



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
AGROINDUSTRIAL**

**MÍNIMO PROCESADO EN CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* R y P)**

T E S I S

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

PRESENTA:

EDGAR CABRERA MEZA



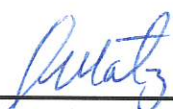
**Julio, 2010
Chapingo, Estado de México**

**“Mínimo procesado en chile manzano
(*Capsicum pubescens* R y P)”**

Tesis realizada por Edgar Cabrera Meza, bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR: 
Dra. Teresa B. Colinas León

ASESOR: 
Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

ASESOR: 
Dr. Salvador Valle Guadarrama

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Chapingo, en particular al Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por la oportunidad de continuar con un paso más en mi formación académica y profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo para desarrollar mis estudios de maestría.

Un agradecimiento muy especial al comité asesor: Dra Ma. Teresa B. Colinas León, Dra. Ma. Teresa Martínez Damián y Dr. Salvador Valle Guadarrama por su dirección y aportaciones a este trabajo.

A mis compañeras de Maestría: Graciela Martínez, Rosa Isela Ventura y Roxana Rodríguez por brindarme su amistad y el apoyo durante el tiempo que convivimos en la maestría.

A mi familia, muy en especial a mis padres Edith Meza Ibarra y Jorge Cabrera Salinas, por su apoyo y confianza.

Datos biográficos.

Edgar Cabrera Meza, autor del presente trabajo nació en la ciudad de Puebla, Puebla, el 13 de julio de 1984. En 1999 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo para realizar sus estudios de nivel medio superior y nivel superior, titulándose como Ingeniero Agroindustrial en marzo del 2007, en ese mismo año ingresa al programa Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria para realizar estudios de posgrado. En su último trabajo laboró para la empresa Sabritas S de R L de C. V. en la ciudad de México, desempeñando el puesto de técnico en control de calidad.

Dedicatoria

A mis padres Edith Meza Ibarra y Jorge Cabrera Salinas, por motivarme día a día para lograr mis metas.

A mis hermanas Thalía y Janet y muy en especial a mi sobrino Alan que con su alegría y cariño me motiva a seguir adelante.

A mis abuelitos Angelita Salinas y Elpidio Cabrera.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos particulares	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1 Origen y distribución del chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i>).....	7
4.2 Importancia económica	7
4.3 Importancia nutricional	9
4.4 Mínimos procesados	11
4.5 Factores que afectan la calidad de los productos frescos cortados.....	13
4.5.1 Temperatura	14
4.5.2 Atmósferas Controladas y modificadas.....	15
4.5.3 Humedad relativa	17
4.5.4 Microorganismos.....	18
4.5.5 Fisiología y bioquímica.....	19
4.6 Cambios físicos y químicos de los productos mínimamente procesados durante el almacenamiento.....	20
4.6.1 Pérdida de peso.....	20
4.6.2 Color	21
4.6.3 Vitaminas	21
4.6.4 Carbohidratos	22
4.6.5 Ácidos orgánicos.....	23
4.6.6 Carotenoides.....	23
4.7 Uso de empaques como métodos alternativos	24
4.7.1 Materiales más usados en la elaboración de empaques comerciales	25
4.7.2 Características no deseables en el diseño de empaques.....	27
4.8 Aspectos bioquímicos durante el almacenamiento en AM y AC.....	28

4.8.1 Efecto Pasteur	30
5. MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1 Material vegetal.....	32
5.2 Características del empaque.	34
5.3 Establecimiento del experimento.	35
5.4 Variables evaluadas.....	35
5.4.1 Pérdida de peso fresco.	35
5.4.2 Color	35
5.4.3 Acido ascórbico.....	36
5.4.4 Sólidos solubles totales	36
5.4.5 Determinación de carotenoides	36
5.4.6 Medición de respiración	37
5.4.7 Determinación etanol y acetaldehídos	38
5.4.8 Escala hedónica.....	39
5.5 Análisis estadístico.	40
6. RESULTADOS Y DISCUSION	41
6.1 Pérdida de peso.....	41
6.2 Acido ascórbico.....	44
6.3 Carotenoides.....	49
6.4 Medición de Respiración.....	52
6.5 Producción de etanol y acetaldehído	57
6.6 Luminosidad.....	63
6.7 Angulo Hue	66
6.8 Croma	69
6.9 Sólidos solubles	72
6.10 Apariencia	75
6.11 Olor	77
7. CONCLUSIONES	79
8. BIBLIOGRAFIA	81

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor nutritivo por 100 g de porción comestible de chile.....	10
Cuadro 2. Escala hedónica para medir olor y apariencia del mínimo procesado.....	39
Cuadro 3. Efecto de los factores temperatura y empaque en la pérdida de peso (%) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado. ..	41
Cuadro 4. Interacción empaque-temperatura en la pérdida de peso (%) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado. ..	44
Cuadro 5. Efecto de los factores temperatura y empaque en el contenido de ácido ascórbico ($\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.....	46
Cuadro 6. Interacción empaque y temperatura en el contenido de ácido ascórbico ($\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.	48
Cuadro 7. Efecto de los factores temperatura y empaque en el contenido de carotenoides ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	50
Cuadro 8. Interacción empaque-temperatura en el contenido de carotenoides ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.....	51
Cuadro 9. Efecto de los factores temperatura y empaque en la tasa de respiración ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) de chile manzano mínimamente procesado.	53
Cuadro 10. Interacción empaque-temperatura en la tasa de respiración ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.....	56
Cuadro 11. Efecto del factor temperatura y empaque en la producción de acetaldehído (mg de A.A / 100 g) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.....	57
Cuadro 12. Efecto de los factores temperatura y empaque en la producción de etanol (mg / 100 g de peso fresco) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	59
Cuadro 13. Interacción empaque-temperatura en la producción de acetaldehído (mg de A.A / 100 g) en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.	61

Cuadro 14. Interacción empaque-temperatura en la producción de etanol (mg / 100 g de peso fresco) en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.	63
Cuadro 15. Efecto del factor temperatura y empaque en la luminosidad durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	64
Cuadro 16. Interacción empaque y temperatura en la en la luminosidad durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	66
Cuadro 17. Efecto de los factores temperatura y empaque en el ángulo hue durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	67
Cuadro 18. Interacción empaque y temperatura en el ángulo hue de chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.	68
Cuadro 19. Efecto de los factores temperatura y empaque en la cromaticidad durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	70
Cuadro 20. Interacción empaque y temperatura en el croma durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	71
Cuadro 21. Efecto de los factores temperatura y empaque en el contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.	73
Cuadro 22. Interacción empaque y temperatura en el contenido de sólidos solubles en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.	75
Cuadro 23. Aceptabilidad del mínimo procesado de chile manzano en relación a la apariencia durante el almacenamiento.	76
Cuadro 24. Aceptabilidad del chile manzano mínimamente procesado en relación al olor generado durante el almacenamiento.	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos en la obtención de chile manzano mínimamente procesado..32

“MINIMO PROCESADO EN CHILE MANZANO (*Capsicum pubenses R y P*)

“MINIMAL PROCESING IN MANZANO PEPPER (*Capsicum pubenses R y P*)”

Edgar Cabrera Meza¹ y Teresa B. Colinas León²

RESUMEN

Este estudio se llevó acabo para investigar el efecto de diferentes temperaturas de almacenamiento (0, 5 y 20 °C) y dos tipos de empaque, bolsa CP9250 (CP) y bolsa PC7225 (PC) de polietileno de baja densidad (LDP) de marca Cryovac[®] en la conservación de chile manzano mínimamente procesado. Se evaluó la pérdida de peso, tasa de respiración, metabolitos anaeróbicos (etanol y acetaldehído), carotenoides, color, contenido de sólidos solubles, ácido ascórbico, así como la calidad sensorial del producto. La temperatura influyó en la calidad del producto, a temperaturas bajas se observó menor tasa de respiración, así como menor producción de metabolitos anaerobios, a altas temperaturas se observó una mayor tasa de respiración así como una mayor pérdida de peso, lo cual ocasiono pérdidas en la calidad sensorial del producto. La combinación del uso de empaques y temperaturas bajas redujo las pérdidas de peso, y mantuvo el contenido de carotenoides. El producto almacenado sin empaque a 20 °C redujo el contenido de ácido ascórbico y presentó un incremento en los sólidos solubles. En los tratamientos sin empaque se observó una disminución en ángulo hue y en el croma, lo cual ocasiono cambios en el color del producto durante el almacenamiento.

Palabras clave: empackado, almacenamiento, producción de metabolitos, calidad sensorial.

¹Autor:

²Director de tesis:

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of different storage temperatures (0, 5 and 20 °C) and two types of packages, bag CP9250 (CP) and bag PC7225 (PC), both of low-density polyethylene (LDP) trademark Cryovac[®], on the conservation of minimally processed manzano pepper. Weight loss, respiration rate, anaerobic metabolites (ethanol and acetaldehyde), carotenoids, color, soluble solid content, ascorbic acid and sensory quality were evaluated. Temperature influenced product quality; at low temperature, a lower respiration rate and fewer anaerobic metabolites were observed, while at high temperature the respiration rate and weight loss were higher, resulting in a loss of sensory quality. The combination of packaging and low temperature decreased the weight loss and maintained the content of carotenoids. The stored product without packaging at 20 °C decreased the ascorbic acid content and showed an increase in the soluble solid content. In the treatments without packaging the hue angle and chroma were minor, causing changes in the color of the product during storage.

Key words: packaging, storage, metabolites production, sensory quality

¹Author:

²Thesis director:

1. INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum spp.*), el maíz (*Zea mays L.*) y la calabaza (*Cucurbita spp.*) son tres de los alimentos más importantes en la dieta mexicana (Pérez *et al.*, 1997). El gusto por el chile en México se basa principalmente en su picor, ya que se prefieren los chiles picantes a los llamados dulces. El cultivo de *Capsicum* (Solanaceae) se originó en América Central y América del Sur, con las especies *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. pubescens* y *C. chivense* (López, 2003).

El chile manzano (*C. pubescens* R y P) es originario de Perú, pero se cultiva en diversos países (Moroto, 2002); se consume de preferencia fresco, solo o en salsas, relleno o picado en ensaladas (Martínez, 2002). Los frutos maduros sólo se conservan por diez días; contrariamente a lo que ocurre con frutos de otras especies, éstos, por su carnosidad, no pueden secarse o deshidratarse (Laborde y Pozo, 1984).

Este chile tiene alto valor nutritivo, es rico en vitaminas A, B1, C, E y K así como en minerales. Además, es alto en su contenido de antioxidantes (Moroto, 2002). Con base en la demanda creciente del chile manzano en México y en Estados Unidos, se generó un sistema de producción intensivo para su cultivo, tanto en invernadero como en campo, en huertos semicomerciales no mayores de cinco hectáreas (Pérez y Castro, 1998).

En los años de 1980 comenzó el desarrollo de los productos mínimos procesados, como respuesta al surgimiento de la demanda de los consumidores hacia alimentos de conveniencia, de alta calidad, y productos libres de conservadores, con apariencia de productos frescos, con procesamiento menos severo (Giménez *et al.* 2003). Nguyenthe y Carlin (1994) indican que el procesamiento mínimo da un valor adicional a las frutas y vegetales en términos de conveniencia y ahorro en tiempo.

El procesado mínimo de productos generalmente consiste en el lavado, cortado y tratamiento con agentes sanitizantes (generalmente cloro a 100 ppm), empackado y almacenamiento bajo condiciones de refrigeración (Del Nobie *et al.*; 2007; McKellar *et al.*, 2004).

La vida útil de los productos procesados está limitada a pocos días debido principalmente a la respiración, transpiración y en muchas ocasiones al crecimiento de microorganismos patógenos, pues los tratamientos de cortado incrementan la susceptibilidad al crecimiento microbiano y pérdida de calidad (Del Nobie *et al.* 2006; Nguyenthe y Carlin, 1994).

El almacenamiento en atmósferas modificadas de productos frescos cortados o frutas y vegetales mínimamente procesados, en combinación con el uso de bajas temperaturas a lo largo del almacenamiento, han ganado popularidad debido a la creciente preferencia de los consumidores (Shan y Nath, 2006).

En esta investigación se planteó trabajar el chile manzano como un producto mínimamente procesado, con una presentación en rodajas, sin semillas, empackadas en bolsas de polietileno de baja densidad, en combinación con el uso de bajas temperaturas.

La finalidad fue presentar un producto práctico, ya que hoy en día tanto el hombre como la mujer forman parte de la vida laboral y se dificulta el consumo de alimentos frescos y sanos que proporcionen gran valor nutricional a la dieta alimenticia, además de que el uso del chile manzano se incrementa día con día en el empleo de diferentes platillos de comida, siendo un alimento 100 % prehispánico que hasta nuestros días es consumido con gran aceptación.

2. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de chile es de gran importancia socioeconómica y alimentaria en México; se llegan a cultivar 159 000 hectáreas por año, produciéndose un poco más de 2 millones de toneladas. Su cultivo tiene presencia en todo el territorio nacional (SAGARPA, 2006) y en la actualidad el consumo de chile manzano en nuestro país se ha ido incrementando debido a las diversas propiedades benéficas a la salud, sobresaliendo su alto contenido en vitaminas y minerales.

Con base en la demanda creciente del chile manzano en México y en Estados Unidos, se generó un sistema de producción intensivo para su cultivo, tanto en invernadero como en campo en huertos semicomerciales, no mayores de cinco hectáreas (Pérez y Castro, 1998).

Pese a que el chile es uno de los productos con mayor tradición en México, pocas investigaciones se han enfocado al estudio de métodos de empaque, conservación y nuevas formas de presentación comercial. Alrededor de él existe un potencial industrial para procesarlo y venderlo en forma enlatada o deshidratado (Juárez-Martínez, 1999).

Las bajas temperaturas se utilizan como método de conservación en un gran número de productos hortícolas. Los resultados han demostrado en la

mayoría de los casos que los tiempos de almacenamiento se incrementan (D. R. Paul y R. Clarke, 2002). En la actualidad aunado a este método, el uso de empaques plásticos ha resultado una alternativa de gran relevancia como método de conservación, ya que además de dar una presentación atractiva al producto (Del Nobile *et al*; 2008). Este tipo de materiales crea una atmósfera modificada que ayuda en la mayoría de los casos a extender la vida de anaquel de los productos mínimamente procesados al reducir la pérdida de agua, velocidad de respiración, síntesis y acción de etileno, además de retardar el crecimiento microbiano y decoloración en los productos.

Es por ello que en este trabajo se consideró la necesidad de realizar el estudio de bajas temperaturas y el empleo de diferentes empaques con la finalidad de conservar y prolongar la vida de anaquel del chile manzano en presentación como un producto mínimamente procesado.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Evaluar el uso de bajas temperaturas en combinación con empaques plásticos en la conservación de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) como un producto mínimamente procesado.

3.2 Objetivos particulares

- Evaluar el efecto de tres temperaturas (0, 5 y 20 °C) y dos empaques en el comportamiento fisiológico y la composición química de chile manzano mínimamente procesado.
- Medir el efecto del uso de dos empaques en la calidad sensorial de chile manzano mínimamente procesado.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen y distribución del chile manzano (*Capsicum pubescens*).

El chile manzano es originario de las zonas altas de Sudamérica, principalmente de Bolivia, Perú, y Chile. En México se introdujo a principios del siglo XX y actualmente se cultivan variedades Puebla, Zongolica, Huatusco, Chiapas y variedades criollas heterogéneas, adaptadas a altitudes de entre los 1700 y 2400 m.s.n.m. (Cruz *et al.*, 2007; Pérez y Castro, 1998). Se adapta a los lugares fríos en donde, inclusive puede tolerar heladas, aún bajo temperaturas de 5 a 15°C comportándose como planta perenne (Laborde y Pozo, 1982).

Se encuentra en lugares como San Cristóbal de las casas, Motozintla y la Grandeza en Chiapas; Zongolica en Veracruz; Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla, Atlixco y Acatlán en Puebla; Tetela del Volcán en Morelos; Almoloya de Alquisirán, Sultepec, Tescatitlán, Coatepec de Harinas, valle de Bravo, Ixtapan de Oro, La Asunción y San Miguel Tlaixpan en el Estado de México; Pátzcuaro, Tacámbaro y Zitacuaro en Michoacán; Pinal de Amoles en Querétaro, entre otros (Cruz, 1996).

4.2 Importancia económica

Desde 1993, la producción mundial de chile ha tenido un crecimiento del 48% en la superficie cosechada y se han duplicado los volúmenes de producción,

este aumento en la producción se debe a la creciente demanda del producto en todas sus presentaciones (fresco, seco y procesado), tanto para consumo directo como para usos industriales. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción total para el 2005 asciende a unas 25, 015, 498 toneladas. China ocupa el primer lugar con el 49% de la producción total mundial, seguido de Turquía y México con un mismo porcentaje, siendo éste del 7%, por otro lado, el consumo per cápita de Chile a nivel mundial aumentó 3.6 kilogramos.

El cultivo de Chile es de gran importancia socioeconómica y alimentaria en México, llegándose a cultivar alrededor de 180 mil hectáreas por año, de las cuales la producción nacional oscila entre las 2078 miles de toneladas (SAGARPA, 2006).

La producción de Chile manzano se ha incrementado a lo largo del tiempo, teniéndose una superficie cultivada para el 2006 de 511 hectáreas con una producción media de 46 377 toneladas, esta hortaliza ha sido una alternativa para pequeños agricultores que habitan zonas altas, principalmente de regiones serranas, sobre todo si el cultivo se realiza bajo invernadero, obteniéndose con ello producción todo el año (Pérez-Grajales, 2006).

Sus frutos tienen amplia aceptación en el mercado, los hay de colores amarillo, rojo y anaranjado y se consumen en fresco o maduro (Laborde y Pozo, 1982).

Esta hortaliza alcanza altos precios en los meses de noviembre a febrero, ya que son tiempos críticos de producción por ser producto de temporal (Pérez y Castro, 1998).

Se consume desde hace muchos siglos principalmente en países en vías de desarrollo como los latinoamericanos, africanos y asiáticos, el consumo en países de la Unión Europea y Estados Unidos ha ido en aumento.

