficie del producto es también expuesta a posible contaminación microbiana, y un gran número de superficies cortadas puede proveer de condiciones ideales para el crecimiento de microorganismos (*Ihl, 2003*). Los deterioros microbiológicos, bioquímicos y físicos llegan a ser los procesos dominantes que afectan la seguridad y calidad del

producto y determinan su tiempo de vida útil (*Cortés et al , 2007*), la cual se estima que tiene un mínimo de 4-7 días, pero preferiblemente este tiempo se requiere arriba de 21 días dependiendo del método de conservación (*Robles-Sánchez et al., 2007*).

La calidad de los productos hortofrutícolas frescos cortados está dada por una combinación de atributos o factores de calidad que incluyen apariencia visual, textura, sabor, valor nutritivo e inocuidad. Esta calidad depende de la propia que posee el vegetal original, del método de elaboración y de las posteriores condiciones de manejo.

Han sido evaluados diferentes tratamientos para reducir el oscurecimiento en productos frescos cortados, tales como la aplicación de compuestos antioxidantes, sales de calcio para mantener la integridad de la membrana, irradiación, inhibidores químicos de Polifenoloxidasa o el uso de empaçado en atmósfera modificada para reducir el oxígeno (*Ihl et al., 2003*).

En tal sentido, uno de los mayores retos que enfrenta el procesamiento mínimo de alimentos es el poder combinar adecuadamente distintos factores de conservación a fin de generar productos inocuos, pero que al mismo tiempo garanticen las características sensoriales de frescura que desea el consumidor (*Millán et al, 2001*).

Por lo tanto, es necesario realizar una investigación para entender como las condiciones de proceso y la aplicación de un antioxidante en la manzana afecta a la calidad final del producto.

**CAPÍTULO 1.**

# **MARCO TEÓRICO**

## 1.1. ESPECIFICACIONES DE LA MANZANA

La manzana es un pomo, de color variable (rojo, amarillo, verde) y de forma entre esférica achatada y troncocónica: de pulpa blanca, jugosa, aromática y con sabor agradable. Posee semillas pequeñas, de cubiertas marrón oscuro y brillantes. Las variedades de manzana se clasifican de acuerdo con el color de su epidermis, y dentro de ella por su precocidad y características de la coloración (intensidad y tipo de color: liso o estriado) (*Agustí, 2004*).

La industria de la manzana se ha convertido en una importante fuerza comercial, debido a sus características de resistencia a las enfermedades, resistencia al invierno, su apariencia (color y forma) y su textura, aunado al alto rendimiento del cultivo. Entre sus variedades más conocidas se encuentran Bramley's Seedling, Brayburn, Cox's Orange Pippin, Delicious, Golden Delicious, Discovery, Granny Smith, Jonathon y Newtown Pippin (*Arthey y Ashurst, 1996*).

Dadas las numerosas variedades de manzanas, es posible encontrar la mayoría de ellas en el mercado desde septiembre hasta junio, excepto la Golden Supreme que está disponible desde agosto a noviembre o la Golden Delicious que se encuentra prácticamente todo el año (*Consumer, 2006*).

*La manzana Red Delicious* es una variedad estadounidense que proporciona frutos grandes y alargados, de color rojo más o menos intenso, con un punteado amarillo. Su pulpa es dulce, jugosa, ligeramente acidulada y muy aromática. Es una variedad de crecimiento vertical y con tendencia a dar ángulos agudos en la inserción de las ramas. Es autoestéril y de floración semi-tardía. Es un árbol muy exigente desde todos los puntos de vista, particularmente en terreno. Es sensible al moteado, araña roja y pulgón lanígero. Es un fruto de excelente conservación cuya recolección se realiza en septiembre-octubre (*Infoagro, 2009*).

### 1.1.1. Descripción física y estructural de la manzana

Desde el punto de vista nutritivo, la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta. Un 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares, la mayor parte fructosa (azúcar de la fruta) y en menor proporción, glucosa y sacarosa, de rápida asimilación en el organismo, son los nutrimentos más abundantes después del agua. Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de vitamina C. Es rica en pectina, fibra abundante en la manzana, que mejora el tránsito intestinal. Entre su contenido mineral sobresale el potasio y es baja en sodio. El potasio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula (Consumer, 2009). En los Cuadros 1 y 2 se muestra la composición de la manzana fresca así como de otras frutas.

Esta fruta, sí se va a procesar como fruta fresca cortada por varias empresas del sector, se prefiere que sean frutas de pulpa firme, capaces de soportar las operaciones tecnológicas (Sierra, 2004).

**Cuadro 1.** Composición de diversas frutas (g/100 g de porción)

FRUTA	Agua	Carbohidratos	Proteína	Grasa	Fibra
Albaricoque	88	9.5	0.8	-	2.1
Aguacate	79	5.9	1.5	12	1.8
Cereza	80	17.0	1.3	0.3	1.2
Ciruela	84	9.6	0.8	-	2.2
Durazno	89	9.0	0.6	-	1.4
Frambuesa	86	11.9	1.2	0.6	6.5
Fresa	91	5.1	0.7	0.3	2.2
Guayaba	82	15.7	1.1	0.4	5.3
Kiwi	84	9.1	1.0	0.4	2.1
Mango	84	15.0	0.6	0.2	1.0
Manzana	86	12.0	0.3	-	2.0
Melón	92	6.0	0.1	-	1.0
Naranja	87	10.6	1.0	-	1.8
Papaya	89	9.8	0.6	0.1	1.8
Pera	86	11.5	0.3	-	2.1
Piña	84	12.0	1.2	-	1.2
Plátano	75	20.0	1.2	0.3	3.4
Sandía	93	8.0	10	-	0.6
Uva	82	16.1	0.6	-	0.9

Fuente: Pérez, 2003

**Cuadro 2.** Contenido de vitaminas en diversas frutas (valor/100 g de porción)

FRUTA	Vitamina C (mg)	Vitamina E (mg) ( $\alpha$ -tocoferol)	Vitamina A ( $\mu$ g RAE)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)	Piridoxina (mg)	Folato ( $\mu$ g)
Albaricoque	10.0	0.89	96	0.030	0.040	0.600	0.054	9
Aguacate	10.0	2.07	7	0.067	0.130	1.738	0.257	58
Cereza	7.0	0.07	3	0.027	0.033	0.154	0.049	4
Ciruela	9.5	0.26	17	0.028	0.026	0.417	0.029	5
Durazno	6.6	0.73	16	0.024	0.031	0.806	0.025	4
Frambuesa	26.2	0.87	2	0.032	0.038	0.598	0.055	21
Fresa	58.8	0.29	1	0.024	0.022	0.386	0.047	24
Guayaba	183.5	0.73	31	0.050	0.050	1.200	0.143	14
Kiwi	75.0	-	9	0.020	0.050	0.500	-	-
Manzana	4.6	0.18	3	0.017	0.026	0.091	0.041	3
Naranja	53.2	0.18	11	0.087	0.040	0.282	0.060	30
Papaya	61.8	0.73	55	0.027	0.032	0.338	0.019	38
Pera	4.2	0.12	1	0.012	0.025	0.157	0.028	7
Piña	36.2	0.02	3	0.079	0.031	0.489	0.110	15
Plátano	8.7	0.10	3	0.031	0.073	0.665	0.367	20
Uva	10.8	0.19	3	0.069	0.070	0.188	0.086	2

Fuente: Pérez, 2003

Generalmente se presenta en forma de piezas de distintas geometrías, aunque la forma más convencional es la que se obtiene al cortar en trozos longitudinales al eje de la manzana, eliminando las pepitas y en ocasiones la piel.

### 1.1.2. Evaluación de la calidad fisicoquímica y sensorial

La calidad de un fruto depende en gran medida de sus propiedades fisicoquímicas, que a su vez se ven reflejadas en la calidad sensorial, de tal manera que para correlacionar estas propiedades se han desarrollado diversas mediciones que pueden determinar el grado de madurez que el fruto ha desarrollado (Lozano, 2006).

#### 1.1.2.1. Color

El color, es uno de los principales criterios por los que los consumidores juzgan la frescura y calidad de muchos alimentos. Es totalmente decisivo al comprar un producto. Por ejemplo, se asocia el color marrón con tejidos excesivamente maduros, heridos o almacenados por tiempo excesivo. Al contrario, los preferidos son los colores amarillos, verdes o rojos claros y brillantes.

Es posible expresar el color en variables que corresponden a la percepción de la visión del ser humano. Los métodos objetivos más utilizados para la medición del color se basan en la técnica de reflectometría de luz visible o colorimetría triestímulo, y para ello, se utilizan espectrofotómetros y espectrocolorímetros. Estos equipos permiten la obtención de las coordenadas triestímulo XYZ definidas por la CIE (*Comission Internationale de l'Eclairage*) en el año 1931 con el fin de normalizar la medición del color. La CIE, en el año 1971, propuso un nuevo espacio cromático (CIE-L\*a\*b\*) que incluía coordenadas cilíndricas y rectangulares, en un espacio de color uniforme. El sistema CIE-L\*a\*b\* es empleado frecuentemente como un método versátil y fiable para evaluar el color de frutas y hortalizas, así como también los cambios ocurridos durante su maduración, procesamiento, almacenamiento, etc (Pérez, 2003).

#### 1.1.2.2. *Textura*

Los frutos se consumen no sólo por su valor nutritivo, sino también por placer. El tipo de sensaciones de una experiencia como deformar y fracturar un fruto durante la fase inicial del mascado determina nuestra aceptación o rechazo. Con los años, los procesadores de alimentos han desarrollado muchos métodos para evaluar las propiedades estructurales (tales como el módulo, la fractura al estrés y la tensión) y la relación de estos parámetros con la calidad textural de las frutas.

La firmeza es un parámetro crítico en la calidad textural de las manzanas. Esta propiedad mecánica es importante en la determinación de la calidad y madurez. Algunos investigadores han informado valores en manzana tales como:  $3.4 \pm 0.3$  MPa y calcularon el módulo de Young en 3.0. La tenacidad (K), la energía de fractura (G), y el límite de elasticidad ( $\sigma_y$ ), son, respectivamente:  $10.1 \pm 1.4$  kPa  $m^{1/2}$ ,  $39.6 \pm 10.5$  Jm<sup>-2</sup> y  $0.3 \pm 0.1$  Mpa. La firmeza está en función de las propiedades mecánicas de la pared celular, como la turgencia celular y propiedades de unión entre células vecinas.

El grado de madurez, se mide dentro del tejido de la manzana por los siguientes parámetros: la ruptura al estrés, tensión, energía y el módulo de elasticidad

aparente (Módulo de Young). La ruptura al estrés es más alta en dirección vertical que en dirección tangencial. El módulo de Young es significativamente más alto ( $p < 0.05$ ) en muestras radiales que en muestras tangenciales y verticales. Se ha desarrollado un método no destructivo para determinar la elasticidad de la fruta utilizando el coeficiente de elasticidad que es la relación de esfuerzos de compresión a la deformación. Aunque se utilicen diferentes tipos de penetrómetros, el coeficiente de elasticidad muestra una estrecha correlación con el esfuerzo de compresión y una correlación aceptable con la tensión de ruptura de las manzanas (Yiu, 2006).

#### **1.1.2.3. Sólidos solubles**

La concentración de sólidos solubles tiende a aumentar a medida que maduran las manzanas y peras, debido a que los almidones se convierten en azúcares y como consecuencia incrementan la dulzura en las frutas. Por lo que podría ser un índice de madurez útil en estos frutos.

La concentración de sólidos solubles en el jugo pueden ser estimados con un hidrómetro o un refractómetro. El refractómetro mide la capacidad de una solución para refractar un haz de luz, que es proporcional a la concentración de la solución. Un hidrómetro es un cilindro hueco graduado con un bulbo pesado en su extremo, que flota en el jugo a una altura relacionada con el jugo de la densidad. Los resultados generalmente se expresan en °Bx, que se refiere al peso específico de una solución equivalente a la concentración de sacarosa pura (Yiu, 2006).

El valor de la concentración de sólidos solubles de una temporada no será necesariamente la misma en temporadas sucesivas. Truter y Hurndall (1988) encontraron que el contenido de sólidos solubles de manzanas 'Starking Delicious' oscilaba entre 10.8 y 12.2% en la etapa óptima de recolección (Ferree et al., 2003).

#### **1.1.2.4. Cambios en el contenido de ácidos en la fruta**

El sabor de las frutas resulta de la combinación de azúcares, ácidos, materiales aromáticos y astringentes dentro de la fruta. Las manzanas tienen relativamente

un contenido alto de ácidos en comparación con otras frutas, el cual se puede medir por medio de una simple titulación química en el jugo de la fruta.

La cantidad de ácido en las manzanas varía más a menudo entre las estaciones y los huertos que entre la fecha de cosecha, por lo que la fijación de un valor específico para la óptima calidad de la cosecha es inapropiado. Sin embargo, si el contenido de ácido es muy bajo cuando se cosecha la fruta, la calidad de la alimentación tras el almacenamiento puede ser inaceptable, porque la acidez cae notablemente durante el almacenamiento (*Ferree et al., 2003*).

No todas las variedades de manzana presentan un cambio significativo en el contenido de ácido, por lo que, la acidez debe utilizarse en combinación con otros índices de madurez. Para la mayoría de las frutas la acidez y el sabor se ven afectados por la proporción de azúcar con el ácido. Cuanto más alto sean los °Bx mayor es la concentración de azúcar en el jugo y mayor es la proporción de °Bx en el ácido (*Yiu, 2006*).

### **1.1.3. Condiciones de almacenamiento de la manzana fresca cortada**

Después de la cosecha, las propiedades sensoriales y nutricionales de los frutos se deterioran en diferentes grados. Las causas del deterioro incluyen el crecimiento y la actividad de microorganismos, las actividades de las enzimas naturales, la acción de insectos y roedores, los cambios en la temperatura y el contenido de agua, y el efecto del oxígeno y la luz. Si no se toman las medidas correctas de almacenamiento, los frutos pueden tener un tiempo de vida de 1 a 7 días a 21°C. (*Lozano, 2006*).

Las manzanas se recogen para ser procesadas y almacenadas en la misma forma que el sector de frutas frescas con destino al mercado. A partir de enero y febrero, las manzanas para procesamiento se almacenan en atmósferas controladas que generalmente consisten en una atmósfera modificada, con 2 a 3% de oxígeno y 1 a 4% de CO<sub>2</sub> en conjunción con temperaturas reducidas. Las manzanas en atmósfera controlada generalmente se almacenan cuatro a seis meses antes de la salida del almacén y la distribución en el mercado, estas aún se encuentran en

muy buenas condiciones. Sin embargo, las manzanas se deben permitir “normalizar” varios días antes de ser procesadas.

Hay una cierta pérdida de sabor y ácido en la manzana durante el almacenamiento en atmósfera controlada, pero no es lo bastante importante para el procesamiento de la manzana. Debido al aumento de los costos de almacenamiento en atmósfera controlada, el máximo volumen de manzanas se comercializa fresca y las cantidades deseadas de manzana para su procesamiento no siempre están disponibles (*Barrett et al., 2005*).

## **1.2. ALIMENTOS FRESCOS CORTADOS**

Durante las últimas dos décadas, se ha introducido al mercado una nueva categoría de productos: las frutas frescas cortadas. También se les conoce como productos “ligeramente procesados”, “mínimamente procesados”, “procesado en fresco”, “parcialmente procesados” ó “alimentos de la IV gama”, según la Asociación Internacional de Productos Frescos Cortados (IFPA: International Fresh-Cut Produce Association).

*Los productos frescos cortados se definen como cualquier fruta o vegetal o cualquier combinación de estas que han sido alteradas físicamente desde su forma original, pero conservan su estado fresco. Estas frutas y vegetales han sido seleccionadas, peladas, lavadas, y empacadas como productos 100% naturales, ofreciendo a los consumidores comodidad, nutrición y frescura (*Barrett et al, 2005*).*

Existen; sin embargo, muchas consideraciones en cuanto a la investigación realizada alrededor del procesamiento mínimo, lo que trae como resultado diferentes definiciones. Salunkhe y Desai (1991) definieron a los alimentos de IV Gama como: “aquellas frutas y hortalizas procesadas para aumentar su funcionalidad sin cambiar de forma apreciable sus propiedades originales”. Más comúnmente se definen como frutas y vegetales frescos limpios, troceados y envasados, que mantienen sus propiedades naturales y que están listas para ser

consumidas. Este tipo de productos se envasa generalmente en atmósferas modificadas y requieren conservarse a bajas temperaturas (2 y 4°C), mostrando una vida útil entre 7 y 10 días (*Gorris y Peppelenbos, 1999*). Entendiéndose por vida útil como el periodo de tiempo durante el cual resulta deseable el consumo de un producto alimenticio elaborado (*Bello, 2000*).

Algunos ejemplos de frutas frescas cortadas disponibles en el mercado son rebanadas de manzana, pera, fresa, naranja, toronja, mango, melón, sandía, piña, cítricos y ensaladas de frutas. El tiempo de vida de las frutas frescas cortadas se espera que sea alrededor de 7 a 8 días, en contraste con los 10 a 14 días de los vegetales mínimamente procesados (*Barrett et al, 2005*). La preparación inicial y los tratamientos de conservación se continúan normalmente con alguna forma de atmósfera controlada/modificada, envasado a vacío y temperaturas reducidas, por encima del punto de congelación, durante el almacenamiento, distribución, comercialización y preparación justo antes del consumo para asegurar una mejor retención de la calidad sensorial y nutritiva (*Wiley, 1997*).

### **1.2.1. Operaciones de proceso**

Factores como el cultivo, el estado de madurez al momento de la recolección, la manipulación postcosecha, el acondicionamiento de la materia prima, así como las condiciones de almacenamiento del producto terminado (*Rojas-Graü, 2006*), requiere de diversas operaciones que son en principio de naturaleza física, sin embargo estas contribuyen a los cambios biológicos, químicos y físicos que limitan su vida útil.

#### *a) Recolección*

Antes de la recolección, las frutas y vegetales deben alcanzar mínimos de madurez. Estos requerimientos pueden variar de un área a otra de producción y de un producto a otro, considerando normalmente los siguientes (*Hodges y Toivonen, 2008*):

- cambio de color,
- cantidad mínima de jugo,

- cantidad mínima de ácido,
- porcentaje mínimo de sólidos solubles totales,
- relación Brix/ácido,
- desarrollo óptimo del sabor,
- abscisión (separación de la planta madre),
- desarrollo de cera sobre la piel,
- ablandamiento (cambios en la composición de las sustancias pécticas),
- tamaño y forma y
- unidades calóricas.

La estación del año en la que se recolectan los productos vegetales también juega un papel importante, ya que la modificación de las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, etc.) afecta directamente a los frutos. López et al., (1998), encontraron que la proporción de compuestos volátiles dominantes en manzanas varía según la estación. En otro estudio realizado en piña se demostró que la cantidad de aceites volátiles presentes en esta fruta aumenta durante la estación de verano (*Rojas-Graü, 2006*).

La calidad y tiempo de vida útil de las frutas frescas cortadas se afectan por el estado de madurez. A menudo un fruto completamente maduro tiene los mejores atributos de sabor y firmeza, mientras que un fruto inmaduro no presenta una calidad adecuada para consumirse (*Barrett et al, 2005*). Soliva-Fortuny et al., (2002), estudiaron el efecto de diferentes estados de madurez sobre la firmeza de manzana (Golden Delicious) fresca cortada, observando que los frutos con una firmeza inicial entre 65.7 N y 70.3 N (parcialmente maduras), presentaron una aptitud óptima para esta forma de procesado, además, estudiaron el efecto del estado de madurez en el color y la respiración de las manzanas cortadas, constatando que en las muestras parcialmente maduras se desarrollaron características sensoriales propias de la fruta fresca con una madurez adecuada para su consumo, además de minimizar y retardar el desarrollo de procesos fermentativos que limitan su vida útil.

Durante el transporte de productos frescos cortados deben utilizarse contenedores que eviten cualquier daño mecánico entre sí o por contactos producto-contenedor, por compresión entre el producto, shock, sobrepeso y vibraciones. Si estos productos recolectados no se dañan mecánicamente, exhiben considerable resistencia a los procesos patogénicos y de pudrición durante la mayor parte de su vida útil post-recolección (Wiley, 1997).

#### *b) Preenfriamiento*

Se entiende por “preenfriamiento” la remoción rápida del calor adquirido por el producto al ser recolectado en el campo, operación que se realiza antes del transporte, almacenamiento y procesamiento; es esencial para muchas cosechas de frutas y vegetales percederos. Si se lleva a cabo apropiadamente, reduce la descomposición y retarda la pérdida de frescura y calidad. El enfriamiento rápido, hasta las temperaturas necesarias, inhibe el crecimiento de microorganismos, restringe la actividad enzimática y respiratoria y la pérdida de agua y reduce la producción de etileno por parte del mismo producto (López, 2003). La manzana, por ejemplo, respira y se degrada el doble de rápido a 4.5 °C que a 0 °C. A 16 °C respira y se degrada seis veces más rápido. La temperatura óptima de almacenamiento de las frutas depende también de la variedad (Lozano, 2006).

Entre los métodos más utilizados para realizar el preenfriamiento se encuentran:

- Enfriamiento por circulación de agua (hidroenfriamiento)

Este es un método rápido y efectivo de preenfriamiento por inmersión, inundación o aspersión con agua fría. Se debe suministrar suficiente refrigeración para mantener la temperatura del agua a 1 °C, no importa cuál sea la temperatura inicial del producto. Se emplean básicamente dos sistemas de enfriamiento por agua: uno que consiste en circular el agua de forma continua sobre el producto; y otro, de enfriamiento por lotes (batch).

- Enfriamiento por aire

El enfriamiento por aire se logra utilizando un sistema de cámara de enfriamiento, o enfriando a presión (aire forzado). La pérdida de agua puede

ser un problema en el enfriamiento por aire, pero se puede eliminar suministrando aire con un alto contenido de humedad. En la actualidad, es muy frecuente la aplicación de aire con una humedad relativa no inferior al 95 por ciento (López, 2003).

La selección del método está determinado por la fisiología del producto en relación con la madurez de cosecha y la temperatura ambiente en la época de cosecha (Somogyi et al., 1996).

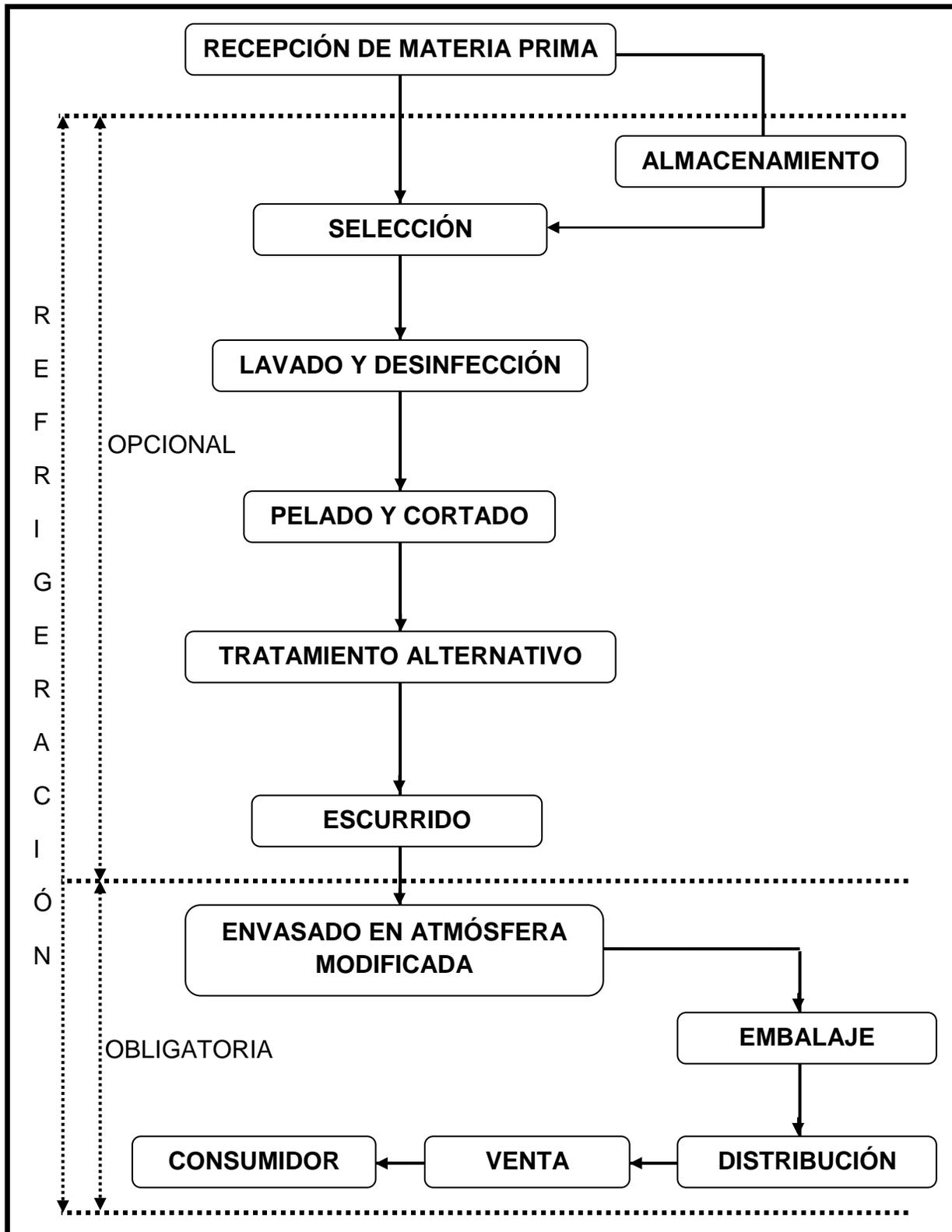
A continuación, en la Figura 1 se desarrollan los pasos más importantes del procesamiento mínimo de alimentos según Wiley (1997).

#### **1.2.1.1. Almacenamiento de materia prima**

Una vez que las frutas y vegetales han sido recibidos deben transferirse inmediatamente a las áreas de almacenamiento bajo refrigeración entre 1 a 5 °C dependiendo de las características de enfriamiento que requiera cada producto (Hodges y Toivonen, 2008). Si una fruta ó vegetal es sensible a lesiones por frío, este requiere de condiciones apropiadas de almacenamiento. Por ejemplo, a diferencia de las peras y las manzanas que pueden ser almacenadas por extensos periodos de tiempo antes de ser procesadas, se han visto síntomas indeseables en piña almacenada por periodos largos a temperaturas bajo 12°C y que después se procesa (Barrett et al, 2005).

#### **1.2.1.2. Selección de materia prima**

Es necesario seleccionar las frutas y vegetales que serán sometidos a tratamientos como productos frescos cortados, de acuerdo al estado de madurez óptimo para cada especie y variedad, ya que es sabido que el procesamiento no puede incrementar la calidad de un producto enfermo o deforme, por ello debe ser inspeccionada y evaluada acorde a los estándares de seguridad y calidad, ya que el manejo de producto dañado en el procesamiento traerá como consecuencia una considerable disminución del tiempo de vida útil proyectado para el producto fresco cortado (Oms-Oliu, 2008).



**Figura 1.** Esquema general de preparación de fruta fresca cortada

*Fuente: Wiley, 1997*

Los factores más importantes a considerar en la clasificación son: tamaño, forma, color, firmeza, sabor, turgencia, magulladuras, superficies cortadas, composición química, alteración y solidez. Las frutas y vegetales sobremaduros, de menor tamaño y defectuosos se separan de los que tienen una calidad aceptable (Wiley, 1997).

#### 1.2.1.3. Limpieza, lavado y desinfección

La limpieza se refiere a la eliminación de los materiales extraños. Como una operación unitaria en la primera etapa del procesado, la limpieza es una forma de separación de restos provenientes del entorno de cultivo (hojas, tierra, suciedad, etc.), la eliminación de plagas o restos de pesticidas, o cualquier otro material extraño, incluyendo microorganismos propios del ambiente, disminuyendo así la carga microbiana inicial de muchos productos (Rojas-Graü, 2006).

Todas las frutas y vegetales deben ser lavados, frotados y sumergidos en soluciones desinfectantes. El sanitizante más comúnmente usado es agua clorada, pero otros posibles químicos que se están investigando para desinfección son peróxido de hidrógeno, surfactantes, ácido peroxiacético, fosfato trisódico y ozono, entre otros (Barrett et al, 2005). Sin embargo, el cloro es el único desinfectante que se permite para el lavado, en concentraciones de hasta 200 ppm, dejando al producto libre de la mayoría de los microorganismos (Rico, 2007).

El agua constituye un elemento esencial en la calidad de las frutas frescas cortadas. La procedencia y calidad del agua debe ser tomada en cuenta, controlando los siguientes parámetros:

- Cantidad de agua utilizada: 5-10 l/Kg de producto
- Temperatura del agua: 4°C para enfriar el producto
- Concentración de cloro activo: 100 mg/l

La humedad residual y el exudado celular en la superficie de las frutas y vegetales tienden a estimular el crecimiento de levaduras, mohos y bacterias. De ahí que

después del lavado hay un secado hay una eliminación del exceso de agua en los productos tratados (*Wiley, 1997*).

#### 1.2.1.4. *Pelado, descorazonado y cortado*

La eliminación de la capa externa de una fruta u hortaliza se denomina pelado, raspado, descascarillado, etc. El pelado puede hacerse mecánicamente, químicamente o en peladoras de vapor a presión elevada (*Robles-Sánchez et al., 2007*). En contraste con los vegetales, que en muchas instancias pueden ser pelados y cortados mecánicamente, para la mayoría de las frutas cuya textura es suave, la remoción de la piel se realiza manualmente. Esto es muy importante para usar cuchillos limpios y afilados para esta operación (*Barret et al, 2005*).

Por otro lado, el cortado de frutas y vegetales se realiza para obtener trozos más pequeños y uniformes dándole un tamaño y forma definida tales como rodajas, cubitos y tiras, algunos ejemplos se muestran en el Cuadro 3. Los equipos de corte más satisfactorios para minimizar el daño mecánico y ablandamiento del tejido vegetal, son aquellos cuyas cuchillas están muy afiladas y son tan delgadas como estructuralmente sea posible. Las cuchillas deben afilarse después de cada 8 horas de operación (*Wiley, 1997*).

Bolin et al., (1977), señalaron que, en lechugas, es más perjudicial para la vida útil de ésta el picado que el simple cortado y que las cuchillas para el troceado deberían estar lo más afiladas posibles. Además, el contenido de ácido ascórbico (AA) en lechuga troceada fresca cortada dependió del método de cortado utilizado en el procesado mínimo (*Barry-Ryan y O'Beirne, 1999*). Así, la retención de este compuesto fue mayor mediante cortado manual que automático. También el corte aumenta la superficie de tejido susceptible de alteraciones microbianas. En productos como la lechuga fresca cortada con un pH de 5.8-6, la alta humedad y la gran cantidad de superficies cortadas proporcionan las condiciones ideales para el crecimiento de microorganismos (*Rico et al., 2007*).

Durante las operaciones de transformación de los productos frescos cortados se liberan hacia el exterior sustancias ricas en nutrimentos, propiciando condiciones

idóneas para el crecimiento microbiano; por lo que la maquinaria empleada para el pelado y troceado del producto debe ser de acero inoxidable y dotada de un sistema que permita la limpieza en profundidad de aquellas zonas donde el acceso sea difícil, ya que la dificultad de acceso permite la acumulación de restos del alimento procesado (Artés y Artés, 2003).

**Cuadro 3.** Presentaciones de fruta fresca cortada comúnmente comercializadas

Presentación	Frutas	Geometría	Peso (g)	Tipo de envase	Vida útil (días)	Punto de venta **
Una sola fruta	Piña, Melón, Papaya var. Maradol	cubos	650-680	Tarrinas	1	Supermercados: Marca libre
	Naranja	Rodajas	120	Bandejas	1	Servicios de Catering y Restaurantes
	Bayas: Frambuesas, Arándanos, Grosellas, Moras	Enteras	200-300	Tarrinas/ Bandejas	5	Supermercados: Marca libre
	Pera, Manzana, Kiwi, Mango, Piña, Papaya	Rodajas, cubos, láminas	175	Tarrinas	5	Supermercados: marca registrada
Coctel de Frutas	Manzana, Piña, Naranja, Uvas, Nectarina	Cubos, Rectángulos, trapezoides	280	Tarrinas	6	Supermercados: Marca libre y registrada

\*\*Temperatura de almacén y venta 0 a 5°C

Fuente: Pérez, 2003

#### 1.2.1.5. Alternativas para la conservación de alimentos frescos cortados

La conservación de alimentos frescos cortados ha constituido una importante etapa del proceso de elaboración de los alimentos utilizada a fin de proporcionar seguridad, mantener la calidad, prolongar la vida útil y prevenir la alteración de los mismos. Se pueden utilizar métodos usuales, tales como (Rico et al., 2007):

##### a) Conservación por calor

La conservación por calor tiene gran valor como obstáculo o barrera para reducir los microorganismos e inactivar la actividad enzimática. El principal problema en los alimentos frescos cortados es que el calor origina destrucción del sabor, textura, color y calidad nutritiva de los productos tratados.

b) *Conservación química*

Tanto los compuestos químicos naturales como los sintéticos se han utilizado en el control de la alteración y el mantenimiento de la calidad de frutas y vegetales poco ácidos y frutas altamente acidificadas (*Pérez, 2003*).

c) *Conservación utilizando irradiación*

Recientemente, la irradiación se ha propuesto como una herramienta para prevenir la contaminación microbiana en una gran variedad de alimentos frescos y procesados. Sin embargo, algunos autores concluyen que son necesarias dosis altas (>2.4kGy) para obtener efectos satisfactorios (*Gunes et al., 2000*). No obstante la *Food Drug Administration* (FDA) ha limitado la dosis a 1kGy para productos frescos.

d) *Reducción de la actividad de agua ( $a_w$ )*

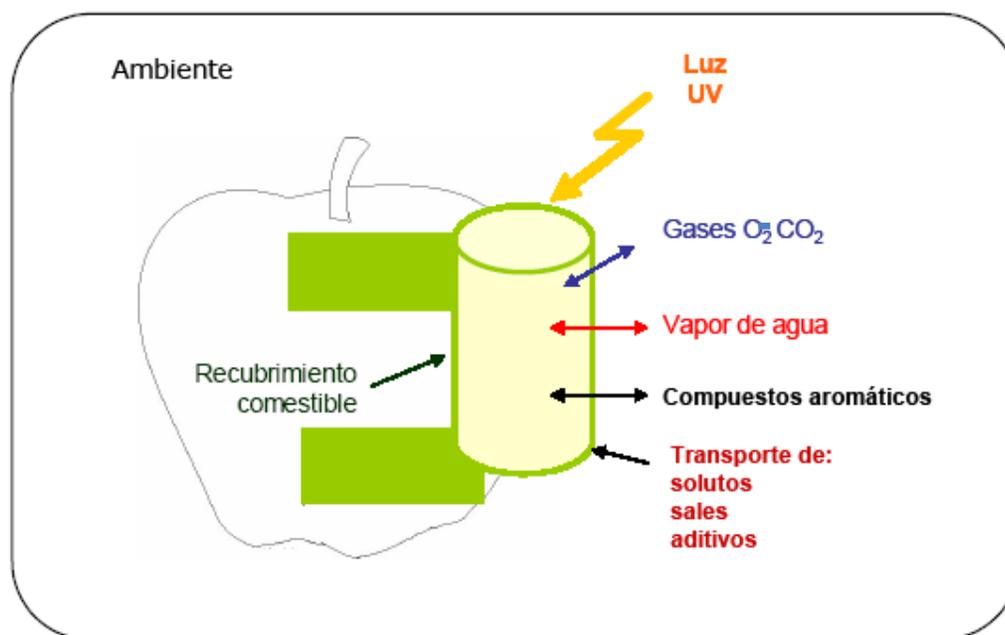
Este método está directamente relacionado con la eliminación del agua para obtener productos estables que conserven sus atributos sensoriales y nutricionales. (*Lewicki et al., 2001*). Sin embargo, la reducción de la  $a_w$  en alimentos frescos cortados provoca la pérdida del estado de frescura.

e) *Recubrimientos comestibles*

Aunque el empleo de recubrimientos comestibles en la preservación de alimentos no es una técnica novedosa, sí lo es su uso en la conservación de la calidad de frutas y vegetales frescos cortados.

Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) señalaron que los recubrimientos comestibles deben cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas frescas cortadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (Generally Recognized As Safe = generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptables, ser estables tanto desde el punto de vista físico-químico como microbiológico, además de poseer un costo razonable.

En la Figura 2 se pueden observar las funciones más importantes de los recubrimientos comestibles cuando se aplican sobre tejidos vivos. Al ser usados sobre frutas cortadas pueden reducir los efectos perjudiciales de operaciones de proceso mínimo como el pelado y cortado sobre tejidos vegetales.



**Figura 2.** Principales funciones de los recubrimientos comestibles aplicados a frutas frescas cortadas.

*Fuente: (Rojas-Graü, 2006)*

Entre las principales propiedades de los recubrimientos comestibles pueden destacar las siguientes:

- Propiedades de barrera

Los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales, tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelana, carragenina, etc.), así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica (Yang and Paulson, 2000). Para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de este tipo de recubrimientos se pueden incorporar lípidos, que emulsificados en la solución formadora de coberturas o

formando una doble capa sobre el producto, pueden ayudar a prevenir reacciones degradativas del tejido como consecuencia de la pérdida de humedad (*García et al., 2000; Rojas-Graü et al., 2006*). No obstante, aunque lo que se espera es una reducción de la transferencia de gases entre la fruta y el ambiente, recubrimientos extremadamente impermeables pueden inducir a la creación de condiciones de anaerobiosis que tienen como consecuencia una pérdida de los compuestos aromáticos típicos de la fruta y la presencia de aromas indeseables (*Mattheis y Fellman, 2000*).

- Propiedades mecánicas

Según Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta.

- Transporte de aditivos

Un uso potencial de los recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas lo constituye la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento (*Rojas-Graü, 2006*).