El consumo en México es parte de la cultura y de las tradiciones ancestrales, es un alimento básico en la dieta nacional, la preferencia de esta hortaliza se mantuvo en un nivel medio al registrar un consumo per cápita para 2005 de acuerdo a datos de la FAO de 14.5 kilogramos.

4.3 Importancia nutricional

Juárez-Martínez (1999) indica que, al igual que los otros chiles, el manzano tiene un alto valor nutritivo (Cuadro 1). También se puede extraer capsaicina y sus análogos los capsaicinoides, compuestos que le confieren el sabor picante y que tienen uso industrial y farmacéutico (Juárez-Martínez, 1999). De acuerdo al Cuadro 1, los chiles picantes tienen mayor contenido nutricional que los considerados chiles dulces, son altamente energéticos y tienen altos contenidos de calcio y vitamina C.

Dentro de las hortalizas de fruto, el chile es considerado la especie con mayor valor de vitamina C, se estima un promedio de 150 µg en el fruto (Baudui, 1993).

Cuadro 1. Valor nutritivo por 100 g de porción comestible de chile.

Componente	Chile picante	Chile dulce
Material de desecho %	13.0	13.0
Materia seca (g)	34.6	8.0
Energía (Kcal)	116.0	26.0
Proteína (g)	6.3	1.3
Fibra (g)	15.0	1.4
Calcio (mg)	86.0	12.0
Fierro (mg)	3.6	0.9
Caroteno (mg)	6.6	1.8
Tiamina	0.37	0.07
Riboflavina (mg)	0.51	0.08
Niacina(mg)	2.5	0.8
Vitamina C (mg)	96.0	103.0
Promedio valor nutritivo (PVN)	27.92	6.61

Fuente: Juárez-Martínez, 1999.

La vitamina C es un constituyente funcional y nutricional de los chiles, es conocido como antioxidante y componente activo biológico. La composición de los frutos de *Capsicum* puede ser muy variable debido al genotipo y a la madurez del producto; en estado fresco, éstos contienen cantidades excepcionales de ácido ascórbico, en una proporción de 100 g aportan el 100% de los requerimientos diarios (60 mg/día) (Deepa *et al.*, 2006).

Ibar y Serrat (1987) describen el contenido bromatológico de pimiento fresco y reportan que de vitamina C hay 120 µg/100 g. Castaños (1993), reporta la composición nutritiva de pimiento y en éste encontró un contenido de vitamina C de 242.5 µg/100 g. Valdez, (1990) reporta que el contenido de vitamina C para pimiento picante maduro es de 369 µg/100 g. Cuevas, (1999) reporta para

chile manzano una concentración de vitamina C de 332 µg/100 g; mientras Clemente, (2004), reporta un contenido de ácido ascórbico oscila de 144 a 157.5 µg/100 g.

El grupo de componentes pungentes de los frutos de *Capsicum* son llamados capsaicinoides. Todos los capsaicinoides identificados en los frutos de *Capsicum* son vanil-lilamides del grupo de los ácidos grasos de 9 a 11 carbonos, de los cuales las capsaicinas y las dihydrocapsaicinas se encuentran en cantidades mayores al 80%, siendo estos los componentes más pungentes (Peruka *et al.*, 2001).

Los carotenoides juegan un papel importante en la salud humana por sus antioxidantes que tienen efecto en la prevención de ciertos tipos de cánceres, enfermedades cardiovasculares (Ruso, *et al.*, 2002). El contenido de carotenoides y ácido ascórbico del fruto incrementa de acuerdo a la maduración, estos también son influenciados por las condiciones de crecimiento (Markus *et al.*, 1999).

El atractivo color rojo y amarillo de varios pimientos es debido a diversos pigmentos de los carotenoides, los cuales incluyen β-caroteno con actividad de pro-vitamina A, carotenoides oxigenados (xantofilas) (Matsufuji *et al.*, 1998).

4.4 Mínimos procesados.

Las frutas frescas y vegetales son componentes esenciales de la dieta humana y son evidentes los beneficios relacionados con la salud y aspectos nutricionales asociados con su consumo. En los Estados Unidos, Canadá,

Nueva Zelanda y varios estados de la Unión Europea existen campañas públicas para la salud recomendando el consumo diario de por lo menos cinco porciones diarias de frutas y vegetales (Abadias, *et al.* 2008).

El consumo de frutas y vegetales frescos cortados en España es muy bajo (1-1.5 kg por persona al año) comparado con el resto de Europa (UK, 12 kg; Francia, 6 kg; Italia, 4 kg y Alemania, Bélgica y Países bajos 3 kg por persona al año aproximadamente). Sin embargo el mercado español esta mostrando un incremento anual del 20 % (Abadias, *et al.* 2008).

Desai, 1991, citado por González *et al.*, (2005) 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”. Este tipo de productos se envasan generalmente en atmósferas modificadas y requiere ser conservado a bajas temperaturas.

Inicialmente la industria de servicios en alimentos fueron las que más usaron este tipo de productos frescos cortados, pero su uso se ha expandido a restaurantes, supermercados y tiendas de autoservicios, su introducción en los mercados es una forma de incrementar el consumo de frutas y hortalizas dentro de la población, debido a su atractiva apariencia y presentación; de ahí que las actuales investigaciones persigan conseguir un producto fresco muy similar al original (Alley *et al.*, 1996).

Para poder asegurar la estabilidad, calidad nutricional y organoléptica de este tipo de productos debe conocerse la fisiología del fruto, tanto entero como cortado, se debe conocer el control de los factores que puedan influir directa o indirectamente sobre la calidad de estos productos, también denominados

productos de la IV Gama; el color y la firmeza son considerados buenos indicadores de calidad de los vegetales y frutas frescas cortadas. Entendiendo como estos atributos cambian después del procesamiento es fundamental establecer buenas prácticas de manejo en la industria y durante la distribución y comercialización (Alley *et al.*, 1996).

Los productos frescos cortados son altamente perecederos debido a que una gran parte de la superficie queda desprotegida por la pérdida de la epidermis, la cual protege a las capas de tejidos (Alley, *et al*, 1996).

Son muchas las investigaciones hechas hasta el momento con el objetivo de inhibir las reacciones de pardeamiento en productos frescos cortados, el empleo de sustancias que retarden o inhiban la acción enzimática, así como el uso de envasado en atmósfera modificada, siendo los tratamientos aplicados con mayor frecuencia.

4.5 Factores que afectan la calidad de los productos frescos cortados.

La calidad del producto fresco debe ser excelente para asegurar una buena calidad en el producto fresco cortado. Así mismo es importante regular la temperatura, humedad relativa y sanitización (microbiología) del producto cortado. El uso de películas plásticas o recubrimientos comestibles pueden modificar la atmósfera interna, lo cual a mostrado ser benéfico en el aumento de la vida útil del producto (Alley *et al*, 1996).

4.5.1 Temperatura

Los productos cortados generalmente son más perecederos que los productos intactos porque son sujetos a un estrés físico severo, tales como pelado, cortado, escaldado, trozado, recorte, descorazonado y remoción de las células epidermales protectoras. Consecuentemente es probable que el producto cortado tolere temperaturas menores que las recomendadas para el producto intacto. Aunque generalmente 0° C es la temperatura deseada para la mayoría de los productos cortados, muchos son preparados y almacenados a 5° C y en algunos casos a 10° C. Este incremento aumenta sustancialmente el deterioro porque el Q_{10} de las reacciones biológicas se incrementa en rangos de 3 a 4 y posiblemente a 7, dentro de estos rangos de temperatura (Schlimme, 1995).

A elevadas temperaturas, la transpiración, respiración y los procesos metabólicos en las frutas y hortalizas son intensos, y en general conducen a cambios muy rápidos en la calidad del producto. Entonces es necesario enfriar el producto tan rápidamente como sea posible, este enfriamiento reduce pérdidas de agua, reduce o inhibe el desarrollo de microorganismos, y disminuye la velocidad de los procesos metabólicos. Se ha recomendado un lapso de 24 horas para reducir temperatura del medio ambiente a la de almacenamiento. (Cantwell, 1995).

Existen cuatro métodos principales para llevar acabo el enfriamiento y conservación de frutas y hortalizas entre los que podemos encontrar el

enfriamiento en cámaras, mediante aire forzado, el hidrogenenfriamiento, hielo troceado y enfriamiento mediante vacío. El enfriamiento por aire frío forzado es un método adaptable a una mayor diversidad de productos que ningún otro método, mucho más rápido que las cámaras de enfriamiento, debido a que el aire frío circula a través en lugar de alrededor de los contenedores, lo cual permite que el aire frío tenga un contacto directo con el producto caliente (Kader, 2007).

Se ha comprobado que la temperatura influye en la tasa de respiración de muchos productos hortícolas; Alley *et al.*, (1996), realizaron un experimento en el cual compararon las tasas de respiración de varios frutos y vegetales intactos y productos frescos cortados a 0, 5, 10 y 20°C; los resultados mostraron que las tasas de respiración de productos frescos cortados fueron generalmente más altas que los productos intactos, algunos de los productos evaluados fueron uva, calabacín, lechuga, kiwi, pimiento, tomate, banano entre otros.

4.5.2 Atmósferas Controladas y modificadas

La atmósfera controlada (CA) es útil para aumentar la vida útil de varias frutas y vegetales intactos, pero probablemente no puede ser usada en productos cortados porque tienen un periodo de manejo corto. Sin embargo las atmósferas generadas en productos frescos cortados empacados con películas

plásticas o recubrimiento comestible pueden ser modificadas, y estas pueden tener efectos similares a la CA cuando la mezcla de gases es similar.

El empackado en atmósferas modificadas (MAP) es una tecnología para conservar un alimento, en la cual la composición de la atmósfera circundante al producto es diferente a la composición del aire. La MAP es un sistema dinámico que se basa en cuatro principales procesos simultáneamente, como son la respiración, transpiración, permeación de gases a través del empaque y transferencia de calor. En los vegetales, la composición del gas dentro del empaque es modificada debido a la respiración de los tejidos vegetales (Gimenez *et al.*, 2003).

Los vegetales frescos cortados usualmente se empackan y almacenan en atmósferas modificadas, la baja concentración de O_2 y alto contenido de CO_2 junto con el almacenamiento a bajas temperaturas reduce las tasas de respiración ayudando con ello a evitar las pérdidas de peso y materia seca (Watada, *et al.*, 1996). Estas atmósferas modificadas pueden lograrse, ya sea activamente mediante el llenado del empaque con mezclas específicas de gases o pasivamente como consecuencia de la absorción de O_2 por la respiración y la evolución de la concentración de CO_2 del empaque del producto y la transferencia de gas a través de los empaques (Jacksens, *et al.*, 2003).

Otro aspecto importante es que la baja concentración de O_2 o alta concentración de CO_2 (o una combinación de ambos) puede generar alteraciones en el proceso de respiración incrementándose la respiración anaerobia en algunos productos frescos cortados. Cuando el O_2 esta por debajo del punto de extinción, los niveles de O_2 son mínimos a comparación de la

producción de CO₂, la respiración anaeróbica llega a ser el proceso dominante. En un almacenamiento prolongado, la respiración anaerobia no es aconsejable debido a los daños potenciales en los tejidos, desarrollando sabores desagradables y crecimiento de organismos tóxicos (Alley, *et al.*, 1996).

4.5.3 Humedad relativa

Los productos frescos cortados tienen una gran parte de su superficie sin piel, esto origina que sean susceptibles a perder una gran cantidad de peso, particularmente a altas temperaturas donde el déficit de presión de vapor es grande. En estudios realizados en atmósferas controladas (AC), las pérdidas de peso fueron mínimas porque los gases fueron humidificados. En las películas plásticas de ensaladas, se podría esperar que la humedad relativa fuera alta, pero esto aparentemente no es así porque a menudo se observa marchitez en las hojas. Los recubrimientos comestibles o un adecuado empaque pueden ser muy útiles, lográndose una humedad relativa cercana al 100% (Cameron *et al.*, 1995).

Algunos reportes han sido publicados sobre el diseño de películas o recubrimientos para reducir la pérdida de agua y satisfacer los intercambios de gases con la atmósfera circundante (Baldwin *et al.*, 1995). Se requieren investigaciones adicionales para identificar películas o recubrimientos que mantengan alta humedad relativa y también tengan propiedades especiales de permeabilidad a gases con cambios de temperaturas (Alley, *et al.*, 1996).

4.5.4. Microorganismos

Un número de microorganismos se han encontrado en productos frescos cortados, incluyendo microflora mesofílica, bacterias ácido-lácticas, coliformes, coliformes fecales, levaduras y mohos, y microflora pectinolítica (Nguyen-the and Carline, 1994).

En productos procesados la mayor población es la microflora mesofílica seguido de las bacterias ácido lácticas; sin embargo el tipo y la diferente población dependen del producto, sanitización y prácticas culturales. Los productos frescos cortados generalmente se sumergen en una solución de cloro de 50 a 200 ppm pero el lavado no elimina todos los microorganismos (Alley, *et al.* 1996).

No solamente el metabolismo fermentativo de los tejidos de las plantas, sino también los microorganismos pueden ser responsables de la presencia de malos sabores durante el almacenamiento de vegetales frescos cortados. Especialmente el crecimiento de la bacteria ácido láctica puede ser acompañada con la producción de ácidos orgánicos, tales como ácido láctico y ácido acético (Kakiomenou, 1996).

El deterioro de los vegetales frescos cortados es resultado de la respiración, transpiración y actividad enzimática de los tejidos vivos después de la cosecha y el procesamiento, dando origen al problema microbiológico, debido a la proliferación de la descomposición por los microorganismos de los tejidos de las plantas. La decoloración café de las superficies cortadas ha sido reconocida como un importante defecto de los vegetales frescos cortados (Watada, 1999).

La incidencia de los brotes de carga microbiana causada por frutas y vegetales frescos contaminados se ha incrementado en los últimos años. Los patógenos más conocidos que originan daños a los alimentos son (*Salmonella*, *E. coli*), virus (Norwalk-like, hepatitis A), y parásitos (*Cryptosporidium*, *Cyclospora*). *Salmonella* y *E. coli* O157:H7 son los principales causantes de brotes de enfermedades en países como los Estados Unidos (Mukherjee *et al.*, 2006). Jacksens *et al.* (2003) evaluaron el comportamiento de cuatro tipos de lechuga en un medio de cultivo de jugo-lechuga-agar, y demostraron la producción de componentes no volátiles por la descomposición causada por las bacterias ácido lácticas y enterobacterias, se determinó que el tipo de descomposición y la pérdida de calidad depende del tipo de hortaliza.

4.5.5 Fisiología y bioquímica.

Los productos cortados son sujetos a estrés durante la acción física del procesado y son comercializados en condiciones que pueden ser indeseables para el producto, lo que ocasiona en algunos casos formación de tejidos blanquecinos en la superficie del corte, resultado de la formación de lignina o de la deshidratación del tejido. Este fenómeno se ha reducido mediante el empleo de tratamientos con calcio o recubrimientos a base de caseinato de sodio disminuye la presencia del tejido blanquecino (Izumi y Watada, 1994).

4.6 Cambios físicos y químicos de los productos mínimamente procesados durante el almacenamiento.

La gran mayoría de los productos mínimamente procesados sufren una serie de cambios después del procesado, tales como; pérdida de peso, de color, en el contenido de vitaminas, de carbohidratos, pigmentos y ácidos orgánicos producto de los procesos fisiológicos y bioquímicos en el producto.

4.6.1 Pérdida de peso

Las pérdidas de agua en postcosecha de productos hortícolas, tales como frutas y vegetales traen como resultado pérdida en la frescura, disminución en la vida útil y pérdidas en el valor económico. Las pérdidas de agua en pimientos y chiles ha sido identificada como el principal factor fisiológico limitante para prolongar el almacenamiento y calidad en este tipo de frutos (Maalekuu *et al.*, 2003). La pérdida de agua es una de las causas principales del deterioro porque resulta no solo en la pérdida cuantitativa, sino también en la apariencia (deshidratación), calidad de textura (blando, flácido, débil, pérdida de turgencia) y calidad nutricional.

La pérdida de peso por deshidratación se manifiesta en los productos hortícolas por marchitamiento y encogimiento, en hortalizas aparte de estos cambios la deshidratación provoca también alteraciones en el color y propiedades sensoriales de los productos (Meller y Anderson, 1976).

La velocidad del aire es otro factor que contribuye a la pérdida de peso por deshidratación para los frutos succulentos y este factor esta estrechamente

relacionado con la conservación en condiciones ambientales porque no es controlado.

4.6.2 Color

El color es otro de los cambios que experimentan las frutas y hortalizas durante la maduración y el almacenamiento. La pérdida de color, provocada por la oxidación, es a menudo un importante indicador del deterioro de un producto alimenticio.

Los cambios de color durante la senescencia son altamente influenciados por las condiciones de almacenamiento. En el almacenamiento con alto CO₂ y bajo O₂ se reduce la pérdida de clorofila y otros pigmentos, incluyendo antocianinas, licopeno, xantofilas y otros carotenoides (Hernández, 2003).

4.6.3 Vitaminas

En general las vitaminas son vulnerables a las alteraciones dadas en postcosecha. Los cambios cuantitativos y cualitativos son afectados por el metabolismo del producto, así también el contenido de las vitaminas puede variar en relación al grado de madurez del producto (Santos, 1995).

La vitamina C es la más importante en los productos hortofrutícolas y desempeña un papel fundamental en la dieta humana diaria (Se recomienda 60 µg para hombres y 55 µg para mujeres), alrededor del 90% de esta ingesta proviene de frutas y hortalizas (Sheider, 1985).

La vitamina C se degrada por lo que durante el manejo de los productos hortofrutícolas debe evitarse un almacenamiento prolongado a altas temperaturas, baja humedad relativa, daño físico o daños por frío (Lee y Kader, 2000).

4.6.4 Carbohidratos

Los carbohidratos son muy importantes como componentes de los alimentos de los cuales son la fuente de energía, sabor y estructura, los azúcares ya sea solos o combinados con otros constituyentes son de importancia para que se produzca el sabor característico de los frutos y vegetales. A medida que estos maduran se efectúan transformaciones tanto cualitativas como cuantitativas (Pantastico, 1979).