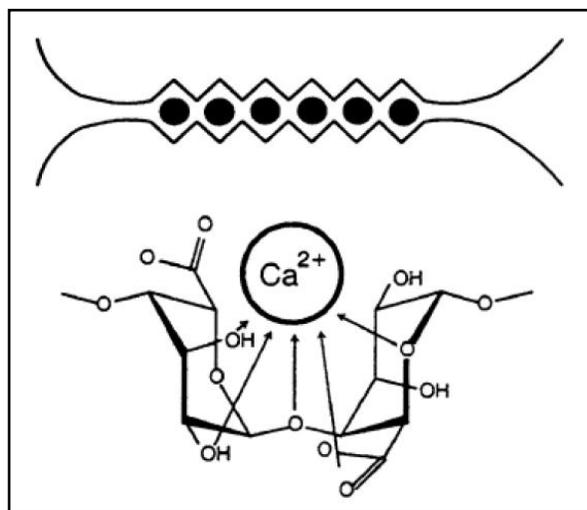
Soliva-Fortuny *et al.* (2003) señalaron que las sales cálcicas se emplean frecuentemente en frutas frescas cortadas con la finalidad de frenar fenómenos de pérdida de firmeza. En efecto, uno de los compuestos más usados es el cloruro cálcico, el cual puede añadirse al recubrimiento para mantener la textura inicial de las frutas, mejorando su calidad durante el almacenamiento. Lee *et al.* (2003) demostraron que la incorporación de cloruro de calcio (1%) dentro de la formulación de una cobertura de proteína de suero, ayudó a mantener la firmeza de trozos de manzana cortada.

Además del componente de naturaleza polimérica y de alto peso molecular (matriz), otro componente importante de los recubrimientos comestibles son los

plastificantes. Estos 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 (McHugh y Krochta, 1994; Sothornvit y Krochta, 2000). En el Cuadro 4 se muestran algunos recubrimientos comestibles para frutas frescas cortadas.

Entre los polisacáridos, el alginato constituye uno de los biopolímeros más utilizados debido a unas propiedades coloidales únicas y a su habilidad para formar geles fuertes o polímeros insolubles al reaccionar con cationes metálicos polivalentes como el calcio (Rhim, 2004). En presencia de iones de calcio, el alginato experimenta cambios conformacionales dando lugar al modelo de gelación conocido como “caja de huevo” como se muestra en la Figura 3.

Wong *et al.* (1994) estudiaron el efecto de la combinación de alginato con un monoglicérido acetilado sobre trozos de manzana cortada, observando un ligero aumento de la resistencia al vapor de agua comparado con recubrimientos de naturaleza similar (Yiu, 2006).



**Figura 3.** Modelo de “caja de huevo” formado por puentes de cationes divalentes como los del  $\text{CaCl}_2$  y los grupos con carga negativa del ácido glurónico del alginato.

Fuente. Rhim, 2004

**Cuadro 4.** Algunos recubrimientos comestibles utilizados en las frutas frescas cortadas

Tipo de Fruta	Matriz del RC	Plastificantes y Aditivos	Función del RC	Referencia
Manzana	CPS y APS	Glicerol	Reducción del pardeamiento enzimático y pérdida de textura.	Sonti et al, 2003
	Carragenato	Glicerol, PEG, AA, AO, AC	Extensión de la vida útil	Lee et al, 2003; Park, 1999
	CPS + CMC	Glicerol, AA, AO, CaCl <sub>2</sub>	Mantenimiento de la textura, reducción de la tasa respiratoria	Lee et al, 2003; Park, 1999
	Alginato, gelano	Glicerol, aceite de girasol, N-cys	Reducción de pérdida de humedad, mantenimiento del color original	Rojas-Gräu et al, 2006
	APS + cera de abejas	Glicerol, AE	Reducción del pardeamiento enzimático	Pérez-Gago et al, 2003
	Puré de manzana + pectina + CAB o aceite vegetal	Glicerol, AA, AC	Reducción de pérdida de humedad y pardeamiento	McHugh y Senesi, 2000
	Maltodextrina + MC	Glicerol, AA, SP, CaCl <sub>2</sub>	Disminución de la producción de etileno y pardeamiento	Brancoli y Barbosa-Cánovas, 2000
	Carragenato, pectina, alginato, CM + MGA	AA, AC, CaCl <sub>2</sub> , NaCl	Disminución de la producción de CO <sub>2</sub> y etileno en un 50 y 90%	Wong et al, 1994
	NatureSeal™, CMC y CPS	AA, SP, aceite de soja, CaCl <sub>2</sub>	Extensión de la vida útil	Baldwin et al, 1996
Pera	Quitosano + CPS	CAB	Barrera a los gases, reducción de pérdida de humedad y efecto antifúngico	Assis y Pesson, 2004
	MC + AE	PEG, SP, AA, CaCl <sub>2</sub>	Reducción del pardeamiento	Olivas et al, 2003
	Fresa	CPS + Caseína + Pectina + Agar	Reducción del crecimiento fúngico	Vachon et al, 2003
Papaya	Cactus-mucilágus	Glicerol	Mantenimiento de la textura, color y atributos sensoriales	Del-Valle et al, 2005
	Caseína	Cera de carnauba	Barrera a los gases, reducción de pérdida de humedad	Guilbert, 1988
Mango	Alginato, gelano	Glicerol, aceite de girasol, AA	Reducción de pérdida de humedad, AA y color	Tapia et al, 2005
	CMC	Lecitina, PEG, AC	Mantenimiento del color	Nispero-Carriedo, 1994
	Quitosano		Reducción de pérdida de agua, mantenimiento del color y sabor original	Chien et al, 2005

CPS: concentrado de proteínas de suero lácteo, APS: aislado de proteínas de suero lácteo, PEG: polietilenglicol; AA: ácido ascórbico, AO: ácido ozálico; AC: ácido cítrico; CMC: carboximetilcelulosa; CaCl<sub>2</sub>: cloruro de calcio; N-cyst: N-acetilcisteína; AE: ácido esteárico; CAB: cera de abeja; MC: metilcelulosa; SP: sorbato de potasio, MGA: monoglicérido acetilado, CM: celulosa microcristalina; RC: Recubrimiento comestible.

Fuente: Rojas-Gräu, 2006

#### f) *Métodos combinados*

El uso exclusivo de tratamientos físicos o químicos generalmente no permite alargar en la forma deseada la vida de los productos frescos cortados, por ello la combinación de estos tratamientos con frecuencia suele ser imprescindible para mantener la calidad de frutas y vegetales frescos cortados (*Artés et al., 1998*). El empleo de la tecnología denominada métodos combinados o de obstáculos es una técnica que busca la conservación de alimentos a través de la unión de factores conjuntos de control, como pueden ser la modificación del pH y la reducción en la  $a_w$ , el empleo agentes antimicrobianos, el uso de envases o envolturas apropiadas y el mantenimiento de bajas temperaturas durante almacenamiento. En general la combinación de inmersiones de calcio (0.5-4%), envasado en atmósferas modificadas o controladas (3-5% O<sub>2</sub> y 3-15% CO<sub>2</sub>) y almacenamiento a bajas temperaturas (<5°C) es utilizada para incrementar la vida útil de estos productos (*Pérez, 2003*).

#### **1.2.1.6. *Envasado***

El papel fundamental del envase es el contener un producto al tiempo que previene o retarda la pérdida de calidad del mismo y proporciona protección frente a la contaminación ambiental; facilitando su transporte, manipulación, almacenamiento y comercialización.

La principal manifestación fisiológica que experimentan las frutas y vegetales debido a las lesiones tisulares y celulares producidas durante su procesado es un incremento en la velocidad respiratoria. Este incremento en el metabolismo se traduce en un rápido consumo de oxígeno en el envase y en una acelerada producción de etileno. La selección y el diseño del envase tratan de conseguir un equilibrio entre la velocidad de la respiración del producto envasado y la permeabilidad del material (*Janick, 2004*). Para el envasado de alimentos frescos cortados se utilizan muchos tipos de envase, que incluyen: envolturas de polietileno (PE) o cloruro de polivinilo (PVC) a menudo en forma de envoltura retraíble, película extensible o película adherida; bolsas de PE y polipropileno (PP) tanto perforada como sin perforar; bandejas poco profundas de pulpa moldeada,

cartón, plástico termoformado o poliestireno (PS) expandido cubierto o sellado con película polimérica (*Wiley, 1997*).

El envase debe reunir ciertos requerimientos, tales como:

- Proporcionar suficiente resistencia mecánica para proteger el contenido durante las fases de manipulación, transporte y apilamiento.
- No permitir (o cumplir con los límites gubernamentales establecidos) que las sustancias químicas constituyentes puedan transferirse a los productos y que sean tóxicas para el hombre.
- Cumplir los requerimientos de manipulación y comercialización en términos de peso, tamaño y forma.
- Permitir un rápido enfriamiento del contenido y la ventilación adecuada para eliminar el calor metabólico.
- No afectarse por humedades elevadas.
- Tener un coste competitivo en relación al valor de los productos y al aumento de protección conseguida.

Una vez que se haya seleccionado el material del envase, se requiere de una atmósfera modificada para las frutas y vegetales frescos cortados. Se puede utilizar la atmósfera modificada pasiva o generada por el producto en contenedores individuales normalmente fabricados de polietileno de baja densidad y en su interior se introduce una mezcla de gases adecuada para cada alimento, o bien se diseña de manera que la combinación entre la permeabilidad del material y el metabolismo del producto sean compatibles, generándose en su interior la atmósfera adecuada para su almacenamiento (*Vargas-Vargas et al., 2005*).

### **1.2.2. Cambios biológicos y bioquímicos**

Mientras que el procesado de frutas generalmente extiende su tiempo de vida útil, como es el caso de enlatado, congelado y seco, el procesamiento mínimo incrementa la perecibilidad de las frutas. Las heridas físicas del tejido causadas por la preparación (pelado, descorazonado, cortado, etc.) de los alimentos frescos cortados conducen a respuestas físicas y fisiológicas (*Oms-Oliu, 2008*). Hay un

incremento en el ritmo de respiración y en algunos casos la producción de etileno, los cuales impactan en la calidad y tiempo de vida útil. La respuesta de los tejidos depende de la magnitud del estrés a que ha estado sometido.

A mayor alteración de los tejidos, la velocidad de la respiración media se incrementa entre tres y siete veces respecto del tejido intacto. Este incremento en el metabolismo de los alimentos frescos cortados se traduce en el rápido consumo del oxígeno del envase (*Toivonen y Brummell, 2008*). La remoción de la epidermis protectora o piel de las frutas origina cambios en la difusión del gas, acelera la pérdida de agua y favorece la contaminación microbiana. Esto es importante para evitar la desecación de la superficie cortada, la cual produce impactos negativos en la apariencia del producto.

Normalmente las enzimas y los substratos están localizados en diferentes compartimientos celulares y sus transferencias están activamente controladas. El procesado origina la destrucción de las células superficiales y la alteración del tejido subyacente, lo que permite el contacto entre el oxígeno atmosférico, los compuestos fenólicos y las enzimas endógenas polifenoloxidasas (PPO) ocasionando reacciones indeseables tales como, desarrollo de pardeamiento enzimático, mal olor y pérdida de firmeza (*Barrett et al, 2005*).

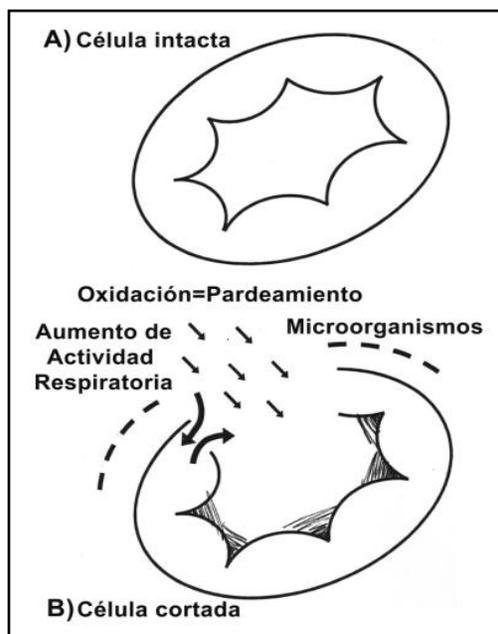
a) Desarrollo de aromas indeseables

La peroxidación enzimática de los ácidos grasos insaturados es el ejemplo más grave de las modificaciones bioquímicas del aroma de las frutas que han sido procesadas mínimamente. Esta peroxidación está catalizada por lipoxidasas y da origen a la formación de numerosos aldehídos y cetonas (*Toivonen y Brummell, 2008*).

b) Oscurecimiento enzimático

El proceso de oscurecimiento se desencadena cuando, tras la operación de corte se produce una pérdida de la integridad celular en las superficies de las frutas y vegetales, como se muestra en la Figura 4. Esto provoca una destrucción de la

compartimentación de enzimas y sustratos, con lo que se catalizan las reacciones y se produce la formación de metabolitos secundarios no deseados (Oms-Oliu, 2008).



**Figura 4.** Daño a nivel celular originado por la operación de corte  
Fuente: Wiley, 1994

Una de las principales reacciones bioquímicas que ocurren es la alteración del color debido al oscurecimiento enzimático, en el que los compuestos fenólicos son oxidados hasta quinonas mediante reacciones catalizadas por enzimas denominadas genéricamente polifenoloxidasas (PPO). La rotura del tejido que ocurre como consecuencia del procesado hace que las enzimas y sus sustratos, ambos presentes en el fruto, entren en contacto y reaccionen formando compuestos activos. Éstos a su vez experimentan procesos de polimerización que dan lugar a compuestos coloreados denominados melaninas, produciendo el oscurecimiento superficial del producto y disminuyendo así su calidad visual. El grado de oscurecimiento que sufren los alimentos frescos cortados dependerá de factores tales como la concentración y actividad de la enzima, la cantidad y naturaleza de los compuestos fenólicos, pH, temperatura, actividad del agua y de la cantidad de oxígeno disponible en el entorno del tejido vegetal (Barret *et al.*,

2005). Otros factores intrínsecos que influyen en la intensidad del oscurecimiento son: la especie, la variedad y el estado fisiológico de los frutos (*Rocha, 1998*).

La rapidez e intensidad con que en las frutas se desarrollan pigmentos pardos depende estrictamente de la cantidad de oxígeno disponible y del contenido de los compuestos polifenoles endógenos (*Rico et al., 2005*).

#### c) Pérdida de firmeza

La pérdida de firmeza, se debe principalmente a la acción de enzimas proteolíticas y pectolíticas sobre los componentes de la pared celular, es otro cambio muy evidente del deterioro de la calidad. Las células dañadas por el corte liberan estas enzimas que se difunden hacia el interior de los tejidos (*Rojas-Graü, 2006*).

La textura de las frutas y verduras es un proceso físico con implicaciones cinéticas metabólicas dependientes de la temperatura. La pectina que en gran medida mantiene la firmeza del fruto es degradada por las enzimas celulares a compuestos químicos mucho más blandos. Si la fruta se golpea o se corta se rompen las células y las enzimas (oxidadas) que quedan en libertad, las cuales atacan y degradan las pectinas (*Hodges y Toivonen, 2008*).

### **1.2.3. Aspectos de calidad de los alimentos frescos cortados**

Son varias las características que definen a un producto fresco cortado de buena calidad. Apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y vida útil suficientemente larga que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución, son algunos de los requisitos para que un producto sea considerado de calidad. Si alguno de estos requisitos no se cumple o se encuentra por debajo de los valores mínimos aceptables para cada parámetro, el producto pierde automáticamente su valor comercial (*Rojas-Graü, 2006*). Es por esto que se deben llevar a cabo ciertas condiciones de proceso, tales como:

### **1.2.3.1. Control del oscurecimiento**

Son muchas las investigaciones hechas hasta el momento con el objetivo de inhibir las reacciones de pardeamiento en productos frescos cortados (*Agar et al., 1998; Abbott y Buta, 2002*). El empleo de sustancias que retarden o inhiban la acción enzimática, así como el uso de envasado en atmósfera modificada, son los tratamientos aplicados con mayor frecuencia. Soliva-Fortuny et al. (2001), estudiaron el efecto de la aplicación de un tratamiento protector (10g/l de ácido ascórbico y 5 g/l de cloruro cálcico) en el color (luminosidad), de trozos de manzanas mínimamente procesadas envasadas en aire (21% O<sub>2</sub>) o en una atmósfera libre de oxígeno (0% O<sub>2</sub>) y almacenadas a 4°C; ellos no encontraron un cambio significativo hasta los 11 días de almacenamiento, además, concluyeron que la intensidad de oscurecimiento depende de los factores que se combinan para extender la vida útil de las manzanas frescas cortadas.

### **1.2.3.2. Crecimiento microbiano**

Debido al pH de la mayoría de frutas, la flora predominante consiste en mohos y levaduras responsables de la producción de una amplia variedad de enzimas que intervienen en los procesos degradativos de los tejidos vegetales como son las enzimas pécticas (*Lanciotti et al., 1999*).

El Cuadro 5 muestra algunas de las principales enzimas y microorganismos responsables de la mayor parte de las alteraciones en fruta fresca cortada, junto con el efecto que producen y el tipo de medidas preventivas de control más utilizadas. Dentro del control del crecimiento microbiano, la temperatura es el factor más eficaz (0-1°C), ya que las frutas frescas cortadas no reciben tratamientos severos con calor, y generalmente, el empleo de aditivos para su conservación es poco frecuente (*Artés y Artés, 2003*).

### **1.2.3.3. Prevención de pérdida de textura**

Para evitar el ablandamiento, se aplican tratamientos estabilizantes compuestos principalmente por sales de calcio como el cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>). Éste está

**Cuadro 5.** Enzimas y microorganismos involucrados en el deterioro de fruta fresca cortada.

Agente de Deterioro	Tipo de Agente	Efectos	Prevención/Control
Enzimas	Cholofilasas Antocianasas	Pérdida del color original	Alta calidad en materias primas  Variedades adecuadas  Aplicación de procesos y envasados adecuados  Mantener bajas temperaturas  Utilización de agentes antipardeantes
	Polifenoloxidasa	- Pardeamiento enzimático - Descenso del valor nutritivo - Pérdida de la calidad comercial	
	Peroxidasa	- Alteración de sabores y aromas - Pardeamiento	
	Pectinmetilesterasa Poligalacturonasa	- Ablandamiento de tejidos, - Pérdida de firmeza	
	Acido ascórbico-oxidasa	- Destrucción de Vit. C	
Microorganismos Patógenos	<i>Salmonella</i> <i>E. coli</i> <i>Y. Enterocolítica</i>	Gastroenteritis	Mantener bajas temperaturas durante el proceso  Lavado y desinfección
	<i>L. monocytogenes</i>	Meningitis y otras	
	<i>S. aureus</i>	Enterotoxinas	
	<i>Cl. botulinum</i>	Botulismo	
Otros Microorganismos	Pseudomonas especies Erwinia especies Bacterias ácido lácticas Levaduras	- Podredumbre blanda bacteriana -Producción de metabolitos	Uso de buenas prácticas de manufactura  Evitar creación de medios anaerobios
Mohos	<i>Rhizopus</i> Fusarium y otros	Podredumbre mohosa gris, negra y blanda acuosa	

Fuente: Artés y Artés, 2003

extensamente probado en frutas frescas cortadas, en concentraciones que oscilan entre 0.1% y 1% (Soliva-Fortuny, 2003). La aplicación de cloruro de calcio al 0.5% como tratamiento estabilizante de la textura y de ácido ascórbico al 1%, mostraron un notable efecto en la conservación de manzanas troceadas, incrementándose dicho efecto con una atmósfera libre de oxígeno (Soliva-Fortuny et al., 2001). Del mismo modo, se ha comprobado la efectividad de la aplicación de  $\text{CaCl}_2$  al 2.5% para preservar la textura de melón fresco cortado. Sin embargo, el uso de cloruro cálcico a concentraciones superiores al 0.5% se ha relacionado con la aparición de malos olores en rodajas de melón (Luna-Guzmán y Barret, 2000).

Además del empleo de agente conservadores de la firmeza, la elección de la variedad y la temperatura de almacenamiento adecuadas puede ser determinante. Así Kim et al., (1993) encontraron que la firmeza de rodajas de 12 variedades de

manzana sin tratamiento y almacenadas a 2°C disminuyó gradualmente durante 7 días y posteriormente decreció drásticamente. En cambio, algunas variedades de manzanas tratadas con temperaturas moderadas retienen la firmeza durante el almacenamiento. La pérdida de firmeza promedio en cilindros de melón después de 12 días de almacenamiento en aire a 5°C fue de 10 N (*Qi et al., 1999*).

#### **1.2.3.4. Apariencia y calidad sensorial**

La calidad del sabor y aroma son también atributos importantes para los consumidores, con lo que dichos atributos deberán también examinarse de forma minuciosa para determinar la vida útil y la calidad de frutas frescas cortadas. En contraposición, la calidad de vegetales y frutas intactas (frescas) se determina a menudo casi exclusivamente basándose en su apariencia e ignorando su calidad en cuanto a sabor y textura (*Sapers et al., 1997*).

Existe abundante variabilidad en la literatura con respecto al grado de aceptabilidad de frutas frescas cortadas basándose en evaluaciones sensoriales, y esta variabilidad puede atribuirse a menudo a diseños experimentales diversos, al tipo de análisis sensorial o a los prejuicios culturales. Es difícil establecer los límites de la calidad global de frutas frescas cortadas durante su vida útil, en cuanto a su sabor y aroma, debido a la gran variabilidad del producto inicial. Los diferentes tratamientos a los que se somete la fruta durante su acondicionamiento y envasado, son en gran medida, responsables de los cambios sufridos en el sabor.

Si las condiciones de envasado o almacenamiento no son las adecuadas se pueden provocar condiciones anaerobias que ponen en marcha rutas metabólicas alternativas dando lugar a procesos fermentativos que generan compuestos volátiles indeseables como etanol y acetaldehído (*Gómez, 2007*).

#### **1.2.3.5. Control de la temperatura**

Uno de los factores más importantes a ser controlado durante el proceso de elaboración de los productos frescos cortados es la temperatura; ya que, controla

las actividades enzimáticas, respiratorias y metabólicas, así como la transpiración y el crecimiento de insectos y microorganismos. La cadena de frío debe empezar tan pronto como sea posible tras la recolección y mantenerse hasta que el producto sea consumido por el comprador (*Rojas-Graü, 2006*). Para las frutas y vegetales existe una gran variación en la temperatura óptima de refrigeración, se dan valores desde  $-1.7^{\circ}$  a  $21.1^{\circ}\text{C}$ .

Es importante señalar que un control adecuado de la temperatura resulta indispensable para la optimización del material plástico empleado en el envasado, ya que de ello depende la difusión de los gases a través de las distintas películas plásticas utilizadas. Las temperaturas por encima de las recomendadas causan un aumento de la senescencia del producto envasado, además de producir cambios en la atmósfera inicialmente modificada, trayendo como consecuencia la formación de olores y sabores extraños (*Kato-Noguchi y Watada, 1997*).

#### **1.2.4. Importancia de la estimación del tiempo de vida útil**

Como se vió en el tema anterior, la calidad es un conjunto de propiedades que influyen en el grado de aceptación de un alimento. Determinar la pérdida es difícil porque los alimentos son sistemas biológicos y físico-químicamente activos y su calidad es un estado dinámico que decrece continuamente, así para cada alimento existe un tiempo finito que tiene el nivel requerido de calidad y seguridad bajo determinadas condiciones de almacenamiento, este periodo se define como vida útil (*Labuza, 2000*).

Huxsoll y Bolin (1989) establecieron que la vida útil de los alimentos frescos cortados se puede definir como el tiempo requerido para que cualquiera de sus parámetros de calidad alcance un nivel inaceptable. El procesado mínimo de vegetales implica que sus tejidos permanecen vivos durante el envasado y almacenamiento y, por tanto, mantienen una actividad fisiológica y una cierta capacidad de respuesta a factores externos que provocan cambios en el almacenamiento (*Salinas-Hernández et al., 2007*).

Cualquiera que sea la importancia adquirida por cada uno de estos factores, el envejecimiento del producto se suele manifestar por una serie de modificaciones fisicoquímicas (color, olor, sabor, etc.), que pueden ser debidas a reacciones entre algunos de sus componentes químicos ocasionadas por agentes de diversa naturaleza: la luz, enzimas, materiales de contacto, temperaturas, etc.; o bien por algunas transformaciones debidas a la actividad metabólica de la proliferación microbiana (Bello, 2000).

No obstante, existe la necesidad de determinar la vida útil con el fin de reducir los riesgos, disminuir las pérdidas y ofrecer al consumidor una calidad óptima. Existen diferentes formas para determinar la vida útil con base en los diferentes tipos de deterioro (Salinas-Hernández et al., 2007). Una práctica común empleada para evaluar la vida útil de un alimento es determinar los cambios en las características de calidad seleccionados durante un período de tiempo (Man and Jones, 2000). Lamikanra et al. (2000), determinó que para estimar la vida útil de un producto fresco cortado hay que tomar en cuenta la evolución de los parámetros físico-químicos más relevantes, para el caso de las frutas frescas cortadas son el color y las propiedades mecánicas (Pérez-Cabrera, 2003).

#### **1.2.5. Legislación**

En la actualidad no existen legislaciones específicas para productos frescos cortados. En España, este tipo de productos están regulados a través del Real Decreto 3484/2000 por lo que se establecen las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. Esta regulación y la mayoría de las existentes en los Estados Unidos y la Unión Europea se refieren exclusivamente a aspectos de seguridad y calidad microbiológica.

La manipulación de los productos frescos cortados puede conllevar riesgos microbiológicos. El sistema de análisis de peligros y puntos de control crítico (APPCC) garantiza la seguridad microbiológica de los alimentos y está enfocado al control de todo el proceso de elaboración, algunas especificaciones sobre el personal que trabaja en esta área se le debe exigir el cumplimiento de normas

estrictas de higiene, tales como el uso de una vestimenta de trabajo perfectamente limpia (gorros, guantes, tapa boca, batas de trabajo, etc.), no ingerir ningún tipo de alimentos en esa área, así como el acceso restringido exclusivamente al personal que allí trabaje (*Wiley, 1997*).

En el caso particular de los productos frescos cortados, la Comisión del Codex Alimentarius desarrollo un documento titulado “Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas” con un anexo sobre frutas y hortalizas frescas cortadas listas para el consumo que pretende la implementación de buenas prácticas de fabricación para ayudar al control de riesgos microbiológicos, físicos, y químicos asociados al procesado de frutas y vegetales frescos cortados (*FAO, 2003*). La FDA elaboró un documento similar, “Analysis and Evaluation of preventive Control Measures for the Control and Reduction/Elimination of Microbial Hazards on Fresh-cut Produce”, identificando los riesgos potenciales y revisando los métodos de intervención para reducir los riesgos microbiológicos en dichos productos, entre ellos una buena limpieza, lavado y desinfección de todas aquellas secciones que forman parte de las líneas de producción, maquinarias e instalaciones, así como del propio local de fabricación, debe asegurarse el mantenimiento a diario de estas condiciones higiénicas. Además, todas estas instalaciones de procesado deben estar dentro de un espacio físico aislado, estéril y con condiciones ambientales controladas, con temperaturas muy bajas dentro del recinto, como máximo 10°C (*Artés y Artés, 2003*).

### **1.3. ESPECIFICACIONES DE LOS ANTIOXIDANTES**

Los antioxidantes son de interés tanto para los especialistas en alimentos como para los profesionales de la salud. Aunque los antioxidantes se agregan a menudo a los alimentos para estabilizarlos y prevenir el desarrollo de off-flavor (propiedades organolépticas indeseables), actualmente se les considera de gran interés por su rol potencial como agentes terapéuticos.

### 1.3.1. Definición y clasificación

La FDA (Food and Drug Administration) define los antioxidantes como las sustancias utilizadas para conservar los alimentos ya que lentifican la alteración por enranciamiento o la decoloración debida a la oxidación. En alimentos frescos cortados existen diversos tipos de reacciones oxidativas (*Wiley, 1997*). En los alimentos, los antioxidantes se presentan como constituyentes endógenos o son incorporados para mejorar la calidad del producto controlando oxidaciones y sus consecuencias adversas.

Los antioxidantes sintéticos más usados en alimentos son Butil-Hidroxi-Anisol (BHA), Butil-Hidroxi-Tolueno (BHT), Propilgalato (PG) y Ter-Butilhidroquinona (TBHQ). Sin embargo, el uso de antioxidantes sintéticos como los mencionados datan de hace 60 años cuando el BHA fue aprobado. La seguridad alimentaria de ciertos antioxidantes sintéticos ha sido cuestionada debido a un potencial poder cancerígeno. Como resultado de esto, el BHA ha sido removido de su estatus reconocido como seguro. Por lo tanto, está siendo de gran interés para la industria así como un deseo de los consumidores, reemplazar estos componentes sintéticos por alternativas naturales.

Los antioxidantes naturales son un grupo de vitaminas y otros compuestos vegetales y enzimas que bloquean el efecto perjudicial de los denominados radicales libres.

La sinergia entre los tocoferoles y el ácido ascórbico o sus derivados ha sido ampliamente estudiada. El ácido ascórbico es conocido como regenerador del alfa-tocoferol en sistemas en vivo y en Vitro. También, se ha comprobado que mezclas de tocoferoles, lecitinas u otros fosfolípidos y el ácido ascórbico exhiben excelente actividad antioxidante. Las especias, hierbas o sus extractos han sido usadas desde hace mucho tiempo para mejorar o modificar el sabor de los alimentos.

### 1.3.2. Propiedades de los antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos exógenos (naturales o sintéticos) y endógenos que actúan por diversos mecanismos, pueden actuar donando electrones, eliminando a la especie oxidante o a sus precursores, inhibiendo la formación de las especies reactivas, etc.

Los antioxidantes frenan la reacción de oxidación, pero a costa de destruirse ellos mismos. El resultado es que la utilización de antioxidantes retrasa la alteración oxidativa del alimento, pero no la evita de una forma definitiva.

### 1.3.3. Vitamina E

La palabra tocoferol proviene del griego, *tocos* 'parto' y *feros* 'llevar'. La vitamina E se identificó por primera vez en 1922 en aceites vegetales (Serra, 2006). La principal función de la vitamina E es su acción antioxidante, evitando, junto con otras sustancias, la formación de radicales libres a partir de la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, por lo que tiene una acción estabilizante de los lípidos de la membrana (Yiu, 2006). Se utiliza en aceites de semillas, en conservas vegetales y en quesos fundidos (Cubero, 2002).

#### 1.3.3.1. Tipos de vitamina E

Existen 8 formas isoméricas de la vitamina E como se observa en la Figura 5. Los Tocofenoles y Tocotrienoles son compuestos monofenólicos y lipofílicos, y la forma tradicional en que se presentan es como isómero alfa, beta, gamma y delta, dependiendo del número y posición del grupo metilo. El más activo como vitamina es el alfa-, pero también el gama- tiene cierto valor (Granotec, 2002).

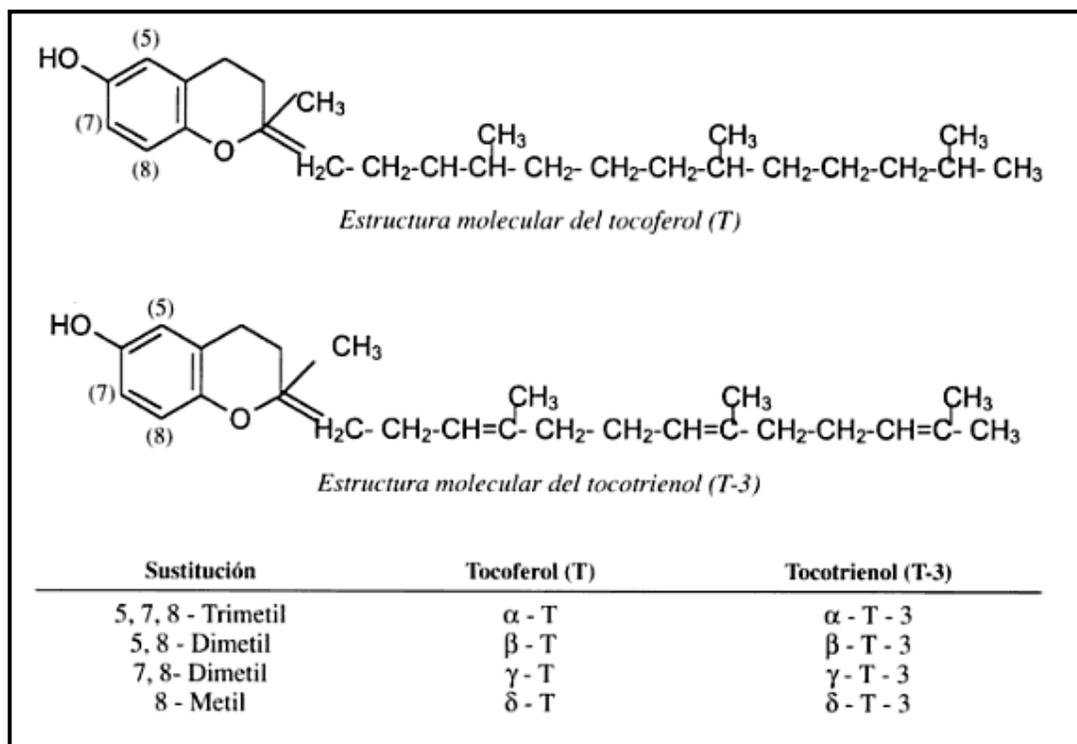
Pueden obtenerse de dos maneras (Cubero, 2002):

- 1) Por extracción de aceites naturales, que correspondería al E-306 (Extracto rico en tocoferol). Abundan más en aceite de germen de trigo, arroz, maíz o soja.
- 2) Por síntesis química. Tiene una actividad vitamínica algo menor que los naturales.

Cabe señalar que también la vitamina E es un fenol, con varios sustituyentes en el anillo bencénico. Es de suponer que su acción como antioxidante sea muy similar a la del BHT.

### 1.3.3.2. Propiedades de la vitamina E

Es un aceite de color amarillento, lábil para el calor, insoluble en agua pero soluble al alcohol, peso molecular 430.7 mol/g, estable en soluciones ácidas. Máximo de absorción: 292 nm (en solución alcalina).



**Figura 5.** Estructuras de tocoferoles y tocotrienoles

*Fuente: (Yiu, 2006)*

La vitamina E se valora de acuerdo a su actividad en UI (Unidades Internacionales) (Illera, 2000).

1 IU = 1 mg de acetato de dl-  $\alpha$ -Tocoferol.

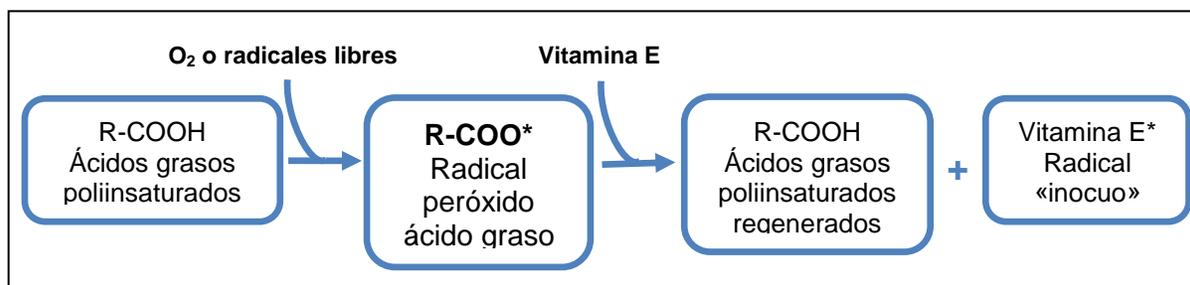
1 mg de d-  $\alpha$ -Tocoferol= 1.49 IU.

### 1.3.3.3. Acción de la vitamina E

La acción antioxidante de los tocoferoles va ligada a un mecanismo de eliminación del oxígeno del medio por la formación de tocoquinonas. Este hecho no tiene lugar con los antioxidantes del tipo fenólico (Cubero, 2002).

Los radicales libres son átomos o grupo de átomos que tiene un electrón (e-) desapareado en capacidad de aparearse, por lo que son muy reactivos; los oxidantes se forman por la reacción con otros radicales o por fotoexcitación, metabolismo, irradiación, catálisis metálica, o el calor siendo los principales inductores de estrés oxidativo en los seres vivos (Yiu, 2006).

Los radicales libres atacan los dobles enlaces de los ácidos grasos poliinsaturados para formar por división homolítica de enlaces covalentes un radical peróxido del ácido graso altamente reactivo. Éste puede atacar a otros ácidos grasos, alterando la estructura de la membrana y la integridad celular. El  $\alpha$ -Tocoferol actúa como "basurero" de los radicales peróxido de los ácidos grasos debido a que puede ceder el protón del grupo hidroxilo del anillo de 6-hidroxicromona para estabilizar radicales libres transformándose en el radical  $\alpha$ -Tocoferoxilo, que es relativamente estable. Este radical puede ser regenerado otra vez a la forma nativa mediante el concurso de otros antioxidantes (vitaminas A y C) como se muestra en la Figura 6. Si esto no se produce debido, por ejemplo, a que no hay suficientes defensas antioxidantes, los radicales  $\alpha$ -Tocoferoxilo acumulados pueden actuar como prooxidantes (Benyon, et al., 2003).



**Figura 6.** Acción de la vitamina E  
Fuente: Yiu, 2006

#### **1.3.3.4. *Requerimientos mínimos de la vitamina E***

El uso de tocoferoles como antioxidantes en un alimento no autoriza a indicar en su publicidad que ha sido enriquecido con dicha vitamina. La cantidad de estas sustancias ingeridas como un componente natural de los alimentos es en general mucho mayor que la que se ingiere por su uso como aditivo alimentario, ya que se utiliza a concentraciones muy bajas.

#### **1.3.3.5. *Beneficios***

Recientes estudios evidencian el papel de la vitamina E en la reducción de riesgos de desarrollar enfermedades degenerativas. Debido a que previene la formación de radicales libres disminuyendo el daño a los tejidos (por ejemplo, lípidos celulares, proteínas, o ADN) (*Yiu et al., 2006*).

#### **1.3.3.6. *Legislación***

Aunque la vitamina E tiene propiedades beneficiosas para el organismo, se imponen límites oficiales para su utilización con fines antioxidantes en los productos alimentarios. Como cualquier aditivo alimentario, los antioxidantes están sujetos a una estricta legislación de la Unión Europea que regula su autorización, uso y etiquetado: la Directiva 95/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 20 de febrero de 1995 relativa a aditivos alimentarios distintos de los colorantes y edulcorantes. Esta reglamentación exige que todos los antioxidantes añadidos al igual que los demás aditivos alimentarios, aparezcan mencionados en el envase clasificados por categorías y con su nombre común.

## **CAPÍTULO 2.**

# **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

## 2.1. PROBLEMA Y OBJETIVO GENERAL

### **PROBLEMA:**

La conservación de manzana fresca cortada presenta cambios en la industria de alimentos debido a que este producto tiene un metabolismo activo que puede producir un rápido deterioro del producto si no se controla. Esto propicia que se requiera de métodos de conservación que retarden el oscurecimiento enzimático para alargar la vida útil del producto sin afectar en sus cualidades de frescura.

### **OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar el efecto de la aplicación de un recubrimiento con vitamina E sobre la vida útil de manzana fresca cortada mediante la determinación de los cambios en las propiedades físicas, químicas y texturales.