La degradación de los hidratos de carbohidratos poliméricos, es decir la conversión de almidón en azúcares es quizá el cambio más importante asociado a la maduración de frutas y hortalizas. En las hortalizas al progresar la maduración, los azúcares se convierten en almidón, con la pérdida del valor dulce, el contenido de agua disminuye y la cantidad de fibra aumenta (Wills *et al.*, 1998).

La madurez también trae consigo un aumento en los azúcares simples que dan dulzura, disminución en ácidos orgánicos y fenólicos para producir la astringencia y la acidez y un aumento en las emanaciones en las sustancias volátiles, para dar al fruto su sabor característico.

4.6.5 Ácidos orgánicos

La mayoría de los vegetales son particularmente ricos en ácidos orgánicos que están usualmente disueltos en la vacuola de la célula, ya sea en forma libre o combinada.

Los ácidos orgánicos no volátiles (cítrico, ascórbico y málico) se encuentran entre los principales constituyentes celulares que sufren cambios durante la maduración y almacenamiento de frutos y vegetales. Los ácidos se pueden considerar como una reserva más del producto, por lo que es de esperar que su contenido disminuya en el periodo de actividad metabólica máxima. Sin embargo la disminución de acidez durante el proceso de maduración no ocurre en todos los casos (Pantástico, 1979).

4.6.6 Carotenoides

La desaparición de la clorofila va asociada a la síntesis de otros pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo y el rojo. Son un grupo de compuestos de naturaleza lipóide, que son responsables de las tonalidades amarillas, anaranjadas y rojas en muchos productos hortofrutícolas. Con la disminución del contenido de clorofila pueden aumentar o disminuir otros pigmentos, dependiendo de la temperatura de almacenamiento, grado de madurez y variedad (Wills *et al.*, 1998).

4.7 Uso de empaques como métodos alternativos

La utilización de los materiales plásticos para el envasado de alimentos adquiere una importancia creciente, desplazando de forma progresiva para muchos usos a otros materiales clásicos, hasta ocupar en la actualidad un papel relevante. El envasado de frutas y vegetales frescos cortados constituyen, sin duda, la mejor opción para posibilitar su perfecto aislamiento del medio, así como nuevas formas de envase y la aplicación de tecnologías de conservación (atmósfera modificada, recubrimientos, envases activos etc.) que permiten extender significativamente la vida útil comercial de estos productos con las mejores garantías de calidad (González *et al.*, 2005).

El envase utilizado en el empaqueo de frutas y hortalizas mínimamente procesadas debe contener y proteger el producto desde el procesamiento hasta el consumo final y tienen el objetivo de reducir el deterioro y consecuentemente permitir su comercialización en un tiempo razonable con buena presentación y sin pérdida de calidad.

Durante el almacenamiento, tiende a establecerse una atmósfera de equilibrio, diferente al aire en función de un equilibrio entre la permeación de gases a través del envase del producto, este fenómeno es conocido como modificación pasiva de la atmósfera en el interior del envase. La modificación activa se da cuando la atmósfera es alterada, por medio de la inyección de una mezcla gaseosa adecuada, poco antes de cerrar el envase, así se llega al equilibrio de los gases inmediatamente y permanece así por las características del envase (González *et al.*, 2005).

La utilización de vacío parcial o absorbedores de gases, junto con material de envasado permeable, puede ser considerado como un sistema de empackado en atmósfera modificada activa.

4.7.1. Materiales más usados en la elaboración de empaques comerciales

En el mercado muchos tipos de envases plásticos se utilizan para frutas y hortalizas; entre las películas comúnmente empleadas, para el envasado en atmósferas modificadas se incluyen: el cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno, poliestirenos y polietilenos que son utilizadas para proporcionar el medio de sellado, en los que sus propiedades de barrera dependen del espesor.

Los polietilenos constituyen sin duda, los polímeros de mayor utilización práctica para el envasado de alimentos. Se caracterizan por ser buena barrera a la humedad y mala barrera al oxígeno y a los gases en general. Dentro de este grupo podemos encontrar al polietileno de baja densidad (LDPE), que es la película polimérica más usada para el empackado de productos, ya que ofrece las ventajas de ser inerte, permeable al O_2 y CO_2 , etileno y presenta baja permeabilidad al vapor de agua (Nur *et al.*, 2004).

El polietileno de media densidad es más resistente, más rígido y menos permeable que el LDPE, generalmente se utiliza como sustituto cuando se requiere mejorar algunas propiedades mecano-térmicas; en el caso del polietileno de alta densidad (HDPE) es semitransparente, el más rígido dentro de la familia, teniendo mejores propiedades como barrera a gases, y muy buena barrera de agua (Nur *et al.*, 2004).

Los polipropilenos (PP) son similares a los polietilenos en muchos aspectos pero tienen una estructura mucho más compleja, se emplea en envases flexibles. Las propiedades que han permitido extender el uso de PP son su baja permeabilidad al vapor de agua, su resistencia y su bajo costo. Como barrera frente al oxígeno su efectividad es baja, aunque mejor que los polietilenos (Nur *et al.*, 2004).

El grupo de los poliestirenos PS, incluye termoplásticos de alto peso molecular que se caracterizan por su dureza, rigidez y existen un gran número de plásticos comerciales basados en la química del estireno, desde homopolímeros hasta diferentes tipos de copolímeros, como el poliestireno de alto impacto o el poliestireno expandido (González *et al.*, 2005).

Las películas de PVC han sido recomendadas para envases de frutas *in natura*, siendo estas presentadas como bolsas y en revestimientos de bandejas de poliestireno expandido.

Por lo general las películas son más permeables al CO₂ que a la reducción de oxígeno procedente de la respiración. El polietileno es bastante permeable y no es apropiado para emplearlo en empaques sellados. Aún películas más permeables como el acetato de celulosa y el PVC pueden tener una permeabilidad inadecuada para su empleo en paquetes sellados para productos que respiran a temperaturas elevadas.

4.7.2 Características no deseables en el diseño de empaques.

Fonseca *et al.* (2000), mencionan que las películas plásticas flexibles son ampliamente utilizadas en MAP, estos materiales tienen algunas limitaciones debido a sus características de la estructura y de la impregnación como los que a continuación se mencionan:

- Las películas no son bastante fuertes para los paquetes grandes, las características de permeabilidad de la película cambian imprevisiblemente cuando se estiran o se pinchan.
- Algunas películas son barreras relativamente buenas al vapor de agua, causando la condensación dentro de los paquetes cuando ocurren las fluctuaciones de temperatura hay susceptibilidad al crecimiento microbiano.
- La permeabilidad de la película puede ser afectada por la condensación del agua. La uniformidad de las características de la impregnación de películas no es todavía satisfactoria.
- La permeabilidad de la película es baja para los productos de respiración alta, y los productos que requieren altas concentraciones de CO_2/O_2 se pueden exponer a la anaerobiosis.

Las limitaciones de las películas plásticas, está generando un gran interés en MAP para (i) los paquetes a granel, (ii) los productos de alta tasa de respiración,

y/o (iii) frescos cortados; por lo cual está conduciendo al desarrollo de los nuevos materiales y sistemas (Fonseca *et al*, 2000).

4.8 Aspectos bioquímicos durante el almacenamiento en AM y AC.

El uso de las Atmósferas modificadas (AM) y las atmósferas controladas (AC) de manera inadecuada resulta en varios problemas y puede causar la pérdida total del producto por anaerobiosis, cambios de sabor, desordenes fisiológicos, aumento en la susceptibilidad de hongos y maduración anormal de frutas y hortalizas.

La atmósfera circundante de un vegetal mínimamente procesado es extremadamente importante para incrementar su periodo de vida de anaquel, la permeabilidad de los empaques es un factor con mayor influencia sobre la composición de los productos. La preservación de las características sensoriales de los alimentos es usualmente una garantía de la calidad microbiológica, de hecho la descomposición del alimento tales como el color, olor y textura, aunque son originados por procesos bioquímicos, son acompañados por un crecimiento microbiano excesivo que también esté implicado en las alteraciones (Giménez *et al.*, 2003).

La mayor parte de la energía que las frutas y hortalizas necesitan, la obtienen por la respiración aeróbica, que implica la degradación oxidativa de ciertas sustancias orgánicas almacenadas en los tejidos. La cantidad de oxígeno consumido por un producto empacado está directamente relacionado con la actividad metabólica (nivel de senescencia) asociado con la respiración del producto (Böttcher *et al.*, 2003).

Bajo condiciones altas de CO₂, los microorganismos aerobios responsables de la descomposición son inhibidos, mientras que el crecimiento de patógenos potenciales puede ser estimulado, al mismo tiempo las atmósferas modificadas puede inducir alteraciones en sabor, en algunas ocasiones las concentraciones de CO₂ en rangos que van de 10-20% originan la disminución de procesos metabólicos aerobios, incluso si las concentraciones de CO₂ se reducen hay una influencia negativa en la calidad sensorial (Watkins, 2000)

Por otro lado la falta de O₂ puede inducir el desarrollo de sabores desagradables debido al cambio del metabolismo aerobio a un metabolismo anaerobio (Beaudry, 2000); así mismo las altas concentraciones de CO₂ pueden inducir indirectamente el desarrollo de sabores indeseables por el crecimiento simultaneo de bacterias y levaduras homo y hetero fermentativas, las cuales producen ácidos orgánicos, etanol y esteres volátiles, induciendo un descenso del pH de los productos (Jacksens *et al.*, 1999).

Bajo algunas condiciones de almacenamiento, el oxígeno atmosférico puede quedar considerablemente reducido y resultar insuficiente para un metabolismo plenamente aeróbico (Wills *et al.*, 1998), en el que la reducción en la disponibilidad de O₂ causa un abatimiento de la velocidad del proceso respiratorio. En ausencia de O₂ el ciclo del ácido tricarboxílico (TCA) y la cadena transportadora de electrones no puede funcionar. La glicólisis no puede continuar operando porque la provisión celular de NAD⁺ es limitada, y una vez que todo el NAD⁺ queda reducido a NADH, la reacción catalizada por la enzima gliceraldehído-3-fosfato-deshidrogenasa no puede tomar lugar. Para sobrellevar este problema, las plantas y otros organismos pueden metabolizar piruvato para

realizar una o más formas del metabolismo fermentativo. Entre las muchas clases de fermentación de la glucosa, predominan dos tipos íntimamente relacionados: la fermentación láctica y la fermentación alcohólica (ésta es la más común en plantas pero más ampliamente reconocida en levaduras) la enzima piruvato descarboxilasa actúa sobre el piruvato para formar dos moléculas de acetaldehído y dos de CO_2 por cada molécula de glucosa; aunado a esto, cada molécula de acetaldehído es reducida a etanol, por la intervención de la enzima alcohol deshidrogenada y NADH como sustrato (Lehninger, 1998).

4.8.1 Efecto Pasteur

La respiración es un proceso fisiológico en el que hay una acumulación del dióxido de carbono (CO_2) y un agotamiento del oxígeno (O_2) que es regulado por el intercambio de gas a través del empaque, de modo que se requiere un equilibrio, adecuada concentración de oxígeno y dióxido de carbono. Los bajos niveles de O_2 y altos niveles de CO_2 en las atmósferas modificadas pueden reducir potencialmente la tasa de respiración, disminuyendo los cambios fisiológicos, sensibilidad y producción de etileno. En todos los frutos o vegetales sometidos a bajas concentraciones de oxígeno hay un punto en el que la fermentación es la responsable de los daños que ocurren en los mismos (Beaudry, 1993).

La disminución gradual de la concentración de oxígeno circundante al producto llega a inducir la respiración anaeróbica cuando los niveles de este gas son críticos, este cambio de metabolismo por efecto de la disminución en la

disponibilidad de oxígeno se conoce como efecto Pasteur. La mayor frecuencia de la fermentación, ha permitido considerar al punto de compensación anaeróbico como un indicador adecuado de la transición del metabolismo aeróbico al anaeróbico, después de una reducción paulatina de la concentración de O_2 en el ambiente circundante o interno del producto (Boersing *et al.*, 1988).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Material vegetal

Se utilizó chile manzano, variedad Puebla, con color amarillo uniforme, después de un día de corte. El material provino del Estado de Puebla y se adquirió en la Central de Abastos de la Ciudad de México. Se emplearon cajas de plástico previamente desinfectadas para el traslado del producto al laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. En la Figura 1 se muestra la metodología que se empleó para obtener el mínimo procesado en chile manzano.

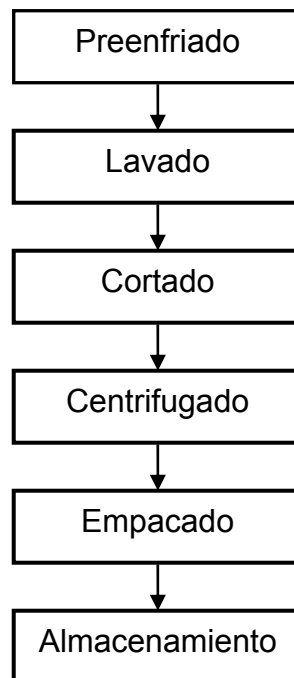


Figura 1. Pasos en la obtención de chile manzano mínimamente procesado.

I. Preenfriado

El producto intacto se preenfrió a 5 °C por 24 horas, con la finalidad de bajar la temperatura de campo y acondicionar el producto para aminorar el estrés causado por la cosecha.

II. Lavado

El producto se lavó y sanitizó con hipoclorito de sodio a una concentración de 200 $\mu\text{L L}^{-1}$, con la finalidad de remover todo tipo de residuo y evitar el deterioro y contaminación del chile manzano durante el almacenamiento.

III. Cortado

Los chiles se rebanaron en rodajas con un grosor de 5 mm $\pm$ 1 para obtener la presentación deseada del mínimo procesado.

IV. Centrifugado

Las rodajas de chile se centrifugaron por un tiempo de 30 segundos en una centrífuga manual, para eliminar el exceso de humedad que quedó después del lavado y del preenfriado.

V. Empacado

Las rodajas de chile se empacaron en dos tipos de bolsas de polietileno de baja densidad, cada unidad experimental contenía 100 g.

VI. Almacenamiento

El producto se almacenó a tres temperaturas, 0, 5 °C y temperatura ambiente 20 °C.

5.2 Características del empaque.

Se emplearon dos empaques comerciales, adquiridos en la empresa Sealed Air de México S. de R. L. de C. V. marca Cryovac® con las siguientes características:

- Bolsa de polietileno de baja densidad, modelo CP9250 (CP), de 17.8 cm de ancho por 20.3 cm de largo, con un espesor de 1.75 ± 10 % milésimas de pulgada, resistencia a la tensión de 6700 lb plg⁻², elongación de 675 % (al rompimiento), 5.2 % de opacidad, un módulo de elasticidad de 77 000 psi a 23 °C, coeficiente de fricción cinético de 0.15 a 23 °C, una transmisión de vapor de agua de 0.65 g /100 plg²/ 24 hrs a 38 °C (con una H.R. del 100%) y una permeabilidad al oxígeno de 245 cm³(100 plg² / 24 hrs a 23 °C) a 1 atm.
- Bolsa de polietileno de baja densidad, modelo PC 7225 (PC), de 17.8 cm de ancho por 20.3 cm de largo, con un espesor de 2.75 milésimas de pulgada, transmisión de vapor de agua de 0.06451 g/ 100 plg² / 24 hr a 38 °C con una H.R. del 90 %.

5.3 Establecimiento del experimento.

Se consideraron dos factores: temperatura, con tres niveles: 0, 5 y temperatura ambiente 20 °C; y el empaque con tres niveles: bolsa CP 9250 (CP), bolsa PC 7225 (PC) y sin empaque (SE). Para la unidad experimental se consideraron 100 g de rodajas de chile empacadas y almacenadas a las diferentes condiciones, teniéndose tres repeticiones por cada tratamiento; las evaluaciones se realizaron a los días 1, 2, 3, 4, 7, 10, 13, 16 y 19. La humedad relativa de las cámaras de refrigeración se mantuvo en un rango de 95 a 100 %, debido a que son las recomendadas para evitar un deterioro del producto.

5.4 Variables evaluadas

5.4.1 Pérdida de peso fresco.

Esta determinación se realizó midiendo el cambio de peso en tres bolsas por tratamiento y por día de evaluación durante el almacenamiento, para lo cual se usó una balanza digital (ADAM ACD PLUS-1000). Los datos se expresaron como porcentaje de pérdidas en relación al peso inicial de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\% PP = \frac{(Peso\ inicial - Peso\ final)}{(Peso\ inicial)} \times 100$$

5.4.2 Color

El color se determinó mediante un colorímetro Hunter Lab modelo Mini Scan XE Plus No. 45/0-L., usando la escala LAB. Se realizaron las lecturas sobre la superficie del mínimo procesado. Se calculó el ángulo de tono o matiz (Hue)

mediante la expresión $(\tan^{-1} b/a)$, la pureza de color o cromaticidad $(\sqrt{(a)^2 + (b)^2})$, y el valor de L se tomó como luminosidad (Minolta, 1994).

5.4.3 Ácido ascórbico

Se tomaron 5 g de muestra del producto, el cual se molió con 25 mL de ácido metafosfórico-ácido acético. El producto obtenido se filtró y se midió el volumen total extraído. Se tomó una alícuota de 10 mL del extracto y se agregaron 2 mL de una solución de almidón al 1 %. Se procedió a titular rápidamente con una solución de I-KI hasta que apareció un color negro claro. La cuantificación de ácido ascórbico se determinó con la fórmula siguiente.

$$mg \text{ vitamina C} / 100g \text{ peso fresco} = \frac{\text{Gasto I - KI} \times 0.88}{\text{Vol. Alícuota}} \times \frac{\text{Volumen total}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

5.4.4 Sólidos solubles totales

Se determinó con ayuda de un refractómetro digital portátil PAL-1 (ATAGO, USA) utilizando una escala de 0-53°, expresado en ° Brix y previamente calibrado con agua destilada. Para ello se ocupó jugo del chile obtenido al exprimir la pulpa del tratamiento evaluado.