## 2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

### OBJETIVO PARTICULAR 1:

Determinar el efecto de la vitamina E en solución y emulsión aplicado a manzana fresca cortada sobre su capacidad antioxidante mediante el seguimiento de color y textura durante el almacenamiento en refrigeración.

### OBJETIVO PARTICULAR 2:

Analizar el efecto de la inmersión de manzana fresca cortada en un recubrimiento con vitamina E en solución y emulsión sobre sus características de frescura mediante el seguimiento de sólidos solubles y acidez para obtener un producto con atributos de calidad adecuados.

## 2.3. HIPÓTESIS

### HIPÓTESIS 1:

Al modificar la forma de aplicación de la vitamina E, el antioxidante en emulsión tendrá mayor área de contacto en la rebanada de manzana disminuyendo el oscurecimiento enzimático durante el almacenamiento.

### HIPÓTESIS 2:

Al sumergir la manzana fresca cortada en un recubrimiento con vitamina E disminuirá la velocidad de degradación de los compuestos químicos causado por la maduración aumentando su tiempo de vida útil.

## 2.4. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE VARIABLES

El oscurecimiento enzimático en fruta fresca cortada es una de las principales causas de pérdida de calidad, dicho decremento se refleja en cambios en color, firmeza, sabor y compuestos químicos durante su almacenamiento. La inhibición enzimática puede lograrse formando un recubrimiento para posteriormente impregnar las rebanadas con un antioxidante a una determinada concentración. Para evaluar su efectividad se deben monitorear los parámetros antes mencionados, como se expresa en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Selección de variables

<b>Factor de Variación</b>	<b>Niveles # réplicas y/o repeticiones</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Variable de Respuesta</b>	<b>Métodos, Técnicas e Instrumentación</b>
Solución y Emulsión	- Solución con recubrimiento, - Emulsión con recubrimiento, - Emulsión sin recubrimiento y -Control	-Masa final -Área cubierta	% de impregnación	Método Gravimétrico a peso constante por balanza digital.
		S. Solubles y Acidez	Índice de madurez y sabor	<i>S.Solubles:</i> Técnica de Índice de Refracción con Refractómetro. <i>Acidez:</i> Titulación x NaOH
	3 réplicas c/u	Cambio de color y fuerza de penetración	Índice de oscurecimiento y % de degradación enzimática del tejido	<i>Color:</i> Colorímetro Minolta C-300 <i>Firmeza:</i> prueba de punción y compresión en Instron

## 2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

### 2.5.1. Control de la materia prima

Para los experimentos se utilizaron manzanas de la variedad *Red Delicious* compradas en un supermercado local. La selección de los frutos se realizó en base a la norma NMX-FF-061-SCFI-2003, la cual establece que debe tener un estado de madurez (10-12 °Brix), similitud de su forma, tamaño y ausencia de lesiones externas (menor a 5%). Los frutos seleccionados se dividieron de manera aleatoria en dos lotes de 20 Kg, uno para la solución y otro para la emulsión de vitamina E, se lavaron y posteriormente se escurrieron y secaron. Previo a su preparación se mantuvieron refrigeradas a 4°C.

### 2.5.2. Ingredientes

Para la elaboración de la emulsión, solución, recubrimiento, solución de CaCl<sub>2</sub> y ácido cítrico se utilizaron diversos reactivos, los cuales fueron:

#### *Antioxidantes.*

- D-α-Tocoferol Polietilenglicol Succinato 1000 (TPGS) grado alimenticio, marca Eastman, PM 1,513 g/mol.
- DL-α-Tocoferol acetato, Alfadelta
- Ácido Cítrico, Saroma, PM 192.13 g/mol

#### *Plastificantes.*

- Glicerina Q. P., Droguería Cosmopolita, PM 92.1 g/mol

#### *Surfactantes.*

- Span 80 grado alimenticio, ICI Surfactants, PM 1310 g/mol
- Tween 80, Droguería Cosmopolita

#### *Biopolímeros.*

- Alginato de Sodio, PM 197.12 g/mol

#### *Agentes de precipitación.*

- Cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>), J. T. Baker, PM 147.026 g/mol

### **2.5.3. Preparación de las soluciones**

#### *a) Recubrimiento de alginato al 1%*

Para preparar la dispersión para el recubrimiento, se dispersó alginato de sodio en agua destilada a 70 °C, posteriormente, se adicionó 1% de glicerina y se mezcló en agitación constante. Una vez que los ingredientes estaban completamente mezclados se aforó en un matraz (1 L).

#### *b) Solución de CaCl<sub>2</sub> al 1%*

Se disolvió CaCl<sub>2</sub> en agua destilada a temperatura ambiente.

#### *c) Solución de ácido cítrico al 1%*

Se disolvió ácido cítrico en agua destilada a temperatura ambiente y se mantuvo en agitación hasta que la solución se homogenizó.

### **2.5.4. Acondicionamiento de la manzana fresca cortada**

Las manzanas se lavan con agua y jabón, se desinfectan con agua clorada (150 ppm) durante 5 min. Posteriormente con un cuchillo de acero inoxidable se eliminan los casquetes superior e inferior de las manzanas, correspondientes al pedúnculo y a la base. Con la ayuda de un descorazonador-rebanador, se corta transversalmente la manzana, obteniendo ocho rebanadas. Las manzanas cuyas rebanadas mostraron aspectos anómalos, tales como oscurecimientos internos, pulpa anormalmente traslúcida o algún otro tipo de desorden fisiológico, fueron descartadas.

Se registró el peso de la manzana inicial y de la manzana fresca cortada, para calcular el rendimiento, el cual fue de 72.27%.

### **2.5.5. Determinación del límite de concentración de vitamina E**

Para la solución de vitamina E se empleó la forma D- $\alpha$ -Tocoferol Polietilenglicol Succinato 1000 (TPGS) en concentraciones de 0, 1500, 2000 y 3000 ppm las cuales se disolvieron en agua entre 60 y 90°C, una vez disueltas se agregó 1% de CaCl<sub>2</sub>. Por otro lado, las manzanas previamente lavadas y desinfectadas en una

solución de 150 ppm de cloro, se cortaron y descorazonaron en ocho rebanadas, las cuales con la superficie expuesta se sumergieron en la dispersión de alginato durante un minuto, pasando este tiempo se escurrieron ligeramente para retirar el exceso del recubrimiento y se sumergieron en las soluciones antioxidantes durante dos minutos. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión, se escurrieron, se identificaron y se colocaron a condiciones atmosféricas. Se registró el tiempo de oxidación y la pérdida de peso durante el almacenamiento, además, se tomó fotografías cada 30 min el primer día y posteriormente una fotografía por día durante una semana, para obtener una escala visual y así determinar la concentración de la vitamina que retarde por más tiempo la oxidación enzimática.

#### **2.5.6. Tratamiento antioxidante en las manzanas fresca cortada**

Para la experimentación se prepararon cuatro diferentes niveles de variación:

- 1) Solución. Las rebanadas se sumergieron en la solución de ácido cítrico durante un minuto y se escurrieron durante el mismo lapso de tiempo, posteriormente mediante inmersión se recubrieron con la dispersión de alginato y se escurrieron durante un minuto. Pasado este tiempo, se sumergieron durante dos minutos en la solución antioxidante de vitamina E a la cual previamente se le agregó 1% de  $\text{CaCl}_2$  para precipitar el alginato. Una vez que las rebanadas fueron escurridas durante dos minutos, se envasaron en vasos de cristal de poliestireno (PS) de 225 ml.
- 2) Emulsión. Las rebanadas se sumergieron en la solución de ácido cítrico durante un minuto y se escurrieron durante el mismo lapso de tiempo, posteriormente mediante inmersión se recubrieron con la dispersión de alginato y se escurrieron durante un minuto. Para precipitar al alginato se sumergieron durante dos minutos en la solución de  $\text{CaCl}_2$  y se escurrieron durante el mismo tiempo. Después, se sumergieron en la emulsión antioxidante de vitamina E y se escurrieron durante un minuto, respectivamente. Por último, se envasaron en vasos de cristal de poliestireno (PS) de 225 ml.

- 3) Emulsión sin alginato. Las rebanadas se sumergieron en la solución de ácido cítrico durante un min y se escurrieron durante el mismo lapso de tiempo, posteriormente fueron sumergidas en la emulsión de vitamina E durante un minuto. Por último, las rebanadas previamente escurridas durante un minuto fueron envasadas en vasos de cristal de poliestireno (PS) de 225 ml.
- 4) Control. Las rebanadas se envasaron en vasos de cristal de poliestireno (PS) de 225 ml.

### **2.5.7. Almacenamiento**

Para el almacenamiento de la manzana fresca cortada se utilizó la cámara de refrigeración a 4 °C localizada en la Nave 2000.

#### **2.5.7.1. Caracterización de la cámara de refrigeración**

Conocer principalmente las condiciones de trabajo como intervalo de temperatura, humedad y velocidad del aire.

##### *a) Medición de Temperatura*

Se analizó las temperaturas que registró el termopar digital en la cámara de refrigeración, regulando el termostato del evaporador, que equivale a la temperatura del refrigerante, de esta manera, conocimos la temperatura del medio de enfriamiento durante el proceso de refrigeración.

Con el conocimiento de la temperatura del refrigerante, se reguló el termostato entre 0 y -10°C para mantener la cámara de refrigeración a 4 °C, ya que es la temperatura de almacenamiento de la manzana. Una vez que la cámara se encontraba en la temperatura óptima para almacenar manzana se registró la temperatura en diferentes puntos de la cámara para localizar el punto más frío y con menos fluctuaciones.

b) *Medición de la velocidad del aire*

Se midió la velocidad del aire con un anemómetro de hilo caliente en diferentes puntos de la cámara y a diferentes alturas, para posteriormente acondicionar la cámara para almacenar las manzanas frescas cortadas.

**2.5.7.2. Preparación de las muestras de manzana frescas cortadas**

Las muestras frescas y tratadas se pesaron antes de ser almacenadas durante un periodo de 14 días en la cámara de refrigeración a 4 °C. Para cada día de análisis se tomaron 3 vasos por cada tratamiento. A estas muestras se les realizó pruebas de diferencia de peso, color, firmeza, sólidos solubles y acidez total. La toma de muestras y observaciones se llevaron a cabo cada tercer día.

**2.5.8. Determinación del porcentaje de impregnación**

Método

Para la determinación del porcentaje de impregnación se utilizó el método gravimétrico.

Instrumento

Para la determinación del porcentaje de impregnación de la solución o emulsión de vitamina E sobre las muestras de manzana se empleó una balanza digital Ohaus modelo ARA 520, evaluado por controles de masa antes y después del proceso de impregnación.

Cálculo

Se calculó la fracción másica de impregnación mediante la siguiente ecuación:

$$X = \text{Kg Vitamina E} / \text{Kg fruta impregnada} \quad \text{Eq.(1)}$$

Se realizaron 3 repeticiones y posteriormente con los datos obtenidos se calculó media y desviación estándar.

### **2.5.9. Determinación de sólidos solubles**

#### Método

Para la determinación de sólidos solubles se utilizó el método refractométrico, el cual se fundamenta en la relación entre el índice de refracción y la concentración de las soluciones sacarinas ó grado sacarométrico (*Alvarado, 2001*). Expresado en °Brix.

#### Preparación de la muestra

Se trituraron 10gr de manzana con 2 ml de agua en un despulpador.

#### Instrumento

La determinación del contenido de sólidos solubles de las muestras de fruta se llevó a cabo empleando un refractómetro digital Reichert modelo AR-200, calibrado a 20 °C, realizando las medidas sobre la fase líquida de las muestras obtenidas con ayuda de una pipeta.

Se realizaron 5 repeticiones y posteriormente con los datos obtenidos se calculó la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

### **2.5.10. Determinación de Acidez**

#### Método

Se utilizó el método de acidez total por volumetría 942.15 (*AOAC, 2000*), el cual se basa en determinar el volumen de NaOH estándar (valorado a una normalidad de 0.1N con carbonato de sodio) necesario para neutralizar el ácido contenido en la alícuota que se titula, determinando el punto final por medio del cambio de color que se produce por la presencia del indicador ácido-base empleado. La acidez se expresa como contenido de ácido por masa o volumen de muestra, ácido málico para el caso de la manzana (*Osorio, 2006*).

#### Preparación de la muestra

Se trituraron 90gr de manzana con 18 ml de agua en un despulpador.

### Procedimiento

Se agregó con una pipeta volumétrica 10 ml de jugo de la muestra y tres gotas de fenolftaleína al 1% en alcohol al 95% a un matraz erlenmeyer (250 ml) con 50 ml de agua destilada. Se adicionó lentamente la solución de NaOH 0.1 N contenida en la bureta graduada (50 ml) hasta que la muestra tomó una coloración rosada o llegó a un pH de 8.3.

Se realizaron 3 repeticiones y posteriormente con los datos obtenidos se calculó la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación del volumen de NaOH gastado.

### Cálculo

Existen diversas formas de expresar la acidez titulable, entre ellas se encuentra (Osorio, 2006):

- En meq/Kg

$$acidez (meq/Kg) = \frac{V \times N \times 1000}{M} \quad \text{Eq.(2)}$$

- En g/l

$$acidez (g/l) = \frac{V \times N \times 1000 \times m}{v \times n} \quad \text{Eq.(3)}$$

- En % de acidez

$$acidez (\%) = \frac{V \times N \times F \times 100}{M} \quad \text{Eq.(4)}$$

*Donde:* V: Volumen de NaOH gastado (ml)

N: Normalidad de la solución de NaOH

M: Peso de la muestra (g)

v: Volumen de la muestra (ml)

(<sup>m</sup>/<sub>n</sub>): Factor para ácido (ác. Málico= 67)

m= masa molecular del ácido

n= número de H reemplazables del ácido

F: Factor para ácido (ác. Málico= 0.067)

### **2.5.11. Determinación de Firmeza**

#### Método

La firmeza se determinó mediante un método destructivo el cual mide la resistencia a la compresión, penetración o deformación mediante un ensayo de compresión simple uniaxial (*Rodríguez-Sandoval et al., 2005*). Expresando numéricamente la firmeza de la pulpa y epidermis del fruto.

#### Preparación de la muestra

Se utilizó un cortador de papas a la francesa para obtener cuadritos de un centímetro. Por cada rebanada de manzana tratada se obtuvieron 3 cuadritos.

#### Instrumento

La firmeza se evaluó mediante el texturómetro Instron modelo 4411 equipado con una célula de carga de 5kN, en el cual se realizó un ensayo de punción donde se midió la fuerza máxima a la penetración de un émbolo de 2 mm; la velocidad de avance del émbolo se ajustó a 250 mm/min, los datos se expresaron en kN. También se realizó un ensayo de compresión con un émbolo de 75 mm de diámetro aplicando una deformación máxima del 50% a una velocidad de avance de 250 mm/min.

Las mediciones se efectuaron sobre 9 cuadritos de manzana (probeta) por tratamiento para cada ensayo.

#### Obtención de resultados

Se utilizó el programa Series IX del Instron para registrar los datos de Fuerza (kN) y desplazamiento (mm) por probeta. Posteriormente se calculó: Desplazamiento en la carga máxima (mm) y Fuerza en la carga máxima (kN).

### **2.5.12. Determinación del color**

#### Método

Se utilizó el método de reflectancia para obtener una representación numérica del color de la muestra con respecto a una coordenada colorimétrica tomada como referencia.

### Preparación de la muestra

Se utilizó un cortador de papas a la francesa para obtener cuadritos de un centímetro. Por cada rebanada de manzana tratada se obtuvieron 3 cuadritos.

### Instrumento

Para el análisis del color en muestras de manzana, se utilizó un colorímetro Minolta modelo CR-300 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan), donde se obtienen coordenadas de color CIE (Comission International de l'Eclairage)  $L^*$   $a^*$   $b^*$  (Donde:  $L^*$  representa la diferencia entre la luminosidad ( $L^* = 100$ ) y la oscuridad ( $L^* = 0$ );  $a^*$  representa la diferencia entre verde (-100) y rojo (+100);  $b^*$  representa la diferencia entre azul (-100) y amarillo (+100) ); utilizando un ángulo del observador de  $2^\circ$  y un iluminante D65 (Luz de día).

A partir de estas coordenadas se calculó:

a) Ángulo Hunter

$$h^* = \arctan b^*/a^* \quad \text{Eq.(5)}$$

b) Índice de blancura

$$IB = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + b^{*2}]^{1/2}. \quad \text{Eq.(6)}$$

Para cada tratamiento se realizaron 2 mediciones por rebanada en 3 muestras distintas.

### **2.5.13. Tratamiento estadístico**

Los resultados se analizaron a partir del análisis ANOVA (Minitab 14.0), utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de significancia del 95% ( $\alpha = 0.05$ ).

## **CAPÍTULO 3.**

# **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### 3.1. ACTIVIDADES PREVIAS

#### 3.1.1. Fórmula para la solución y emulsión de vitamina E

A partir de los resultados mostrados en el Cuadro 7 se determinó que la solución de vitamina E con 2000 ppm inhibe el oscurecimiento enzimático por más tiempo.

**Cuadro 7.** Tiempo de oxidación para diferentes concentraciones de Vitamina E.

<b>Solución con TPGS (ppm)</b>	<b>Tiempo de oxidación</b>
0	20 min
1500	4 días
2000	7 días
3000	1 día

Primero se empleó únicamente la solución antioxidante en concentraciones de 0, 1500, 2000 y 3000 ppm; sin embargo, no se logró retardar la inhibición enzimática en 1 semana como mínimo, por lo que se empleó un recubrimiento como pretratamiento, compuesto de 1% de alginato de sodio y 1% de glicerina. Para la emulsión de vitamina E se empleó la forma DL- $\alpha$ -Tocoferol acetato a la misma concentración que en la solución. Tanto para la solución como para la emulsión de vitamina E se determinó que el recubrimiento de alginato aumentaba el tiempo de vida útil de la manzana fresca cortada más allá de una semana de almacenamiento.

#### 3.1.2. Porcentaje de impregnación

En el Cuadro 8 se presentan los valores medios del peso inicial de las muestras ( $P_o$ ) y de las rebanadas de manzana impregnadas ( $P_{vit E}$ ).

**Cuadro 8.** Porcentaje de impregnación de vitamina E en manzana frescas cortadas.

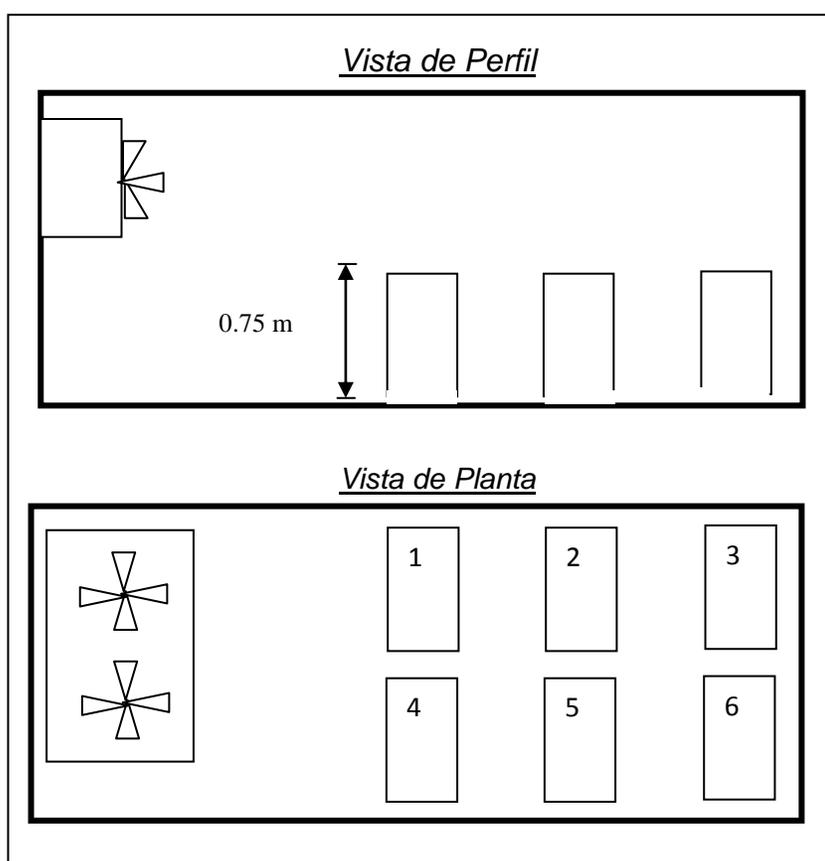
<b>Vitamina E en:</b>	<b><math>P_o</math> (Kg)</b>	<b><math>P_{vit E}</math> (Kg)</b>	<b><math>X</math> (Kg<sub>vit E</sub>/ Kg<sub>muestra</sub>)</b>
Solución	0.01269	0.01288	0.01534
Emulsión	0.01451	0.01479	0.0196

Los valores de X están afectados por la viscosidad y el tamaño de partícula de la disolución durante la entrada del líquido en los poros del tejido.