5.4.5 Determinación de carotenoides

Se colocó 1 g de chile manzano en un mortero y se trituroó con acetona al 80 %. Esto se filtró con algodón y se aforó a 10 mL con acetona al 80 %, inmediatamente con el uso de un espectrofotómetro modelo Genesys 10 UV se

tomaron lecturas de absorbancia a 663, 646 y 470 nm (Linchtenthaler, 1987).

Se calculó el contenido de carotenoides mediante las siguientes fórmulas.

$$Ca = 16.72A_{663} - 2.79A_{646}$$

$$Cb = 21.50A_{646} - 5.10A_{663}$$

$$C_{x+c} = \frac{1000A_{470} - 1.82CC_a - 85.02CC_b}{198}$$

Expresándolo en $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$

Donde:

Ca= Clorofila a

Cb= Clorofila b

A = Lectura de absorbancia

CC a = Contenido de clorofila a

CC b = Contenido de clorofila b

5.4.6 Medición de respiración

La medición de la velocidad de respiración se obtuvo por el método estático.

Las mediciones se realizaron en los empaques; para cada tratamiento se

tomaron 5 mL de la atmósfera del espacio cabeza los cuales se guardaron en

tubos de vidrio marca Vacutainer[®], posteriormente se inyectó en un

cromatógrafo de gases Varian Star 3400. La temperatura del horno fue de

80 °C y la del detector de 170 °C; asimismo, se utilizó una columna capilar

Chrompack tipo abierta y un detector de conductividad térmica (TCD) para CO₂.

El equipo se calibró con un factor de CO₂ (INFRA) 500 ppm. Los gases

utilizados y sus flujos en el detector (FID) fueron aire (439 mL min⁻¹); He (32.2

mL min⁻¹); H₂ (mL min⁻¹); con 14.5 psi de presión en cabeza, con un tiempo de corrida de 5 minutos. Los resultados se expresarán mediante la siguiente fórmula:

$$mL\ CO_2\ Kg\ h^{-1} = \frac{(A\ muestra - A\ testigo)(Conc.\ patrón)(Vol.\ recipiente - Vol.\ desplazado)}{(A\ patrón)(peso\ del\ fruto)(tiempo\ en\ horas)}$$

5.4.7 Determinación etanol y acetaldehídos

La cuantificación de etanol y acetaldehído se determinó por cromatografía de gases, mediante la técnica de espacio cabeza propuesta por Davis y Chase (1969). Para ello se prepararon viales con 10 mL de capacidad a los que se les colocaron 5 g de muestra, se taparon, sellaron y se conservaron en congelación. Para realizar la determinación se descongelaron las muestras a temperatura ambiente; una vez descongeladas se incubaron en baño maría a 40 °C por 30 min. Enseguida se agitaron 10 segundos en un vortex y se tomó 1 ml del espacio libre del vial para inyectarse en el cromatógrafo de gases Varian Star 3400. Las condiciones de operación del cromatógrafo para la determinación de los volátiles fueron: Columna Propak N, nitrógeno como gas de acarreo, 160 °C de temperatura en el inyector, 170 °C en la columna y 170 °C, en el detector, de iniciación de flama (FID). El tiempo de corrida fue de 7 minutos bajo las condiciones cromatográficas establecidas. Con un tiempo de retención de 3.51 para acetaldehído y 4.4 para etanol. La cuantificación de etanol y acetaldehído se realizó con estándares de etanol y acetaldehído.

5.4.8 Escala hedónica

La calidad del mínimo procesado se evaluó mediante una escala hedónica de acuerdo a Escalona *et al.* (2007), en la que un panel de cinco personas evaluaron el producto los días de muestreo 1, 2, 3, 4, 7, 10, 13, 16 y 19. Los atributos evaluados fueron olor y frescura, utilizándose una escala de 9 a 1, misma que se describe en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Escala hedónica para medir olor y apariencia del mínimo procesado.

Valor	Calificación	Olor
9	Excelente	Olor excelente: olor intenso del chile manzano y produce irritación al olfato no tolerable.
7	Buena	El olor del chile sigue siendo intenso, con disminución en la irritación al olfato.
5	Aceptable	La irritación que provoca el producto es tolerable.
3	Pobre	El producto pierde su olor intenso y se comienzan a desarrollar malos olores.
1	Inaceptable	El olor es desagradable con presencia en gran medida de olores desagradables.
Apariencia		
9	Excelente	Apariencia general excelente: rodajas de chile con buen contenido de agua, color amarillo característico intenso.
7	Buena	Apariencia general buena: Algunas rodajas de chile se muestran deshidratadas, el color de la rodaja mantiene su color amarillo intenso.
5	Aceptable	Apariencia en el mínimo aceptable: rodajas de chile flácidas, y deshidratadas en gran medida.
3	Pobre	Sin frescura: rodajas de chile en gran medida deshidratadas en un 80 % del total de la unidad experimental.
1	Inaceptable	Rodajas secas.

5.5 Análisis estadístico.

Se utilizó un diseño completamente al azar en bloques incompletos con arreglo factorial 3x3, en donde los bloques fueron las tres repeticiones por tratamiento, los factores de estudio fueron las temperaturas de almacenamiento (0, 5 y 20 °C) y los empaques (CP, PC y SE), en donde a partir del día tres de almacenamiento se comenzaron a desechar los tratamientos en donde el producto no cumplía con las características comerciales (producto deshidratado, producción de olores desagradables, ablandamiento del producto). Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias entre tratamientos por medio de la prueba Tukey.

Para el caso de la evaluación sensorial se utilizó un panel de cinco personas. Los miembros del panel fueron entrenados para reconocer y medir los atributos de calidad según la metodología de Escalona *et al.* (2007). Los datos de la evaluación sensorial fueron analizados por medio de un diseño en bloques completamente al azar, donde los bloques fueron los panelistas; se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por medio de la prueba Tukey. En ambos casos se utilizó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1998).

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Pérdida de peso.

Se observó mayor pérdida de peso al incrementar la temperatura de almacenamiento (Cuadro 3). El análisis de varianza determinó efecto significativo para la temperatura de almacenamiento y el empaque utilizado en la pérdida de peso.

Cuadro 3. Efecto de los factores temperatura y empaque en la pérdida de peso (%) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	0.07 b	4.20 b	6.08 b	7.82 a	8.49 a	0.13 b	0.14 b		
5	0.13 b	3.22 c	4.81 c	6.26 b	7.22 b	0.29 a	0.37 a		
20	1.38 a	7.06 a	10.79 a						
DSH	0.20	0.74	1.04	1.19	1.25	0.03	0.06		
Emp									
CP	0.08 b	0.23 b	0.53 b	0.07 b	0.08 b	0.15 b	0.20 b	0.06 a	0.09 a
PC	0.18 b	0.29 b	0.33 b	0.21 b	0.22 b	0.26 a	0.32 a	0.34 a	0.38 a
SE	1.33 a	13.96 a	20.82 a	20.86 a	23.27 a				
DSH	0.20	0.74	1.04	1.8	1.89	0.03	0.06	0.50	0.39
CV	32.20	12.71	11.88	16.13	15.20	11.02	17.91	70.27	47.31

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Para el primer día de evaluación a temperatura de 20 °C se observó una pérdida de peso de 9.42 % más que en el producto almacenado a 5 °C. Después de tres días de almacenamiento a 20 °C se observó una pérdida de peso de 1.5 veces más que cuando el producto se almacenó a 0 y 5 °C. El producto almacenado a 20 °C se dejó de evaluar a partir del día 4, debido a que el producto almacenado en bolsas CP y PC presentó desarrollo de olores desagradables, alto grado de ablandamiento, con presencia de gas. En relación a esto, Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007), mencionan que la acumulación de CO₂ y metabolitos anaerobios aceleran el rompimiento del tejido y los procesos de deterioro postcosecha. Al día 7 de evaluación las mayores pérdidas de peso se presentaron a temperaturas de 0 °C observándose diferencia significativa. El factor empaque influyó de manera significativa en la pérdida de peso del producto, para el primer día de almacenamiento se registró una pérdida de hasta 10 veces más en el producto sin empaque (testigo), en comparación del material empacado en bolsa CP y PC. La reducción en pérdida de humedad en el producto pudo ser debida a que la humedad relativa dentro del envase alcanza valores altos, lo cual reduce el déficit de presión de vapor (Wills *et al.*, 1998). Después de 7 días de almacenamiento, las pérdidas de peso en el testigo fueron superiores al 23 %; en los dos empaques evaluados la pérdida de peso se incrementó con relación al periodo de almacenamiento. Lownds *et al.* (1993), realizaron un estudio de almacenamiento en tres variedades de chile (bell, jalapeño y New Mexican-type) bajo diferentes condiciones de temperatura (8, 14 y 20 °C), los resultados mostraron diferencias de pérdidas de agua durante el tiempo de almacenamiento y entre variedades, con valores de

pérdidas de peso de 0.43, 4.13 y 14.54 % a 8, 14 y 20 °C, respectivamente. Cabe resaltar que las pérdidas de peso fueron menores a las registradas en este experimento ya que el producto evaluado fue intacto.

En los últimos dos días de evaluación no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los empaques CP9 y PC; sin embargo, las menores pérdidas de peso se registraron en la bolsa CP.

El Cuadro 4 muestra las interacciones de los empaques y temperaturas evaluadas. En el tratamiento sin empaque a 20 °C se presentaron las mayores pérdidas de peso. Bajo estas condiciones el periodo de almacenamiento del producto no fue mayor a 3 días, ya que el producto perdió turgencia y presentó desarrollo de olores desagradables. Para el mismo día de evaluación, en los tratamientos sin empaque a 0 y 5 °C las pérdidas de peso no fueron mayores al 20 %. Transcurridos 7 días de almacenamiento las pérdidas de peso fueron superiores a 20 % en los tratamientos sin empaque a 0 y 5 °C.

En los tratamientos a bajas temperaturas con empaque CP las pérdidas de peso fueron menores en comparación con los tratamientos con empaque PC, sin embargo, el producto empacado a temperatura 20 °C con película CP presentó mayor pérdida de agua, bajo estas condiciones el tiempo de almacenamiento se redujo a 3 días, ya que se presentó acumulación de gas y retención de agua dentro del mismo. Al respecto Fonseca *et al.* (2000) mencionan que una de las desventajas de las películas es que son barreras relativamente buenas al vapor de agua, causando condensación dentro de los empaques cuando la temperatura fluctúa; por consecuencia el producto puede

ser susceptible a crecimiento microbiano. Los cambios de firmeza durante el almacenamiento pueden ser consecuencia de la pérdida de agua, el rompimiento celular, crecimiento microbiano y actividad bioquímica (Barry-Ryan *et al.*, 2000). Watada y Qi (1999) mencionaron que los productos cortados en fresco son altamente susceptible a la pérdida de peso porque los tejidos internos son expuestos al ambiente; sin embargo, la humedad relativa generada por las películas plásticas es muy alta evitando la deshidratación y con ella la pérdida de peso. Maalekuu *et al.* (2006) reportan que la pérdida de agua durante el almacenamiento postcosecha puede ser atribuido a factores como pérdida de la integridad de la membrana y actividad de lipogenasa.

Cuadro 4. Interacción empaque-temperatura en la pérdida de peso (%) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor Nivel		Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	0.09 b	12.44 b	18.06 b	23.29 a	24.28 a				
SE	5	0.30 b	9.47 c	14.13 c	18.43 b	21.27 b				
SE	20	3.61 a	19.96 a	30.29 a						
CP	0	0.0 b	0.0 d	0.01 d	0.01 c	0.02 c	0.03 c	0.04 c	0.06 a	0.09 a
CP	5	0.0 b	0.07 d	0.12 d	0.13 c	0.14 c	0.28 a b	0.36 a b		
CP	20	0.24 b	0.63 d	1.45 d						
PC	0	0.14 b	0.16 d	0.16 d	0.17 c	0.18 c	0.23 b	0.24 b	0.34 a	0.38 a
PC	5	0.10 b	0.12 d	0.19 d	0.24 c	0.25 c	0.30 a	0.39 a		
PC	20	0.30 b	0.58 d	0.63 d						
DSH		0.49	1.78	2.49	3.22	3.38	0.06	0.13	0.50	0.39
CV		32.20	12.71	11.88	16.13	15.20	11.02	17.91	70.27	47.31

^z: Letras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Durante el periodo de almacenamiento los tratamientos con empaque PC a bajas temperaturas mostraron mayores pérdidas de peso en relación al

producto empacado en la bolsa CP. Kader (2002) mencionó que las películas plásticas ponen restricción a la salida de vapor de agua dependiendo de la permeabilidad al vapor que éstas posean.

6.2. Acido ascórbico

De acuerdo al análisis de varianza se obtuvo diferencia mínima significativa para temperatura y empaque en el contenido de acido ascórbico. La degradación del acido ascórbico a bajas temperaturas 0 y 5 °C fue menor que cuando el producto se almacenó a 20 °C, (Cuadro 5).

Después de 3 días de almacenamiento se registró una pérdida de acido ascórbico mayor al 12 % a temperatura de 20 °C. Para ese mismo día de evaluación las menores pérdidas en el contenido de acido ascórbico se presentaron a temperatura de 0 °C. De acuerdo a estudios realizados por Dürüst *et al.* (1997), los chiles tienen mayor contenido de vitamina C que otras hortalizas y frutas reconocidas como fuentes de vitamina, misma que es susceptible a perderse durante el almacenamiento. La vitamina C o acido ascórbico es uno de los compuestos que más rápido se degradan (Barbeau, 1999). Salinas *et al.* (2007) mencionaron que en algunas frutas se pierde cerca del 50 % de la vitamina C, debido a que los procesos de pelado y cortado favorecen la oxidación originando también pérdidas de aroma y sabor; asimismo las condiciones de almacenamiento influyen en la degradación de la vitamina C.

Cuadro 5. Efecto de los factores temperatura y empaque en el contenido de ácido ascórbico (μg / 100 g) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	163.42 a	162.95 a	152.92 a	146.62 a	142.93 a	142.97 a	146.90 a		
5	163.42 a	146.11 c	146.82 b	147.37 a	143.69 a	143.85 a	145.02 a		
20	164.34 a	153.27 b	143.94 c						
DSH	6.93	1.73	1.69	2.80	3.83	2.18	3.51		
Empaque									
CP	163.58 a	155.44 b	150.93 a	150.18 a	145.63 a	145.78 a	146.55 a	143.61 a	143.61 a
PC	164.36 a	157.40 a	144.41 c	149.21 a	144.58 a b	141.03 b	145.37 a	140.62 a	137.63 a
SE	161.62 a	149.50 c	148.34 b	141.52 b	139.71 b				
DSH	6.93	1.73	1.69	4.23	5.78	2.18	3.51	13.13	13.12
CV	3.49	0.92	0.94	1.81	2.54	1.07	1.70	2.63	2.65

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

En relación al empaque utilizado se observó que existe diferencia significativa, misma que se presentó a partir del segundo día de evaluación. Cuando el producto se almacenó sin ningún tipo de recubrimiento se observó una mayor reducción en el contenido de ácido ascórbico; bajo esas condiciones, después de 7 días de almacenamiento, el producto perdió cerca del 14 % de ácido ascórbico, en relación al contenido inicial.

A partir del día 13 de evaluación y hasta el término del almacenamiento no se observaron diferencias significativas para los empaques CP y PC, sin embargo, el primer empaque logró mantener en un 87 % el contenido de ácido ascórbico. Para el primer día de evaluación no se observaron diferencias entre tratamientos en la reducción del contenido de ácido ascórbico para el chile

mínimamente procesado; sin embargo, en los días 2 y 3 de almacenamiento la mayor reducción de ácido ascórbico se observó en los tratamientos a temperatura de 20 °C, limitando la conservación del producto a un tiempo no mayor de 3 días.

Para el día 3 de almacenamiento la mayor reducción de vitamina C se presentó en los tratamientos con empaque CP y PC a 5 °C, siendo del 9 y 12 % respectivamente, presentando diferencias significativas con los demás tratamientos. En días posteriores en los tratamientos con empaques y a temperaturas bajas el contenido de ácido ascórbico continuó reduciéndose en menor proporción; este comportamiento se atribuye a que en los primeros días de almacenamiento pudo haber una mayor proporción de oxígeno en la atmósfera generada dentro del empaque, y conforme transcurrió el periodo de almacenamiento la proporción de oxígeno disminuyó. Odriozola *et al.* (2010) encontraron que en el almacenamiento en fresas bajo atmósferas modificadas con altas concentraciones de oxígeno se promovió una mayor pérdida de vitamina C en comparación con niveles bajos de O₂.

Al término del experimento los mejores resultados se obtuvieron a 0 °C con el empaque CP, sin embargo, a partir del día 13 de evaluación no se observaron diferencias estadísticamente significativas cuando el producto se empacó en la bolsa PC a la misma temperatura. Al respecto, Lee y Kader (2000) mencionan que por lo general los frutos y vegetales recién cosechados contienen más vitamina C que aquellos que ya están almacenados, así mismo mencionan que para evitar la pérdida de cosecha de ácido ascórbico deberá encontrarse una

temperatura de conservación adecuada y esta dependerá del tipo de fruta, del estado de madurez y del tiempo de almacenamiento.

Cuadro 6. Interacción empaque y temperatura en el contenido de ácido ascórbico ($\mu\text{g} / 100 \text{ g}$) en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.

Factor Nivel		Día de almacenamiento								
Emp	T ($^{\circ}\text{C}$)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	160.74 a	160.45 b	152.18 ab	139.80 c	139.10 a				
SE	5	159.39 a	139.15 f	149.48 bc	143.38 bc	140.33 a				
SE	20	164.73 a	148.89 e	143.38 d						
CP	0	166.90 a	166.84 a	154.35 a	152.06 a	144.84 a	148.19 a	145.49 a	143.61 a	143.61 a
CP	5	162.27 a	146.08 e	147.01 cd	148.31 ab	146.43 a	143.38 b	147.60 a		
CP	20	161.57 a	153.41 cd	151.42 ab						
PC	0	162.62 a	161.56 b	152.24 ab	148.01 a	144.84 a	137.75 c	148.30 a	140.62 a	137.63 a
PC	5	163.74 a	153.12 d	143.96 d	150.42 ab	144.32 a	144.32 ab	142.44 a		
PC	20	166.73 a	157.52 bc	137.04 e						
DSH		16.58	4.14	4.04	7.58	10.36	4.37	7.02	13.13	13.12
CV		3.49	0.92	0.94	1.81	2.54	1.07	1.70	2.63	2.65

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

El contenido inicial promedio de vitamina C en chile manzano mínimamente procesado fue de 163.17 mg / 100 g de peso fresco, estos resultados son similares a los reportados por Cruz *et al.* (2007), en chile manzano variedad Puebla amarillo, siendo este de 130.01 mg / 100 g de peso fresco, después de 94 días de desarrollo.

Las variaciones en los niveles de vitaminas en chile se han atribuido a diferencias en cultivares, madurez del fruto, manejo en la planta y factores climáticos, incluso hay diferencias debidas al método analítico utilizado (Mozafar, 1994).

6.3. Carotenoides

El contenido inicial promedio de carotenoides en el producto antes del procesamiento mínimo fue de 1396.20 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco. Para el primer día de almacenamiento no se observaron diferencias significativas, independientemente de la temperatura de almacenamiento o el empaque utilizado. Es sabido que el contenido de carotenoides en el chile depende del estado de madurez del fruto, así como del cultivar (Topuz y Ozdemir, 2007).

El producto almacenado a 20 °C después de tres días presentó una reducción del 39 % en el contenido inicial de carotenoides, observándose diferencias estadísticamente significativas con los otros tratamientos ($P \leq 0.05$). A partir del cuarto día de almacenamiento se observó una reducción en el contenido de carotenoides del 12.6 % a 5 °C; esta reducción en el contenido de este pigmento se atribuye al aumento en la degradación oxidativa como consecuencia del corte y a cambios bioquímicos que ocurren en el procesamiento mínimo de alimentos (Howard y Hernández-Brenes, 1998).

El factor empaque no influyó de manera significativa en el contenido de carotenoides; sin embargo, las mayores pérdidas se registraron en el empaque PC con una pérdida del 38 % después de 19 días de almacenamiento. El producto sin empaque registró una pérdida del 17 % al día siete de evaluación.

Cuadro 7. Efecto de los factores temperatura y empaque en el contenido de carotenoides ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	1543.20 a	1427.54 a	1415.50 a	1374.67 a	1294.20 a	1280.45 a	1247.67 a		
5	1396.60 a	1328.58 a	1306.00 a	1220.62 b	1142.60 a	1042.41 a	1095.29 b		
20	1249.10 a	903.75 b	766.20 b						
DSH	17.99	16.43	20.19	125.69	340.13	242.06	108.31		
Emp									
CP	1286.40 a	1269.20 a	1254.10 a	1313.99 a	1227.00 a	1228.98 a	1222.01 a	1220.02 a	937.17 a
PC	1455.40 a	1217.68 a	1102.40 a	1330.59 a	1225.30 a	1093.89 a	1120.95 a	965.70 a	893.20 a
SE	1447.00 a	1172.99 a	1131.10 a	1248.35 a	1202.90 a				
DSH	305.54	243.90	285.51	189.40	512.51	242.06	108.31	311.16	113.94
CV	17.99	16.43	20.19	9.22	26.57	14.75	6.54	8.10	4.16

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DMS: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

En el Cuadro 8, se muestran los tratamientos generados por la interacción empaque y temperatura, se observa que las mayores reducciones se presentaron a temperatura de 20 °C con empaque PC registrando una pérdida en el contenido de carotenoides del 58 % para el tercer día de almacenamiento, Baldwin *et al.* (1999) mencionan que en productos empacados con películas plásticas en atmósferas modificadas se observa una aceleración en la actividad enzimática causando una degradación en el contenido de clorofilas y carotenoides. Para este mismo día de evaluación se observó una reducción del 8 % en el tratamiento sin empaque a 5 °C, no observándose diferencias significativas en relación al producto almacenado a 0 °C. Azevedo y Rodriguez, (2005) reportaron una reducción del 42 % en el contenido de β

caroteno y 32 % en luteína en espinacas mínimamente procesadas después de cinco días de almacenamiento a 7-9 °C, estas pérdidas se debieron a un deficiente empackado y a condiciones de almacenamiento inadecuadas.

Cuadro 8. Interacción empaque-temperatura en el contenido de carotenoides ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor Nivel		Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	1463.80 a	1370.80 ab	1321.60 a	1272.53 a	1261.00 a				
SE	5	1349.10 a	1261.30 abc	1241.80 a	1224.17 a	1144.80 a				
SE	20	1528.10 a	886.90 bc	829.80 ab						
CP	0	1478.40 a	1358.80 ab	1457.30 a	1440.73 a	1324.50 a	1305.80 a	1360.57 a	1220.02 a	937.17 a
CP	5	1321.40 a	1391.3 ab	1320.10 a	1187.25 a	1129.40 a	1152.10 a	1083.45 b		
CP	20	1059.60 a	1057.40 abc	985.10 ab						
PC	0	1687.40 a	1553.00 a	1467.60 a	1410.74 a	1297.20 a	1255.10 a	1134.77 b	965.70 a	989.20 a
PC	5	1519.30 a	1333.00 abc	1356.10 a	1250.44 a	1153.40 a	932.70 a	1107.12 b		
PC	20	1159.50 a	767.00 c	483.60 b						
DSH		729.63	582.42	681.79	339.37	918.36	484.30	216.71	311.16	113.94
CV		17.99	16.43	20.19	9.22	26.57	14.75	6.54	8.10	4.16

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Del cuarto al décimo día de almacenamiento se observó un comportamiento similar en todos los tratamientos, sin embargo a partir del día trece, el tratamiento con empaque CP a 0 °C mantuvo en un 92 % el contenido de carotenoides, en relación a los demás tratamientos, en los cuales el contenido promedio de carotenoides fue del 73 %. Al respecto Schreiner *et al.* (2003), evaluaron el uso de dos empaques comerciales Semperfresh® y Foodtainer®, así como el empleo de dos temperaturas de almacenamiento 18 y 5 °C en el almacenamiento de pepino dulce, encontrando menores pérdidas en el

contenido de clorofilas y carotenoides cuando el producto se almacenó a 5 °C, bajo estas condiciones la vida útil del producto fue de 21 días, mientras que a temperatura de 18 °C esta se redujo a 10 días. Huys-keins-keil *et al.*, (2000), mencionan que la conservación en el contenido de pigmentos se puede favorecer mediante un incremento en el contenido de CO₂ y una disminución en el contenido de O₂. Así mismo Azevedo y Rodriguez (2005) mencionan que la retención en el contenido de carotenoides se puede mejorar con el empacado en atmosferas modificadas, combinado con el uso de bajas temperaturas. Por otra parte se ha estudiado los cambios químicos y procesos bioquímicos que tienen lugar en espinacas, brócoli, entre otras durante su almacenamiento en atmósferas modificadas, se ha observado que el efecto sobre el contenido de pigmentos, puede relacionarse con la atmósfera circundante, periodo o temperatura de almacenamiento (Pantastico, 1979).

6.4. Medición de Respiración

La tasa de respiración del chile manzano antes del procesamiento mínimo fue de 8.3 mL kg⁻¹ h⁻¹ a 5 °C. Este valor fue similar a lo reportado por Cantwell, (2010), quien encontró una tasa de respiración para pimienta almacenada a 10 °C en un rango de 5 a 8 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

El factor temperatura influyó de manera significativa en la tasa de respiración del producto después del precortado, así la mayor tasa de respiración se registró a temperatura de 20 °C. Durante los primeros tres días de almacenamiento no se observaron diferencias significativas a bajas

temperaturas (0 y 5 °C), a partir del cuarto día y hasta el término del almacenamiento se observó un incremento en la tasa de respiración del producto, siendo este más notorio a 5 °C (Cuadro 9).

El factor empaque influyó de manera significativa, el producto almacenado en la bolsa PC registró las mayores tasas de respiración durante el almacenamiento. En todos los casos se presentó un incremento en las tasas de respiración del producto durante los primeros días del almacenamiento y una disminución conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento.

Cuadro 9. Efecto de los factores temperatura y empaque en la tasa de respiración ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	21.53 ab	22.98 b	17.32 b	24.70 a	28.58 b	55.55 b	59.93 b		
5	20.12 b	21.89 b	24.07 b	20.97 b	37.41 a	80.05 a	124.44 a		
20	26.37 a	129.67 a	212.58 a						
DSH	4.91	13.71	26.04	3.59	3.30	4.76	8.39		
Emp									
CP	21.82 ab	53.31 a	125.50 a	23.44 a	30.78 b	58.67 b	81.33 b	48.65 b	65.12 a
PC	26.64 a	64.43 a	65.70 b	28.84 a	38.17 a	76.93 a	103.04 a	86.14 a	85.65 a
SE	19.56 b	56.75 a	62.77 b	16.23 b	30.04 b				
DSH	4.91	13.71	26.04	5.42	4.97	4.76	8.39	14.50	47.86
CV	17.83	19.38	25.29	15.00	9.52	4.97	6.44	6.12	18.07

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Las variaciones obtenidas en la tasa de respiración con el empleo de empaques fueron similares a los reportados por Del Nobile *et al.* (2006) donde se estudio el efecto del uso de dos películas plásticas a base de poliolefinas en dos cultivares de lechuga ('Iceberg' y 'Romana') almacenadas a 5 °C mostrándose

un incremento gradual en la tasa de respiración del producto en las primeras 100 horas después del empaqueo y un ligero descenso hasta finalizado el experimento, a la par de esto se observó una disminución gradual del oxígeno dentro de los empaques en las primeras 50 horas de establecido el experimento.

Para el primer día de almacenamiento la menor tasa de respiración se registró en el tratamiento sin empaque a 5 °C, observándose diferencias significativas ($P \leq 0.05$). A partir del segundo día de almacenamiento se observó un incremento en la tasa de respiración siendo ésta mayor en los tratamientos a 20 °C, en los cuales se observó acumulación de gas dentro de los empaques. Según Kader y Salveit (2003) la respiración depende directamente de la temperatura en un rango fisiológico normal. Por ello se considera natural el aumento de la velocidad de producción de CO₂ al aumentar la temperatura de refrigeración. Ratti *et al.* (1996) mencionan que la concentración de CO₂ y la temperatura son factores que influyen en la tasa de respiración en coliflor. Se registraron tasas de respiración de 70 mg kg⁻¹ h⁻¹ a 23 °C y 10 mg kg⁻¹ h⁻¹ a 6.5 °C.

A partir del tercer día de almacenamiento en el producto empacado con la bolsa CP a 20 °C se registró la mayor tasa de respiración. Monroy (2009) encontró que el huitlacoche almacenado a 20 °C en bolsas de polietileno de baja densidad (PBD) registró tasas de respiración más altas que el huitlacoche a la misma temperatura sin ningún tipo de envase.

El chile almacenado en las bolsas CP y PC a temperaturas 0 y 5 °C incrementaron la tasa de respiración a partir del día 4 de la evaluación; bajo

estas condiciones se observó una acumulación de gas dentro del empaque; mismo que se puede atribuir a la producción de CO₂, siendo más notoria a partir del día 10 a 5 °C y al día 16 a 0 °C. Al respecto Zagory *et al.* (1988), mencionan que la respiración en postcosecha es responsable de la frescura del producto y ésta depende de la temperatura del aire de almacenamiento y la composición de éste depende de la mezcla de CO₂, O₂ y etileno. Kader y Salveit (2003), mencionaron que el almacenamiento de frutas y hortalizas en atmosferas con bajo O₂ y elevado CO₂ origina la reducción en la actividad respiratoria; en esta investigación se pudo observar que los resultados obtenidos fueron diferentes al comportamiento mencionado por estos autores, ya que en todos los tratamientos en donde se empleo empaques a las diferentes temperaturas se presentó incremento en las tasas de respiración del chile manzano; estos resultados fueron similares a los encontrados por Valle-Guadarrama *et al.* (2008) en litchi almacenado a 5 °C en atmosferas controladas con 10 % de CO₂ en combinaciones con O₂ al 3 y 10 %.

Durante el almacenamiento las menores tasas de respiración se registraron a bajas temperaturas, en los tratamientos a 0 °C, al respecto Salveit (2004), menciona que la disminución de la actividad enzimática por un almacenamiento a bajas temperaturas, reduce la utilización de sustratos como carbohidratos, ácidos orgánicos y otras reservas incrementando la vida postcosecha de frutas.

Cuadro 10. Interacción empaque-temperatura en la tasa de respiración (mL•kg-1•h-1) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Nivel	Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	20.41 ab	7.95 c	7.54 c	10.18 d	16.50 d				
SE	5	12.71 b	9.12 c	14.95 c	22.28 bc	43.58 a				
SE	20	25.55 a	153.19 a	165.81 b						
CP	0	21.03 ab	27.89 c	20.13 c	28.85 ab	33.19 bc	37.57 b	45.93 c	48.65 b	65.12 a
CP	5	19.24 ab	27.41 c	25.07 c	18.03 cd	28.37 c	79.77 a	116.73 a		
CP	20	25.19 a	104.64 b	331.31 a						
PC	0	23.15 ab	33.09 c	24.29 c	35.09 a	36.04 abc	73.52 a	73.93 b	86.14 a	85.65 a
PC	5	28.40 a	29.14 c	32.19 c	22.59 bc	40.29 ab	80.34 a	132.15 a		
PC	20	28.38 a	131.18 ab	140.63 b						
DSH		11.74	32.75	72.19	9.71	8.91	9.53	16.79	14.50	47.86
CV		17.83	19.38	25.29	15.00	9.52	4.97	6.44	6.12	18.07

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Cabe mencionar que el producto empaçado en la bolsa PC a 5 °C después de 10 días presentó desarrollo de olores desagradables, este comportamiento también se observó con el empaque CP a 5 °C, aunque en menor proporción; Jacxsens *et al.* (2003) mencionan que una consecuencia del almacenamiento en atmósferas modificadas con altos niveles de CO₂ es el desarrollo de olores desagradables, como consecuencia del metabolismo fermentativo anaeróbico y la estimulación del desarrollo de patógenos.

6.5. Producción de etanol y acetaldehído

La producción de etanol y acetaldehído estuvo presente desde los primeros días de evaluación. Algunos autores afirman que estos metabolitos son componentes naturales del aroma en casi todos los frutos, acumulándose en la maduración, bajo condiciones aeróbicas, ambos etanol y acetaldehído, son precursores naturales del aroma (Knee and Hatfield, 1981; Fidler, 1968). Por lo anterior se considera natural la presencia de estos compuestos desde el inicio del experimento (Cuadro 11 y 12). Para el primer día de almacenamiento la menor producción de acetaldehído se registró sin el empleo de empaque, observándose diferencias estadísticamente significativas. A partir del segundo día de almacenamiento a bajas temperaturas se observó un incremento en la producción de acetaldehído, mismo que se mantuvo durante los tres primeros días de empaque el producto y una disminución en días posteriores.

Cuadro 11. Efecto del factor temperatura y empaque en la producción de acetaldehído (mg de A.A / 100 g) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	1.251 a	1.617 a	1.690 a b	1.130 b	1.916 a	1.013 b	1.498 a		
5	1.405 a	1.634 a	1.932 a	2.067 a	1.811 a	1.641 a	1.226 b		
20	1.467 a	1.208 a	1.077 b						
DSH	0.414	0.562	0.674	0.368	0.408	0.267	0.244		
Emp									
CP	1.573 a	1.272 a	1.727 a b	1.450 a	1.776 a b	1.203 a	1.540 a	1.00 a	1.133 a
PC	1.455 a b	1.537 a	1.097 b	1.413 a	1.576 b	1.451 a	1.185 b	1.103 a	1.066 a
SE	1.095 b	1.651 a	1.874 a	1.933 a	2.238 a				
DSH	0.414	0.562	0.674	0.575	0.615	0.267	0.244	0.380	0.565
CV	24.77	31.07	35.36	21.94	20.87	14.26	12.67	10.29	14.62

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Con respecto al tipo de empaque para el primer día de almacenamiento la menor cantidad de este metabolito se registró cuando el producto se almacenó sin empaque, en días posteriores bajo esta condición particular se registraron los valores más altos de este compuesto, no detectándose diferencias significativas con el empaque CP.

El producto empacado en bolsas CP y PC mostró una tendencia al aumento en el contenido de acetaldehído, sin embargo a partir del tercer día se registró un comportamiento inestable, con ligeros incrementos y un descenso en los días 16 y 19 (Cuadro 11). Este comportamiento también se presentó en la producción de etanol en donde hubo un incremento hasta día tres y un comportamiento inestable en los siguientes días de evaluación con una disminución al finalizar el almacenamiento (Cuadro 12). Un comportamiento similar fue reportado por Hansen *et al.* (2001) en floretes de brócoli empacados con una atmósfera de 0.25 y 0.50 % de oxígeno y 20 % de CO₂. Bajo estas condiciones estos autores reportan incrementos en el contenido de etanol y acetaldehído durante los primeros siete días de almacenamiento y una disminución en el contenido de estos metabolitos entre los días seis y diez del almacenamiento.

En el día tres, el producto almacenado a 20 °C incrementó cinco veces más la producción de etanol en relación al día dos de almacenamiento. Este comportamiento coincide con lo reportado por Corrales y Tlapa, (1999), quienes encontraron aumentos en la producción de etanol y acetaldehído en aguacate 'Hass' al aumentar el periodo de post-frigoconservación; esto se atribuye a una mayor actividad de las enzimas ADH y piruvato descarboxilasa (PDC), cuando se

encuentran a la temperatura a temperatura ambiente (Cuadro 12). Por otro lado, pare éste mismo día, el producto almacenado a bajas temperaturas presentó un incremento mínimo en la producción de etanol, con relación al contenido inicial, no observándose diferencia significativa, así mismo al término del experimento el producto que se mantuvo a 5 °C mostró mayor producción de etanol que el producto almacenado a 0 °C.