### 3.1.3. Caracterización de la cámara de refrigeración

#### a) Medición de la temperatura de la cámara de refrigeración

Para la medición de la temperatura de la cámara de refrigeración se dividió en seis posibles ubicaciones para el lote de manzana fresca cortada, como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Representación de los seis puntos en la cámara de refrigeración

Una vez definidos estos puntos, se procedió a medir la temperatura en cada uno de estos en función a un determinado valor fijado en el termostato, obteniéndose los valores promedio señalados en la Tabla 9.

**Cuadro 9.** Temperaturas del medio de enfriamiento

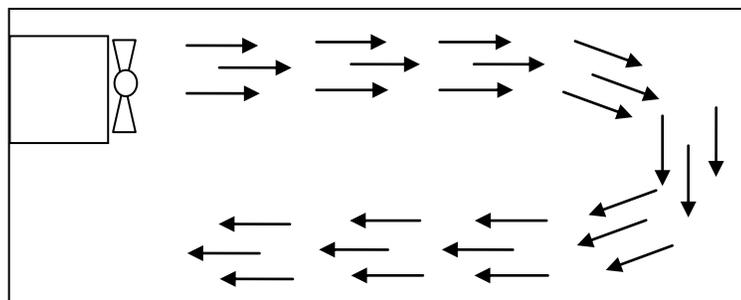
<b>Temperatura del Refrigerante (°C)</b>	<b>Temperatura promedio en la cámara (°C)</b>
10	8.2
5	4
0	0.65

La temperatura de la cámara fue monitoreada todos los días durante el tiempo de almacenamiento. El control de la misma se realizó en función a lo fijado en la Tabla 9.

Para la medición de la temperatura se utilizó un termopar digital (termohigrómetro) marca *LASCAR* modelo *RH / Temperature Data Logger EL- USB 2*.

b) Medición del perfil del aire

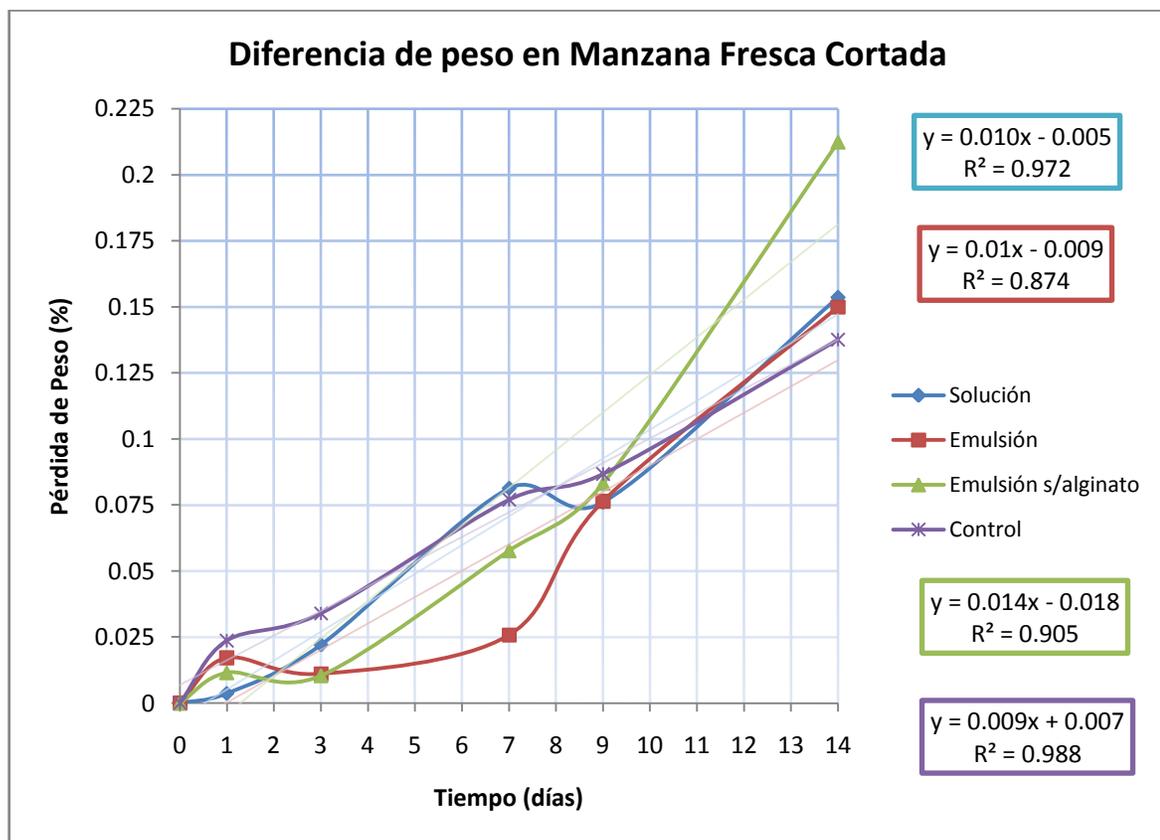
Al interior de la cámara el flujo de aire es circular esquematizado en la Figura 8. Siendo más frío en los puntos 3 y 6 por lo que los lotes de manzana se ubicaron en esos puntos.



**Figura 8.** Vista lateral del flujo de aire en la cámara de refrigeración

### 3.2. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE PESO

El efecto de la transpiración ocasiona pérdida de agua del producto fresco cortado, la cual no puede ser reemplazada. En la Figura 9 se muestran las gráficas para pérdida de peso durante los 14 días de almacenamiento, observándose que ésta no fue superior a 0.25 % durante el periodo de almacenamiento, cabe además destacar que durante los últimos 6 días se incrementó ligeramente, siendo mayor en la emulsión de vitamina E sin alginato (0.00143g/día), de tal manera que la velocidad con que se pierde será un factor determinante en la vida útil del producto. La pérdida de agua causa una disminución significativa del peso y a medida que avanza, disminuye la apariencia y elasticidad del producto perdiendo su turgencia. Esta pérdida de peso puede incidir directamente sobre la calidad comercial al superar niveles críticos que dependen de la especie. En la mayoría de las especies, las pérdidas superiores al 8% producen una pérdida irreversible de la calidad sensorial (Vargas et al, 2005).



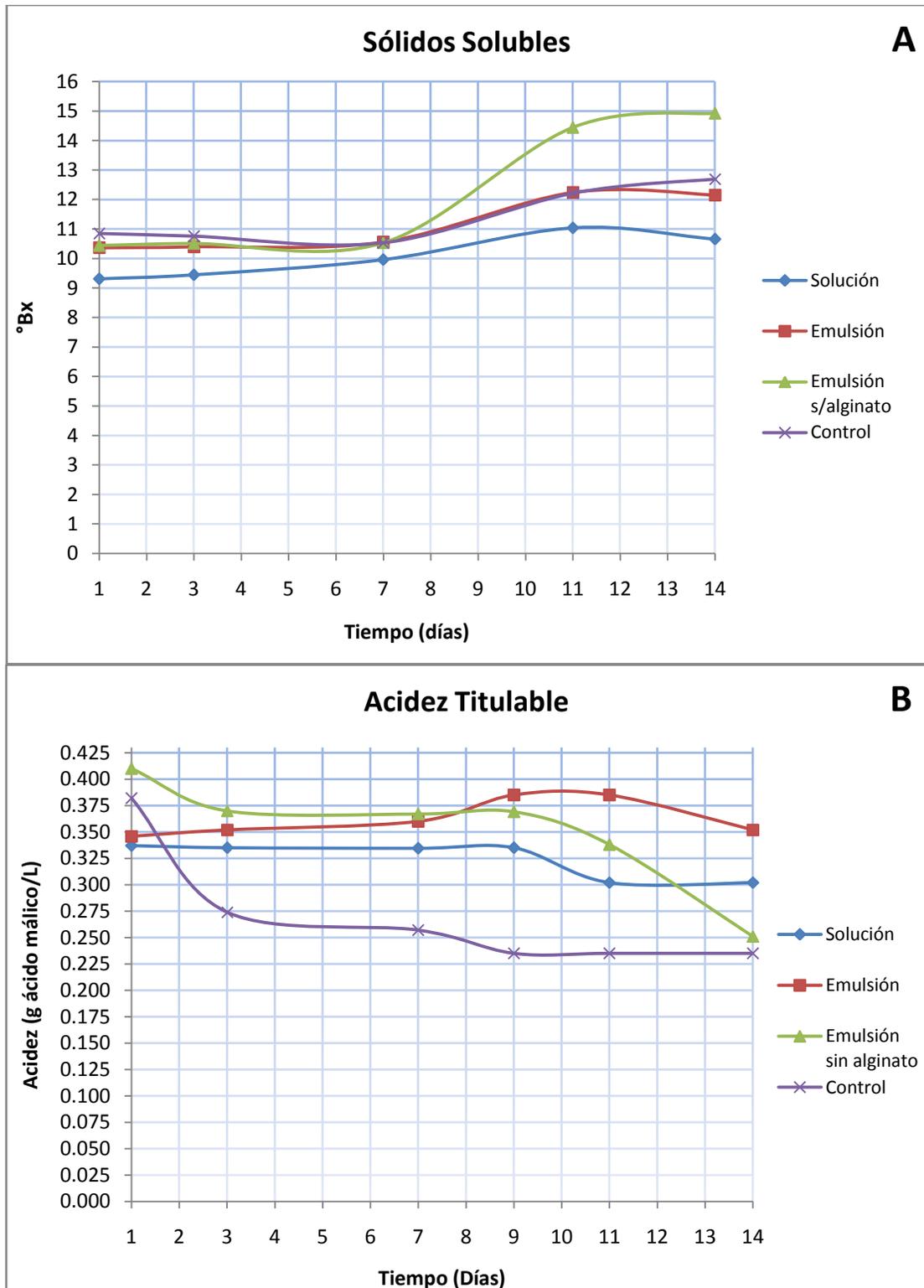
**Figura 9.** Diferencia de peso de la manzana fresca cortada

El uso de un recubrimiento permitió reducir en mayor medida la pérdida de peso (<0.16%) debido a que se limitó la pérdida de agua por transpiración. Según, Li y Barth (1998), es posible que los recubrimientos comestibles reduzcan la deshidratación por reducción fisiológica del aire ocluido en la superficie del tejido. Lo cual se corrobora con los resultados de Vargas et al (2005), quienes obtuvieron resultados similares teniendo una pérdida de peso menor a 1% al utilizar una película plástica en pitahaya.

### **3.3. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES Y ACIDEZ**

El oscurecimiento enzimático no sólo reduce la calidad visual de las rebanadas de manzana sino que también resulta en indeseables cambios en el sabor y pérdida de nutrimentos (*McHugh T. y Senesi E., 2000*). La determinación de los sólidos solubles y acidez son un parámetro para determinar el grado de degradación de los compuestos químicos, entre ellos el ácido málico en la manzana, a causa de factores tanto extrínsecos como intrínsecos que se mencionaron en el capítulo 2.1 y 2.2.

Los sólidos solubles y la acidez total no tuvieron un cambio significativo ( $p > 0.05$ ) entre los diferentes tratamientos aplicados a la manzana fresca cortada durante el almacenamiento (Figura 10). Se han reportado resultados similares en manzanas frescas cortadas conservadas con diferentes antioxidantes por Buta et al. (1999) y en pera y melón fresco cortado por Senesi et al. (1999) y Lamikanra et al. (2000) respectivamente. En contraste, Rocha et al. (1998) reportó un decline en la acidez de manzanas cortadas almacenadas bajo condiciones atmosféricas después de tratamientos químicos con cloruro de calcio, ácido ascórbico y ácido cítrico. Estos cambios se atribuyeron al incremento en la respiración después de ser peladas y cortadas, ya que los ácidos orgánicos son conocidos por acelerar las reacciones involucradas con la respiración en comparación con otros componentes.



**Figura 10.** Cambio en el contenido de ácido málico y sólidos solubles en manzana fresca cortada

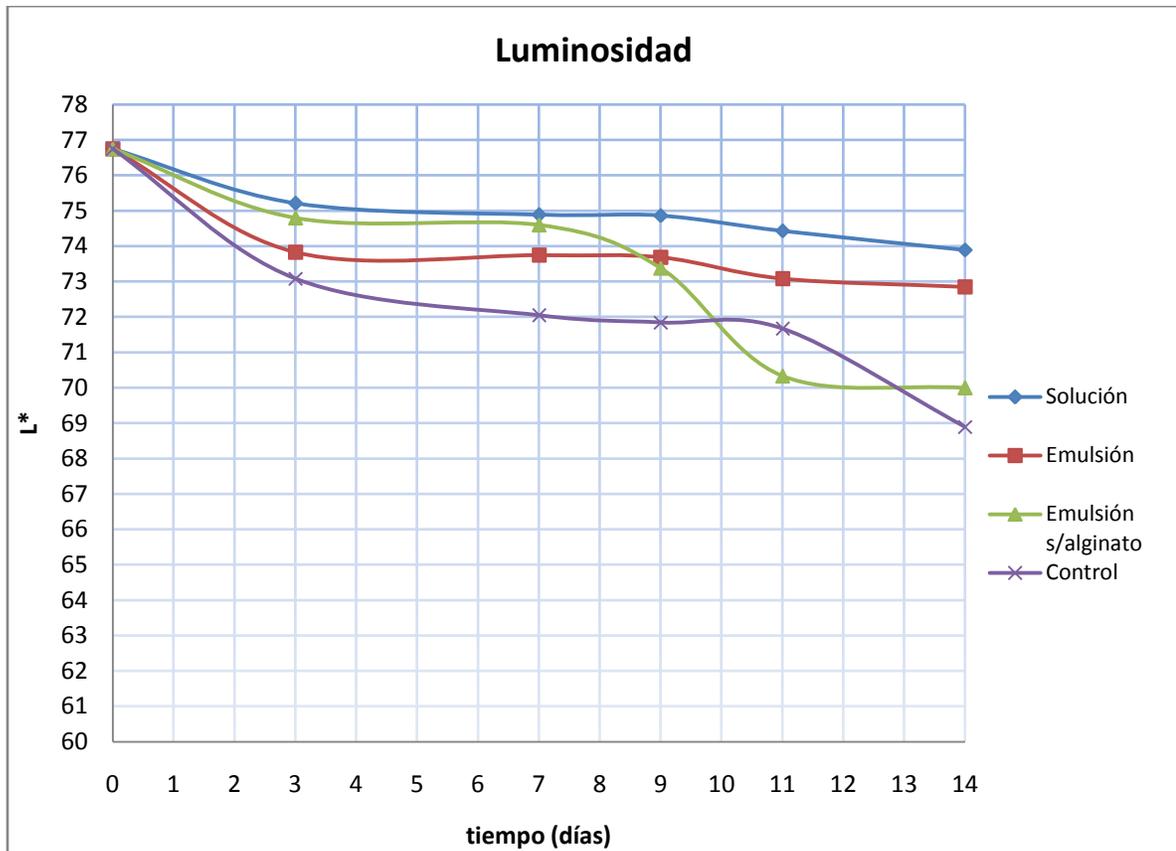
En general, los datos sugieren que los tratamientos a base de vitamina E mantuvieron altos niveles de ácidos orgánicos, indicativo de un mejor mantenimiento de la calidad durante el almacenamiento de las rebanadas de manzana. Además, los resultados concuerdan con lo reportado por Vargas et al. (2005) donde encontraron que el recubrimiento comestible disminuye la velocidad de transformación de los ácidos grasos, extendiendo de esta manera el tiempo de vida útil de la manzana fresca cortada hasta por 14 días.

### 3.4. DETERMINACIÓN DE COLOR

#### 3.4.1. Parámetros de color CIE L\*, a\* y b\*

Existen numerosos trabajos en la bibliografía que recomiendan el empleo de los parámetros L\* y a\* para evaluar el oscurecimiento enzimático en rebanadas de manzana. En los cuales, un decremento en el valor de L\* y un incremento en el valor de a\* son indicadores de pardeamiento (*Rojas-Graü, 2008*). En el presente estudio, todos los cambios observados en los parámetros de color están altamente relacionados con el tiempo de almacenamiento, especialmente en el decremento del valor de L\* (Figura 11).

El parámetro L\* es un indicador útil de oscurecimiento durante el almacenamiento, para cualquiera de los dos resultados, por reacciones de oscurecimiento enzimático o por incremento en la concentración de pigmentos (*Rocha y Morais, 2003*). En general, los valores de L\* en manzanas frescas cortadas decrecen desde el primer día de almacenamiento (Figura 11). Este comportamiento ha sido observado por Soliva-Fortuny et al. (2002) en rebanadas de manzana Golden Delicious envasadas a temperatura ambiente. Ellos reportaron una disminución de los valores de L\* durante la primera semana de almacenamiento. Kim et al. (1993) reportaron que una disminución rápida en los valores de L\* en manzanas puede deberse al oscurecimiento enzimático causado por el daño celular con un consecuente aumento en el contacto entre enzimas y sustratos.