Cuadro 12. Efecto de los factores temperatura y empaque en la producción de etanol (mg / 100 g de peso fresco) durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	1.894 a	2.568 b	3.637 b	2.296 a	2.281 a	2.978 b	3.655 b		
5	1.546 b	2.195 b	1.731 b	1.978 a	2.307 a	7.556 a	22.478 a		
20	1.780 a	8.145 a	45.518 a						
DSH	0.185	2.233	2.051	0.495	0.584	2.158	4.188		
Emp									
CP	1.700 b	4.656 a	40.687 a	1.433 b	1.766 b	5.735 a	14.947 a	5.033 a	7.117 a
PC	1.616 b	4.464 a	5.547 b	1.681 b	1.880 b	4.800 a	11.187 a	6.263 a	8.287 a
SE	1.904 a	3.788 a	4.652 b	3.298 a	3.236 a				
DSH	0.185	2.233	2.051	0.745	0.881	2.158	4.188	4.326	6.912
CV	8.74	42.65	9.94	22.04	24.26	28.99	22.69	21.80	25.54

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Los Cuadros 13 y 14 muestran el comportamiento de la producción de acetaldehído y etanol para los tratamientos generados en el experimento. Los tratamientos sin empaque a temperaturas de almacenamiento de 0 y 5 °C registraron valores mayores de acetaldehído en comparación con el tratamiento sin empaque a temperatura de 20 °C. De igual manera para el primer día de almacenamiento se presentó una mayor producción de etanol en el tratamiento

sin empaque a 0 °C, mostrando diferencia significativa con los demás tratamientos. Lo anterior pudo deberse a que el producto se manejó a bajas temperaturas sin ningún tipo de recubrimiento plástico, por lo cual hubo una mayor exposición al frío sufriendo un mayor grado de estrés. Según Kimmerer y Koslowski (1982) establecieron y fundamentaron que para la producción de etanol y acetaldehído por parte de los tejidos vegetales no se requiere forzosamente restricción en la disponibilidad de oxígeno, ya que la producción de estos compuestos puede ocurrir como respuestas a diversas condiciones de estrés, tales como daños mecánicos o daños por frío. Al respecto, Corrales y Tlapa (1999), reportan una mayor producción de etanol y acetaldehído en frutos de aguacate almacenados a 2 °C, lo cual lo atribuyen a una mayor condición de estrés por la baja temperatura. Otros estudios realizados con melón cantaloupe almacenado a 2 y 5 °C confirman que los daños por frío incrementan la producción de metabolitos anaerobios, en donde se obtuvieron valores en la producción de etanol de 112 µL/100 g de tejido fresco en estado de madurez comercial y una producción de 20 µL/100 g de tejido fresco en el contenido de etanol (García *et al.*, 2005).

La acumulación de acetaldehído y etanol ha sido reportada como una respuesta característica a daños por frío (García *et al.*, 2005). Según Salisbury y Ross (1994), el acetaldehído y etanol se produce cuando el ácido pirúvico que se deriva de la glicolisis se expone a muy bajos niveles de oxígeno y se descarboxila al producir el acetaldehído a partir del cual se origina el etanol. Tal situación puede presentarse en las zonas que se manifiestan síntomas de

daños por frío, para propiciar procesos de fermentación que llevan a la producción y acumulación de ambos metabolitos.

Cuadro 13. Interacción empaque-temperatura en la producción de acetaldehído (mg de A.A / 100 g) en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.

Procedido durante el amasado y almacenamiento										
Factor	Nivel	Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	1.250 a b	2.240 a	2.506 a	1.926 a	3.106 a				
SE	5	0.920 b	1.913 a b	2.153 a	1.940 a	1.370 b				
SE	20	1.116 a b	0.800 b	0.963 a b						
CP	0	1.220 a b	1.396 a b	1.263 a b	0.873 b	1.496 b	1.096 b	1.756 a	1.000 a	7.717 a
CP	5	1.546 a b	1.173 a b	1.933 a	2.026 a	2.056 a b	1.310 b	1.323 a b		
CP	20	1.953 a	1.246 a b	1.986 a						
PC	0	1.283 a b	1.216 a b	1.300 a b	0.590 b	1.146 b	0.930 b	1.240 b	1.103 a	8.287 a
PC	5	1.750 a b	1.816 a b	1.710 a b	2.236 a	2.006 b	1.973 a	1.130 b		
PC	20	1.333 a b	1.580 a b	0.283 b						
DSH		0.989	1.342	1.609	0.995	1.103	0.535	0.488	0.380	0.565
CV		24.77	31.07	35.36	21.94	20.88	14.26	12.67	10.29	14.62

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

No se observaron diferencias significativas en los tratamientos con empaques a las diferentes temperaturas de almacenamiento, la producción de acetaldehído mostró un comportamiento inestable; sin embargo, en los diferentes tratamientos se registraron incrementos, siendo este comportamiento más marcado a temperatura de 0 °C al finalizar el almacenamiento (Cuadro 13). Este comportamiento es similar a lo reportado por Hansen *et al.*, (2001), durante el almacenamiento de floretes de brócoli; así mismo Larsen y Watkins (1995), mencionan que las enzimas involucradas en la producción de acetaldehído como son la piruvato descarboxilasa y alcohol deshidrogenasa son sensibles al pH, por tanto la acumulación de etanol y acetaldehído puede ser explicada por

cambios en el pH de la célula debido a las relaciones (H^+) cuando el CO_2 se disuelve en la célula.

Después de tres días de almacenamiento los tratamientos con empaque CP y PC a 20 °C propiciaron la producción de etanol, presentando acumulación de gas dentro del empaque y desarrollo de olores desagradables, en el tratamiento con bolsa PC este comportamiento se presentó en menor proporción. Ricard *et al.* (1994) mencionan que el metabolismo fermentativo trae como resultado la acumulación de acetaldehído y etanol, producto de la acción de las enzimas PDC y ADH en condiciones de bajo O_2 . Por otra parte, el desarrollo de olores y sabores desagradables en el producto pudo deberse a la poca disponibilidad de O_2 , ya que un cambio del metabolismo aeróbico hacia una atmósfera anaerobia genera un metabolismo fermentativo, la severidad de la producción de sabores desagradables dependerá del tiempo de exposición por debajo de la concentración de oxígeno mínima requerida y/o por encima de la concentración máxima de CO_2 tolerada (Kader *et al.*, 1989; Beaudry, 2000). Por otra parte Jacxsens *et al.* (2003), mencionan que no solamente el metabolismo fermentativo del producto es el responsable del desarrollo de olores y sabores desagradables, sino que también los microorganismos pueden ser responsables de dicho comportamiento. En el Cuadro 14 se puede observar que después de 10 días de almacenamiento en los tratamientos con empaque CP y PC a 5 °C se registró un incremento en la producción de etanol de tres veces más con relación al día 7 de almacenamiento, esta tendencia continuó hasta finalizar el experimento. Según Pesis *et al.*, (2002) el empackado de productos en atmósferas modificadas, así como el aumento en las temperaturas

de almacenamiento pueden incrementar los niveles de etanol y acetaldehído, este comportamiento fue observado en el almacenamiento de cereza dulce (0 a 25 °C), y litchi (2 a 20 °C).

En general la producción de etanol fue mayor que la producción de acetaldehído. De acuerdo a Alia *et al.* (2005), en condiciones naturales la proporción de acetaldehído/etanol es 1:1 y se puede incrementar a 1:5 ó 1:2 por la exposición a altos niveles de CO₂, este comportamiento fue observado en zapote mamey después de 20 días de almacenamiento a 20 °C.

Cuadro 14. Interacción empaque-temperatura en la producción de etanol (mg / 100 g de peso fresco) en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.

Factor	Nivel	Día de almacenamiento								
		1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	2.573 a	4.727 b	8.097 c	4.220 a	3.590 a				
SE	5	1.580 c	3.177 b	1.667 d	2.376 b	2.883 a b				
SE	20	1.380 c	3.463 b	4.193 c d						
CP	0	1.433 c	1.510 b	1.443 d	1.370 b	1.763 b	4.553 a b	3.590 b	5.033 a	7.117 a
CP	5	1.506 c	1.790 b	1.703 d	1.496 b	1.770 b	6.917 a	26.303 a		
CP	20	2.160 b	10.670 a	118.917 a						
PC	0	1.496 c	1.470 b	1.373 d	1.300 b	1.490 b	1.403 b	3.720 b	6.263 a	8.287 a
PC	5	1.553 c	1.620 b	1.823 d	2.063 b	2.270 a b	8.197 a	18.653 a		
PC	20	1.800 bc	10.303 a	13.447 b						
DSH		0.442	5.332	4.899	1.336	1.579	4.317	8.380	4.326	6.912
CV		8.74	42.65	9.94	22.04	22.26	28.99	22.69	21.80	25.59

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

6.6. Luminosidad

En el Cuadro 15, se observa que la luminosidad (L) en las rodajas de chile manzano fue significativamente afectada por la temperatura durante los

primeros días de almacenamiento, mostrándose valores menores a la temperatura de 0 °C para los días uno y dos de almacenamiento, para el tercer día a temperatura de 20 °C se registró el menor valor de luminosidad.

Posteriormente el valor de L no cambió considerablemente pero se observó una disminución de este valor. El oscurecimiento de la superficie cortada es el problema más común en frutos mínimamente procesados, siendo en muchos de ellos el factor limitante para su almacenamiento, el corte estimula a las enzimas involucradas en el metabolismo de los compuestos fenólicos, induciendo la formación de pigmentos oscuros no deseables (Huxsoll y Bolin, 1989).

Cuadro 15. Efecto del factor temperatura y empaque en la luminosidad durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	42.82 b	40.80 c	39.82 b	40.28 a	41.46 a	41.67 a	40.85 a		
5	44.04 a	43.64 a	41.93 a	40.86 a	40.75 b	41.05 a	40.14 a		
20	43.78 a	41.46 b	39.00 c						
DSH	0.79	0.60	0.73	1.31	0.50	0.99	2.00		
Emp									
CP	44.09 a	42.56 a	40.77 b	41.36 a	41.06 a	41.56 a	41.83 a	41.55 a	40.92 a
PC	43.46 a b	41.88 b	41.67 a	41.31 a	41.01 a	41.16 a	39.16 b	41.23 a	41.66 a
SE	43.08 b	41.45 b	38.47 c	39.05 b	41.24 a				
DSH	0.79	0.60	0.73	1.97	0.75	0.99	2.00	1.60	2.98
CV	1.50	1.17	1.50	3.08	1.16	1.70	3.49	1.10	2.05

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

El oscurecimiento es una reacción mediada por enzimas, lo cual ocurre cuando la célula es cortada, la superficie es abierta y los compuestos fenólicos de las

vacuolas de las células del producto se mezclan con la polifenol oxidasa (PPO), la cual que en presencia de oxígeno convierte a los compuestos fenólicos por polimerización en pigmentos oscuros.

En un trabajo realizado con mango Rattanapanone *et al.* (2001), atribuyeron los cambios en el valor de L a un ligero oscurecimiento en la superficie y a la presencia de fenoles. De la misma forma, Cantwell (1996), puntualizó que el cambio de color en brillantez en los productos mínimamente procesados es uno de los problemas más importantes a seguir durante su conservación, cambio asociado a la generación de fenoles.

El factor empaque influyó de manera significativa en la luminosidad del producto, en el empaque CP se observó una mejor conservación de la luminosidad del producto, por otro lado el producto almacenado sin empaque registró decrementos más acelerados en el valor de L. Algunos autores mencionan que el empleo de atmósferas controladas o atmósferas modificadas favorecen la conservación de la luminosidad en frutos (Escalona *et al.*, 2007).

El Cuadro 16, muestra los tratamientos generados por la interacción empaque, temperatura, se observó una mayor disminución en L en los tratamientos sin empaque a 0 y 20 °C, lo cual sugiere que a 0 °C se produjeron daños por frío. Por otro lado, los tratamientos con empaque CP y PC a 0 y 5 °C no presentaron diferencias significativas, conservando los valores de luminosidad superiores a 40 durante todo el periodo de almacenamiento. Los tratamientos con empaque CP y PC a 20 °C fueron significativamente diferentes al tercer día de

almacenamiento, presentando mayor pérdida de luminosidad, en general los cambios en el color fueron afectados por el tiempo de almacenamiento. Jianshen *et al.*, (2006), mencionan que el tiempo de almacenamiento es un factor que afecta la pérdida de luminosidad en espárragos bajo atmósferas modificadas, presentando una mayor reducción en luminosidad después de 8 días.

Cuadro 16. Interacción empaque y temperatura en la en la luminosidad durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Nivel	Día de almacenamiento								
		1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	41.82 c	38.57 c	36.77 d	36.82 b	41.29 a b				
SE	5	44.80 a	44.38 a	42.06 a b	41.28 a	42.20 a b				
SE	20	42.64 b c	41.39 b	36.58 d						
CP	0	43.71 a b c	41.75 b	40.86 a b c	41.51 a	41.17 a b	41.57 a	41.44 a b	41.55 a	40.92 a
CP	5	44.39 a b	44.04 a	41.44 a b c	41.21 a	40.95 a b	41.56 a	40.26 a b		
CP	20	44.17 a b	41.91 b	40.01 c						
PC	0	42.93 a b c	42.07 b	42.31 a	42.52 a	41.91 a	41.77 a	42.22 a	41.23 a	41.66 a
PC	5	42.92 a b c	42.50 b	42.28 a	40.10 a b	40.11 b	40.55 a	38.07 b		
PC	20	44.54 a b	41.09 b	40.43 b c						
DSH		1.90	1.43	1.76	3.54	1.35	1.99	4.00	1.60	2.98
CV		1.50	1.17	1.50	3.08	1.16	1.70	3.49	1.10	2.05

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

6.7 Angulo Hue

Los cambios en el color verdadero del chile mínimamente procesado se muestran en el Cuadro 17, el valor de hue fue afectado significativamente por la temperatura mostrando una disminución gradual conforme transcurrió el periodo

de almacenamiento, siendo éste comportamiento más notorio después del cuarto día a temperatura de 5 °C y hasta finalizar el experimento.

El factor empaque influyó de manera positiva en la conservación del color amarillo característico del chile manzano, no observándose diferencias estadísticamente significativas entre el producto empacado en bolsas CP y PC.

Cuadro 17. Efecto de los factores temperatura y empaque en el ángulo hue durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	54.54 a b	51.73 b	54.67 a	53.79 a	54.01 a	52.16 a	52.84 a		
5	54.70 a	53.62 a	54.46 a	51.49 b	48.60 b	53.20 a	47.94 b		
20	53.84 b	51.69 b	54.41 a						
DSH	0.76	1.07	0.86	1.47	0.94	3.41	2.24		
Emp									
CP	55.83 a	52.24 a	54.17 b	49.59 b	51.51 a	52.89 a	51.78 a	53.32 a	53.53 a
PC	54.93 b	51.91 a	56.63 a	53.25 a	51.65 a	52.48 a	49.01 b	53.34 a	53.60 a
SE	52.31 c	52.90 a	52.73 c	52.09 a	50.75 a				
DSH	0.76	1.07	0.86	2.22	1.41	3.41	2.24	11.50	0.97
CV	1.15	1.68	1.30	2.67	1.74	4.59	3.15	6.13	0.50

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Por otro lado el producto que se almacenó sin empaque mostró una disminución en el valor de hue en un menor lapso, lo cual se vio reflejado en un cambio de color amarillo hacia un naranja. Este cambio en el color coincidió con la degradación de carotenoides en el producto (Cuadro 7). La disminución en los valores de hue han sido reportados en espárragos almacenados en atmósferas modificadas por un periodo de 24 días, donde el valor del ángulo

inicial fue de 135 ° y disminuyó hasta 95 °, lo cual se vió reflejado en un cambio del color verde característico a tonalidades amarillas (Jianshen *et al.*, 2006).

Con respecto a los tratamientos, para el primer día de almacenamiento se presentaron diferencias significativas, cuando el producto se almacenó en el empaque PC a 0 y 20 °C y el empaque CP a 0 y 5 °C se registraron valores mayores en el ángulo hue, los tratamientos sin empaque a 0 y 20 °C presentaron los valores de hue menores. En días posteriores en los tratamientos sin empaque se presentó un ligero incremento en los valores de hue con excepción del tratamiento a 5 °C, el cual disminuyó drásticamente después del cuarto día de almacenamiento.

Cuadro 18. Interacción empaque y temperatura en el ángulo hue de chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.

Factor	Nivel	Día de almacenamiento								
		1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	52.71 e d	52.00 b c	51.15 e	53.92 a b	53.26 a				
SE	5	53.19 c d	52.06 b c	52.28 d e	56.26 a	48.24 b				
SE	20	51.04 e	54.63 a	54.77 b c						
CP	0	55.89 a b	52.33 a b c	53.24 c d	50.87 b c	54.71 a	52.48 a	52.46 a	53.32 a	56.53 a
CP	5	56.71 a	54.29 a b	55.94 b	48.32 c	48.32 b	53.30 a	51.09 a		
CP	20	54.89 b c	50.11 c	53.33 c d						
PC	0	55.03 a b	50.88 c	59.63 a	56.59 a	54.06 a	51.85 a	53.23 a	53.34 a	53.60 b
PC	5	54.19 b c d	54.52 a b	55.15 b c	49.90 c	49.24 b	53.11 a	44.79 b		
PC	20	55.59 a b	50.34 c	55.13 b c						
DSH		1.81	2.56	2.05	3.98	2.54	6.83	4.49	11.50	0.97
CV		1.15	1.68	1.30	2.67	1.74	4.59	3.15	6.13	0.50

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

A partir del día dos de almacenamiento en los tratamientos con empaque a 20 °C se muestra una mayor disminución en los valores de hue, no

observándose diferencia significativa, mostrándose un incremento para el tercer día de almacenamiento. Los tratamientos con empaque CP y PC a 0 °C no registraron diferencias significativas a partir del día 7 y hasta el día 16, observándose diferencias significativas en el día 19 de almacenamiento. Los tratamientos con empaque CP y PC a 5 °C no muestran diferencias significativas a partir del día 2 de almacenamiento hasta el día 16, así mismo registran un decremento más pronunciado en los valores de hue, siendo éste más notorio en el tratamiento con empaque PC a 5 °C para el día 19 de almacenamiento.

6.8 Croma

Se registraron variaciones estadísticamente significativas para el factor temperatura desde el primer día de almacenamiento, el producto almacenado a 5 °C mantuvo la pureza del color registrando diferencias significativas con el producto almacenado a 0°C entre los primeros 7 días de almacenamiento, entre los días 10 y 13 no se registraron diferencias a estas mismas condiciones de almacenamiento. Después de 3 días de almacenamiento a 20 °C se observó un decremento significativo ($P \leq 0.05$) en el croma por lo cual se reflejo en una opacidad del producto.

Cuadro 19. Efecto de los factores temperatura y empaque en la cromaticidad durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	30.92 b	31.20 b	29.66 b	29.98 b	29.70 b	30.78 a	31.16 a		
5	31.59 a	32.52 a	30.56 a	31.20 a	32.07 a	29.91 a	30.46 a		
20	31.79 a	32.39 a	28.09 c						
DSH	0.61	0.61	0.56	0.41	0.32	1.33	2.40		
Emp									
CP	30.88 b	32.49 a	30.23 a	32.29 a	30.83 a	30.77 a	30.99 a	30.27 a	28.18 b
PC	31.50 a	32.22 a	29.24 b	30.96 b	30.79 a	29.92 a	30.63 a	29.79 a	29.24 a
SE	31.93 a	31.39 b	28.84 b	28.52 c	28.04 c				
DSH	0.61	0.61	0.56	0.62	0.49	1.33	2.40	6.93	0.33
CV	1.60	1.56	1.57	1.29	1.00	3.10	5.53	6.56	0.32

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

En el factor empaque se registraron variaciones significativas durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado, para el día 4 de almacenamiento el producto sin empaque mostró los valores más bajos de croma ($P \leq 0.05$), este comportamiento se mantuvo hasta el día 7. El producto empacado en las bolsas CP y PC sólo mostró diferencias significativas en los días 1, 3 y 19, registrando variaciones durante el almacenamiento. En el Cuadro 20 se muestran los tratamientos generados por la interacción empaque y temperatura, en los tratamientos sin empaque a 0 y 20 °C se observó una mayor reducción en el croma detectándose diferencia significativa con los tratamientos sin empaque a 5 °C los cuales mostraron colores más intensos que aquellos almacenados a las condiciones antes mencionadas. Al respecto Rivera *et al.* (2005), almacenaron papaya fresca cortada bajo atmósferas

modificadas, encontrando que a temperaturas de 5 y 20 °C la intensidad del color disminuyó, como resultado de un oscurecimiento en el fruto. Por otra parte con el empaque CP a 20 °C se obtuvieron mejores resultados que con el PC a la misma temperatura. Los tratamientos con empaques CP y PC a 0 y 5 °C favorecieron la retención de la intensidad del color característico del producto, no mostrándose diferencias en los últimos días de almacenamiento. De manera general el empaque ayudó a que el producto conservara colores más intensos. Según Escalona *et al.* (2007), el empacado en atmósferas modificadas favorece la retención del color como resultado de una disminución en la producción de etileno y tasa de respiración.

Cuadro 20. Interacción empaque y temperatura en el croma durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Nivel	Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	30.63 b	29.99 f	28.56 c	27.68 c	29.55 c d				
SE	5	32.60 a	33.95 a b	32.53 a	29.36 b	32.53 a				
SE	20	32.56 a	30.23 f	25.43 d						
CP	0	30.95 b	31.05 e f	30.77 b	32.09 a	29.21 d	31.04 a	31.11 a	30.27 a	28.18 b
CP	5	30.64 b	32.37 c d e	29.68 b c	32.49 a	32.45 a	30.50 a	30.87 a		
CP	20	31.04 b	34.05 a	30.25 b						
PC	0	31.19 a b	32.55 b c d	29.66 b c	30.17 b	30.35 c	30.53 a	31.21 a	29.79 a	29.24 a
PC	5	31.54 a b	31.24 e d f	29.47 b c	31.75 a	31.24 b	29.32 a	30.06 a		
PC	20	31.78 a b	32.88 a b c	28.59 c						
DSH		1.46	1.46	1.34	1.12	0.88	2.66	4.82	6.93	0.33
CV		1.60	1.56	1.57	1.29	1.00	3.10	5.53	6.56	0.32

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DMS: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

6.9 Sólidos solubles

En el segundo día de almacenamiento el factor temperatura afectó significativamente el contenido de sólidos solubles del producto, mostrando un incremento en el producto almacenado a 20 °C. A partir del día de 3 y hasta el día 13 de almacenamiento no se registraron diferencias significativas, sin embargo entre los días 4 y 7 se presentó un incremento en el contenido de sólidos solubles y una disminución para los días 10 y 13. Varoquaux *et al.*, (1990), menciona que el incremento en el contenido de sólidos solubles totales en frutos, ya sea mínimamente procesados o intactos, se debe probablemente a la solubilización de azúcares neutros de residuos de polímeros de pectina. Al respecto Gallego y Zarra (1998), han identificado los principales azúcares neutros en algunos productos después de la cosecha, siendo éstos principalmente galactosa, glucosa, xilosa, arabinosa, ramnosa y trazas de manosa, estos azúcares son solubilizados como resultado de un proceso de maduración o debido a efectos de temperaturas elevadas.

Con relación al factor empaque, el producto almacenado sin empaque mostró un incremento significativo en el contenido de sólidos solubles a partir del día 2 y hasta el día 7 de su almacenamiento. Por su parte el producto que se mantuvo en bolsas CP y PC no presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$), manteniendo el contenido de sólidos solubles entre 7.00 y 7.83 durante los 19 días del almacenamiento.

Cuadro 21. Efecto de los factores temperatura y empaque en el contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento de chile manzano mínimamente procesado.

Factor	Días de evaluación								
	1	2	3	4	7	10	13	16	19
T (°C)									
0	7.45 a	7.43 b	7.25 a	7.82 a	8.24 a	7.10 a	7.13 a		
5	7.31 a	7.51 b	7.41 a	7.71 a	8.15 a	7.30 a	7.38 a		
20	7.30 a	8.01 a	7.43 a						
DSH	0.33	0.45	0.62	0.21	0.28	0.29	0.42		
Empaque									
CP	7.24 a	7.53 b	6.83 b	7.53 b	7.56 b	7.40 a	7.28 a	7.56 a	7.83 a
PC	7.27 a	7.33 b	7.11 b	7.28 b	7.53 b	7.00 b	7.23 a	7.06 a	7.53 a
SE	7.54 a	8.08 a	8.15 a	8.48 a	9.50 a				
DSH	0.33	0.45	0.62	0.32	0.42	0.29	0.42	0.86	0.43
CV	3.69	4.93	7.00	2.60	3.27	2.90	4.15	3.34	1.59

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

En el segundo día de almacenamiento los tratamientos con empaque PC a 0 y 5 °C mostraron una disminución en el contenido de sólidos solubles, no observándose diferencias significativas con el producto almacenado con empaque CP a 0, 5 y 20 °C y con el tratamiento sin empaque a 5 °C.

Para el tercer día de almacenamiento se observó un incremento en el contenido de sólidos solubles en el tratamiento almacenado sin empaque a 20 °C, mostrando diferencia ($P \leq 0.05$) con el resto de los tratamientos, así mismo en los tratamientos con empaque CP y PC a 20 °C se registró una disminución en el contenido de sólidos solubles, no observándose diferencias significativas con

el tratamiento PC a 5 °C. Los resultados obtenidos fueron similares a los reportados por Rivera *et al.* (2005), quienes encontraron que si se observa una mayor disminución de sólidos solubles en el producto almacenado a 20 °C que en el producto almacenado a 10 y 5 °C, después de 6 días. Varios autores han correlacionado la disminución en el contenido de sólidos solubles totales con el decremento de azúcares y un aumento en la actividad respiratoria por efecto de las altas temperaturas (Chan, 1979; Agar *et al.*, 1999, Lamikanra *et al.*, 2000). Lo anterior se pudo corroborar ya que el chile mínimamente procesado que fue almacenado a 20 °C en empaques CP y PC tuvo las mayores tasas respiratorias (Cuadro 9 y 10).

El producto sin empaque a 0 y 5 °C presentó un incremento en el contenido de sólidos solubles a partir del cuarto día, mostrando diferencias ($P \leq 0.05$) con los demás tratamientos, este comportamiento se mantuvo hasta el séptimo día.

En los tratamientos con empaque CP y PC a 0 y 5 °C no se observan diferencias significativas al cuarto día de almacenamiento. Entre los días 10 y 13 se presentó una disminución en el contenido de sólidos solubles en los tratamientos CP a 0 y 5 y en PC a 0 °C, el producto empacado en PC a 5 °C incrementó los sólidos solubles para el día 13. En los dos últimos días de evaluación no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo se manifestó un incremento en el contenido de sólidos solubles.

Cuadro 22. Interacción empaque y temperatura en el contenido de sólidos solubles en chile manzano mínimamente procesado durante el almacenamiento.

Factor	Nivel	Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	7.70 a	8.13 a	7.33 b	8.63 a	9.46 a				
SE	5	7.73 a	7.93 a b	7.60 b	8.33 a	9.53 a				
SE	20	7.20 a	8.20 a	9.53 a						
CP	0	7.43 a	7.20 a b	7.20 b	7.53 b	7.80 b	7.46 a	7.33 a	7.56 a	7.83 a
CP	5	7.06 a	7.63 a b	7.63 b	7.53 b	7.33 b	7.33 a	7.23 a		
CP	20	7.23 a	7.76 a b	5.66 c						
PC	0	7.23 a	6.96 b	7.23 b	7.30 b	7.46 b	6.73 b	6.93 a	7.06 a	7.53 a
PC	5	7.13 a	6.96 b	7.00 b c	7.26 b	7.60 b	7.26 a b	7.53 a		
PC	20	7.46 a	8.06 a	7.10 b c						
DSH		0.79	1.09	1.49	0.57	0.76	0.59	0.85	0.86	0.43
CV		3.69	4.93	7.00	2.60	3.27	2.90	4.15	3.34	1.59

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

6.10 Apariencia

En los tratamientos a temperatura de 20 °C con el empleo de empaques CP y PC la apariencia del producto disminuyó drásticamente a partir del segundo día de almacenamiento, esta característica fue más notoria con el empleo de la bolsa PC mostrando diferencias significativas con los demás tratamientos, el producto perdió agua, misma que quedó retenida dentro del empaque (Cuadro 23), esto tuvo como resultado que el producto fuera evaluado con una calificación baja y desechado para el tercer día de almacenamiento (Cuadro 23).

El producto que se almaceno sin empaque conservó su aceptabilidad hasta el día cuatro de su almacenamiento, presentando diferencia significativa a partir del segundo día con los tratamientos almacenados a la misma temperatura.

El producto sin empaque almacenado a temperatura de 20 °C presentó un mayor grado de deshidratación en comparación al producto que se almacenó sin empaque a temperaturas de 0 y 5 °C, estos resultados se relacionan con los datos obtenidos en pérdida de peso (Cuadro 4).

Cuadro 23. Aceptabilidad del mínimo procesado de chile manzano en relación a la apariencia durante el almacenamiento.

Tratamiento		Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	9.00 a	9.00 a	8.60 a	8.60 a	8.20 a				
SE	5	9.00 a	9.00 a	8.60 a	8.60 a	8.20a				
SE	20	9.00 a	9.00 a	8.20 a						
CP	0	9.00 a	9.00 a	9.00 a	8.60 a	8.20 a	7.80 a	7.00 a	5.80 a	3.40 a
CP	5	9.00 a	9.00 a	9.00 a	8.20 a	7.80 a	5.40 bc	3.00 b		
CP	20	8.20 ab	5.80 b	2.60 b						
PC	0	9.00 a	9.00 a	9.00 a	8.20 a	7.80 a	7.40 ba	6.20 a	5.40 a	3.00 a
PC	5	9.00 a	9.00 a	9.00 a	8.20 a	7.00 a	5.00 c	2.20 b		
PC	20	7.80 b	5.00 c	2.20 b	-	-	-			
DSH		1.03	0.76	1.40	1.96	2.01	2.19	1.18	2.07	1.11
CV		5.63	4.45	9.06	11.74	12.88	18.26	13.74	21.12	19.76

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

Para el día 10, el producto empacado en bolsas CP y PC a 5°C fue evaluado dentro del limite aceptable, debido a que presentó ablandamiento, este comportamiento se acentuó en mayor grado para el día 13, día en el que el producto fue desechado. Para este mismo periodo el producto almacenado en

empaques a 0 °C aun conservó sus características comerciales, presentando diferencias significativas con el producto almacenado a 5 °C.

Para el día 19 el producto almacenado a 0 °C perdió gran contenido de agua misma que quedó retenida dentro del empaque, asimismo el color del producto se observó mas oscuro, esto se puede atribuir a la disminución en los valores de croma y luminosidad que se registraron (Cuadro 16 y 20).

6.11 Olor

En el producto almacenado a 20 °C sin empaque conservó su olor característico durante los tres días que duro su almacenamiento, sin embargo, éste fue desechado debido a que presentó un alto grado de deshidratación. Los tratamientos almacenados a la misma temperatura con bolsa CP y PC presentaron desarrollo de olores desagradables a partir del segundo día de almacenamiento, mostrando diferencia significativa para el tercer día de almacenamiento, estos resultados se pueden relacionar con la elevada producción de metabolitos anaerobios que se registraron a estas condiciones (Cuadro 13 y 14), por lo cual tuvieron la menor calificación de aceptabilidad en relación al olor.

Los tratamientos almacenados a 0 y 5 °C sin empaque fueron evaluados con una calificación aceptable para el día 7 de su almacenamiento, debido a que la intensidad del olor característico del chile disminuyó, sin embargo no se desarrollaron olores desagradables.

Cuadro 24. Aceptabilidad del chile manzano mínimamente procesado en relación al olor generado durante el almacenamiento.

Tratamiento		Día de almacenamiento								
Emp	T (°C)	1	2	3	4	7	10	13	16	19
SE	0	8.60 a	7.40 bc	7.00 b	6.20 c	5.00 c				
SE	5	9.00 a	8.20 ba	7.80 ba	6.60 bc	5.40 c				
SE	20	8.20 a	7.00 bcd	3.80 c						
CP	0	9.00 a	9.00 a	9.00 a	9.00 a	9.00 a	8.20 a	8.20 a	6.60 a	3.80 a
CP	5	9.00 a	9.00 a	9.00 a	8.60 a	8.20 ba	6.60 b	4.20 c		
CP	20	9.00 a	6.20 cd	3.40 c						
PC	0	9.00 a	9.00 a	9.00 a	9.00 a	9.00 a	7.80 a	6.20 b	5.00 b	3.00 a
PC	5	9.00 a	9.00 a	9.00 a	7.80 ba	7.00 b	5.80 b	3.40 c		
PC	20	8.60 a	5.20 b	3.00 c						
DSH		1.11	1.54	1.23	1.48	1.21	1.18	1.84	1.11	1.36
CV		6.03	9.35	8.65	9.51	8.40	8.90	17.87	10.90	22.78

^zLetras iguales entre variables al interior de cada factor y día de muestreo no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$. ^y DSH: Diferencia Significativa Honesta relativa a la comparación de medias de niveles al interior de cada factor.

A 5 °C los tratamientos almacenados con los diferentes empaques mostraron un comportamiento similar en los tratamientos almacenados a 0 °C. Los tratamientos almacenados a 5°C en bolsas CP y PC tuvieron una calificación aceptable hasta el día diez de almacenamiento, a partir de este día y hasta finalizar su almacenamiento se presentó un rápido desarrollo de olores desagradables debido a la producción de metabolitos anaerobios (Ver Cuadro 12,14), siendo esto más notorio en el tratamiento empacado en bolsas PC, sin embargo no se presentaron diferencias significativas en ambos tratamientos; este comportamiento se comenzó a presentar en los tratamientos almacenados a 0 °C con bolsas CP y PC partir del día 16, recibiendo una calificación de pobre para el día 19, tiempo en el que se

7. CONCLUSIONES

- La temperatura de refrigeración influyó en las pérdidas de peso, tasa de respiración y producción de metabolitos anaerobios, ya que a mayor temperatura las reacciones fisiológicas y bioquímicas se aceleraron.
- El uso de empaques tuvo efectos favorables en la disminución de pérdida de peso, sin embargo el empleo de la bolsa PC trajo como consecuencia un aumento en la producción de metabolitos anaeróbicos, así como una mayor tasa de respiración.
- Durante el almacenamiento del producto disminuyeron los valores de ángulo hue, lo cual se vio reflejado en cambios de color, esto al pasar de un color amarillo a tonalidades naranjas como resultado del proceso de maduración del producto.
- Los valores de croma en el producto disminuyeron conforme aumento el periodo de almacenamiento, lo cual se reflejó en la disminución de la brillantez del producto.

- A altas temperatura de almacenamiento se presentó una mayor reducción en el contenido de carotenoides en los diferentes tratamientos, siendo esta mayor a 20 °C con el empaque PC para el tercer día de almacenamiento; y se conservó mejor en el tratamiento a 0 °C con empaque CP.
- La temperatura y empaque influyeron de manera significativa en la pérdida de agua del producto, lo cual se reflejó en la apariencia del mismo determinando su aceptabilidad para los consumidores.
- El empleo de empaques influyó de manera negativa en el producto almacenado a 20 °C, originando presencia de olores desagradables, este comportamiento se presentó de igual manera en el producto almacenado a bajas temperaturas sin embargo ocurrió de forma más lenta.

8. BIBLIOGRAFIA

Abadias, M., Usall, J., Anguera, M., Solsona, C., Viñas, I. (2008). Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. *Internacional Journal of Food Microbiology*.

Agar, I. T., Massantini, R., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. (1999). Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *Journal of Food Science*, 64(3), 433-440.

Alia, T. I., Colinas, L. M. T., Martínez, D. M. T., Soto, H. R. M. 2005. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq) H. E. Moore and Stearn). I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 28 (1): 17-24.

Alley E. W., Natanee P. K., Donna A. M., 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Tecnology*., 115-125.

AOAC, 1990. *Oficial Methods Análisis*. Washington. D. C.