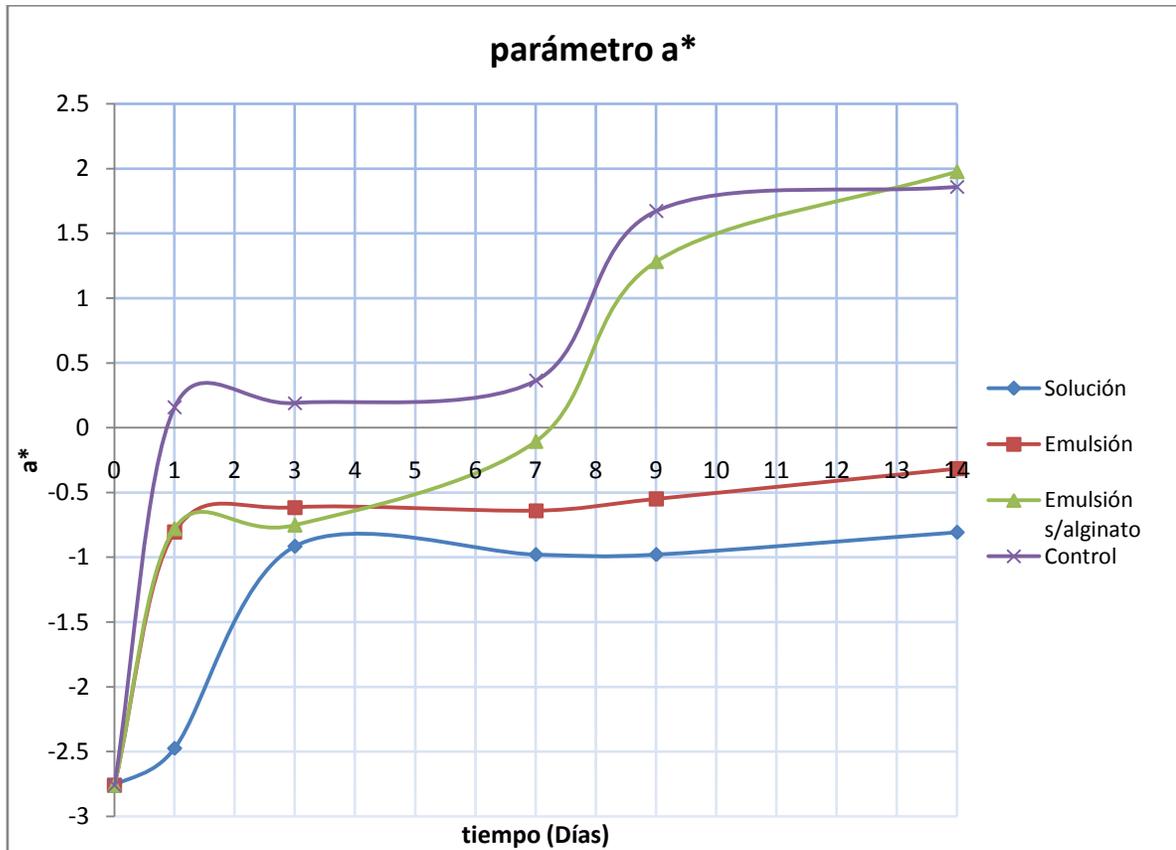


**Figura 11.** Luminosidad de la manzana fresca cortada durante el almacenamiento

Los valores de  $L^*$  de manzanas frescas cortadas tratadas con vitamina E como agente antioxidante se mantuvieron sin ningún decremento significativo durante todo el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, la principal depresión de los valores de  $L^*$  fueron observados después de 9 días de almacenamiento en manzanas tratadas con emulsión de vitamina E (2000 ppm) y 1% de ácido cítrico y en el control, alcanzando valores tan bajos como 69.9 y 68.89, respectivamente, después de 14 días de almacenamiento (Figura 11-A). Si bien, un decremento en los valores de  $L^*$  está asociado normalmente con el oscurecimiento, se detectó un color café oscuro en rebanadas de manzana sin tratar. Cuando se usó vitamina E el color café se desarrolló más lentamente durante el almacenamiento, pero no mostró signos de oscurecimiento enzimático durante los primeros días.

Los valores de  $a^*$  son una medida de verde y están altamente relacionados con los cambios en la pulpa de manzana (Rojas-Graü et al., 2006). Los cambios en

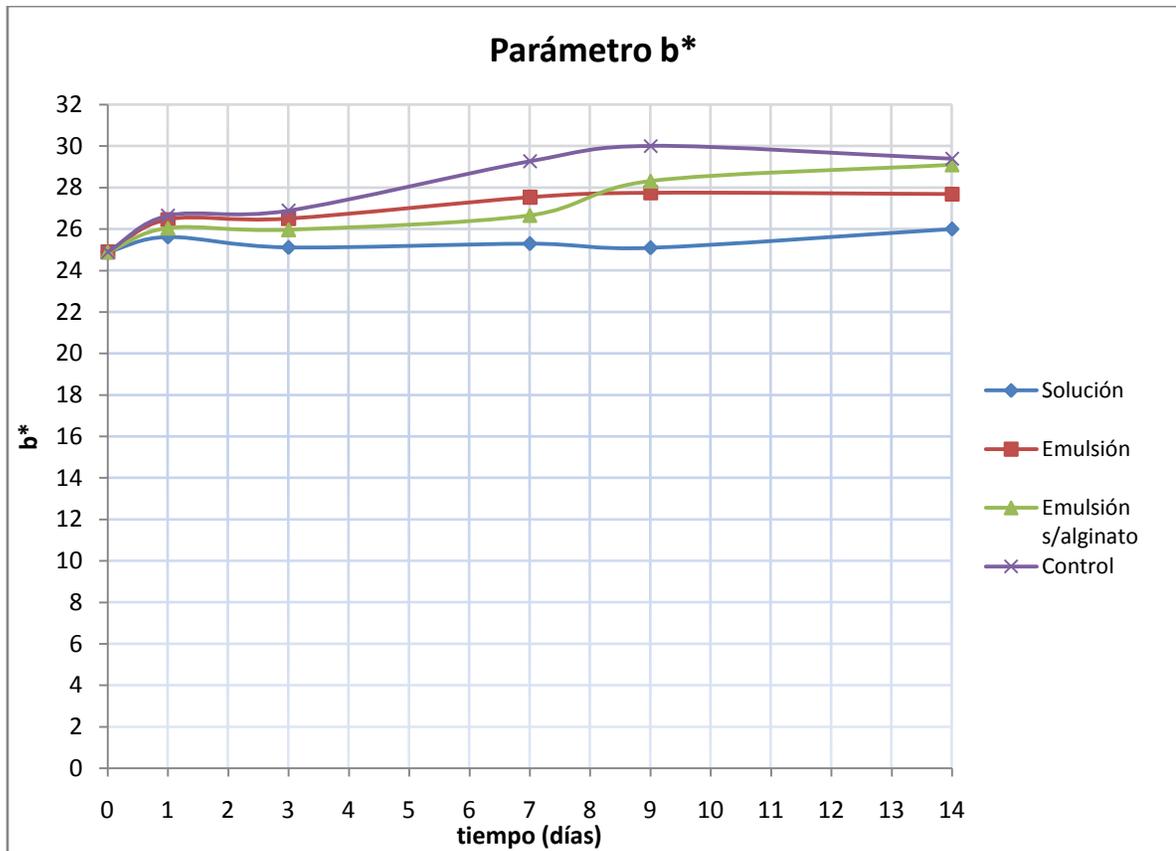
los valores de  $a^*$  han sido utilizados para monitorear el oscurecimiento en la superficie de manzanas cortadas (McHugh y Senesi, 2000).



**Figura 12.** Evolución del parámetro  $a^*$  en manzana fresca cortada durante 14 días.

La efectividad de la vitamina E en solución como agente antioxidante comenzó a ser evidente, según los resultados obtenidos en los valores de  $a^*$ , como se ve en la Figura 12. El parámetro  $a^*$  no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) asociadas con el tipo de tratamiento durante los primeros 7 días, pero sí con el tiempo, mostrando un ligero incremento, lo cual puede atribuirse a la degradación de los cloroplastos causando la solubilización de la polifenoloxidasasa que es la causante de incrementar la sensibilidad al oscurecimiento (Soliva-Fortuny et al., 2002).

Los valores de  $b^*$  indican la cromaticidad sobre el eje de azul (-) a amarillo (+). Este valor es una medida de amarillo en muchos productos, pero no está asociado frecuentemente a los cambios de color de los tejidos de manzana.



**Figura 13.** Parámetro  $b^*$  durante el almacenamiento de manzana fresca cortada

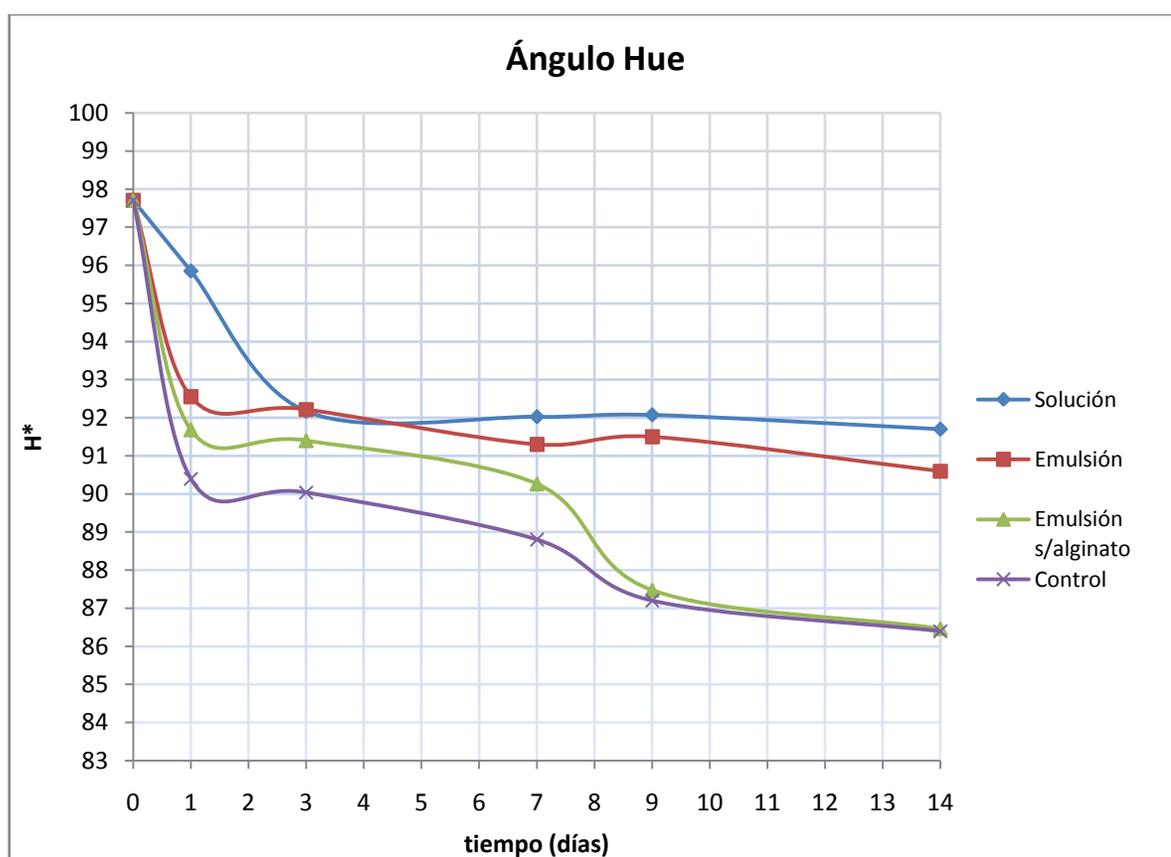
El análisis de ANOVA para los valores  $b^*$  indicaron que el término no fue significativo ( $p > 0.05$ ) indicando que este valor no está relacionado al oscurecimiento (Figura 13). Resultados similares fueron obtenidos por Rocha et al. (1998) sobre manzanas cortadas (variedad Jonagoned), quienes sugirieron que el oscurecimiento enzimático en las superficies cortadas de manzanas podrían ser monitoreados por los cambios reflejados en los valores de  $L^*$  y  $a^*$  mientras, que los valores de  $b^*$  no estaban relacionados a la aparición de oscurecimiento.

Estos resultados en comparación con los resultados obtenidos por otros autores, muestran la efectividad de aplicar vitamina E sobre un recubrimiento de alginato para conservar las manzanas frescas cortadas en buena calidad. En los estudios de Rojas-Graü et al. (2008) se encontró que la adición de ácido cítrico y ascórbico al recubrimiento inhibe efectivamente la actividad enzimática de las muestras de manzana durante los primeros 7 días de almacenamiento. Por otro lado, Gorny et al. (1999) redujo el nivel de oscurecimiento en rebanadas de pera sumergidas en

2% (w/v) ácido ascórbico y 1% (w/v) de lactato de calcio durante los primeros 6 días de almacenamiento.

### 3.4.2. Índices de color

El ángulo Hue y el índice de blancura frecuentemente se aplican para representar los cambios en el color de las frutas a través del tiempo. El valor  $H^*$  es un ángulo en un círculo de color de  $360^\circ$ , con  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$  representando el rojo, amarillo, verde, y azul, respectivamente (Rocha y Morais, 2003). El valor Hue representa el verdadero color, el cual es efectivo para visualizar la apariencia de los productos alimenticios (McGuire, 1992).

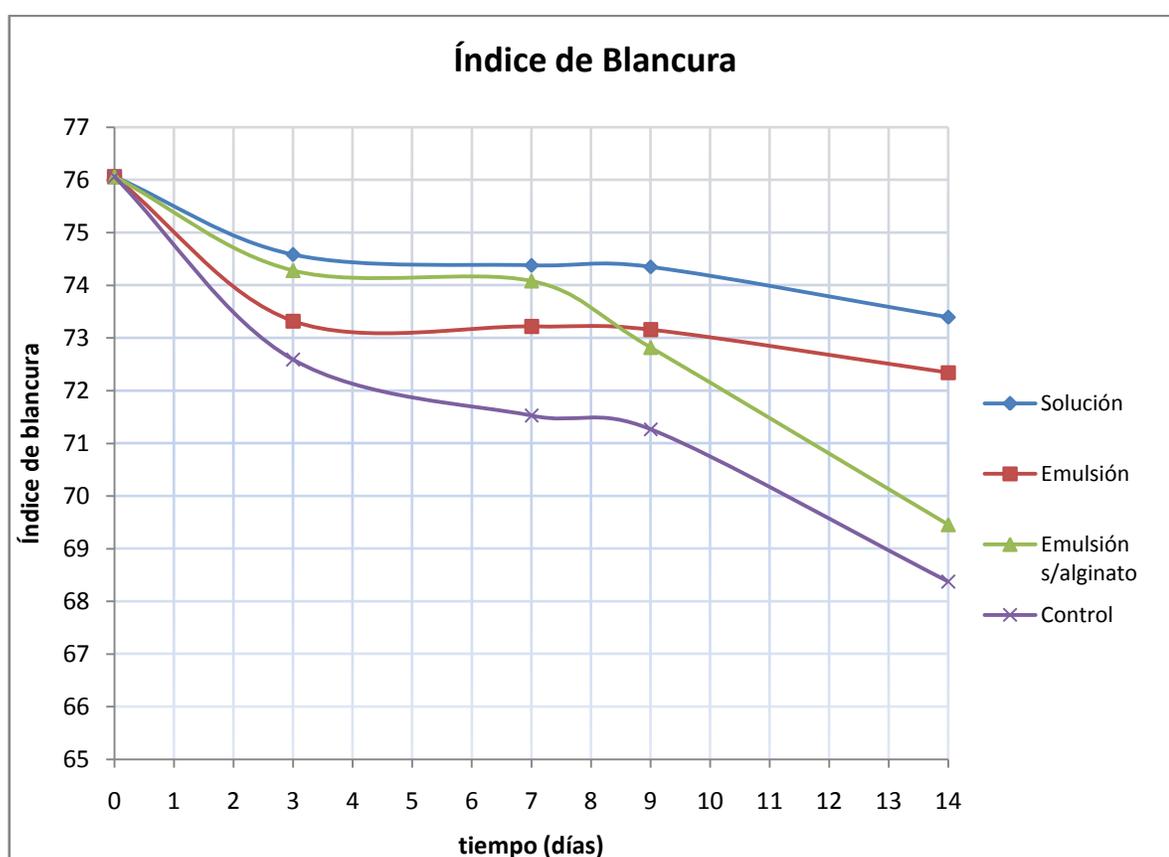


**Figura 14.** Ángulo de Hue durante el almacenamiento de manzana fresca cortada

Los valores de  $H^*$  de las rebanadas de manzana sin tratar y tratadas únicamente con emulsión de vitamina E (2000 ppm) disminuyeron desde 96.7 hasta 86.4 durante el periodo de almacenamiento, mostrando oscurecimiento en la superficie de la manzana teniendo un efecto significativo ( $F= 30.16$ ;  $p<0.05$ ) sin llegar a ser

un valor crítico, mientras que las muestras tratadas con vitamina E y recubrimiento de alginato mantuvieron altos niveles de  $H^*$  (alrededor de 90) durante todo el tiempo de almacenamiento (Figura 14), independientemente de la forma de aplicar la vitamina E (solución o emulsión). En general, el almacenamiento con refrigeración a  $4^{\circ}\text{C}$ , permite obtener un producto con unas características de color muy aceptables a los 14 días de almacenamiento.

La efectividad de aplicar la vitamina E sobre un recubrimiento comestible en manzana fresca cortada sobre los valores de  $H^*$  están de acuerdo con los resultados obtenidos en los valores de  $a^*$ , dado que éste índice se calcula con los valores numéricos de  $a^*$  y  $b^*$ , mostrando una relación directa entre los valores de  $a^*$  y  $H^*$ .



**Figura 15.** Índice de blancura durante el almacenamiento de manzana fresca cortada

Los cambios de color en la superficie de la fruta fresca cortada se han reportado extensamente, y el tiempo de oscurecimiento se ha considerado como el factor

limitante en el tiempo de vida útil de manzanas frescas cortadas (Wiley, 1997). Por otro lado, las muestras tratadas no tuvieron diferencia significativa en el índice de blancura hasta los siete días de almacenamiento, sin embargo, en los días posteriores hubo un decremento importante en las manzanas tratadas únicamente con emulsión de vitamina E (2000 ppm) sin llegar a ser significativo (Figura 15). Así que, la vitamina E tuvo un efecto benéfico sobre el oscurecimiento enzimático en manzana cortada, ya que el control tuvo una disminución significativa ( $F=26.36$ ;  $p<0.05$ ).

### 3.5. DETERMINACIÓN DE FIRMEZA

La pérdida de textura es el cambio más notable que ocurre en frutas y vegetales durante prolongados tiempos de almacenamiento y está relacionado a los cambios metabólicos y al contenido de agua (García et al., 2000).

El ablandamiento de la fruta es una consecuencia de los cambios en las propiedades físicas y mecánicas del tejido basado sobre los cambios en la estructura química de los polisacáridos de la pared celular. De hecho, las pectinas juegan un papel importante en el ablandamiento de las frutas, desde que estas son parcialmente solubilizadas por enzimas degradativas endógenas (poligalacturonasas y pectinmetilesterasas) durante la maduración, comenzando por el ablandamiento de tejido (Soliva-Fortuny et al, 2005). Además, el ablandamiento del tejido de la fruta durante la maduración y la senescencia se potencia por la presencia de etileno y se ha demostrado que es una consecuencia de alteración en el metabolismo de la pared celular (Gorny et al., 1999).