Azevedo-Meleiro, C., Rodríguez-Amaya, D. 2005. carotenoids of endive and New Zeland spinach as affected by maturity, season and minimally processing. *Journal of Food and Análisis* 18: 845-855.

Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O. and Baker, R. A., 1995. Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. HortScience, 30: 35-38.

Balwin, E., Burns, J., Kazokas, W., Brecht, J., Hagenmair, R., Bender, R., & Pesis, E. (1999). Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripenin during storage. Postharvest Biologyand Technology, 17, 215-226.

Barbaeu, G. 1999. La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. Fruits 45: 141-147

Barry-Ryan, C., Pacussi, J.M., O'Beirne, D., 2000. Quality of shredded carrots as effected by packaging film and storage temperature. J. Food Sci. 65 (4), 726-730.

Baudui, D. S. 1993. Química de los alimentos. Editorial Alambra Mexicana, México, D. F.

Bhande, S. D., Ravindra, M. R., Goswami, T. K. 2007. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. Journal of Food Engineering. Doi: 10.10167/j.jfoodeng.2007.11.019.

Beaudry, R. (1993). Effect of carbon dioxide parcial pressure on blueberry fruit respiration and respiratory quotient. Postharvest Biol. Technol. 3, 249-258.

Beaudry, R. (2000). Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging, HortTechnology 10, 491-500.

Boersig, M. R., A. A Kader and R.J. Romani. 1988. Aerobic-Anaerobic respiration transition in pear fruit and culture pear fruit cells. Journal of the American Society for Horticultural Science Volumen 113, paginas 869-873.

Böttcher, H., Günther, I., Kabelitz, L. (2003). Physiological postharvest responses of Common Saint-John's Word herbs (*Hipericum perforatum* L.). Postharvest Biology and Technology, 29, 342-350.

Cantwell, M., 2010. Pimiento: (Pimientón, Chile dulce). Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, CA 95616. [citado 08 Junio 2010] Disponible en:<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Pimiento.shtml>

Cantewell, M., 1995. Fresh-cut product biology requirements. Univ. California Perishables Handling Newslett. 81:4-6.

Cantwell, M. 1996. Fresh cut biology and requirements. pp 9-12 *In*: Fresh Cut Products: Maintening Quality and Safety. Postharvest Hort. Series No. 10(4). U.C. Davis.

Cameron, A. C., Talasial, C. P. and Joles, D. W. 1995. Predicting films permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. HortScience, 30:25-34.

Castaños, M. C. M. 1993. Horticultura. Manejo simplificado. Editorial UACH. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Chan, H. T. Jr. 1979. Sugar composition of papayas during fruit development. Hort. Sci. 14 (2):140-141.

Clemente, L. I. 2004. Caracterización postcosecha de cinco híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Corrales, G. J., Tlapa, R. C.C. 1999. Daños por frío y producción de etanol en aguacate. Revista Chapingo Serie Horticultura 5:345-351.

Cruz, J. M. 1996. Producción de plántula de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. Y P.). Tesis Licenciatura Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. México.

Cruz, P. A., González, H. V., Soto, H. R., Gutiérrez, E. M., Gardea, B. A., Pérez, G. M., 2007. Capsinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. Agrociencia 41: 627- 635.

Cuevas, F. L. 1999. Rendimiento, calidad y precocidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en función a la aplicación de B-9 y contenido bromatológico. Tesis Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. UACH.

Davis P.L. Chase W.G. 1969. Determination of alcohol in citrus juice by gas Chromatographic analysis of head space. HortScience. 4:117-119.

D. R. Paul y R. Clarke, 2002. Modelling of modified atmosphere packaging based on designs with a membrane and perforations. Jornal of Membrane. 208: 269-283.

Del Nobile, M. A., Conte, A., Cannarsi, M., Sinigaglia, M. 2008. Use of biodegradable films for prolonging the shelf life of minimally processed lettuce. Journal of Food Engineering 85: 317-325.

Del Nobile, M.A., Baiano A., Benedetto A, Massignan L. 2006. Respiration rate of minimally processed lettuce as affected by packaging. *Journal of Food Engineering* 74. 60–69.

Del Nobile, M.A., Baiano, A., Benedetto, A. and Massignan. 2006. Respiration rate of minimally processed lettuce as affected by packaging. *Journal of Food Engineering* 74: 60-69.

Del Nobile M.A, Licciardello F, Scrocco C, Muratore G, Zappa M. 2007. Design of plastic packages for minimally processed fruits. *Journal of Food Engineering* 79. 217–224.

Deepa., Charanjit, K., Balraj S., Kapoor., 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 19 (2006) 572-578.

Dürüst, N., D. Sümengen, and Y. Dürüst. 1997. Ascorbic acid and element contents of Trabzon (Turkey). *J. Agric. Food. Chem.* 45:2085-2087.

Escalona, V. H., Aguayo, E. and Artés, F. 2007. Quality Changes of fresh-Cut Kohlrabi Sticks under Modified Atmosphere Packaging. *Journal of food Science*. Vol. 72, Nr. 5.

FAO, 2005. Estadísticas de producción, México, Chiles. Consultado el 6 de mayo de 2007. Disponible en <http://www.fao.org>.

Fidler, J. C. 1968. The metabolism of acetaldehyde by plant tissues. *J. Exp. Bot.* 19: 1-51.

Fonseca, C. S; Olivera, A. F. and Brech, K. J. 2000. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*. 52:99-119.

Gallego, P.P., & Zarra, I. (1998). Cell wall autolysis during kiwifruit development. *Annals of Botany*, 81 (1), 91-96.

García, S. M. L., Vargas, A. I., Gardea, B. A. A. 2005. Daño por frío en melón cantaloupe en dos estados de madurez. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 28 (1): 161-170.

Gimenez, M., Olarte, C., Sanz, S., Lomas, C., Echevarri, J.F., Ayala, F. (2003). Relation between spoilage and microbiological quality in minimally processed artichoke packaged with different films. *Food Microbiology* 20 (2003) 231-242.

González, A. G., Gardea, A. A., Cuamea, N. F. 2005. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados.

Hansen, M. E., Sorensen, H., Cantwell, M. 2001. Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology* 22:227-237.

Hernández, A. M. G. 2003. Evaluación postcosecha de seis especies aromáticas. Tesis Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. UACH.

Howard, L. R., Hernández-Brenes, C., 1998. Antioxidant content and market quality of jalapeno pepper rings as affected by minimal processing and modified atmosphere packaging. *Journal of Food Quality* 21, 317-327.

Huys-kens-Keil, S., Schreiner, M., Prono-Widyat, H., & Peters, P. (2000). Effect of surface coating and film packaging on the keeping quality of solanaceous crops. *Acta Horticulturae*, 553, 621-626.

Huxsoll, C.C. and H.R. Bolin. 1989. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology* 44(2): 124-128.

Ibar, A. L. y Serrat, B. J. 1987. Tomates, pimientos y berenjenas. Editorial Aedos. Barcelona, España.

Izumi, H. and Watada, A. E., 1994. Calcium treatments affect storage quality of shredded carrots. *J. Food Sci.*, 59: 106-109.

Jacxsens, L., Devlieghere, F., Falcato, P., Debevere, J. (1999) Behaviour of *L. monocytogenes* and *Aeromonas* spp. On fresh-cut produce packaged under equilibrium modified atmosphere. *Journal Food Prot.* 62, 1128-1135.

Jacxsens, L., Devlieghere, F., Ragaert, P., Vanneste, E., Debevere, J. (2003). Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. *Internacional Journal of Food Microbiology* 83: 263-280.

Jianshen An, Min Zhang, Qirui Lu, Zhongganf Zhang. 2006. Effect of a prestorage treatment with 6-benzylaminopurine and modified atmosphere packaging storage on the respiration and quality of green asparagus spears. *Journal of Food Engineering* 77 (2006) 951-957

Juárez-Martínez, F. A. 1999. Efecto de niveles de temperatura, luz y humedad del sustrato en la calidad y rendimiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. Y P.). Tesis Maestría en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. México.

Kader, A. A. 2002. Postharvest Technology of Horticultural crops. E.U. University of California. Davis, USA. 389 p.

Kader, A.A., Zagory, D., & Kerbel, E. L. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28 (1),1.

Kader A.A, M. E. Saltveit. 2003. Respiration and gas exchange. *In: Postharvest physiology and pathology of vegetables*. J A Bartz, J K Brecht (eds) University of Florida, Gainesville, Florida. pp 7-29.

Kader, A. A. 2007. Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Tercera Edición. Universidad de California, Centro de Investigación y Tecnología Postcosecha.

Kakiomenou, K., Tassou, C., Nychass, G., 1996. Microbiological, physiochemical and organoleptic changes of shredded carrots stored under modified storage. *Int. J. Food Science Technology*. 31, 359-366.

Kimmerer, T. W. and Koslowski, T.T. 1982. Ethylene, ethane, acetaldehyde and ethanol production by plant under stress. *Plant Physiol*. 69: 840-847.

Knee, M., Hartfield S.G.S. 1981. The metabolism of alcohols by apple fruits tissue. *J. Sci. Food Agric*. 32, 593-600.

Laborde, C. J.; Pozo, C. O. 1982. Pasado y presente del chile en México. SARH-INIA. México. Publicación especial no. 85. Folleto. 80 p.

Laborde C. J. A. y Pozo C. O. 1984. Presente y pasado del chile en México. Editorial SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos INIA. Publicación especial No. 85.

Lamikanra, R., Chen, J.C., Banks, D., y Hunter, P. A. (2000). Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed cantaloupe. J. Agric. Food Chem. 48 (12): 5955-5961.

Lana, M. M. Tijskens, L. M. M., Coten, O. V. 2005. Effects of storage temperatura and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. Postharvest Biology and Tecnology, 35(1), 87-95.

Larsen, M., Watkins, C. B., 1995. Firmness and concentration of acetaldehyde, ethyl acetate and ethnol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. Postharvest Biol. Technol. 5: 39-50.

Lee, S. K. and Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamina C contenido of horticultural crops. Post Biol. Tech 20:207-220.

Lehninger, A. L. 1998. Bioquímica. Barcelona: Ediciones Omega. pp. 427-448.

Linchtenthaler, K. H. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosyntethetic Biomembranes. Edition. Academics Pres, Inc. 350-382p.

López R., G. O. 2003. Chilli. La especia de nuevo mundo. Ciencia 99:66-75.

Lownds, N.K., Banaras. M., Bosland P. W. 1993. Relatinships between Postharvest Water Loss and Physical Properties of Pepper Fruit (*Capsicum annuum* L.) Hort Science 28(12):1182-1184.

Maalekuu, K., Elikind, Y., Tuvia-Alkalai, S., Shalom, Y., Fallik, E., 2003. Quality evaluation of three sweet pepper cultivars alter prolongad storage. Adv. Hort. Sc. 17, 187-191.

Malalekuu, K., Elkind, Y., Leikin-Frenkel, A., Lurie, S., Fallik, E. 2006. The relationship between water loss, lipid content, membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage. *Postharvest Biology and Technology* 42 (2006) 248-255.

Markus, F., Dado, H. G., Kapitany, J., Biacs, P. A., 1999. Change in the carotenoid and antioxidant content of ápicos red pepper (páprika) as a function of ripening and some technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 100-107.

Martínez, H. F. 2002. Tasas e índices de eficiencia fisicotécnica de seis variedades criollas de chile manzano (*Capsicum pubescens*, R. y P.). Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 57 p.

Matsufuji, H., Nakamuro, H., Chino, M., Mitsuharo, T., 1998. Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in páprika (*Capsicum annum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 3462-3472.

Mckellar, R. C., Odumeru, J., Zhou, T., Harrison, A., Mercer, D. G., Young, J. C., 2004. Influence of a comercial warm chlorinated water treatment and packaging on the shelf-life of ready-to-use lettuce. *Food Research Internacional*, 37, 343-454.

Meller, B. y Anderson D. 1976. Introducción a la fisiología vegetal. Editorial Universitaria de Buenos Aires Argentina. 80-106p.

Minolta. 1994. Precise Color Communication. Japan. 47p.

Monroy G. T. 2009. Conservación de huitlacoche (*Ustilago maydis* D.C.) mínimamente procesado en atmósferas modificadas basadas en microperforado. Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 87p.

Moroto B., J. V. 2002. Horticultura Herbácea Especial. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 702 p.

Mozafar, A. 1994. Plant Vitamins: Agonomic, Physiological and Nutritional Aspects. CRC Press. Boca Raton, FI 412 p.

Mukherjee, A., Speh, D., Jones, A. T., Buesing, K. M., Diez-Gonzalez, F., (2006). Longitudinal microbiological survey of fresh produce grown by farmers in the upper Midwest. Journal of Food Protection 69, 1928-1936.

Nguyen-the, C. and Carline, F., 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nur. 34: 271-401.

Nur D. Özlem Ö. H.; Bayindirli A. and Ali E. (2004). Modification of water vapour transfer rate of low density polyethylene films for food packaging. Journal of Food Engineering. 63:9-13.

Odriozola, S. I., Soliva, F.R., Martín, B. O. (2010). Changes in bioactive composition of fresh-cut strawberries stored under superatmospheric oxygen, low-oxygen or passive atmospheres. Journal of Food Composition and Analysis. 23: 37-43.

Pantastico, E. R. 1979. Fisiología de la posrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Editorial Continental. México 665p.

Pérez-Grajales, M. y Castro-Brindis, R. 1998. Guía para la producción intensiva de chile manzano. Boletín de Divulgación No. 1. Programa Nacional de Investigación en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. México. 17 p.

Pérez G., Márquez S., y A. Peña L. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Editorial Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 380 p.

Pérez-Grajales, M. 2006. El cultivo del chile manzano en zonas altas Revista Teorema Ambiental. Sábado 01 de abril de 2006. Núm. 57. Consultado el 5 de mayo de 2007. Disponible en http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=1512&id_ejemplar=70

Pesis, E., Dvir, O., Feygenberg, O., Ben A. R., Ackerman, M., Lichter, A. 2002. Production of acetaldehyde and ethanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology* 26: 157-165.

Perucka, I., Materska, M., 2001. Phenylalanine ammonia-lyase and antioxidante activities of lipophilic fraction of fresh pepper fruits *Capsicum annum L.* *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2, 189-192.

Rattanapanone, N., Lee, Y., Wu, T. y Watada, A. E. 2001. Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. *Hort Sci.* 36(6):1091-1095.

Ratti, C., Raghavan, G. S. V., & Gariépy, Y. (1996). Respiration rate model and modified atmosphere packaging of fresh cauliflower. *Journal of Food Engineering.* 28: 297-306.

Ricard, B., Couee, I., Raymond, P., Saglio, P. H. Saint-Ges, V., Pradet, A., 1994. Plant metabolism under hypoxia and anoxia. *Plant Physiol. Biochem.* 32, 1-10.

Rivera, L. J., Vázquez, O. F. A., Ayala, Z. J. F., González, A. G. A. 2005. Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (Carica papaya L. CV. "Maradol"). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. Vol. 6 Num 002 pp 83-94.

Ruso, V. M., Howard, L. R., 2002. Carotenoids in pungent and nonpungent peppers at various developmental stages grown in the field and glasshouse. *Journal of the Science of Food and Agricultura* 82, 615-624.

SAGARPA. SIAP. 2006. Anuario Estadístico Agrícola. Fecha de consulta: 1 de mayo de 2007.

Salinas, H. R., Gonzalez, A. G., Pirovani, M. E., Ulín, M. F. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia* Vol. 23 numero 002. pp. 183-196.

Salisbury, F. B., Ross, C. W. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica S. A. de C. V. México. pp: 293-300.

Saltveit, M. E. 2004. Respiratory metabolism. In: *The comercial storage of fruits, vegetables, and florist nurse stocks*. *Agricultura Handbook Number 66*. <http://usna.usda.gov/hb66/019respiration.pdf>

Santos, M. A. 1995. *Química y bioquímica de alimentos*. Editorial UACH. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 456 p.

SAS Institute Inc.1998. SAS/STAT® User's guide. Version 6. SAS Institute Inc., Cary, NC: pp 209-243.

Schilimme, D. V. 1995. Marketing lightly processed fruits and vegetables. HortScience, 30:15-17.

Schriner, M., Huyskens-Keil, S., Krumbein, A., Prono-Widayat, H., Lüdders, P. 2003. Effect of film packaging and surface coating on primary and secondary plant compounds in fruit and vegetable products. Journal of Food Engineering 56: 237-240.

Shah, N. S. & Nath, N. (2006). Minimally processed fruits and vegetables- Freshness with convenience. Journal of Food Science & Technology, 43 (6), 561-570

Sheider, L. W. 1985, Nutrición. Conceptos básicos y aplicables. Editorial McGraw-Hill. España.

Topuz, A., Ozdemir, Feramuz. (2007). Assement of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annum* L.). grown in Turkey. Journal of Food Composition and Analysis. 20, 596-602.

Valdez, L. A. 1990. Producción de hortalizas. Editorial Limusa. México D. F.

Valle-Guadarrama S., Alonso-Campos A., Alia-Tejacal I. 2008. Atmósferas con bajo O₂ y alto CO₂ para la conservación de frutos de litchi. Revista Fitotecnia Mexicana 31 (2):157-164.

Varoquaux, P., Lecendre, I., Varoquaux, F., & Souty, M. (1990). Change in firmness of kiwifruit after slicing. Science des Aliments, 10(1), 127-139.

Viña, Z. S. and Chaves R. A. 2004. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage. Food Chemistry. Vol. 94, Issue 1 Pages 68-74.

Watada, A. E., Ko, N. P., Montt, D. A. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. Postharvest Biology and Technology, 9, 115-125.

Watada, A., Qi, L., 1999. Quality of fresh-cut produce. Postharvest Biology and Technology. 15, 201-205.

Watada, A.E. 1999. Quality control of minimally processed vegetable. Acta hort. 483: 9-219.

Watkins, C., 2000. Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. HortTechnology 10,501-506.

Wills R.H. 1998. Fisiología y manipulación de frutos y hortalizas postrecolección. Ed. Zaragoza España.

Zagory D, Kader A. A, Modified atmosphere packaging of fresh produce, Food Technol. 42 (1988) 70.