Se observó un ablandamiento progresivo de rebanadas de manzana en los diferentes tratamientos (Figura 16). La tendencia y magnitud de estos cambios estuvieron fuertemente influenciados por el tiempo y la aplicación de recubrimiento. Las muestras tratadas con recubrimiento de alginato claramente mantuvieron la dureza inicial de las manzanas sin cambios significativos ( $p>0.05$ ) mejor que las no tratadas y sin recubrimiento, las cuales tuvieron efectos significativos ( $F=60.35$  y  $F=44.92$  respectivamente;  $p<0.05$ ) durante los 14 días de

almacenamiento (Figura 16-A). Fan et al. (2005<sup>a</sup>) también indicaron que el tratamiento con  $\text{CaCl}_2$  redujo la pérdida de dureza de manzanas frescas cortadas

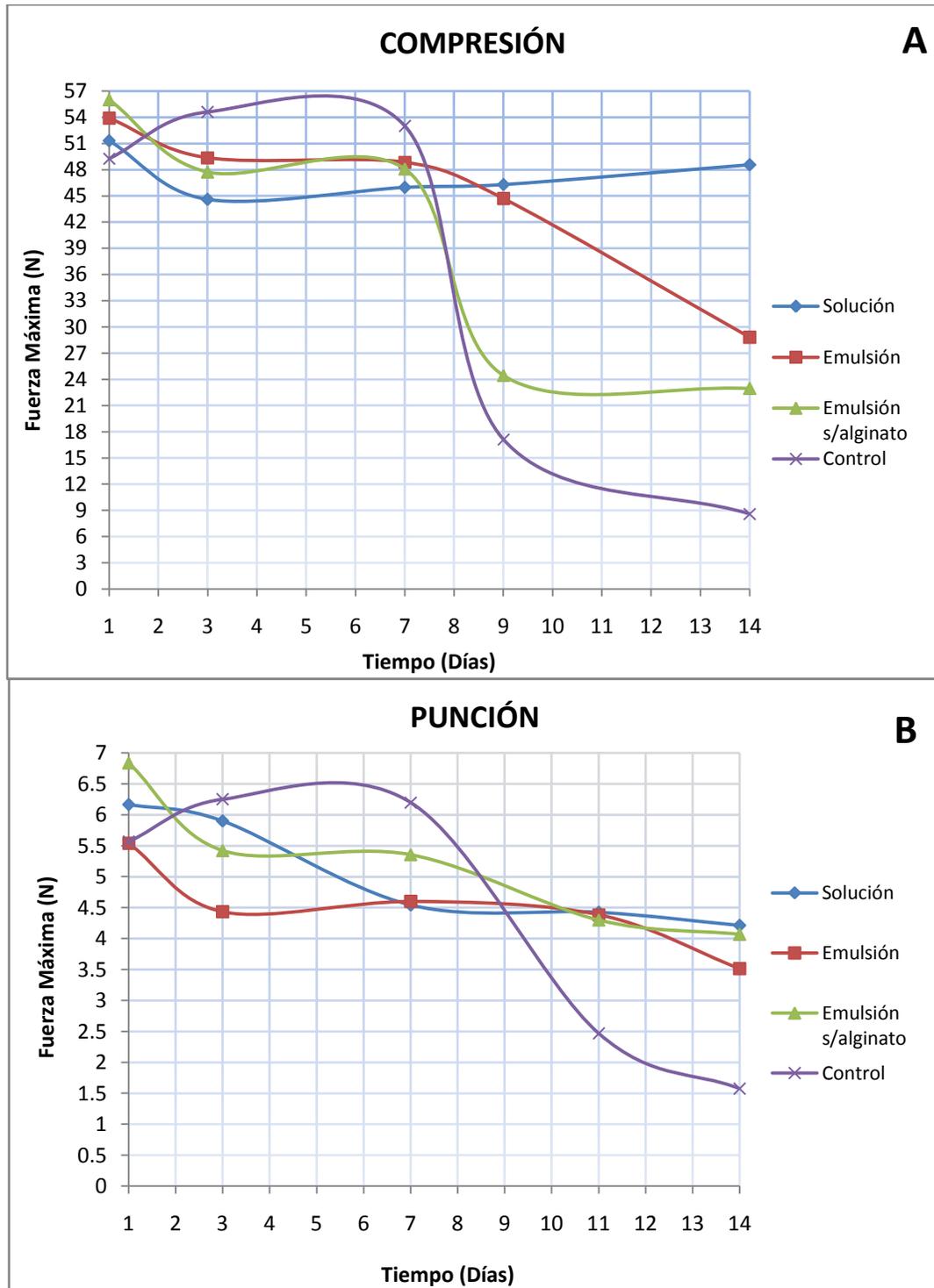


Figura 16. Fuerza máxima obtenida del ensayo de compresión y punción

irradiadas iónicamente durante el almacenamiento y propusieron que el Ca puede ayudar a inhibir el estrés inducido por la senescencia en manzanas para mantener la integridad de la membrana (*Wang et al., 2007*).

Los cambios en la firmeza difirieron ligeramente en los tratamientos. Las manzanas tratadas con recubrimiento de alginato y solución de vitamina E (2000 ppm) guardaron su firmeza inicial sin cambios significativos a lo largo de dos semanas (Figura 16-B). Los otros tratamientos conservaron la textura del producto con un ligero decremento gradual. La firmeza de rebanadas de manzana no tratadas disminuyó desde 5.567 a 1.575 N durante 14 días de almacenamiento (Figura 15-B), mostrando un ablandamiento significativo en los tejidos ( $F=47.89$ ;  $p<0.05$ ).

En general, el uso de cloruro de calcio minimizó el ablandamiento de las rebanadas de manzana. Lee et al. (2003) obtuvieron resultados similares, ellos estudiaron el efecto del recubrimiento de proteína de soya concentrada en combinación con un agente antioxidante sobre rebanadas de manzana frescas cortadas. Encontraron que la incorporación de 1% de cloruro de calcio dentro de la formulación del recubrimiento ayudó a mantener la firmeza de las piezas de manzana. King y Bolin (1989), establecieron que el cloruro de calcio puede ser usado como agente afirmante de tejidos de fruta por reacción con el ácido péctico en la pared celular para formar pectato de calcio, el cual fortalece las uniones moleculares entre los constituyentes de la pared (*Rojas-Graü, 2008*).

## CONCLUSIONES

Este estudio demostró que el oscurecimiento puede ser evitado a lo largo del almacenamiento refrigerado por una combinación apropiada de componentes naturales.

Fue posible establecer mediante cambios de color en la superficie de las manzanas la efectividad de los sistemas con vitamina E desarrollados en relación con las muestras sin tratamiento que fueron las que tuvieron cambios mayores respecto al ángulo Hue.

Los principales cambios observados en el color de las rebanadas de manzana tratadas con vitamina E en solución y emulsión se debieron únicamente a la presencia o no de un recubrimiento dentro de la formulación. La incorporación de un recubrimiento previo al tratamiento antioxidante, produjo el mayor efecto individual en la prevención del oscurecimiento enzimático durante el periodo de estudio (14 días a 4 °C) quedando evidente el aumento de su capacidad antioxidante cuando es incorporado dentro de un recubrimiento.

Los resultados mostraron que el uso de un recubrimiento comestible con vitamina E permite el mantenimiento de la calidad (color y firmeza) en la manzana fresca cortada durante más de una semana de almacenamiento en refrigeración. A diferencia de las manzanas sin tratar que mostraron un considerable oscurecimiento en la superficie cortada y ablandamiento de sus tejidos desde los primeros días de almacenamiento.

Los sólidos solubles y la acidez total no tuvieron un cambio significativo ( $p > 0.05$ ) entre los diferentes tratamientos aplicados a la manzana fresca cortada durante el periodo de almacenamiento, determinando que la vida útil se ve limitada, no por la degradación de los compuestos sino por los cambios en color y textura.

Se concluye que la forma de aplicación de vitamina E es un parámetro importante en el oscurecimiento enzimático como se observa en la Figura 17, encontrando que la vitamina E en solución obtuvo la menor diferencia significativa entre los parámetros iniciales y finales estudiados en este trabajo.



**Figura 17.** Manzana fresca cortada con diferentes tratamientos a los 15 días de almacenamiento

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abbott J. and Buta G., (2002), *Effect of antibrowning treatment on color and firmness of fresh-cut pears*, Journal of Food Quality, 25, pp. 333-341.
2. Agar K., Tanase M., Chachin K., (1998), *Studies on physiological and chemical changes of fresh-cut bananas. I. Deterioration in fresh-cut green tip bananas*, Journal of Japan Society Horticultural Science, 67, pp.123-129.
3. Agustí M., (2004), *Fruticultura. Cap. 12: Frutales de pepita*, Ediciones Mundi-Prensa.
4. Artés F. y Artés F., (2003), *Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos frescos. In: Productos hortofrutícolas mínimamente procesados*, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, España.
5. Artés F., Castañer M., Gil M., (1998), *Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables*. Food Science and Technology International, 4(6), pp. 377-389.
6. Arthey D. and Ashurst P., (1996), *Fruit processing*, Springer, USA.
7. Barret D., Somogyi P., Ramaswamy H., (2005), *Processing fruits: science and technology*, 2ª Edición, CRC Press, USA.
8. Barry-Ryan C. and O'Beirne D., (1999), *Ascorbic acid retention in shredded iceberg lettuce as affected by minimal processing*, Journal of Food Science, 64(3), pp. 498-500.
9. Bello J., (2000), *Ciencia Bromatológica*, Ediciones Díaz de Santos, España.
10. Benyon S., O'Neale J., Calle J., (2003), *Lo esencial en metabolismo y nutrición*, 2ª Edición, Elsevier, España.
11. Centro Tecnológico Granotec, (2002), *Antioxidantes naturales: vitaminas C y E*, Industria de Alimentos, noviembre/diciembre, pp. 4-7.
12. Chung H. and Moon K., (2009), *Browning characteristics of fresh-cut 'Tsugaru' apples as affected by pre-slicing storage atmospheres*, Food Chemistry, 1, pp.1433-1437.
13. CONSUMER (2009). Frutas. Manzana, [en línea]. Dirección URL: <<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/manzana/intro.php>>. [Consulta: 8 de Junio del 2009].

14. Cortés M., Osorio A., García E., (2007), *Manzana deshidratada fortificada con vitamina E utilizando la ingeniería de matrices*, Facultad de Química Farmacéutica, 14, Colombia, pp.17-26.
15. Cubero N., Monferrer A., Villalta J., (2002), *Aditivos alimentarios*, Mundi-Prensa Libros.
16. Ferree D., and Warrington I., (2003), *Apples: botany, production, and uses*, CABI, USA.
17. Food Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 2003. Code of hygienic practice for fresh fruits and vegetables CAC/RCP, [en línea]. Dirección URL: [http://www.codexalimentarius.net/web/standard\\_list.do](http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.do). [Consulta: 17 de Mayo del 2009].
18. García M., Martino M., Zaritzky N., (2000), *Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings*, Journal of Food Science, 65, pp. 941-947.
19. Gómez M., (2007), *Efectos de las condiciones de operación en los cambios fisicoquímico y fisiológicos de fruta mínimamente procesada por deshidratación osmótica*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
20. Gorny J., Hess-Pierce B., Kader A., (1999), *Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments*, Journal of Food Science, 64(3), pp. 429-432.
21. Gorris L and H Peppelenbos, (1999), *Modified-atmosphere packaging of produce. In: Handbook of Food Preservation*, Rahman, M.S. Editorial Marcel Dekker, Inc: New York-Basel.
22. Gunes G., Watkins C., Hotchkiss J., (2000), *Effects of irradiation on respiration and ethylene production of apple slices*, Journal of the Science of Food and Agriculture, 80, pp. 1169-1175.
23. 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, pp.155-162.
24. Ihl M., Aravena L., Scheuermann E., Uquiche E., Bifani V., (2003), *Effect of immersion solutions on shelf-life of minimally processed lettuce*, LWT, 36, pp. 591-599.
25. Illera M., Illera J., Illera C., (2000), *Vitaminas y minerales*, Computense.

26. Infoagro (2009). Frutas tradicionales. Manzana, [en línea]. Dirección URL: [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/manzana.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm) [Consulta: 8 de Junio del 2009].
27. Janick J., (2004), *Horticultural Reviews*, Vol. 30, Wiley and Sons, Cánada.
28. Kato-Noguchi H. and Watada A., (1997), *Effects of low-oxygen atmosphere on ethanolic fermentation in fresh-cut carrots*, Journal of American Society Horticultural Science, 122, pp. 107-111.
29. Kim D., Smith N., Lee C., (1993), *Quality of minimally processed apple slices from selected cultivars*, Journal of Food Science, 58(5), pp. 1115-1117, 1175.
30. Labuza T., (2000), *Determination of the Shelf-Life of Foods*, Department of Food Science and Nutrition, University of Minnesota, USA.
31. Lanciotti R., Corbo M., Gardini F., Sinigaglia M., Guerzoni M., (1999), *Effect of hexanal on the shelf-life apple slices*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, pp. 4769-4775.
32. Lee J., Park H., Lee C., Choi W., (2003), *Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents*, LWT, 36, pp. 323-329.
33. Lewicki P., Gondek E., Witrowa-Rajchert D., Nowak D., (2001), *Effect of drying on respiration of apple slices*, Journal of Food Engineering, 49, pp.333-337.
34. López A., (2003), *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*, Boletín de servicios agrícolas de la FAO Vol. 151, Food & Agriculture Org, Roma, Italia.
35. López M., Lavilla M., Riba M., Vendrell M., (1998), *Comparison of volatile compounds in two seasons in apples: Golden Delicious and Granny Smith*, Journal of Food Quality, 21, pp. 155-166.
36. Lozano J., (2006), *Fruit manufacturing: scientific basis, engineering properties, and deteriorative reactions of technological importance*, Springer, USA.
37. Luna-Guzmán I. and Barrett D., (2000), *Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes*, Postharvest Biology and Technology, 19, pp. 61-72.
38. Man C. and Jones A., (2000), *Shelf-life evaluation of foods*, 2ª Edición, Springer, USA.

39. Mattheis J. and Fellman J., (2000), *Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities*, HortTechnology, 10, pp. 507-510.
40. McGuire R., (1992), *Reporting of objective color measurements*, HortScience, 27(12), pp. 1254-1255.
41. McHugh T. and Krochta J., (1994), *Milk-protein-based edible films and coatings*, Food and Technology, 48, pp. 97-103.
42. McHugh T. and Senesi E., (2000), *Apple Wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples*, Journal of Food Science, 65(3), pp. 480-485.
43. Millán F., López S., Roa V., Tapia M., Cava R., (2001), *Estudio de la estabilidad microbiológica del melón (Cucumis melo L) mínimamente procesado por impregnación al vacío*, Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 51.
44. Olivas G. and Barbosa-Cánovas G., (2005), *Edible coating for fresh-cut fruits*, Food Science and Nutriology, 45, pp. 657-670.
45. Oms-Oliu G., (2008), *Alternativas de envasado de pera y melón frescos cortados en atmósfera modificada*, Tesis Doctoral, Universidad de Lleida, Lleida, España.
46. Osorio M., (2006), *Análisis de acidez en jugos de frutas*, Indualimentos, mayo/junio, pp. 24-26.
47. Pérez-Cabrera, (2003), *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
48. Qi L., Wu T., Watada A., (1999), *Quality changes of fresh-cut honeydew melons during controlled atmosphere storage*, Journal of Food Quality, 22 (5), pp. 513-521.
49. Rico D., Martín-Diana A., Barat J., Barry-Ryan C., (2007), *Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review*, Trends in Food Science and Technology, 18, pp. 373-386.
50. Rhim J., (2004), *Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films*, LWT, 37, pp. 323-330.

51. Robles-Sánchez M., Gorinstein S., Martín-Belloso O., Astiazarán-García H., González-Aguilar G. y Cruz-Valenzuela R., (2007), *Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud*, Interciencia, 32(4), pp. 227-232.
52. Rocha A., Brochado C., Morais A., (1998), *Influence of chemical treatment on quality of cut apple (cv. Jonagored)*, Journal of Food Quality, 21(1), pp.13-18.
53. Rocha A. and Morais A., (2003), *Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by color changes*. Food Control, 14(1), pp13-20.
54. Rodríguez-Sandoval E., Fernández-Quintero A. y Ayala-Aponte A., (2005), *Reología y textura de masas*, Ingeniería e Investigación, 25(1), pp. 72-78.
55. 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, Lleida, España.
56. Rojas-Graü M., Tapia M., Rodríguez F., Carmona A., Martín-Belloso O., (2006), *Alginate and gellan based edible coatings as support of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apple*, Food Hydrocolloids, in press.
57. Rojas-Graü M., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O., (2008), *Effect of natural antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut fuji apples as an alternative to the use of ascorbic acid*, Journal of Food Science, 73, pp. 267-272.
58. Saftner R., (2005), *Quality measurement of intact and fresh-cut slices of Fuji, GrannySmith, Pink Lady and GoldRush Apples*, Journal of Food Science, 70, pp.317-324.
59. Salinas-Hernández R., Pirovani M., Ulín-Montejo F., y González-Aguilar G.; (2007), *Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados*, Universidad y Ciencia, 23(2), pp. 183-196.
60. Salunkhe D and B Desai, (1991), *Postharvest Biotechnology of Vegetables*, Editorial CRC Press: Boca Ratón.
61. Saltveit M, (1997), *Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: Phytochemistry of fruits and vegetable*, Editorial Oxford University Press: London.
62. Sapers G., Garzarella L., Pilizota V., (1990), *Application of browning to cut apple and potato by vacuum and pressure infiltration*, Journal of Food Science, 55, pp. 1050-1053.

- 
63. Serra M., (2006), *Nutrición y salud pública: Métodos, bases científicas y aplicaciones*, 2ª Edición, Elsevier, España.
64. Sierra M., (2004), *Frutas de IV gama en los lineales españoles*, Horticultura Internacional, 44, pp. 38-45.
65. Soliva-Fortuny R., Grigelmo-Miguel N., Odriozola-Serrano I., Gorinstein O., Martín-Belloso O., (2001), *Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(8), pp. 3685-3690.
66. Soliva Fortuny R., Ricart-Coll M., Martín-Belloso O., (2005), *Sensory quality and international atmosphere of fresh-cut Golden Delicious apples*, International Journal of Food Science and Technology, 40, pp. 369-375.
67. Soliva-Fortuny R., Oms-Oliu G., Martín-Belloso O., (2002), *Effects of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices*, Journal of Food Science, 67, pp. 1958-1963.
68. Soliva-Fortuny R., (2003), *Influencia de las condiciones de envasado y conservación sobre la calidad y vida útil de manzana y pera mínimamente procesadas*. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Lleida, España.
69. Soliva-Fortuny R., Lluch M., Quiles A., Grigelmo-Miguel N., Martín-Belloso O., (2003), *Evaluation of textural properties and microstructure during storage of minimally processed apples*, Journal of Food Science, 68, pp.312-317.
70. Somogyi L., Ramaswamy H., Hui Y., (1996), *Processing Fruits: Biology, principles, and applications*, CRC Press, USA.
71. Sothornvit R. and Krochta J., (2000), *Plasticizer effect on oxygen permeability of Blactoglobulin films*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, pp.6298-6302.
72. Toivonen P. and Brummell D., (2008), *Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables*, Postharvest Biology and Technology, 48, pp.1-14.
73. Torrieri E., Di Monaco R., Cavella S. and Masi P., (2008), *Fresh-cut annurca apples: acceptability study and shelf-life determination*, Journal of Sensory Studies, 23, pp. 377-397.
74. Vargas-Vargas M., Centurión-Yah A., Sauri-Duch E., Tamayo-Cortés S., (2005), *Industrialización de la pitahaya: Una nueva forma de*

- comercialización*, Revista Mexicana de Agronegocios, México, enero/junio, 9(16), pp.498-509.
75. Wang H., Feng H., Luo Y., (2007), *Control of browning and microbial growth on fresh-cut apples by sequential treatment of sanitizers and calcium ascorbate*, Journal of Food Science, 72, pp. 1-7.
76. Wiley, R., (1997), *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*, 1ª Edición, Acribia, España.
77. Yang L. and Paulson A., (2000), *Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films*, Food Research International, 33, pp. 563-570.
78. Yiu H., (2006), *Handbook of food science, technology, and engineering*, CRC Press, USA.
79. Yiu H., Barta J., Cano P., (2006), *Handbook of fruits and fruit processing*, Willey-Blackwell.
80. Zarazúa-Escobar J., Martínez-Damián M., Colinas-León M., Barrientos-Proego A., Aguilar-Melchor J., (2005), *Frigoconservación y atmósferas modificadas en frutos de aguacate mínimamente procesado*, Revista Chapingo serie Horticultura, 11, México, pp. 143-148.